

**Міністерство освіти і науки України
ВСП «Стрийський фаховий коледж
Львівського національного університету природокористування»**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

**з дисципліни
«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ»**



Стрий – 2022

Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів» для здобувачів освіти II курсу освітньо-професійного ступеня «фаховий молодший бакалавр» спеціальностей 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт» денної форми навчання / Укл. В. Українець – Стрий, ВСП СФКЛНУП, 2022. – 256 с.

Рецензент: Руслан ГУМЕНЮК, к.т.н., доцент Львівського національного університету природокористування

ЗМІСТ

1	Вступ. Виробництво чавуну	4
2	Виробництво сталі	16
3	Виробництво кольорових металів	44
4	Будова і властивості металів	47
5	Основи теорії сплавів	53
6	Властивості та діаграма стану залізовуглецевих сплавів	59
7	Чавуни	64
8	Вуглецеві сталі	72
9	Леговані сталі	79
10	Основи термічної обробки сталі	87
11	Сплави кольорових металів	90
12	Порошкові матеріали.	94
13	Неметалеві конструкційні матеріали.	95
14	Ливарне виробництво	98
15	Обробка металів тиском	103
16	Зварювальне виробництво. Дугове зварювання і різання металів	116
17	Газове зварювання і різання	140
18	Спеціальні методи зварювання	151
19	Основи слюсарної обробки	161
20	Механічна обробка матеріалів різанням	166
21	Класифікація та механізми металорізальних верстатів	182
22	Обробка на токарних верстатах	197
23	Обробка на свердлильних і розточувальних верстатах	222
24	Обробка на стругальних, довбальних і протяжних верстатах	227
25	Обробка на фрезерних верстатах	229
26	Обробка на шліфувальних верстатах	234
27	Обробка поверхні деталі без зняття стружки	241
28	Основи проектування і технічного нормування технологічного процесу механічної обробки	249
	Список використаних джерел	256

Лекція 1

ВСТУП. ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

План

1. Вступ.
 - 1.1. Мета, завдання та зміст дисципліни «Матеріалознавство і ТКМ», його зміст і зв'язок з іншими дисциплінами.
 - 1.2. Значення дисципліни в загально професійній підготовці техніко-механіка.
 - 1.3. Методи вивчення дисципліни.
 - 1.4. Література з дисципліни.
2. Основи виробництва чорних і кольорових металів. Виробництво чавуну.
 - 2.1. Види металургійних процесів.
 - 2.2. Будова доменної печі та її робота.
 - 2.3. Вихідні матеріали для виплавки чавуну.
 - 2.4. Сучасні методи підвищення продуктивності доменних печей.

1. Вступ. Мета, завдання та зміст дисципліни «Матеріалознавство і ТКМ», його зміст і зв'язок з іншими дисциплінами.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є основи виробництва чорних і кольорових металів та сплавів, їх застосування з перспективним розвитком і досягнення науки, інноваційних технологій в галузі машинобудування та виробництва нових конструкційних матеріалів, проведення їх обробки слюсарним способом та на металорізальних верстатах на основі прийнятих режимів обробки з додержанням правил техніки безпеки.

Міждисциплінарні зв'язки: “Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання”, “Трактори і автомобілі”, “Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали”, “Сільськогосподарські машини”, “Ремонт машин та обладнання”, “Технічний сервіс в АПК”, “Охорона праці”, “Охорона праці в галузі”.

Метою викладання навчальної дисципліни “Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів” є вивчення наукових основ з виробництва, маркування і застосування металів та сплавів, способів одержання заготовок і їх обробок, а також закріплення практичних навичок роботи на металорізальних верстатах. Вивчення дисципліни сприяє успішному засвоєнню інших технологічних дисциплін, що формують професійний рівень майбутнього техніко-механіка.

Основними завданнями навчальної дисципліни “Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів” є вивчення теоретичних основ будови і властивостей металів та їх запобігання від корозії, ливарне та зварювальне виробництво і обробка металу тиском і на металорізальних верстатах.

Матеріалознавство – це прикладна наука, що вивчає будову (структуру) та властивості матеріалів, встановлює зв'язок між їхнім складом, будовою і

властивостями, вивчає залежність будови і властивостей від методів виробництва та обробки матеріалів, а також зміну їх під впливом зовнішніх чинників: силових, теплових (термічних), радіаційних та інших.

Технологія – (від грецького *techné* – мистецтво, майстерність, уміння та *logos* – наука, вчення) – це сукупність методів обробки, виготовлення, зміну стану, властивостей, форми сировини, матеріалу або напівфабрикату, що здійснюються в процесі виробництва продукції (виробів). Завдання технології як науки – з'ясування фізичних, хімічних, механічних та інших закономірностей з метою визначення та практичного використання найефективніших і економічних виробничих процесів. Технологія пов'язана з відповідними галузями виробництва: технологія загального машинобудування, літакобудування, виготовлення будь-яких виробів, матеріалів тощо.

Ми ж будемо вивчати матеріалознавство (М) та технологію конструкційних матеріалів (ТКМ).

Конструкційними називають матеріали, з яких виготовляють деталі машин, приладів, елементи різних конструкцій, інструменти, тобто матеріали, здатні витримувати значні механічні навантаження. Отже ТКМ – наука про сучасні методи одержання та обробки конструкційних матеріалів з метою виготовлення конструкцій і деталей необхідних розмірів, конфігурації, стану (чистоти) поверхні та властивостей.

Рівень технічного розвитку суспільства залежить від того, якими матеріалами воно володіє. Навіть основні етапи розвитку людства визначаються матеріалами (кам'яний вік, бронзовий, вік заліза), що підкреслює важливе місце курсу матеріалознавства серед інших технічних наук.

Конструкційні матеріали, що використовуються в машинобудуванні, поділяються на металеві та неметалеві.

Металеві – сталі, чавуни та кольорові метали. Залізо і його сплави (сталі, чавуни) – чорні, всі інші – кольорові метали.

Неметалеві – полімери, пластмаси, гуми, деревина, силікатні матеріали – кераміка, скло та ін.

Нині в загальному обсязі застосовуваних конструкційних матеріалів пластмаси становлять дещо більше 5% (за вагою, а не за асортиментом виготовлюваних виробів). У США вже тепер пластмаси складають більше 15%, кольорові метали – 30%. В Україні до недавнього часу частка чорних металів становила 90%. Україна посідає четверте місце в світі після Японії, США та Росії по виробництву чорної металургії.

2. Виробництво чавуну.

2.1. Види металургійних процесів.

Чавуни — це сплави заліза з вуглецем, у якому масова частка вуглецю становить від 2,14 до 6,67 %. Крім заліза та вуглецю, у чавуні завжди є кремній, марганець, фосфор і сірка. Більша частка виплавленого чавуну

використовується для виробництва сталі й лише незначна частка — для виготовлення відливок.

Чавун виплавляють пірометалургійним способом (ґрунтується на тому, що потрібна для виплавлення металу теплота забезпечується згорянням палива) в доменних печах відновленням з руди заліза, наступним насиченням його вуглецем та іншими домішками. Такий процес виробництва чавуну з руди має назву доменний.

Підготовка вихідних матеріалів до плавки. Виробництво чавуну потребує певної підготовки вихідних матеріалів як за їх якістю, так і за величиною кусків. При підготовці від коксу відсівають дрібні частки. Флюси подрібнюють і сортують на спеціальних грохотах. Залізну руду також подрібнюють, сортують на грохотах за розмірами кусків, усереднюють, вирівнюють за якістю та складом і піддають агломерації. Бідні руди перед цим збагачують, видаляючи частину пустої породи вимиванням водою або магнітним сепаруванням, і окисковують методом спікання.

Магнітний сепаратор шківного типу (рис. 1.1) складається з двох стрічкових транспортерів. У середині верхнього транспортера є електромагніт. Куски руди (рудний концентрат 2), які надходять на живильну стрічку 4 нижнього транспортера, проходячи крізь магнітне поле, намагнічуються і прилипають до збираючої стрічки 1 верхнього транспортера, а куски пустої породи (немагнітна фракція 3) вільно падають зі стрічки нижнього транспортера. У результаті збагачення мають концентрат — продукт з підвищеним вмістом заліза.

Агломерація полягає у спіканні руди (40 - 50 %), вапняку (15-20 %), дрібного агломерату і коксу в спеціальній агломераційній машині.

Агломераційна машина стрічкового типу (рис. 1.2) складається з великої кількості візків (коробки з ґратчастим дном) з боковими бортами і колосниками замість дна, що рухаються напрямними рейками. Під час руху стрічки суміш у коробках підпалюють газовим пальником. У завантаженому візку після запалювання газовими пальниками починається горіння палива, причому горіння поширюється зверху вниз. Повітря просочується крізь шар шихти завдяки дії спеціальних вакуумних пристроїв. Температура в шарі шихти становить 1300- 1600 °С. Якщо при спіканні до агломерату додають флюси, то такий агломерат називається офлюсованим. При цьому з руди видаляється частина домішок, розкладаються карбонати і утворюється пористий офлюсований матеріал - агломерат.

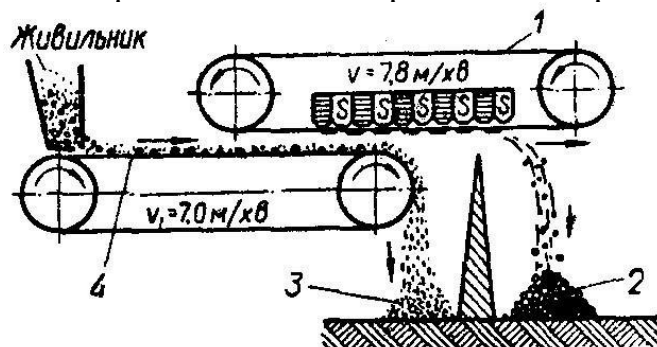


Рис. 1.1. Схема магнітного сепаратора шківного типу

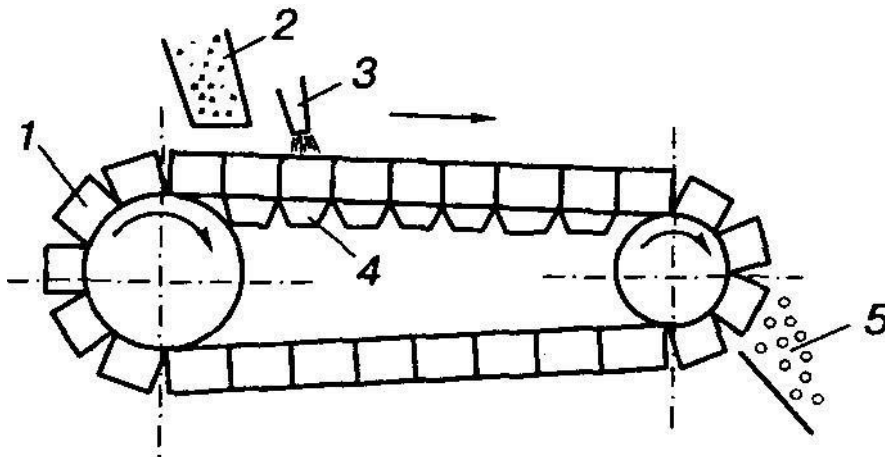


Рис. 1.2. Схема агломераційної машини: 1 - візки; 2 - шихтовий бункер; 3 - пальник; 4 - вакуум камери; 5 - агломерат

Застосування офлюсованого агломерату дає змогу підвищити продуктивність доменних печей на 10-25% та зменшити витрати коксу на 10-20 %. Крім того, в процесі спікання майже повністю вигоряє сірка і видаляється у вигляді сірчистого газу.

У металургії звичайно використовують офлюсований агломерат, для чого в шихту додатково вводять вапняк.

Обкатування полягає в окусковуванні подрібнених концентратів. Для цього концентрат, флюси і паливо звожують і завантажують у нахилену чашу (гранулятор), що обертається, або в пустотілий барабан, де і утворюються обкатиші - кульки діаметром 25-30 мм. Готові обкатиші сушать і обпалюють при температурі 1200- 1300 °С. Використання обкатишів, як і агломерату, поліпшує доменну плавку, підвищує продуктивність доменної печі, зменшує витрату палива.

2.2. Будова доменної печі та її робота. Чавун виплавляють у доменних (шахтних) печах. Більшість діючих доменних печей мають корисний об'єм, зайнятий завантаженими в піч матеріалами і продуктами плавлення, 1300-2300 м³ та висоту близько 30 м. У таких печах за добу виплавляють до 2000 т чавуну.

Доменна піч з допоміжними обладнаннями - досить складна інженерна споруда масою (при об'ємі 2700 м³) близько 200 тис. т. Піч працює безперервно 4-8 років.

Щоб виплавити чавун, у домну завантажують шихту – суміш певного співвідношення руди, палива і флюсів. Окремі порції шихти називаються колошами. Колоші із бункера 1 (рис. 1.3) подаються вагонетками 2 скіповим підіймачем 8 (на сучасних печах - конвеєром) в приймальну воронку 9 засипного апарата. При опусканні малого конуса 10 шихта попадає в чашу 11 і при опусканні великого конуса 12 - в колошник 13 і далі в шахту 14

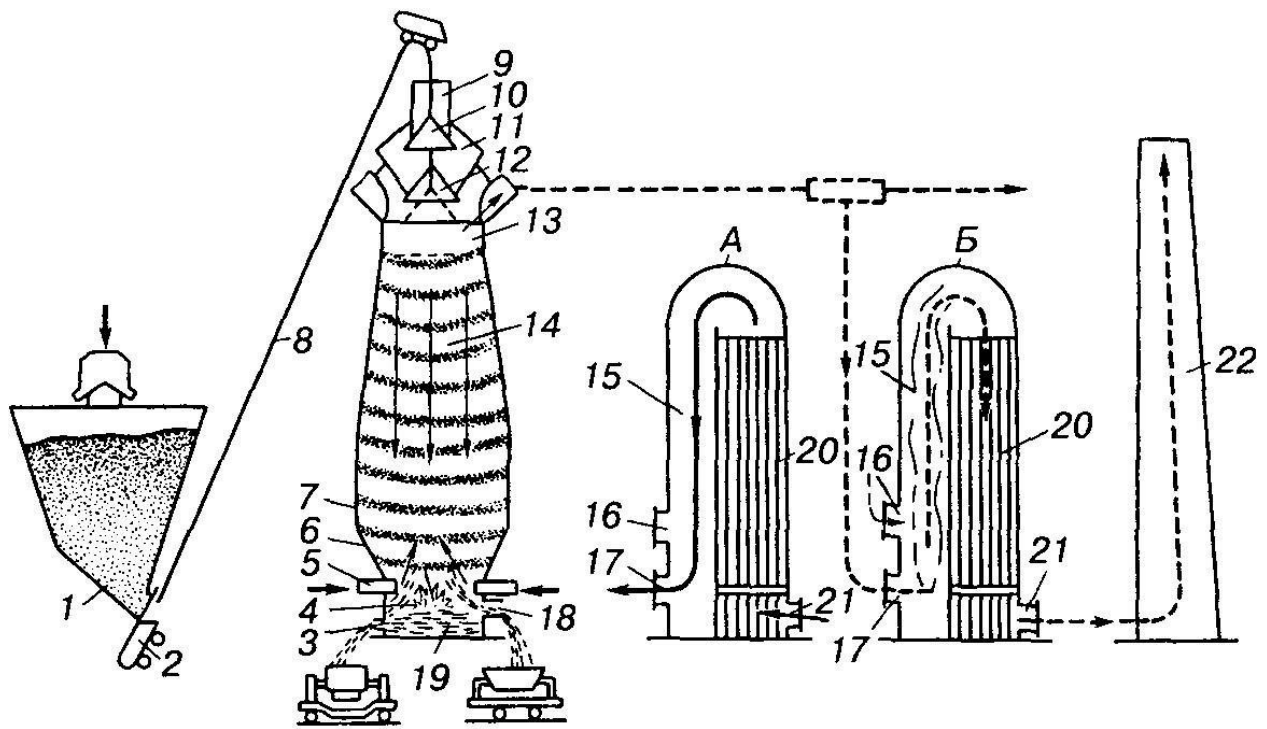


Рис. 1.3. Схема роботи доменної печі.

печі. Поперемінно відкриття конусів запобігає виходу газів із печі в атмосферу. Шихта завантажується в домну періодично у міру того, як згоряє паливо і виходять чавун та шлак.

Найбільша циліндрична частина домни називається розпаром 7. Нижче містяться заплечики 6 у вигляді зрізаного конуса і горно 4, обмежене подом 19. У нижній частині горна розміщено льотки для випускання чавуну 3 і шлаку 18. Для підтримання горіння палива в доменну піч крізь ряд (14-24) розміщених по обводу фурм 5 вдувається повітря під тиском до 0,3 МПа. Витрата повітря на виплавлення 1 т чавуну в сучасних доменних печах становить до 3000, а на великих печах - до 7000 м³/хв.

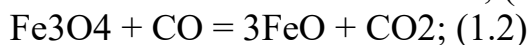
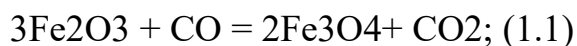
Для інтенсифікації виплавлення і більш економної витрати палива повітря нагрівають до 1000-1200 °С у повітрянагрівачах регенеративного типу. Повітрянагрівач - це футерований цеглою сталевий циліндр діаметром 6-8 і 30-40 м, який всередині має камеру згоряння 15 і насадку 20 із вогнетривкої цегли. Біля кожної домни є 34 повітрянагрівачи. У повітрянагрівач Б крізь отвір 17 подається очищений колошниковий газ і крізь отвір 16 - необхідне для згоряння газу повітря. Продукти згоряння газу з камери 15 проходять вертикальними каналами насадки 20, нагрівають її і виходять крізь отвір 21 у димову трубу 22. Коли насадка повітрянагрівача Б досягне потрібної температури, подачу газу в нього припиняють і в зворотному напрямі подають повітря, яке проходить каналами розжареної насадки, нагрівається до температури 1000- 1200 °С і після цього вдувається в доменну піч. Коли повітрянагрівач Б нагрівається, працює повітрянагрівач А, попередньо нагрітий, за розглянутою схемою.

Значним удосконаленням доменного процесу є збагачення повітряного дуття киснем (до 30 %), а також часткова заміна коксу природним газом.

Технологія отримання чавуну в доменній печі. Доменна піч працює за принципом протипотоку: шихтові матеріали рухаються зверху вниз, а назустріч їм піднімається потік гарячих газів – продуктів згоряння палива. При цьому горить паливо, відновлюється і насичується вуглецем залізо, відновлюються інші елементи, утворюється шлак.

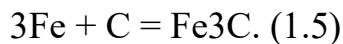
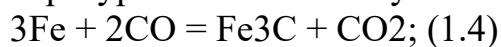
Процеси відновлення заліза із руд (реакції відновлення) в доменній печі і формування чавуну. У зоні повітряних фурм вуглець коксу взаємодіє з киснем дуття, згоряє, внаслідок чого температура в цій зоні печі досягає 1800-2000 °С.

У таких умовах вуглекислий газ CO₂ взаємодіє з вуглецем коксу і утворює оксид вуглецю CO, який і стає головним відновником заліза. Трохи вище, в зоні печі з температурою 700-450 °С, частина оксиду вуглецю розкладається з утворенням вуглецю. Шихтові матеріали, опускаючись назустріч потоку розжарених газів, нагріваються, з них випаровується волога, виділяються леткі речовини. При досягненні температури 750-900 °С у шихті відновлюється залізо:



Частина оксиду FeO опускається до розпару та заплечиків і відновлюється вуглецем коксу. У відновленні заліза беруть участь також вуглець і водень.

У результаті цих реакцій утворюється тверде губчасте залізо. При температурі 1000-1100 °С губчасте залізо насичується вуглецем:



Вуглець зменшує температуру плавлення залізовуглецевого сплаву, тому при опусканні в нижню частину шахти сплав починає плавитись, додатково насичується вуглецем та іншими елементами, які відновлюються із руди, - марганцем, силіцієм, фосфором, сіркою.

Загальна схема хімічних реакцій, що відбуваються у різних частинах доменної печі наведена на рис. 1.4, а матеріальні потоки на рис. 1.5.

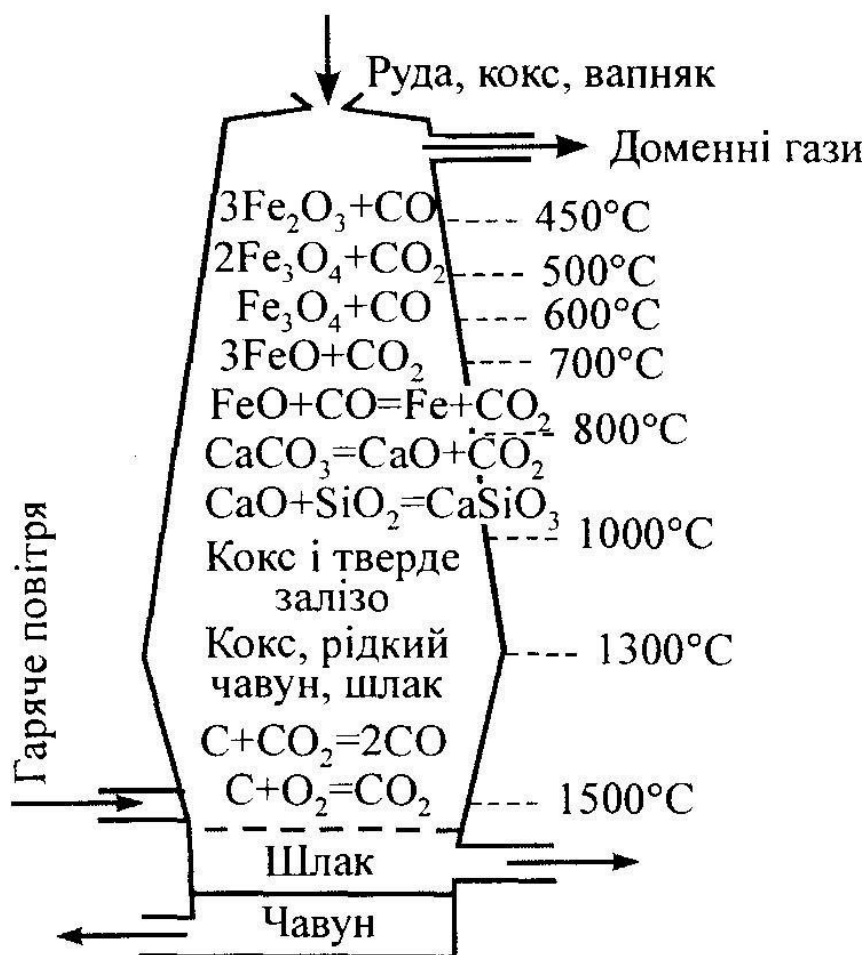


Рис. 1.4. Схема хімічних реакцій у різних частинах доменної печі.

Марганець міститься в руді у вигляді оксидів і частково відновлюється твердим вуглецем. Силіцій є в пустій породі у вигляді кремнезему SiO_2 і також відновлюється твердим вуглецем. Невідновлені оксиди марганцю і силіцію переходять у шлак.

Фосфор міститься в руді в основному у вигляді сполуки $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{CaO}$, відновлюється оксидом вуглецю та твердим вуглецем і майже повністю переходить у сплав.

Сірка потрапляє в доменну піч у складі руди і коксу у вигляді сполук FeS_2 , FeS , CaSO_2 , CaS . Значна частина сірки видаляється у вигляді летких сполук (SO_2 , H_2S), інша переходить у сплав (FeS) або шлак (CaS).

Таким чином, унаслідок відновлення заліза, марганцю, силіцію, фосфору та сірки і розчинення їх у залізі в горні печі збирається шлак - сплав пустої породи, флюсів, попелу палива, а також частина невідновлених оксидів. У міру того як утворюються і накопичуються чавун і шлак, їх випускають із печі: чавун через 3-4 год по льотці 3 (рис. 1.3), а шлак - через 1-1,5 год по льотці 18. Чавун стікає по жолобу в ковші місткістю до 1000 т і залізницею направляється на розливальну машину або зливається у спеціальні опалювальні накопичувачі - міксери для переробки в сталь. Витримування у міксері сприяє також вирівнюванню хімічного складу чавуну.

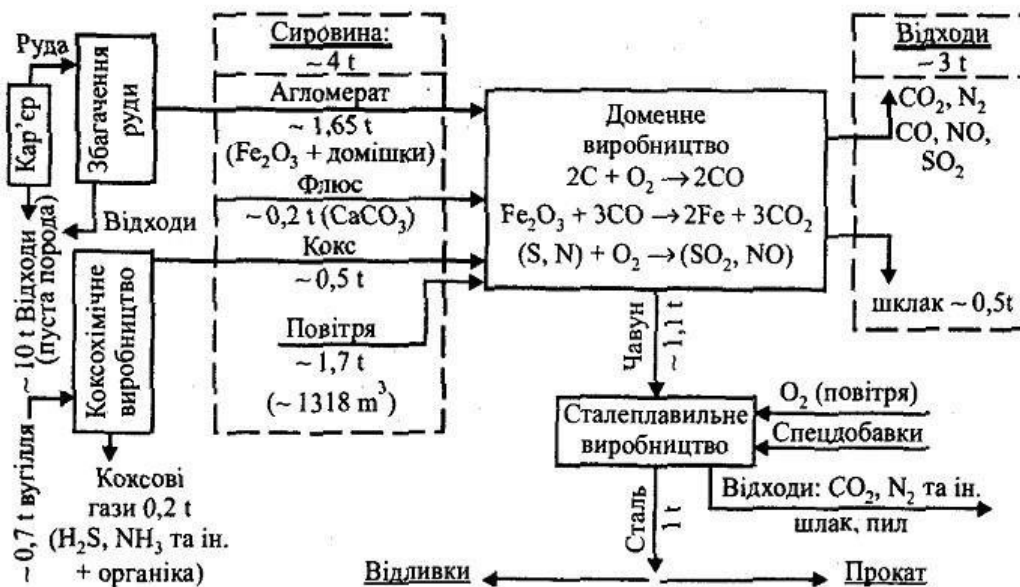


Рис. 1.5. Матеріальні потоки доменного виробництва .

Продукти доменного виробництва, їх класифікація та призначення. Продуктами доменної плавки є чавун, шлак і колошниковий газ.

1. *Чавун* випускають із доменної печі 6—10 разів на добу в чавуновізні ковши. В них рідкий чавун подається або до сталеплавильного цеху для переробки на сталь, або на розливну машину для виливання чушок (виливків).

Рідкий чавун, призначений для переробки на сталь, зливається в особливі металозбирачі, які називаються міксерами. Міксер (рис. 1.6) виготовляють із листової сталі і футерують зсередини вогнетривким матеріалом. Місткість такого металозбирача — 600—2000 т. Міксер встановлений на котках 1 і має механізм 2 для перевертання міксера і заповнення ковша 4 чавуном. Заповнюють міксер за допомогою ковша 3. Щоб чавун був завжди рідким, міксери підігрівають спалюванням доменного газу і газу коксувальних печей. Витримування в міксерах забезпечує перемішування чавуну, який випускають у різний час або з різних доменних печей, і дає змогу мати чавун усередненого хімічного складу. Крім того, під час тривалого витримування в міксерах чавун при наявності в ньому марганцю втрачає 50—70% сірки. Марганець взаємодіє з нею, утворюючи малорозчинний сірчистий марганець MnS , який іде у шлак, а це поліпшує якість чавуну.

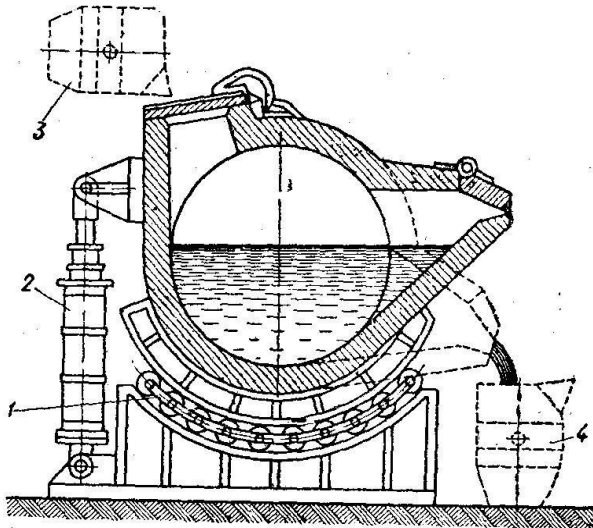


Рис. 1.6. Схема міксеру для зберігання рідкого чавуну.

Рідкий чавун, призначений для виливання чушок, подається чавуновізними ковшами до розливної стрічкової машини. Вона складається з двох ланцюгів, до яких прикріплено металеві форми, що називаються мультами. У формах чавун охолоджується, потім вони перевертаються і чавунні чушки потрапляють прямо у вагони. Всі ці операції механізовано та автоматизовано.

Основну масу серед продуктів доменного виробництва становлять переробні чавуни -75-80 %; ливарних чавунів отримують 15-20 % і феросплавів - 1-2 %.

Чавуни залежно від хімічного складу і призначення поділяють на переробні, ливарні і феросплави.

Переробний чавун використовують для виробництва сталі. Звичайний його склад: 3,5-4,5 % C; 0,3-1,3 % Si; 0,8-1,2 % Mn; до 0,3 % P і 0,07 % S. Особливістю переробних чавунів є те, що вуглець у них міститься у вигляді сполуки Fe_3C - цементиту. Такі чавуни на зламі мають білий відтінок, тому їх ще називають білими. Залежно від способу переробки чавун поділяється на мартенівський, бесмерівський і томасівський.

Ливарний чавун застосовується для виготовлення литва і є найважливішим конструкційним матеріалом. Його розливають у закріплені на безперервному конвеєрі розливальної машини виливниці. Після кристалізації та охолодження водою 50-кілограмові чавунні чушки випадають при повороті конвеєра із виливниць прямо в залізничні вагони для відправлення на машинобудівні заводи. Від переробних ливарні чавуни відрізняються підвищеною масовою часткою силіцію (до 3,5 %). Більша частина вуглецю в них перебуває у вільному стані - у вигляді пластинчастого графіту, тому на зламі вони мають сірий відтінок. Такі чавуни називають сірими.

Феросплави — це спеціальні чавуни, в яких поряд з елементами, що входять до їх складу у звичайній кількості, одного з елементів (наприклад

марганцю, кремнію тощо) більше, ніж звичайно. До них належать феромарганець (70—80% Mn) і феросиліцій (9—13% Si), дзеркальний чавун (10-25 %Mn), що їх застосовують як розкислювачі при плавленні сталі, а також інші феросплави, що застосовують для легування сталей.

2. *Доменний шлак.* Шлаками називають матеріали, які утворюються при сплавленні шлак - легкоплавких сполук з пустою породою руди, золою палива та іншими неметалевими вкрапленнями. Густина шлаку, як правило менша, ніж у виплавленого металу, тому шлак збирається над ним і його можна злити в процесі плавлення.

У міру нагромадження шлак випускають крізь шлакову лютку в шлаковізні ковши. При виплавці переробного і ливарного чавунів у коксових доменних печах шлак містить 33—40% SiO₂, 42—48% (CaO + MgO) і 10—20% Al₂O₃. На 1 т чавуну, що виплавляється, утворюється 0,6 т шлаку. Його використовують як сировину для виготовлення цементу, цегли, шлакоблоків, щебілки та інших будівельних матеріалів, з нього виливають бруківку для доріг і роблять шлакову вату, яку застосовують як ізоляційний матеріал.

3. *Колошниковий газ.* Газ, що утворюється в печі, піднімається вгору і в зоні колошника відводяться трубами з печі. Ці газ, названі колошниковими, використовують як паливо для нагрівання повітрянагрівачів. При виплавці 1 т чавуну утворюється в середньому близько 3000 м³ колошникового (доменного) газу (CO 26-35%, CO₂ 4-16%, H₂ 1-4%, N₂ 56-60%, CH₄ 0.2-0.5%) з теплотворною здатністю (3,6—4,0) Кдж/м³, або 860— 950 кал/м³. На виході з доменної печі газ містить 30—60 г/м³ пилу, який складається з пилоподібних руди та флюсів і стертого на порошок палива. Після попереднього очищення від пилу колошниковий газ використовується для опалення повітрянагрівачів і коксових печей, а також для інших потреб металургійного виробництва. Колошниковий пил використовується при агломерації руди.

Техніко-економічні показники роботи доменної печі. Основними техніко-економічними показниками роботи доменної печі є: а) коефіцієнт використання корисного об'єму печі - КВКО:

$$\text{КВКО} = V/P, (1.6)$$

де V- корисний об'єм печі, м³; P - середня добова продуктивність печі, т; для доменних печей КВКО = 0,5-0,7;

б) питома витрата коксу:

$$K = A/P, (1.7)$$

де A- витрата коксу за добу.

Питома витрата коксу на передових підприємствах становить 470-490 кг і є важливим показником роботи доменної печі, оскільки вартість коксу становить близько 50 % вартості чавуну.

Показники роботи доменної печі

1. Продуктивність печі характеризується добовою виправкою чавуну в тоннах. Найбільша продуктивність буває при виплавлянні переробних чавунів, менша (на 15—20%)—при виплавці ливарних чавунів і в 2—3 рази менша — при виробництві феросплавів.

2. Коефіцієнт використання корисного об'єму печі (КВКО). КВКО доменних печей при виплавленні різних видів чавунів змінюється в межах 0,54—1,35 м³/т. Чим менша абсолютна величина КВКО, тим краще працює доменна піч.

3. Витрата палива. Важливим показником роботи доменної печі є витрата палива на одну тонну виплавленого чавуну. Витрата коксу на виплавлення однієї тонни чавуну становить: 0,8—0,9 т для переробних чавунів; 0,9—1,1 т — для ливарних; 1,2—2,0 т — для феросплавів.

2.3. Вихідні матеріали для виплавки чавуну

Чавун виплавляють пірометалургійним способом в доменних печах відновленням з руди заліза, наступним насиченням його вуглецем та іншими домішками. Такий процес виробництва чавуну з руди має назву доменний.

Для виплавлення чавуну в доменних печах використовують наступні вихідні матеріали: залізні, марганцеві й комплексні руди, паливо і флюси.

Руди. Для виробництва чавуну використовують руди наступних основних типів. *Залізні руди.*

Магнітний залізняк або магнетит містить 45-70% Fe у вигляді оксиду Fe₃O₄ і має магнітні властивості. Руда має темний колір, високу густину та ускладнено відновлюється. Червоний залізняк або гематит містить 50-60% Fe у вигляді безводного оксиду Fe₂O₃.

Червоний залізняк містить мало шкідливих домішок: сірки й фосфору; в порівнянні з магнітним залізняком він легше відновлюється. Через це червоні залізняки належать до кращих залізних руд.

Бурий залізняк містить водний оксид заліза Fe₂O₃·3H₂O. Пуста порода звичайно забруднена сіркою й фосфором. Вміст Fe в руді біля 30%. Через добру відновлюваність використання небагатих руд бурого залізняка доцільне з економічної точки зору.

Шпатовий залізняк або сидерит містить 30-40% Fe у вигляді карбонату FeCO₃. Руда характеризується доброю відновлюваністю й низьким вмістом сірки й фосфору.⁵

Марганцеві руди складаються з оксидів марганцю й пустої породи, яка найчастіше являє собою глинистий пісок. Такі руди містять 28-54% Mn. Їх використовують для підвищення вмісту марганцю в чавунах та при виплавленні спеціальних чавунів.

Комплексні руди крім заліза містять й інші метали (хром, нікель, ванадій), які відновлюються у доменному процесі та поліпшують властивості чавуну.

Основні складові *пустої* породи - це кремнезем (SiO₂), глинозем (Al₂O₃) та ін.

Паливо. Основним видом палива, яке використовується при виплавленні чавуну, є кокс. Кокс виробляють сухою перегонкою при 1000-1200°C за відсутності повітря деяких сортів кам'яного вугілля, які мають назву тих, що коксуються. При видаленні летких речовин в спеціальних коксових печах відбувається спікання, тривалість якого становить 15-20 годин. Перед

коксуванням вугілля проходить підготовку, яка полягає в його подрібненні в щоккових дробарках до розміру зерна 2-3 мм, збагаченні й змішуванні. Спечена пориста маса коксу при видаленні газів розтріскується й розпадається на шматки. Газ, що виділяється, направляють в хімічну дільницю, де з нього виділяють такі цінні хімічні продукти, як бензол, аміак, смоли. Після цього коксовий газ використовують як паливо.

В доменному виробництві використовують кокс у вигляді міцних шматків розміром від 25 до 100-200 мм світло-сірого кольору з пористістю біля 50%. Хімічний склад коксу залежить від родовищ вугілля: вуглецю 80-90%, сірки 0,5-2,0%, фосфору до 0,04%, золи 8,0-12,06%, вологи до 5%, летких 0,7-1,2%. Середня теплота згоряння коксу становить 29,3 мДж/кг (7000 ккал/кг).

Флюси. Доменні флюси використовують для видалення пустої породи і золи палива з доменної печі у вигляді легкоплавкого сплаву – шлаку. Як флюси використовують звичайний вапняк CaCO_3 . Флюси з основними складовими пустої породи - глиноземом і кремнеземом - утворюють легкоплавкі хімічні сполуки.

2.4. Шляхи підвищення продуктивності доменних печей

1. Поліпшити техніко-економічні показники роботи доменних печей можна удосконаленням їх конструкції. Значний економічний ефект дають будівництво та експлуатація великих доменних печей. Тому нині експлуатуються в основному печі об'ємом 2300 і 2700 м³.

На Криворізькому металургійному заводі введено в дію піч об'ємом 5000 м³. Печі такого об'єму виплавляють за добу понад 10 тис. т чавуну. Продуктивність праці при виплавці чавуну в таких печах майже на 30 % вища, а металомісткість печей на 12 % менша, ніж у печах об'ємом 2700 м³.

2. Поліпшення підготовки сировинних матеріалів до плавки є важливим засобом підвищення продуктивності доменної печі. Збільшенню виплавки чавуну і зменшенню витрат коксу сприяють підвищення ефективності збагачення руд, застосування офлюсованого агломерату і обкатишів. Краща підготовка шихтових матеріалів включає ретельне сортування залізної руди і коксу за розмірами кусків, збагачення і усереднення залізної руди, підготування офлюсованого агломерату.

3. Інтенсифікацією плавлення, збагаченням повітряного дуття киснем. Кисень у доменних печах використовують для збагачення повітряного дуття і для рафінування рідкого чавуну безпосередньо в горні доменної печі. Кисневе дуття підвищує концентрацію окису вуглецю і прискорює відновлювальні процеси, підвищує продуктивність доменної печі, зменшує витрати палива і об'єм колошникових газів, а також сприяє утворенню більш високої температури в печі. Найбільшого економічного ефекту збагачення дуття киснем досягають при виплавленні доменних феросплавів. Продування рідкого чавуну киснем безпосередньо в доменній печі дає змогу підвищити температуру чавуну приблизно на 50° С, зменшити витрати окисленого заліза і значно зменшити вміст сірки.

4. Тиск газу під колошником підвищують установкою у газопроводі спеціального клапана, який залишає для проходження газів дуже вузький отвір. При цьому тиск газів досягає 0,18 Мн/м² (1,8 ат). Досвід роботи доменних печей із застосуванням підвищеного тиску газів під колошником показав, що їх продуктивність збільшується, а витрата палива знижується.

5. Механізація та автоматизація доменного виробництва. Механізація трудомістких процесів, автоматичний контроль, регулювання і керування роботою доменної печі сприяють збільшенню її продуктивності. На сучасних доменних печах прилади і регулятори забезпечують автоматичне завантаження шихти, автоматично контролюють і регулюють тиск, температуру і вологість газу на колошнику.

Опрацювати і законспектувати питання: 1. Склад доменної печі, її частини і зони. 2. Продукти доменної плавки. 3. ТЕП роботи доменної печі

Питання для самоконтролю

1. Які вихідні матеріали потрібні для виробництва чавуну?
2. Підготовка сировини до доменної плавки.
3. Яке призначення флюсів?
4. Яке паливо використовують для виплавлення чавуну?
5. Яка будова доменної печі (схема) і принцип її роботи.
6. Сутність технологічного процесу виплавки чавуну (схема).
7. Як класифікують чавуни?
8. Продукти доменного виробництва та їх використання.
9. Шляхи підвищення продуктивності доменних печей.

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 5-12;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 8-26.

Лекція 2 ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

План

1. Виробництво сталі
 - 1.1. Сутність процесу переробки чавуну в сталь.
 - 1.3. Розкислення сталей.
 - 1.2. Сучасні способи одержання сталі.
 - 1.4. Поняття про кисневоконвекторний і мартенівський способи виробництва сталі.

2. Розливання сталі.

- 2.1. Способи розливу сталі.
- 2.2. Будова сталевого злитка.
- 2.3. Способи підвищення якості сталі.
- 2.4. Пряме відновлення заліза.

1. Виробництво сталі

Сталь — це сплав заліза з вуглецем, у якому масова частка вуглецю не перевищує 2,14 %. Крім заліза та вуглецю у сталі завжди є марганець (до 0,8 %), кремній (до 0,4 %), фосфор (до 0,07 %) та сірка (до 0,06 %), що пов'язано з особливостями технології її виробництва.

Виробництво сталі у світі протягом 20 століття розвивалось надзвичайно високими темпами. Якщо сумарна кількість сталі, виплавленої у світі в 1900 р., становила 28,3 млн. т., то в 1990 р. вона зросла до 769 млн. т., тобто за 90 років виробництво сталі у світі збільшилось майже у 30 разів, в Україні—в 46 разів, а у США—до 10 разів. Водночас за кілька останніх років відбувався спад виробництва сталі від 784 млн. т. в 1989 р. до 730 млн. т. в 1994 р. Це пояснюється не стільки зростанням випуску нових конструкційних матеріалів, скільки кризою металургійної та металообробної промисловості країн колишнього соціалістичного табору. За результатами 1995 р. Україна ввійшла до першої десятки країн - виробників сталі.

Традиційна система технології виробництва сталі складається з послідовних технологічних процесів: видобуток залізної руди і її збагачення; видобуток флюсів у кар'єрах; видобуток і збагачення вугілля; коксування вугілля; доменний процес відновлення заліза з одержанням чавуну; виплавлення сталей із чавуну в мартенах, конверторах чи електродуговых печах.

1.1. Сутність процесу переробки чавуну в сталь..

Основною сировиною для масового виробництва сталі є переробний чавун і скрап (металобрухт, металеві відходи металургійних та машинобудівних заводів тощо).

Чавун порівняно зі сталлю містить більшу кількість вуглецю, марганцю, кремнію, фосфору та сірки. Зменшити надлишки вуглецю, марганцю, кремнію і фосфору можна шляхом їх окислення. Під час окислення вуглець у вигляді газоподібного оксиду вуглецю CO виходить в атмосферу, а марганець і кремній утворюють нерозчинні в розплавленому металі оксиди MnO і SiO_2 . Фосфор оксидується до P_2O_5 , який, сполучаючись з флюсом CaO , переходить у нерозчинний у металі фосфат кальцію $(CaO)_3 P_2O_5$. Сірку з розчиненого в металі сульфиду заліза FeS переводять у нерозчинний сульфід кальцію CaS . Утворені сполуки (MnO , SiO_2 , $(CaO)_3 P_2O_5$), які мають меншу від заліза густину, спливають на поверхню як шлак.

Існують різні способи виробництва сталі, які відрізняються технологічними особливостями, джерелами енергії та обладнанням, що

використовуються. В той же час загальним для всіх способів є те, що сам процес плавки можна умовно поділити на два великих етапи:

- процес окислення вуглецю й домішок (Si, Mn, S і т.д.), утворення оксидів цих елементів і видалення їх у шлак;

- розкислення сталі, для чого в розплав вводять елементи, в яких спорідненість до кисню більша, ніж у заліза.

Окислення домішок здійснюють двома способами: 1) продуванням рідкого чавуну повітрям або киснем у конвертерах; 2) переплавленням чавуну з окислами заліза (рудою та окалиною) в мартенівських і електричних печах.

Виробництво сталі є другою металургійною переробкою (перша - це переробка залізної руди на чавун). Переробний чавун, виплавлений в доменній печі, поступає в міксерну дільницю й звідти - в сталеплавильний цех.

1.2. Розкислення сталей.

Класифікація сталей в залежності від ступеню розкислення.

Залежно від способу розкислення сталь буває спокійною (розкислена марганцем, кремнієм і алюмінієм) та киплячою (розкислена тільки марганцем). Отже, за хімічним складом кипляча сталь відрізняється від спокійної: перша майже не містить кремнію ($Si < 0,07\%$), друга містить його у кількості 0,12 - 0,3%. Оскільки кипляча сталь, як гірше розкислена, містить більше кисню, то вона поступається за якістю спокійній.

Проміжне положення за якістю займає так звана напівспокійна сталь— розкислена марганцем і алюмінієм, яка знаходить своє застосування замість киплячої та спокійної сталі (табл. 2.1)

Таблиця 2.1. Сталі різного способу розкислення.

Сталь	Розкислювачі	Вихід придатного металу, %	Звичайний зміст кремнію, %	Порядок за	
				якістю	варті стю
Спокійна	Mn + Si+ Al	85—90	0,15—0,30	3	
Напівспокійна	Mn + Al	90—95	0,05—0,10	2	
Кипляча	Mn	95—100	<0,05	1	

Киплячу сталь розкислюють феромарганцем за 3—5 хв до випускання з печі. Спокійну сталь розкислюють спочатку в печі феромарганцем і феросиліцієм, а остаточно — у ковші феросиліцієм і алюмінієм.

Кипляча сталь - це сталь не повністю розкислена в печі. Її розкислення продовжується у виливниці за рахунок взаємодії оксиду заліза FeO з вуглецем. Одержаний при цьому оксид вуглецю CO виділяється із сталі, сприяючи видаленню й інших газів (N₂, H₂), що створює враження кипіння рідкого металу. Видалення газів відбувається і при кристалізації зливка, тому в ньому утворюється велика кількість розосереджених газових пухирів (рис. 2.1, а). Вони

зникають при наступній гарячій прокатці. Кипляча сталь найдешевша, вона практично не містить неметалевих домішок, має велику пластичність.

Спокійну сталь одержують при повному розкисленні металу в ковші (рис. 2.1, б). Така сталь кристалізується без виділення газів, тому в зливку утворюється щільна структура, а усадочна раковина концентрується у верхній частині, що зменшує вихід придатного металу на 15 - 20 %.

Напівспокійну сталь одержують при розкисненні феромарганцем і недостатній кількості феросиліцію або алюмінію. В цьому випадку зливок не має концентрованої усадочної раковини. В нижній частині він має будову спокійної, а в верхній - киплячої сталі (рис. 2.1, в). Така сталь за якістю і вартістю є проміжною між киплячою і спокійною. Вихід придатного металу з напівспокійної сталі на 5 - 10 % більший, ніж спокійної сталі.

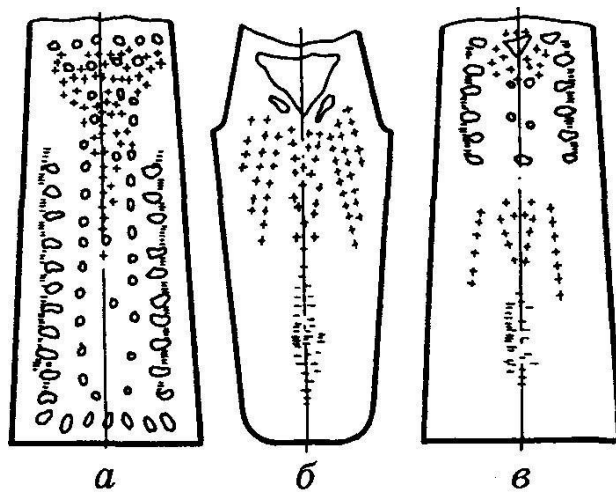


Рис. 2.1. Схеми будови сталевих зливоків.

а - кипляча сталь; б- спокійна сталь; в- напівспокійна сталь.

1.3. Сучасні способи одержання сталі.

Існує декілька способів виробництва сталі, які виникали за різних часів і мають свої технологічні особливості. Сталь можна виплавити в конвертерах, в мартенівських та електричних печах.

Виробництво сталі в електричних печах

Виплавлення сталі в електричних печах є найдосконалішим способом її виробництва. В них метал і шлак можна нагріти до більш високих температур, ніж у мартенівських печах. Це дає змогу розплавляти метал з високою концентрацією тугоплавких елементів (вольфраму, молібдену, ванадію та інших домішок) і застосовувати вапнякові шлаки, які містять до 55—60% CaO і, за допомогою яких можна видалити з металу майже весь фосфор і сірку. Вигар металу і, особливо, легуючих елементів при виплавленні сталі в електричних печах значно менший, ніж при інших способах її виробництва. Крім того, оскільки в електричних печах подавати повітря для горіння не треба, в них можна створювати відновлювальну газову атмосферу або вакуум і добиватися

доброго розкислення і дегазації металу. В електричних печах можна виплавляти сталі найвищої якості, тому в наш час у них виплавляють більшість марок легованих сталей.

Вихідні матеріали для плавлення сталі в електричних печах такі: стальний брухт, чавун, залізна руда, флюси, розкислювачі та феросплави.

Основний вид сировини — це брухт вуглецевих і легованих сталей. Чавун становить 5—10% усієї шихти. Залізну руду використовують обмежено — для окислення домішок у металі. Як флюс в основних печах застосовується свіжевипалене вапно, а в кислих — кварцевий пісок. Розкислювачі і феросплави застосовують такі ж, як і при виробництві сталі в мартенівських печах.

Будова електричних печей для виробництва сталі. Застосовують два типи сталеплавильних електропечей: дугові (рис. 2.2, а) та індукційні високої частоти (рис. 2.2, б).

Дугові печі, в яких шихтові матеріали розплавляються теплом електричної дуги, найпоширеніші завдяки високому коефіцієнту корисної дії, можливості виплавляти в них сталі різних марок, простоті будови та зручності обслуговування. Їх поділяють на печі із залежною та незалежною електричною дугою. Більш поширені печі із залежною дугою. Їх місткість звичайно становить 0,25 - 180 т.

Електрична дуга 3 (рис. 2.2, а) утворюється між розміщеними вертикально вугляними або графітовими електродами 4 і завантаженою в піч металевою шихтою 1. Плавильний простір печі обмежений подом 6, склепінням 5 і боковими стінками. Крізь отвори у склепінні пропущено три електроди. У стінках зроблено вікна для завантаження та отвір для випускання металу. За допомогою особливого механізму 2 піч можна нахилити. Футерують печі основними або кислими вогнетривкими матеріалами. Більш поширені печі з основною футеровкою, оскільки в них можна видаляти з рідких сталей сірку і фосфор. Сучасні електродугові печі обладнано спеціальними пристроями (водоохолоджуючими фурмами), щоб підводити кисень, який використовується для окислення домішок під час плавлення сталі.

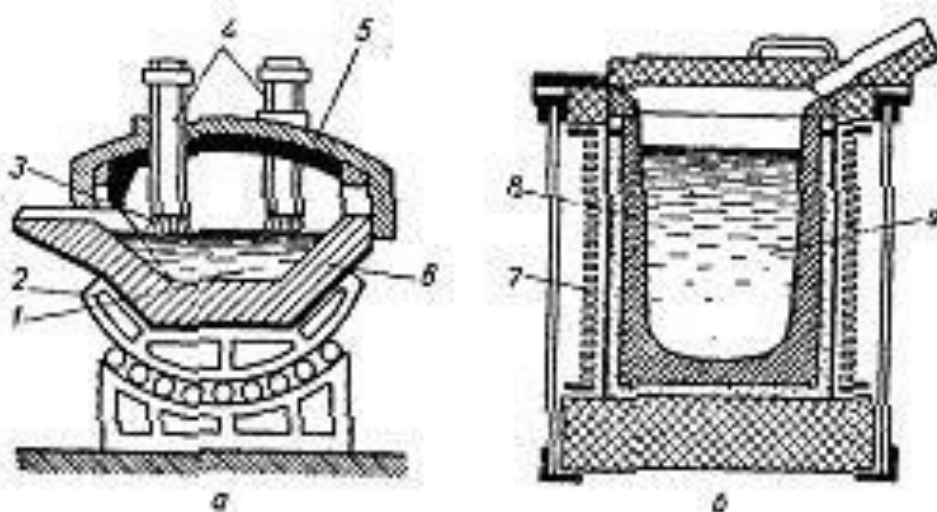


Рис. 2.2. Схеми електричних печей для плавлення сталі.

а - електродугова піч; б – індукційна піч.

Індукційні плавильні печі працюють на струмі частоти 500 - 2000 гц, що виробляється спеціальним генератором. Піч (рис. 2.2, б) складається з вогнетривкого тигля 8, розміщеного всередині спіралі, виготовленої з мідної трубки (індуктора) 7, охолоджуваної водою. По індуктору проходить струм високої частоти, який збуджує в металі 9, що є в тиглі, вихрові струми, які швидко нагрівають метал до температури плавлення. Істотним недоліком цих печей є висока вартість електрообладнання і низька стійкість тиглів.

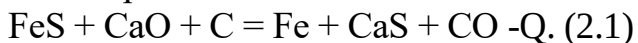
Технологія плавлення сталі в основній дуговій електропечі.

Залежно від складу шихти в електричних печах з основною футеровкою можна плавить сталь трьома методами: з повним окисленням домішок, з частковим їх окисленням і без окислення. Перші два методи плавлення застосовують для плавлення високоякісної сталі, якщо немає сировинних матеріалів з потрібним вмістом вуглецю і шкідливих домішок. За першим методом плавлення видаляють шкідливі домішки та гази і знижують вміст вуглецю внаслідок інтенсивного кипіння металу. За другим методом інтенсивного кипіння не допускають, а знижують вміст вуглецю і фосфору присадкою залізної руди. Плавлення без окислення, або метод переплавлення, широко застосовують, перероблюючи власні відходи металургійного виробництва і особливо відходи легованих сталей, склад яких відповідає складу сталі, що виплавляється. Щоб знизити вміст вуглецю, в метал вводять відходи низьковуглецевої сталі.

Особливості процесу плавлення електросталі першими двома методами полягають в наступному. Домішки окислюються киснем атмосфери печі і залізною рудою, що добавляється. Закис заліза розчиняється в частині металу, яка вже розплавилася, і окислює кремній, марганець, фосфор та вуглець. Після розплавлення шихти утворюється шлак, який сприяє видаленню фосфору з рідкого металу. Шлак, що містить фосфор, скачують і наводять новий шлак за допомогою залізної руди і вапна. Якщо є потреба прискорити окислення домішок, то після розплавлення шихти в піч подають кисень, який підвищує температуру ванни. Потім в рідкий метал разом з киснем подають порошкоподібні флюси для шлакування домішок. При підвищенні температури починається вигоряння вуглецю, тобто період кипіння металу, швидкість якого регулюють періодичним додаванням залізної руди. Після досягнення потрібного вмісту вуглецю і фосфору, кипіння припиняють, скачують окислювальний шлак і приступають до розкислення металу, яке ведуть дифузійним методом, тобто через шлак. Реакції розкислення відбуваються у шлаку і на поверхні, яка розділяє шлак і метал, через що продукти процесу майже не проникають у метал. У цьому відмінність і перевага розкислення сталі в електропечах над процесом виробництва сталі в конвертерах, де розкислювачі занурюють безпосередньо в метал і продукти розкислення в значній кількості залишаються в ньому у вигляді неметалевих включень. При плавленні електросталі розкислення ведуть під шаром відновлювального білого шлаку такого складу: 60% CaO; 15-20% SiO₂; 10-12% MgO; 5-10% CaF₂; 2-3% Al₂O₃; 1% CaS; до 1% FeO; до 0,4% MnO.

Іноді розкислення металу ведуть під шаром карбідного шлаку, для чого в піч завантажують суміш, яка складається з вапна, плавикового шпату і меленого коксу. В зоні горіння електродуги з суміші утворюється 2—5% карбіду кальцію CaC_2 . Цей шлак має сильнішу відновлюючу здатність, ніж білий.

Якщо в електропечі є відновлювальна атмосфера і білий або карбідний шлак, то при високій температурі відбувається інтенсивне видалення сірки за незворотною реакцією



Завершують розкислення сталі за 2—3 хв до випускання, вводячи 0,4—1 кг/т алюмінію або до 1 кг/т силікокальцію. При плавленні легованих сталей для доведення їх до заданого хімічного складу в розкислений метал вводять легуючі феросплави.

Технологія плавлення сталі в кислих дугових електропечах порівняно з плавленням її в основних печах має такі переваги: більш високу продуктивність; у 2,5-3,0 рази більшу стійкість і в стільки ж разів меншу вартість футеровки; на 30 - 40% менші витрати енергії та електродів; менші втрати легуючих елементів; нижчу вартість переробки. Проте кислий процес не набув великого поширення для плавлення високоякісних сталей і звичайно застосовується у виробництві фасонного сталюого литва. Пояснюється це тим, що при плавленні високоякісної сталі пред'являються високі вимоги до вмісту фосфору і сірки в шихтових матеріалах. У кислих електропечах домішки окислюються окалиною та іржею на кусках шихти, а під час плавлення з окисленням - залізною рудою, яку вводять. Розкисляють сталь так, як у кислій мартенівській печі, або дифузійним способом. Дифузійне розкислення ведуть при плавленні сталі підвищеної якості, застосовуючи попереднє скачування окислювального шлаку та наведення нового — з феромарганцю, піску, шамотного бою і меленого феросиліцію, коксу або деревного вугілля.

Виробництво сталі в індукційних печах.

Плавлення сталі в індукційних електропечах ведуть методом переплавлення тільки чистих, ретельно добраних шихтових матеріалів. Склад шихти визначають залежно від необхідного хімічного складу виплавленого металу, оскільки плавка відбувається так швидко, що перевірити склад після розплавлення дуже важко, а скоректувати його добавками майже неможливо. Під час плавлення шихти на поверхню металу періодично додають шлакову суміш, а після розплавлення шлак видаляють і вводять новий такого самого складу. Попередньо розкисляють сталь, вводячи у ванну кускові розкислювачі. Іноді для цього в шлакову суміш вводять мелений кокс, феросиліцій і алюміній. Остаточну сталь розкисляють алюмінієм при випусканні з печі.

Індукційні електропечі високої частоти найбільш раціонально використовувати для плавлення високолегованих сталей — нержавіючих, жароміцних, жаростійких тощо. У цих печах можна вести плавку сталі під вакуумом, що важко здійснити в дугових електропечах.

Показники роботи електричних печей — це продуктивність, витрата електроенергії та собівартість продукції. Вони залежать від конструкції, потужності та строку служби печі, а також від асортименту виплавлюваних сталей, ступеня механізації й автоматизації процесів та інших факторів. Продуктивність основних дугових печей на 1000 кВт потужності трансформатора становить близько 13 т на добу, витрата електроенергії — близько 2500 МДж/т (700 кВт-год/т). Продуктивність і витрата електроенергії в кислих печах відповідно становлять до 20 т і 2000—2200 МДж/т (500—600 кВт-год/т). Продуктивність індукційних печей на 1000 кВт установленної потужності становить приблизно 40 т, а витрата електроенергії в них на 10% вища, ніж у дугових печах.

1.4.1. Киснево-конвертерний метод виробництва сталі.

Будова конвертера. На металургійних заводах застосовують конвертери з нижнім і верхнім дуттям. Конвертер із нижнім дуттям (рис. 2.3, а) — це посудина грушвидної форми. Кожух його зварюють із листової сталі і футерують зсередини вогнетривким матеріалом. Конвертер має дві циліндричні цапфи в опорах. За допомогою цих цапф його можна повертати навколо горизонтальної осі. Крізь порожнисту цапфу і повітропровід за допомогою повітрорудки подається повітря в коробку 1, яку прикріплено до днища конвертера. В робочий простір конвертера повітря подається під тиском 0,2 - 0,25 МН/м² (2,0 - 2,5 ат) крізь фурми, які вставлено в днищі.

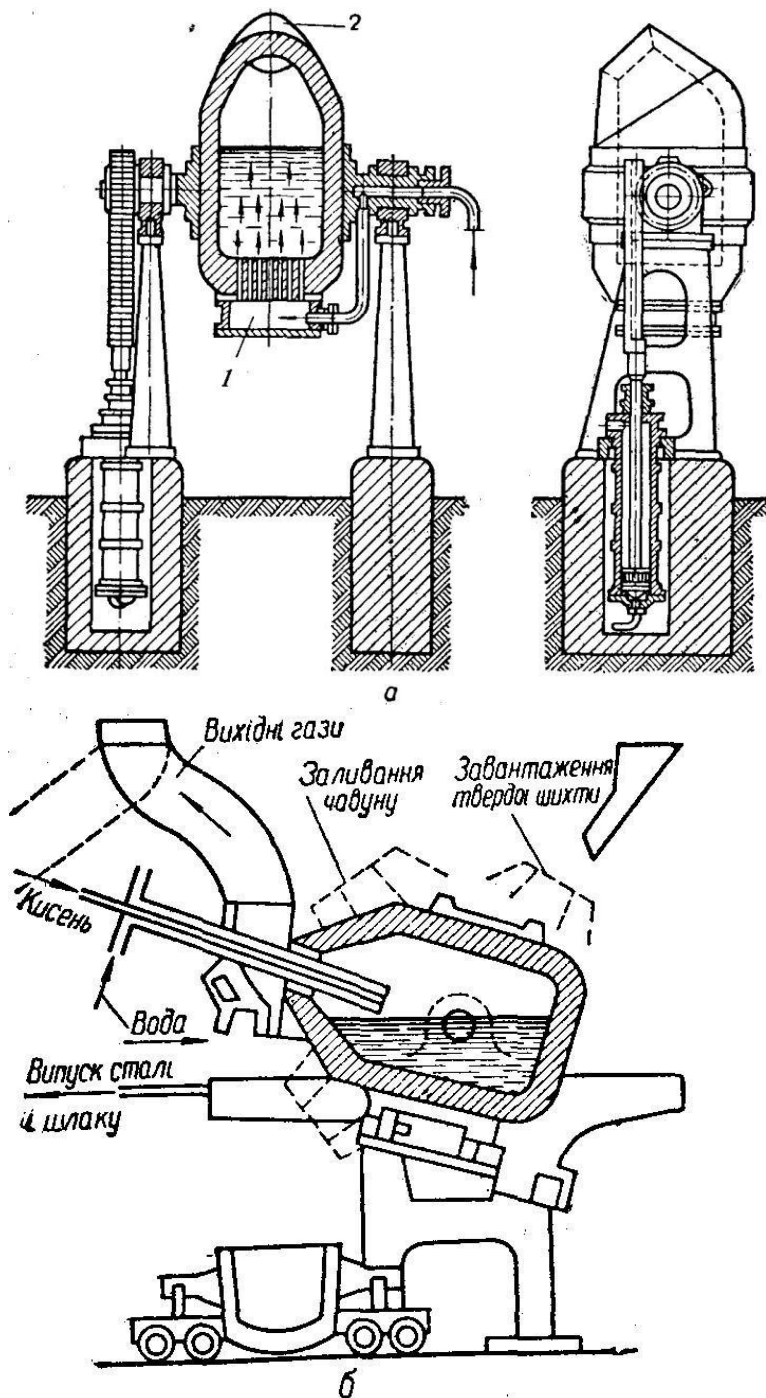


Рис. 2.3. Схема конвертера

Навколо горизонтальної осі конвертер повертається за допомогою шестірні, яку укріплено на другій цапфі, і зубчастої рейки. Рідкий чавун заливають через горловину 2, для чого конвертер повертають у горизонтальне положення. Після заливання подають дуття і повертають конвертер у вертикальне (робоче) положення. Від цього моменту починається процес плавлення сталі, по закінченні якого конвертер знову повертають у горизонтальне положення і припиняють дуття. Час продування залежно від місткості конвертера і сорту сталі становить 8 - 12 хв. Місткість конвертерів на повітряному дутті досягає 10 - 75 т.

Конвертери з верхнім дуттям використовують лише при кисневому дутті. Місткість їх увесь час зростає і в даний час досягає вже 250 - 270 т. Шихтовими

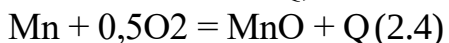
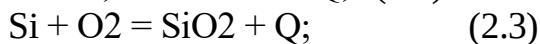
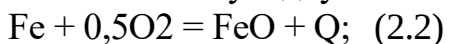
матеріалами для отримання сталі при киснево-конверторному процесі служать: рідкий переробний чавун (понад 70 %), скрап (до 25 %), залізна руда (до 10 %), вапняк CaO , а також плавииковий шпат CaF_2 — для розрідження шлаку. Для подачі кисню тут застосовують спеціальну водоохолоджувану фурму, яку вводять у конвертер зверху крізь горловину. При такому продуванні використовують стаціонарні та обертові конвертери з глухим дном. У стаціонарних конвертерах під час продування метал переміщується погано, що зумовлює значні втрати заліза у вигляді окислів, які виносяться газами. Обертові конвертери позбавлені цього недоліку. Крім того, у цих конвертерах якість сталі поліпшується внаслідок доброго перемішування металу. На рис. 3.1, б показано основне положення обертового конвертера під час продування. Обертаючи конвертер на цапфах, можна встановлювати його в різні інші положення: для завантаження твердої шихти, для заливання чавуну, для випускання сталі та шлаку.

Бесемерівський метод отримання сталі.

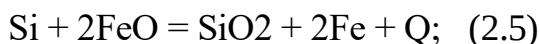
Процес, який запропонував Г. Бессемер у 1855—1856 р.р. Кислий (бесемерівський) процес. Виплавка сталі з крем'янистих чавунів ($\text{Si} = 1,25 - 1,75\%$; $\text{Mn} = 0,5 - 1,2\%$; $\text{P} < 0,07\%$; $\text{S} = 0,04 - 0,06\%$),

які дають кислий шлак ($40 - 45\% \text{SiO}_2$), проводять у бесемерівському конвертері, викладеному зсередини кислою вогнетривкою цеглою. Чавун заливають у конвертер при температурі $1250 - 1300^\circ\text{C}$. При продуванні стисненого повітря в рідкому металі відбуваються реакції окислення заліза, кремнію, марганцю і вуглецю. Згідно з законом діючих мас першим у реакцію з киснем повітря вступає залізо. Проте оскільки домішки (Si , Mn , C) більш споріднені з киснем, ніж залізо, вони відновлюють його з окислів. Тому домішки окислюються, як безпосередньо киснем, так і за рахунок реакцій з окислами заліза. Окислюються вони бурхливо з виділенням великої кількості тепла, що підвищує температуру металеві ванни до $1650 - 1750^\circ\text{C}$. Бесемерівський процес за часом поділяється на три періоди.

Перший період. Одразу ж після початку продування конвертера в об'ємі розплавленого металу відбуваються такі реакції:



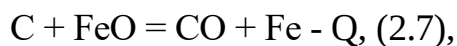
Одночасно з безпосереднім окисленням домішок киснем дуття відбуваються реакції окислення їх за рахунок закису заліза FeO , що утворюється:



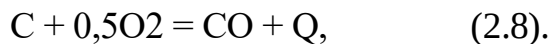
Закиси заліза та марганцю і кремнезем дають кислий шлак, який захищає футеровку конвертера від дії основних окислів заліза і марганцю. Перший період називають періодом шлакоутворення.

Другий період характеризується інтенсивним вигорянням вуглецю. Цей період починається після різкого підвищення температури металу внаслідок

виділення великої кількості тепла в хімічних реакціях першого періоду. Вуглець окислюється при взаємодії із закисом заліза:



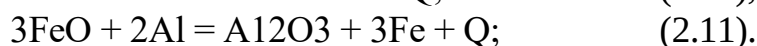
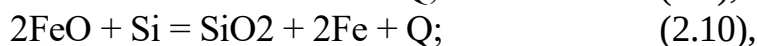
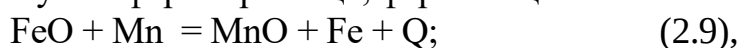
а також з киснем:



Горіння вуглецю в конвертері бурхливе і спричинює сильне кипіння металу. Окис вуглецю, що утворюється, виринає з горловини конвертера і, згоряючи, перетворюється на вуглекислий газ. Це супроводжується появою над конвертером сліпучо білого полум'я заввишки 5 - 9 м. Тому другий період називають періодом яскравого полум'я.

Третій період. Над горловиною конвертера з'являється бурий дим. Це свідчить про те, що всі домішки з металу вже вигоріли і почалося інтенсивне окислення металу. На цьому процес продування припиняють, конвертер повертають у горизонтальне положення і приступають до розкислення металу. При плавленні сталі в кислому конвертері третій період — період бурого диму — в більшості випадків відсутній, оскільки немає потреби повністю випалювати вуглець. У цьому разі продування переривають на другому періоді, коли досягнуть заданого вмісту вуглецю.

Останньою операцією у плавленні сталі є її розкислення, тобто видалення кисню, який є в ній у вигляді закису заліза. Як розкислювачі звичайно застосовують феромарганець, феросиліцій і алюміній:



Кремнезем і глинозем, що утворилися, не розчиняються в сталі і переходять у шлак. Ефективніше діють комплексні розкислювачі: силікомарганець (20% Mn і 10% Si) і АМц — сплав алюмінію, марганцю і кремнію. Розкислену сталь виливають крізь горловину конвертера у ковш і відправляють на розливання.

При плавленні сталі видалити сірку і фосфор можна лише введенням у конвертер вапна. Проте у кислий конвертер вводити вапно не можна, оскільки основні шлаки, що утворюються при цьому, руйнуватимуть кислу футеровку. Отже, фосфор і сірка повністю переходять у сталь. Тому в бесемерівських конвертерах можна переробляти тільки чавуни, які містять фосфору і сірки відповідно не більш як 0,07 і 0,04%.

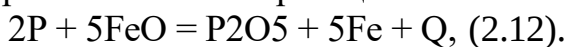
Томасівський метод отримання сталі. Запропонований С. Томасом у 1878 р.

Основний (томасівський) процес. Для переробки фосфористих чавунів у сталь застосовують конвертер із основною футерівкою з випаленого доломіту. Для нормального перебігу процесу використовують

переробний томасівський чавун, який містить 3,8 - 4,2% С; 0,2-0,6% Si; 0,8-1,3% Mn; до 0,08% S; 1,6-2,0% P.

В якості основного флюсу використовують вапно (CaCO_3). У процесі плавлення воно утворює основний шлак, який міцно зв'язує фосфорну кислоту і сірку.

Конструкція томасівського конвертера принципово не відрізняється від бесемерівського, проте томасівський звичайно більшої місткості. Томасівський процес, як і бесемерівський, поділяють на три періоди: перший — окислення заліза, кремнію і марганцю; другий — інтенсивне окислення вуглецю і дуже слабке окислення фосфору; третій — інтенсивне окислення фосфору. Перші два періоди відповідають першим двом періодам бесемерівського процесу, але відбуваються вони при нижчій температурі. На початку першого періоду фосфор окислюється за реакцією



Окисел P_2O_5 сполучається із закисом заліза:

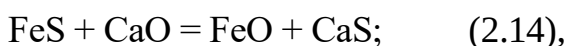


Ця нетривка сполука при підвищеній температурі металу легко розпадається і з P_2O_5 знову за допомогою кремнію, марганцю і вуглецю відновлюється фосфор. Тільки в третьому періоді, який має найважливіше значення для процесу, сполука $(\text{FeO})_3 \text{P}_2\text{O}_5$ вступає в реакцію з вапном шлаку і утворює нову, дуже тривку сполуку — тетрафосфат кальцію:



з якої вже фосфор не відновлюється. Тетрафосфат кальцію — це шлак. Він використовується в сільському господарстві як добриво.

Одночасно з окисленням фосфору відбуваються реакції видалення сірки в шлак:



У третьому періоді виділяється багато тепла і температура металу підвищується до 1600°C , що необхідно для розливання сталі.

Тому основний (томасівський) процес можливий тільки при використанні чавуну з підвищеним вмістом фосфору (1,6 - 2,0%). Третій період закінчують, коли вміст фосфору зменшується до

0,05 - 0,08%. Весь фосфор видалити неможливо, оскільки це призвело б до великого вигару заліза. Продування триває близько 20 хв, і вигар металу становить 10 - 14%. Наприкінці продування утворюється низьковуглецева сталь. Підвищення вмісту вуглецю досягають введенням у конвертер чистого чавуну, який не містить фосфору. Після закінчення третього періоду конвертер повертають у горизонтальне положення, зливають шлак, а потім сталь розкисляють, як і при бесемерівському процесі.

Тепер при переробці фосфористих чавунів крізь дно конвертера продувають парокисневу суміш. При цьому можна отримати м'які сталі (до 0,25% С) і фосфат — шлак що використовують для виробництва добрив.

Перспективи розвитку конвертерного способу виробництва сталі.

Основними перевагами конвертерного способу виробництва сталі є: висока продуктивність, простота установки і легкість її обслуговування, відсутність потреби в паливі, низька порівняно з іншими способами вартість переробки.

Істотним недоліком звичайного конвертерного способу є те, що кремній, марганець і особливо вуглець вигоряють дуже швидко, а вапно й інші шлакоутворюючі елементи розчиняються повільно, затримуючи тим самим утворення шлаку. Через це при доведенні вмісту вуглецю до заданого рівня кількість фосфору в металі залишається високою. Крім того, рідка сталь енергійно поглинає азот з повітряного дуття. Це спричинює погіршення механічних властивостей конвертерної сталі, внаслідок чого в багатьох країнах конвертерний спосіб було витіснено мартенівським.

Відродження конвертерного способу виробництва сталі почалося в 50-х роках XX століття завдяки промислому застосуванню продування чавуну киснем крізь горловину конвертера.

Перевагою конвертерного процесу з кисневим дуттям є те, що, регулюючи режим подачі кисню і дію його струменя на рідкий чавун, можна впливати на характер хімічних реакцій плавки, які відбуваються дуже активно з виділенням великої кількості тепла. Киснєве дуття в конвертерному виробництві дає змогу переплавляти до 20—35% скрапу (брухту), вводити до 8% залізної руди або окалини, підвищуючи тим самим вихід сталі. При кисневому дутті можна застосовувати конвертери з основною футеровкою, що дає змогу виплавляти не тільки вуглецеву, а й леговану сталь, за якістю не гіршу від мартенівської та електросталі.

1.4.2. Технологія виплавки сталі в мартенівських печах.

Вихідні матеріали для виплавки сталі в мартенівських печах такі: чавун, сталевий скрап (брухт), флюси, окислювачі, розкислювачі і присадні матеріали.

Для плавлення сталі в основних печах застосовується чавун мартенівський переробний марок М1 і М2, хімічний склад яких регламентовано ГОСТ 805—57 (Si до 1,25%; Mn до 1,75%; P = 0,15 - 0,3%; S = 0,03 - 0,07%), а в кислих печах — чавун переробний високоякісний (Si до 1,75%; Mn до 1,75%; P = 0,02 - 0,06%; S = 0,015 - 0,025%) з низьким вмістом сірки і фосфору.

В основних мартенівських печах в якості флюса застосовують вапняк і випалене вапно, а в кислих — кварцовий пісок. Окислювачами домішок є залізна руда з високим вмістом окислів заліза і малим шкідливих домішок.

Для розкислювання сталі використовують феросплави — феромарганець, силікомарганець, феросиліцій, силікокальцій і алюміній. У виробництві легованих сталей добавками є нікель і такі феросплави, як феровольфрам, феромолібден, ферохром тощо.

Будова мартенівської печі. Мартенівська піч - це регенеративна полум'єнева піч, у якій розвивається температура 1650 – 1800 °С. Такої високої температури досягають тим, що газ і повітря, які беруть участь у процесі

горіння, попередньо нагріваються до $1100\text{--}1300^{\circ}\text{C}$ теплом вихідних газів у регенераторах.

Сучасна газова мартенівська піч (рис. 2.4), яка працює на газі, змішаному з повітрям, збагаченим киснем, складається з плавильного простору 7, каналів 3 і 4, регенераторів 1, 2 і 8, 9, перекидних пристроїв 10, 12 і димової труби 11.

Завантаження вихідних матеріалів у плавильний простір відбувається крізь завалочні вікна 5. Плавильний простір печі обмежено ванною з подом, передньою і задньою стінками, склепінням і головками, розміщеними з обох кінців плавильного простору. Ванна печі — це чаша овального перерізу, футерована кислими або основними вогнетривкими матеріалами. Місткість печі визначається розмірами цієї ванни і становить 650, 800 і навіть 900 т.

Під 6 печі нахилений до задньої стінки, в нижній частині якої є отвір для випускання готової рідкої сталі. Під час плавки отвір закривають вогнетривкою пробкою. Для підведення у плавильний простір печі нагрітих газів і повітря, а також для відведення продуктів горіння в його торцях розміщено головки, які залежно від напрямку потоку газу і повітря поперемінно працюють як пальник або як димовий канал. Для підігрівання газу і повітря, що надходять у піч, є дві пари регенераторів, які являють собою камери з решітчастою кладкою з вогнетривкої цегли. Регенератори працюють попарно і поперемінно (рис. 3.2): коли перша пара 1 і 2 нагріває газ і повітря, друга пара 8 і 9 акумулює теплоту вихідних продуктів горіння. Після охолодження першої пари регенераторів напрям руху газів за допомогою клапанів 10 і 12 змінюється: газ і повітря надходять у плавильний простір крізь другу пару регенераторів, а продукти горіння нагрівають першу пару.

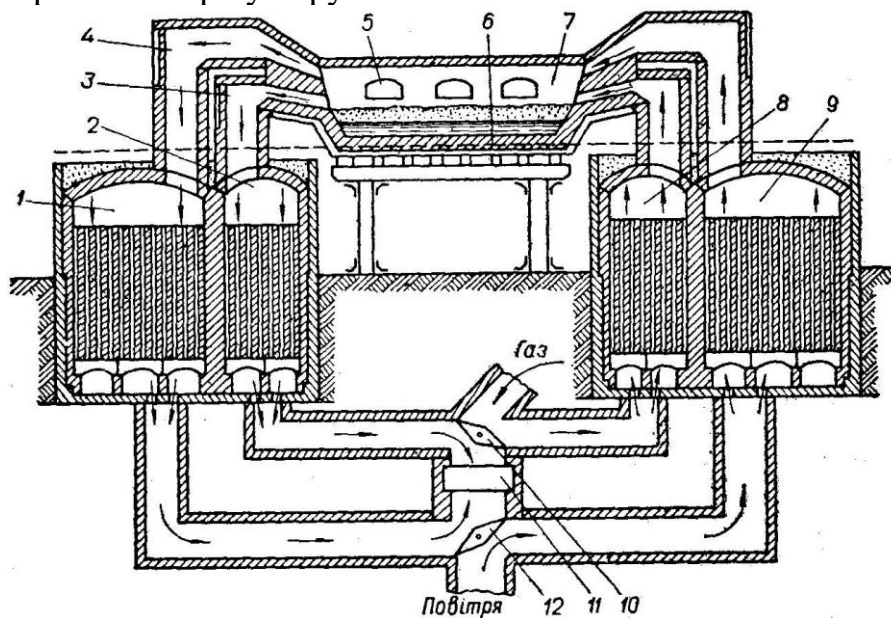


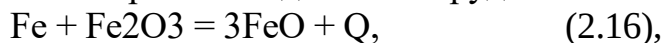
Рис. 2.4. Схема мартенівської печі.

Плавлення сталі в основних мартенівських печах. У печах з основною футеровкою можна переробляти сировинні матеріали з відносно високим вмістом сірки і фосфору. Це дає змогу переплавляти стальний брухт і чавун.

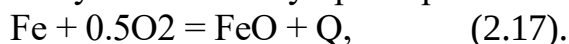
Тому плавлення сталі в основних печах найбільш поширене. Залежно від співвідношення чавуну і сталюого скрапу в шихті застосовується скрап-рудний процес або скрап-процес плавлення.

Скрап-рудний процес застосовують у мартенівських печах металургійних заводів, де є доменне виробництво. Шихта складається з рідкого чавуну (60 - 70%), сталюого брухту (40 - 30%), залізної руди і флюсів. Завалюють шихту пошарово у такій послідовності: руда, флюс і сталюий брухт. Після завалювання кожного шару прогрівають його 3

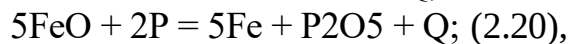
- 5 хв, а потім все перемішують. Рідкий чавун заливають після 1 - 1,5 год прогрівання твердої шихти, тобто коли вона нагрівається до температури, дещо вищої за температуру плавлення чавуну. При розплавлюванні шихти у печі утворюються три фази: рідкий метал, рідкий шлак і газоподібні продукти згоряння палива, розкладання флюсу і руди. Під час плавлення ці три фази безперервно взаємодіють між собою і змінюються за складом. Домішки кремнію, марганцю, фосфору і вуглецю окислюються закисом заліза, який утворюється при взаємодії заліза з рудою:



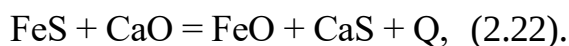
і внаслідок окислення заліза вільним киснем, який є в газопо- дібних продуктах у плавильному просторі:



Закис заліза, стикаючись із домішками, вступає з ними у такі реакції:



Окисли, що утворилися, переходять у шлак. Окис фосфору P_2O_5 утворює в шлаку нерозчинну в металі стійку сполуку $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Сірка видаляється в шлак у результаті взаємодії розчиненого в металі сірчастого заліза з вапном шлаку:



Під час плавлення беруть проби металу і шлаку, щоб виявити, наскільки окислилися домішки. Досягнувши бажаного ступеня дефосфорації (видалення фосфору) і потрібного вмісту вуглецю в металі, металеву ванну переводять на чисте (безрудне) кипіння. Воно посилюється з підвищенням температури і характеризується виділенням на поверхні шлаку бульбашок, з яких з'являються вогники окису вуглецю, що виділяється і згоряє. Це — найважливіший період плавки, протягом якого метал звільняється від вуглецю, газів і неметалевих включень. Як тільки заданого вмісту вуглецю досягнуто, процес кипіння припиняють і починають останній період плавки — розкислення.

Киплячу сталь розкисляють феромарганцем за 3—5 хв до випускання з печі. Спокійну сталь розкисляють спочатку в печі феромарганцем і феросиліцієм, а остаточно — у ковші феросиліцієм і алюмінієм.

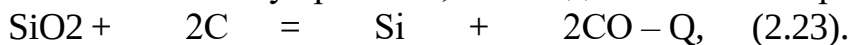
При плавленні легованої сталі ферохром і феровольфрам уводять у піч після попереднього розкислення, ферованадій і феротитан добавляють у ківш

після остаточного розкислення, а нікель і молібден — у період завалювання шихти, оскільки вони не окислюються в розплавленій ванні. Отже, плавку поступово доводять до заданих технологічних параметрів (перевіряють пробами відповідність її складу заданому), а потім приступають до розливання сталі. Вихід готової сталі при скрап-рудному процесі досягає 102—103% ваги завантаженого металу. Пригар утворюється внаслідок відновлення заліза з руди, що вводиться у шихту.

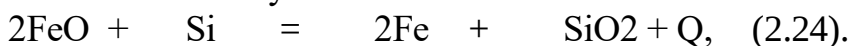
Скрап-процес застосовують на машинобудівних і металургійних заводах, де немає доменного виробництва. Металева шихта складається з 65—80% стальних відходів і брухту, решта — чушковий чавун. Відрізняється цей процес від скрап-рудного лише методами завалювання і плавлення шихти.

Завалюють шихту звичайно у такій послідовності: на під завантажують 15 - 30% розрахункової кількості скрапу, покривають його вапняком і прогрівають 25 - 35 хв, а потім завантажують решту скрапу, ще раз прогрівають і зверху засипають чавун. Щоб скоротити час плавки, при завалюванні і розплавленні шихти печі дають повне теплове навантаження. В міру нагрівання шихти першим починає плавитись чавун, що прискорює процес плавлення сталюного брухту.

Плавлення сталі в кислих мартенівських печах. У печах з кислою футеровкою переробляють високоякісний чавун і відібраний сталюний брухт із вмістом фосфору та сірки до 0,03% кожного. У якості флюсів застосовують кварцовий пісок і шлак попередніх кислих мартенівських плавок. Плавлення ведуть скрап-процесом. Суть кислого процесу полягає у видаленні вуглецю, марганцю і кремнію з металу під шаром кислого шлаку, який містить 55—60% кремнезему і є майже непроникним для димових газів. Особливістю процесу є саморозкислення металу кремнієм, який відновлюється з кремнезему шлаку:



Кремній, що утворюється, є добрим розкислювачем і, в свою чергу, відновлює залізо з окису заліза:



Сталь, відновлена кремнієм, не потребує додаткового розкислення. Кисла сталь має більшу густину та однорідність, ніж сталь, виплавлена в основному процесі, вона краще розкислена, містить менше неметалевих включень і має поліпшені механічні властивості. Проте через дефіцит і дорожнечу сировинних матеріалів кислий мартенівський процес в даний час застосовують тільки у виробництві виливків дуже відповідального призначення.

Основні показники роботи мартенівських печей — це добове виробництво сталі в тоннах з 1 м² поду печі і витрата умовного палива на 1 т виплавленої сталі. Середнє виробництво сталі з 1 м² поду печі становить 7—8 т, а на передових заводах— 10 - 15 т. Витрата умовного палива на 1 т виплавленої сталі при скрап-рудному процесі становить 100 - 180 кг, а при скрап-процесі— 170 - 250 кг. Менше умовного палива витрачається в печах більшої місткості.

Методи інтенсифікації мартенівських плавок. Найважливішим методом інтенсифікації мартенівських плавок є збагачення киснем повітря, що

використовується для спалювання палива. Це дає змогу підвищити температуру факела полум'я, зменшити кількість продуктів горіння і збільшити температуру печі. Кисень використовується для прискорення окислення домішок при продуванні рідкої сталі в печі (метод прямого окислення). Введення кисню у факел і ванну прискорює процеси плавлення, збільшуючи продуктивність печей на 20—30%. З цією метою застосовують також вдування стисненого повітря у ванну.

Автоматизація мартенівського процесу збільшує продуктивність на 5 - 15%, а стійкість поду печі на 10—15%, знижує витрати палива на 5 - 10%, а вогнетривів на 8 - 10%.

Вплив способу виробництва сталі на її якість.

Залежно від способу виробництва сталі відрізняються за вмістом постійних домішок, чим і обумовлена відмінність в їх властивостях.

У бесемерівському конверторі рідкий чавун продувається повітрям і кисень повітря з'єднується з домішками в чавуні, у тому числі з вуглецем, і чавун перетворюється на сталь. Цей спосіб дуже продуктивний, але при ньому сіра і фосфор достатньою мірою не віддаляються, а метал насичується газами, особливо азотом. Бесемерівський метал унаслідок підвищеного вмісту газів, азоту в першу чергу, відрізняється від мартенівського більшою міцністю, але меншою пластичністю, схильністю до старіння, більшою забрудненістю неметалічними включеннями. Унаслідок того, що якість бесемерівського металу не висока, цей процес відживає і на зміну йому приходить так званий конверторний спосіб. Конверторний спосіб виробництва сталі відмінний тим, що замість повітря використовується технічно чистий кисень з дуже малим забрудненням азотом (продування проводиться зверху). У результаті цього вміст азоту в металі буде низьким. Такий метал називається конверторним і за властивостями він практично не відрізняється від мартенівського.

Сталі звичайної якості та якісні плавляться переважно в мартенівських та електропечах. Пояснюється це, в першу чергу, тим, що при їх плавленні використовується лом (так званий скрап), тоді як для конверторного способу виробництва потрібен обов'язково рідкий чавун. У майбутньому питома, вага конверторного металу наростатиме. При мартенівському виробництві метал не так насичується газами, а підбір відповідних шлаків і режимів ведення плавки дозволяє видалити в значній мірі сірку і фосфор. Шлаки, за допомогою яких розплавлений метал очищається від домішок, складаються з основних (CaO і MgO) і кислих (SiO_2) оксидів. Залежно від складу шлаків футеровка печі повинна бути або основна (магнезит або хромомagneзит) або кисла

(динас), щоб уникнути реакції між футеровкою і шлаком. Якщо шлак має основну реакцію (т. т, у надлишку є основні оксиди — MgO і CaO), то він видаляє з металу велику частину фосфору та частину сірки. Отже, при порівняно не дуже високій чистоті початкової шихти метал в основній мартенівській печі виходить достатньо чистим за вмістом сірки і фосфору, хоча і більш насиченим

киснем. При кислому процесі в шлаку є надлишок кремнію у вигляді SiO_2 , за наявності якої сіра і фосфор з металу не видаляються, але насичення металу киснем відбувається у меншій мірі. Тому для кислого мартенівського процесу потрібні чисті за вмістом сірки та фосфору вихідні матеріали (тобто більш дорогі), і якщо це забезпечено, то метал виходить кращої якості, оскільки містить менше кисню.

Мартенівська сталь у переважній кількості плавиться основним процесом і лише в деяких випадках, коли потрібна велика чистота за вмістом неметалічних включень (оксиди) і менша насиченість киснем, виготовляється більш дорога кисла мартенівська сталь.

Видалення з металу сірки, фосфору і кисню досягається найбільшою мірою при плавлі в електропечах (дугових або індукційних). Будучи більш дорогою, електросталь є і більш високоякісною; тому цим способом виробляють переважно леговані і високолеговані сталі, жароміцні сплави, інструментальні сталі тощо. Сталі, окрім постійних домішок можуть містити різні випадкові. Наприклад, в скрап потрапляють шматки легованих хромонікелевих сталей. Тому сталь виплавлена скрап-процесом звичайно містить у деякій кількості елементи, якими звичайно легують сталь (хром, нікель тощо).

Деякі руди містять домішки, які важко видалити. Наприклад, руди Керченського родовища містять миш'як, і виплавлена на цих рудах сталь міститиме цей елемент до 0,1—0,15%. Навпаки, деякі руди практично не мають забруднень іншими елементами, і метал, отриманий з цих руд (Магнітогорський і Кузнецький заводи), дуже чистий.

Попит на сталь, вироблену тим чи іншим способом, визначається її ціною і властивостями. Попри високу продуктивність бесемерівських і томасівських конверторів та порівняно низькі виробничі витрати, металургам не вдалося забезпечити високу якість конверторно ї сталі. Ось чому мартенівське виробництво, частка якого в 1900 р. становила близько 40 %, стало поступово витісняти конверторний спосіб. У 1960 р. в мартенівських печах виробляли 82 % сталі, в електропечах — 10 %, в бесемерівських і томасівських конверторах разом — близько 4%, у кисневих конверторах — 3,5 %.

Киснево-конверторний спосіб, починаючи з 1954 р, став надзвичайно швидко поширюватись у світі. Як наслідок, частка сталі, вироблена в кисневих конверторах у 1970 р., перевищила 40 %, у 1980 р. вона становила близько 52 %, у 1990 р. — 56,6 %. Кисневоконверторна сталь зовсім витіснила зі світової арени виробництво сталі в бесемерівських і томасівських конверторах і стала причиною занепаду мартенівського виробництва, яке в 1990 р. зменшилась до 15,6 %.

Виробництво сталі в електричних печах від початку століття розвивалось дуже повільно, досягнувши в 1925 р. близько 1 %, у 1950 р. — 6,5 %. Однак потреба у високоякісній сталі стимулювала розвиток електрометалургії. Ось чому вже в 1970 р. частка виробництва електросталі в світі становила 14 %, у 1990 р. — 27,6 %. На сьогодні виробництво сталі в електропечах вийшло на

друге місце після киснево-конверторного способу й зберігає тенденцію до зростання.

2. Розливання сталі.

2.1. Способи розливу сталі.

Останньою операцією сталеплавильного процесу є розливання сталі. Із сталеплавильних агрегатів готову сталь випускають у розливні ковші, з яких її розливають у виливниці або в установки безперервного розливання.

Ківш для розливання сталі — це відкрита посудина, що служить для короткочасного зберігання, транспортування та розливання сталі. Ківш складається зі зварного кожуха 3 (рис. 2.5), двох цапф 5, футеровки 2 з шамотної цегли, вкладки 1 із магнезиту або шамоту та стопора 4.

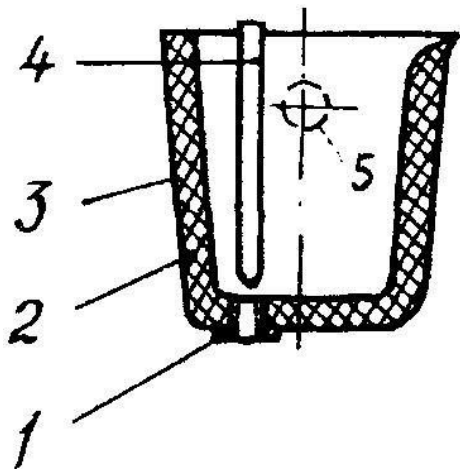


Рис. 2.5. Розливний ківш для сталі:

1 - вкладка; 2 - футеровка; 3 - кожух; 4 - стопор; 5 - цапфа

Вкладка має отвір циліндричної форми, що закривається під час опускання стопора або відкривається під час його піднімання. Поверхня металевих стопора захищена вогнетривким матеріалом. Ківш підвішують за допомогою цапф до гаків мостового крана, який транспортує метал до місця розливання. Місткість ковша залежить від ємності агрегату для виробництва металу. Ківш вміщає від 5 до 250 т сталі, а в окремих випадках — 400-450 т.

Рідку сталь перед розливанням недовго витримують у ковші, щоб вирівняти її хімічний склад, а також з метою дегазувати і вилучити неметалеві включення, що впливають на поверхню.

Розливання сталі у виливниці

Виливниця є товстостінною чавунною (рідше сталевую) формою, призначеною для кристалізації в ній сталевих зливок. Поперечний перетин виливниці може мати вигляд квадрата, прямокутника, багатокутника або круга. Щоб полегшити виймання зливок, внутрішню поверхню виливниць зроблено з ухилом. Маса зливка — від 1 до 12 т, а іноді доходить до 300 т.

Є два способи розливання сталі у виливниці: зверху та сифонне знизу.

Під час розливання зверху сталлю з ковша 3 (рис. 2.6) наповнюють окремо кожен виливницю 2, що стоїть на чавунній плиті - піддоні 1.

Наповнивши виливницю, отвір ковша закривають стопором або шибєрним замком, після чого ківш підвозять мостовим краном до наступної виливниці. В процесі розливання метал розбризкується і бризки прилипають до стінок виливниці, а звідти потрапляють на поверхню зливка. Вони не зварюються зі зливком навіть під час прокатування, тому їх перед прокатуванням необхідно вилучати. Процес розливання зверху порівняно тривалий.

Під час сифонного розливання сталь із ковша 7 (рис. 2.7) потрапляє у чашу 6 ливника 5 і звідти по каналах піддона 1 — в усі виливниці 2 одночасно. Кількість виливниць може бути від 2 до 60. На кожну виливницю накладають приростову надставку 3 з футеровкою 4, яка сповільнює охолодження рідкого металу. Тому метал зберігається довше в рідкому стані й усадкова порожнина утворюється тільки у верхній частині зливка. Сифонним розливанням отримують дрібні та середні зливки. Втрати металу на ливникову систему досягають 2,5 %. Скорочується час розливання сталі на один зливок порівняно з розливанням зверху. Якість поверхні зливка краща через відсутність на його поверхні бризок металу.

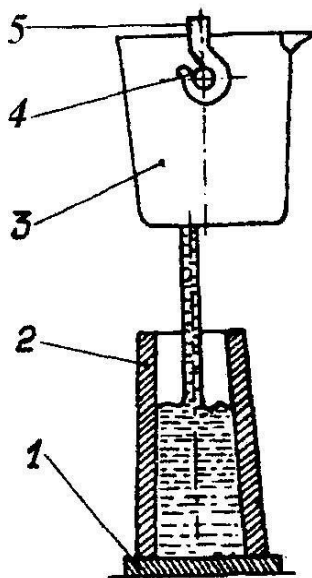


Рис. 2.6. Розливання сталі у виливницю зверху:

1 - піддон; 2 - виливниця; 3 - ківш для розливання сталі; 4 - цапфа; 5 - гак мостового крана

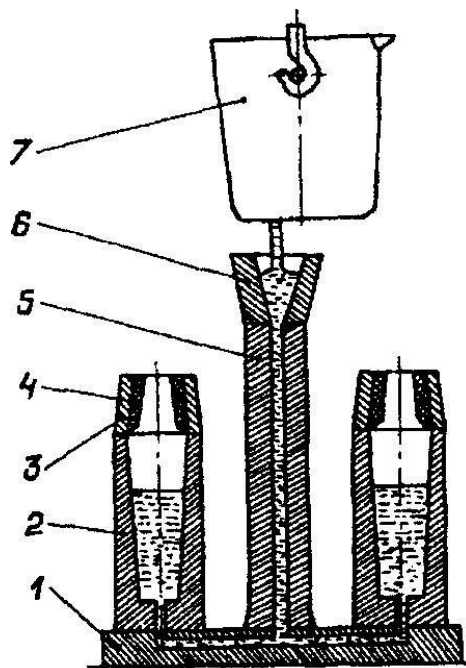


Рис. 2.7. Сифонне розливання сталі: 1 - піддон; 2 - виливниця; 3 - приростова надставка; 4 — футеровка надставки; 5 - центровий ливник; 6 — чаша; 7 — ківш для розливання сталі

2.2. Будова та дефекти сталевих зливок.

Вилита у виливницю сталь охолоджується нерівномірно. У місцях дотику рідкого металу з відносно холодною поверхнею виливниці він сильно переохолоджується, що спричинює виникнення безлічі центрів кристалізації. З цих центрів формується тонка поверхнева зона дрібних рівновісних кристалів 4 (рис. 2.8), близьких до глобулярної форми. У міру зниження температури сталі утворюється проміжок між стінкою виливниці та зливком, внаслідок чого охолодження помітно сповільнюється. Оскільки потік тепла назовні перпендикулярний до стінки виливниці, то створюються умови для росту стовпчастих кристалів 2 у напрямку, протилежному напрямкові відведення тепла.

Формування зони стовпчастих кристалів сповільнює охолодження в сердцевині зливка, де виникає зона великих неорієнтованих кристалів 3. Після повної кристалізації поверхневого шару зливка та подальшого поступового зменшення об'єму металу, що знаходиться всередині зливка, утворюється усадкова порожнина 5.

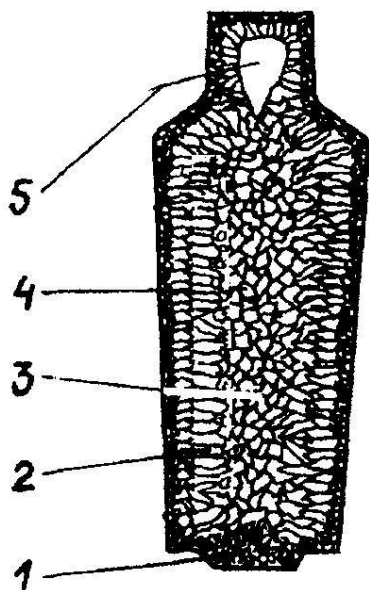


Рис. 2.8. Будова зливка зі спокійної сталі: 1 - дрібнокристалічна нижня частина зливка; 2 - стовпчасті кристали; 3 - центральна зона великих кристалів; 4 – дрібнокристалічна поверхнева зона; 5 - усадкова порожнина

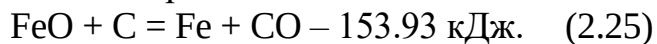
Дефектами сталевого зливка є усадкова порожнина, ліквация, газові бульбашки та неметалеві включення.

Усадкова порожнина — найістотніший дефект сталевого зливка. У зливку зі спокійної сталі її виводять у верхню його частину, яка називається прибутковою і формується в надставці 3 (рис. 2.8). Футеровка 4 захищає метал від швидкої втрати тепла, тому сталь тривалий час залишається рідкою й живить металом ту частину зливка, що закристалізувалась. У зв'язку з цим зменшується об'єм і глибина усадкової порожнини. Для посилення цього ефекту прибуткову частину зливка часто спеціально нагрівають різними способами. Оскільки під час обробки тиском усадкова порожнина не заварюється, прибуткову частину зливка відрізують і потім перетоплюють. З нею у відходи потрапляє 12-20 % металу.

Характерною особливістю зливків із киплячої сталі є відсутність прибуткової частини з усадковою порожниною, оскільки газові бульбашки CO , що виділяються в об'ємі зливка, компенсують усадку.

Ліквацию називається нерівномірний розподіл хімічних елементів у зливку. Розрізняють внутрікристалічну (в межах окремо взятого кристалу) та зональну (за висотою зливка) ліквацию. Найбільш схильні до ліквации сірка, фосфор і вуглець. У верхній частині зливка і в середній його частині міститься більше домішок — сірки, фосфору, вуглецю. Внутрікристалічну ліквацию в протилежність до зональної можна значною мірою усунути дифузійним відпалом. Зональну ліквацию виправити відпалом не вдається. Ліквация може істотно впливати на механічні властивості сталі. В киплячій сталі зональна ліквация більша, ніж в спокійній. Чим крупніше зливков, тим зональна ліквация сильніше виражена.

Газові бульбашки виділяються завдяки зменшенню розчинності газів у металі під час охолодження. Водночас бульбашки CO утворюються у киплячій сталі відповідно реакції



Під час прокатування газові бульбашки заварюються.

До неметалевих включень належать силікати, сульфіди та оксиди металів. Вони утворюються в процесі дезоксидації, а також потрапляють у метал із футеровок та іншими шляхами. Неметалеві включення завжди погіршують механічні властивості сталі.

2.3. Способи підвищення якості сталі.

Позапічне рафінування сталі дає змогу додатково підвищити якість сталі, зменшити вміст шкідливих домішок, неметалевих включень і т.д. Основними методами позапічного рафінування сталі в сучасній металургії є:

- обробка рідкого металу рідким шлаком у ковші;
- продувка сталі інертними газами;
- вакуумування.

Для позапічного рафінування рідким шлаком у ковші використовують двокомпонентний вапняково-глиноземний шлак, який містить 55% CaO і 45% Al₂O₃. Шлак виплавляють в електродуговій печі з футерівкою з графіту. Через порівняно невисоку температуру плавлення (1450°C) такий шлак має достатньо високу рухливість в рідкому стані, активний і має добру десульфуруючу здатність. Порцію шлаку з температурою біля 1650°C в кількості 5-6% від маси сталі заливають у розливний ковш, який подають до жолоба сталеплавильного агрегату й випускають сталь, нагріту до певної температури. Струмін рідкої сталі падає з великої висоти на шар шлаку в ковші, розбризкується на безліч крапель й інтенсивно перемішується зі шлаком. Поверхня взаємодії металу і шлаку значно зростає, що сприяє інтенсивному видаленню шкідливих домішок. При продуванні інертними газами з металу видаляють розчинені гази й неметалеві складові, а також вирівнюють температуру й хімічний склад сталі перед розлиттям. Звичайно для продувки використовують аргон під тиском 0,2- 0,5 МПа. Продувку виконують або через пористі вогнетривкі вставки в днищі ковша, або через футеровану фурму, яку опускають зверху в ковш з металом. При спливанні позирків аргону до них переходять водень і азот, розчинені в сталі, й таким чином видаляються з металу; в результаті вміст цих газів у сталі зменшується. Вакуумну позапічну обробку сталі проводять з метою видалення розчинених в ній газів і зменшення вмісту неметалевих складових. Вакуумування здійснюють, вміщуючи ковш або виливницю в вакуумну камеру. Азот і водень переходять в газову фазу, їх концентрація в металі падає.

Концентрація кисню в металі знижується внаслідок більш глибокого розкислення металу вуглецем в умовах вакууму.

РАФІНУВАЛЬНІ ПЕРЕПЛАВКИ

Електрошлакову переплавку (ЕШП) виконують так. Сталь для переплавки надходить в установку у вигляді електрода 6 (рис. 2.9, а). Розплавлений шлак 5 (суміш 60...65% CaF_2 , 25...30% Al_2O_3 , CaO та інші добавки) має великий електроопір, тому при проходженні електричного струму в ньому генерується теплота, достатня для розплавлення електрода. Краплі металу проходять крізь шар шлаку 5, збираються у ванні 4, тверднуть в охолоджуваній водою виливниці 2 й утворюють зливочок 3. При цьому кристалізація металу проходить послідовно в напрямку знизу вгору, що сприяє видаленню газових та неметалевих складових і тим самим створенню щільної й однорідної структури зливка. У кінці переплавки піддон 1 опускають і затверділий зливочок витягують із виливниці. Сучасні установки ЕШП дозволяють виготовляти зливки різного перерізу масою до 40 т.

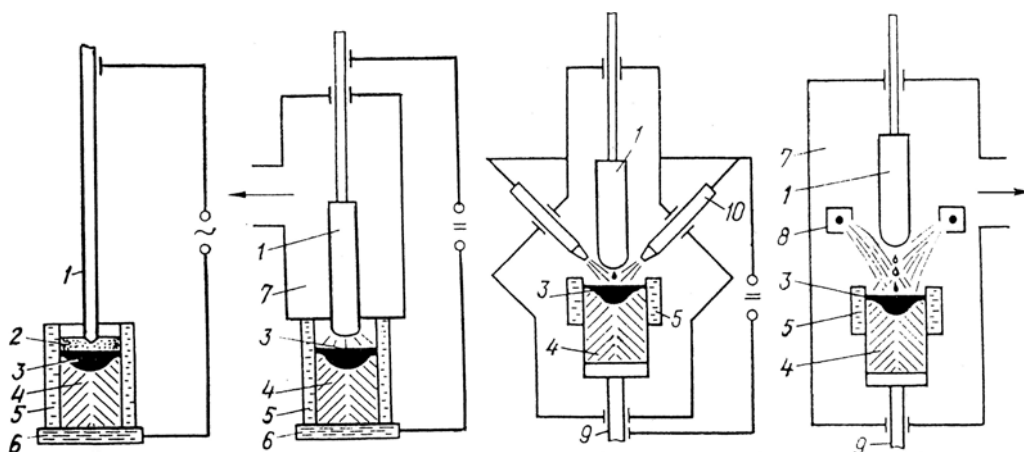


Рис.2.9. Схема рафінувальних переплавок:

- а - електрошлакова переплавка (ЕШП); б - вакуумно-дугова переплавка (ВДП); в - плазово-дугова переплавка (ПДП); г - електронно-променева переплавка (ЕПП); 1 – заготовка (електрод); 2 – розплавлений шлак; 3 – металева ванна; 4 – зливочок; 5 – кристалізатор; 6 – охолоджуваний водою піддон; 7 – вакуумна камера; 8 – електронна гармата; 9 – пристрій для витягання зливка; 10 – плазмотрон

Вакуумно-дугову переплавку (ВДП) проводять у вакуумних дугових печах з електродом 6, що переплавляється (рис. 2.9, б). При цьому зливочок 3 утворюється, як і при ЕШП, в охолодженій водою виливниці 2. У корпусі 7 печі підтримується вакуум близько 1,5 Па, що сприяє доброму очищенню металу від газів, а направлена кристалізація забезпечує видалення

неметалевих складових, утворення щільної структури й виключає утворення усадочної раковини. Місткість печей для ВДП досягає 60 т.

Плазмово-дугову переплавку (ПДП) застосовують для добування сталі й сплавів особливо високої чистоти. Джерелом теплоти в установці є плазмова дуга з температурою 10000 - 15000°C (рис. 2.9, в). Вихідний матеріал для виготовлення зливків може надходити у вигляді електрода, інших подрібнених відходів металообробної промисловості. Метал плавиться й твердне в охолоджуваному водою кристалізаторі, а зливочок витягується вниз. Завдяки високій температурі з металу інтенсивно випаровується сірка й фосфор, а також видаляються неметалеві складові.

Електронно-променеву переплавку (ЕПП) здійснюють за рахунок теплоти, яка утворюється в результаті опромінення металу потоком електронів.

Переплавка проводиться у вакуумних установках при залишковому тиску 0,001 Па (рис. 2.9, г). Глибокий вакуум і сприятливі умови тверднення забезпечують одержання особливо чистого металу. Тому ЕПП застосовують для добування сталей особливо високої чистоти, сплавів зі спеціальними властивостями, а також чистих тугоплавких металів (W, Mo, Nb та ін.)

2.4. Пряме відновлення заліза.

У ряді країн в промислових масштабах залізо виробляють безпосередньо з руди за різними технологічними схемами.

Технологічну схему процесу бездоменного виробництва сталі показано на рис. 2.10. Сировиною для одержання заліза є концентрат з 70 % Fe, що подається трубопроводом 2 із збагачувального комбінату 1 у вигляді пульпи (суміші з водою). Після відстоювання пульпи осад концентрату зневоднюється за допомогою дискових вакуум-фільтрів 3, змішується в барабаних змішувачах 4 із зв'язкою (бентонітом) і піддається гранулюванню в установці 5. Одержані обкатиші обпалюють у печі 6 і подають конвеєром у шахтну піч 8 прямого відновлення заліза.

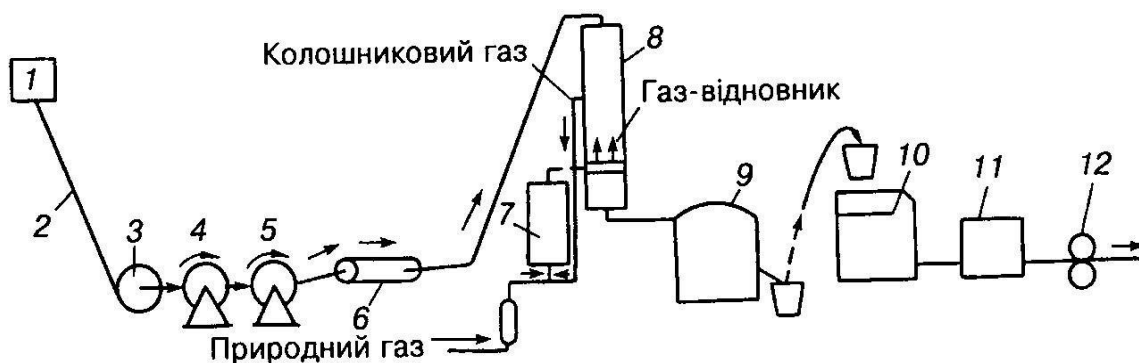


Рис. 2.10. Схема процесу бездоменного виробництва сталі

Знизу в піч подається газ-відновник з температурою 1000 °С під тиском 0,15 Па, який утворюється в реформері 7 при взаємодії природного і колошникового газів: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$. У результаті реакції відновлення масова частка заліза в обкатишах підвищується до 95 %. Далі обкатиші надходять у електропіч 9 місткістю 150 т, плавляться, метал очищається від домішок, до нього додають потрібні концентрати і отримують леговану сталь, яка розливається на МБЛЗ 10. Зливки підігрівають у печі 11 і прокатують на стані 12. Кількість сталі виплавленої цим методом у світі поки що становить близько 2 %.

Більш раціональним є одностадійний високотемпературний процес прямого відновлення рідкого заліза при температурі 1350 - 1650°С. Цей процес здійснюється в протитечійній шахтній печі (рис. 2.11). Руда надходить у піч через завантажувальний пристрій 3. Крізь отвори 4 подається кисень, який забезпечує допалювання СО у верхній частині печі. Кільцевими трубами 2 крізь отвори 5 подається відновлювальний газ. Відновлене залізо плавиться пальниками 1 і зливається крізь випускні отвори (фурми) 6. Подальша переробка заліза в сталь може бути такою самою, як і при низькотемпературному процесі.

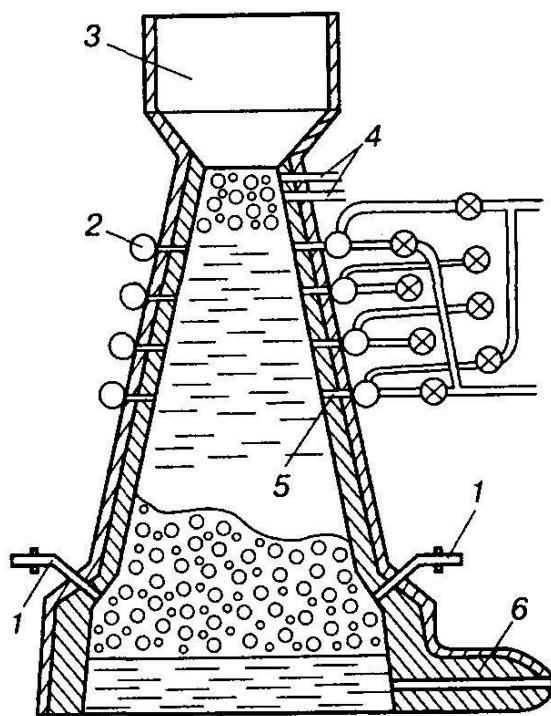
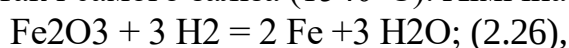
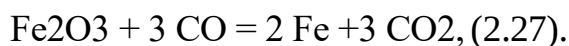


Рис. 2.11. Схема високотемпературного процесу отримання заліза

Основна ідея запозичена з «технології» наших далеких предків, які відновлювали залізо з руд, не розплавляючи їх. Відновлення відбувалося у твердому стані. Річ у тім, що в оксидах заліза (Fe_2O_3 і Fe_3O_4) залізо здатне відновлюватися воднем (H_2), а також, як і в домні, монооксидом вуглецю (CO) при температурах 750 - 800°С, що значно нижче від температури плавлення як руди, так і самого заліза (1540°С). Хімічна суть цього процесу наступна:





Як результат отримуємо залізну спечену губчасту масу — «губчасте залізо», водяну пару і діоксид вуглецю та ніяких шкідливих речовин. Принципова схема наведена на рис. 3.15. Така технологія була реалізована на Оскольському електрометалургійному комбінаті (недалеко від Харкова) ще у 80-х роках. Руду для цього комбінату добувають на Лебединському родовищі залізної руди і після глибокого збагачення подають безпосередньо на металургійний комбінат закритим гідропроводом. Після відфільтровування концентрату (близько 100% оксиду заліза) його формують у гранули — «обкатиші», спікають і подають до шахтних печей, куди надходять також відновлювачі CO і H₂, які одержують конверсією на нікелевому каталізаторі природного газу метану:



У результаті процесів відновлення за наведеними вище схемами «окатиші» із оксиду заліза Fe₂O₃ перетворюються на металізовані (Fe — до 95 %), які в електропечах переплавляються у високоякісну сталь.

Переваги процесу «прямого відновлення» перед доменним:

Відсутнє дороге та надзвичайно шкідливе виробництво коксу; майже відсутні характерні для коксового і доменного виробництва шкідливі викиди сполук сірки, азоту, канцерогенних органічних сполук, пилу і шлаку.

Немає потреби в енергомістких і шкідливих агломераційних і конвертерних цехах.

Транспортування сировини здійснюється гідротранспортом, конвеєрами і транспортерами, що значно зменшує забруднення навколишнього середовища пилом порівняно з традиційними видами транспорту, які потребують перевантажування матеріалів.

Значне зменшення витрат води і забруднення річок і водоймищ.

Реальні перспективи можливості вдосконалення процесу відновлення. За поліпшення енергетичної ситуації в народному господарстві цілком можливо, що буде економічно доцільним одержання відновника (H₂) з допомогою електролізу води. У процесі відновлювання водень, відбираючи кисень від оксиду, зв'язується у воду, яка знову вводиться в цикл (на електроліз). Отже, формується справді екологічно чисте, практичне маловідходне виробництво (рис. 2.12).

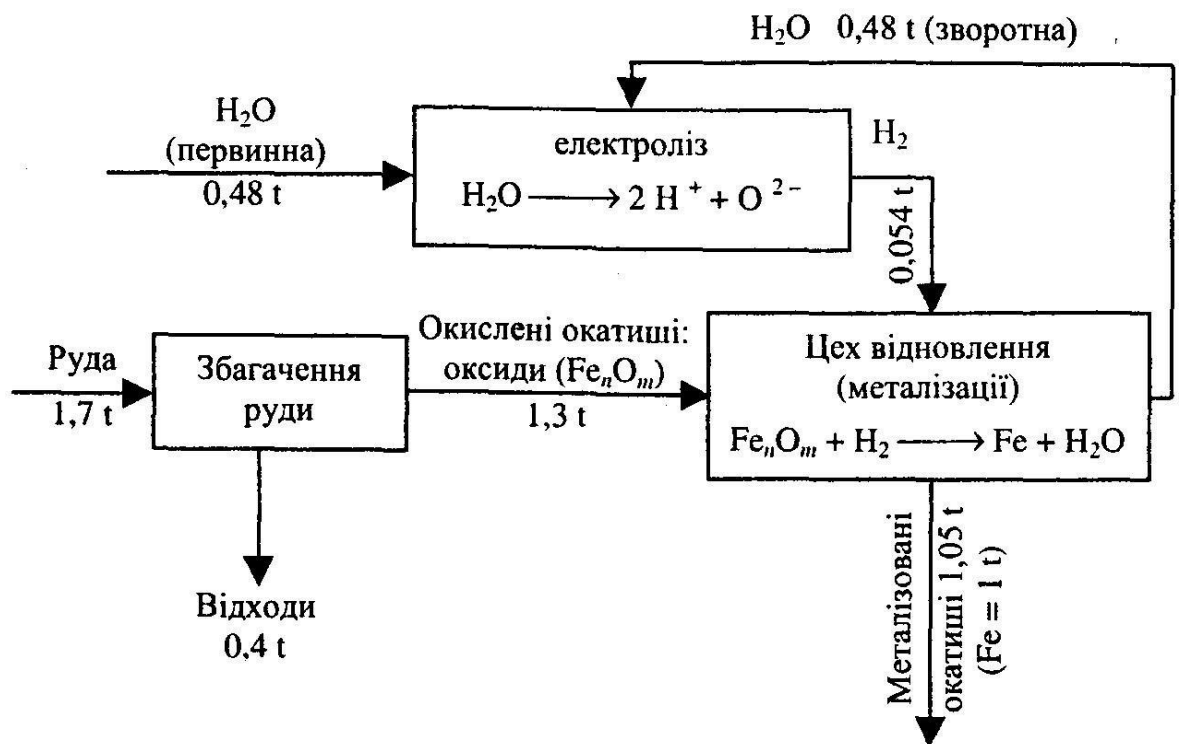


Рис. 2.12. Матеріальні потоки прямого відновлення заліза.

Головний недолік процесу прямого відновлення заліза полягає у тому, що в теперішній час продуктивність процесу у 4 рази менша ніж при класичній схемі, але у майбутньому цей показник буде зменшуватися і виробництво сталі буде відбуватися в основному за допомогою прямого відновлення заліза.

Опрацювати і законспектувати питання: 1. Поняття про бесемерівський спосіб виробництва сталі; електродуговий та індукційний 2. Пряме відновлення заліза

Питання для самоконтролю

1. Які вихідні матеріали потрібні для виробництва сталі?
2. Призначення і види позапічної обробки сталі та рафінувальних переплавок.
3. Способи розливання сталі.
4. Класифікація сталей в залежності від ступеню розкислення.
5. Які є сучасні способи одержання сталі?

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 12-26;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 27-41.

Лекція 3 ВИРОБНИЦТВО КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

План

1. Виробництво міді. Мідні руди і підготовка їх до плавлення. Сутність процесу виробництва міді.
2. Алюмінієві руди і підготовка їх до плавлення. Сутність процесу виробництва алюмінію.

1. Виробництво міді. Мідні руди і підготовка їх до плавлення. Сутність процесу виробництва міді.

Виробництво міді. Масова частка міді в земній корі 0,01 %. Мідні руди містять 1-5% міді. Мідь у них міститься у вигляді сірчистих сполук CuS , Cu_2S (халькозин має мідний блиск) або CuFeS_2 , CuS FeS (мідний колчедан), оксидів CuO і Cu_2O (куприт), карбонатів. Поряд з міддю ці руди часто містять нікель, цинк, свинець, золото, срібло та інші метали.

Головні поклади мідних руд знаходяться на південному Уралі, в Закавказзі, Казахстані, Узбекистані на Таймирі, а також в США, Чилі, Конго та багатьох інших країнах.

Суть процесу отримання міді із руди

Близько 90 % первинної міді одержують пірометалургійним способом; близько 10 % — гідрометалургійним.

Гідрометалургійний спосіб полягає у вилученні міді із руди шляхом її вилуговування (наприклад, слабкими розчинами сірчаної кислоти) і подальшого виділення металевої міді з розчину. Цей спосіб, який використовують для переробки бідних окислених руд, не отримав широкого розповсюдження в вітчизняній промисловості.

Отримують мідь із сульфідних руд у основному пірометалургійним способом. Процес одержання міді із руди включає:

- збагачення і випалення руди;
- виплавляння напівпродукту - штейну, з якого одержують чорнову мідь;
- рафінування - очищення від домішок чорнової міді.

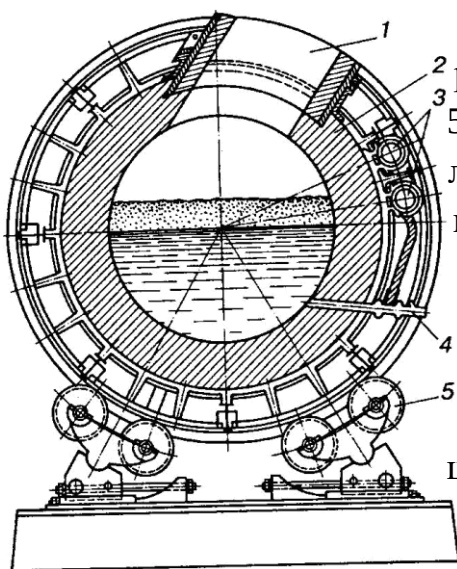
Основні технологічні процеси та агрегати для отримання міді.

Збагачують мідні руди методом флотації (для отримання концентрату, що містить 10 - 35 % мідь), заснованим на різному змочуванні водою сполук міді та пустої породи. У флотаційній машині подрібнена руда, вода та флотаційні

реагенти (наприклад, смерекова олія) утворюють пульпу. Флотаційні реагенти адсорбуються на частинках руди у вигляді погано змочуваної водою плівки. При продуванні пульпи бульбашки повітря концентруються на поверхні цих частинок і піднімають їх наверх, утворюючи шар піни, а змочувана водою пуста порода осідає на дно ванни. Після фільтрації і сушіння зібраної піни утворюється концентрат з масовою часткою міді 15-35 %. Флотація заснована на різному змочуванні водою частинок, що містять метал і частинок пустої породи. У ванну флотаційної машини (рис. 5.2) подають пульпу — суспензію з води, тонко подрібненої руди (0,05 - 0,5 мм) і спеціальних реагентів, утворюючих на поверхні металу утримуючих частинок плівки, не змочувані водою. В результаті енергійного перемішування і аерації навколо цих частинок виникають пухирці повітря. Вони спливають, витягуючи з собою частинки, що містять метал і утворюють на поверхні ванни шар піни. Частинки пустої породи, змочувані водою, не спливають і осідають на дно ванни.

З піни фільтрують частинки руди, сушать їх і одержують рудний концентрат, що містить 10—35 % мідь. При обробці комплексних руд застосовують селективну флотацію, послідовно виділяючи частинки, що містять різні метали. Для цього підбирають відповідні флотаційні реагенти.

Важливою операцією у одержанні міді з сульфідних руд є випалювання руди або концентрату для видалення надлишку сірки (перетворення її під дією кисню повітря в сірчистий ангідрид SO_2) та окислення сульфідів і заліза. За рахунок цієї реакції піч нагрівається до температури 600-700 °С. Випалюють концентрат при температурах 750-850 °С в повітряній атмосфері.



Чорнова мідь утворюється при продуванні розплавленого штейну повітрям у конвертері (рис. 5.5) - горизонтально розташований посудині з листової сталі завдовжки 5 - 10 м і діаметром 3-4 м, футерованій магнезитовою цеглою.

Схема конвертера для одержання чорнової міді

Виплавлену мідь називають чорною тому, що вона містить до 1,5 % домішок. Для очищення домішок чорнову мідь піддають вогневому і електричному рафінуванню.

Вогневе рафінування полягає в окисленні домішок у відбивних печах при продуванні чорнової міді повітрям.

Після вогневого рафінування чистота міді досягає 99,7 %. Із неї відливають чушки для одержання сплавів або плити для електролітичного рафінування.

Електролітичне рафінування застосовують для одержання міді чистотою 99,95 %. Електроліз проводять у спеціальних ваннах.

Вихід шлаків на 1 т виплавленої міді становить 10-30 т.

2. Алюмінієві руди і підготовка їх до плавлення. Сутність процесу виробництва алюмінію.

Алюміній - найпоширеніший метал у земній корі. Його масова частка становить 8,8 %. Алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, апатити та алуніти. Алюміній міститься в них у вигляді глинозему Al_2O_3 , його гідратів $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ та інших сполук. Уперше отримав алюміній в чистому вигляді датський учений Ганс-Крістіан Ерстед у 1825 р.

Основною промисловою сировиною для одержання алюмінію є боксити. До їх складу може входити до 60 % Al_2O_3 ; 13 % SiO_2 ; 23 % Fe_2O_3 ; 10 % TiO_2 . Алюміній у них міститься у вигляді гідроксидів $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. Первинний алюміній добувають із глинозему Al_2O_3 електролізом, а вторинний - із металобрухту.

Сумарне виробництво алюмінію (первинного і вторинного) у 1990 р. було понад 21 млн. т. Найбільшими виробниками первинного алюмінію є США, Канада, Австралія, Бразилія і КНР. Україна виробляє щорічно близько 0,1 млн. т первинного алюмінію. В електротехніці алюміній йде на виготовлення кабелів, шинопроводів, конденсаторів.

Виробництво алюмінію складається з двох процесів: виділення глинозему з руди і його електроліз.

Глинозем одержують з бокситів в основному лужним способом. Для цього подрібнений боксит піддають вилуговуванню в автоклавах при температурі 100-250 °С у концентрованому розчині лугу NaOH.

Електроліз глинозему. Утворений глинозем розчиняють у кріоліті - фториді натрію та алюмінію і піддають електролізу в електролізерах. За конструкцією електролізери бувають різні. Найпоширеніші електролізери з самообпалювальними анодами

Рідкий алюміній раз в 1-2 доби зливають за допомогою сифона або вакуум-ковша. Продуктивність електролізера - близько 350 кг алюмінію на добу. Щоб добути 1 т алюмінію, треба витратити 15- 17 тис. кВт-год електроенергії.

Рафінування алюмінію полягає в продуванні рідкого металу хлором протягом 10-15 хв. Пароподібний хлорид алюмінію $AlCl_3$, що утворюється,

адсорбується на поверхні неметалевих домішок, які спливають у вигляді шлаку. Хлор також сприяє видаленню розчинених газів (O_2 , CO_2).

Після рафінування і відстоювання протягом 30-45 хв. алюміній досягає чистоти 99,85 %. При більш високих вимогах до алюмінію щодо чистоти, його піддають електролітичному рафінуванню. Такий алюміній має чистоту до 99,99 %.

Щоб отримати 1 т алюмінію, потрібно 16 600 кВт год електроенергії; 1,9 т глинозему та 5,8 т сировини (бокситу) із вмістом 50 % $Al(OH)_3$.

Опрацювати і законспектувати питання: Поняття про виробництво титану; магнію

Питання для самоконтролю

1. Які вихідні матеріали потрібні для виробництва сталі?
2. Призначення і види позапічної обробки сталі та рафінувальних переплавок.
3. Способи розливання сталі.
4. Класифікація сталей в залежності від ступеню розкислення.
5. Які є сучасні способи одержання сталі?

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 12-26;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 27-41.

Лекція 4

БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

План

1. Класифікація металів
2. Атомно-кристалічна будова металів
3. Алотропічність в металах
4. Анізотропність та її значення
5. Криві охолодження та нагрівання чистого металу та аморфного тіла.
6. Властивості металів: фізичні, хімічні, механічні і технологічні.

1. Класифікація металів

Матеріалознавство – наука, яка вивчає залежність властивостей металів і сплавів (та неметалів) від їх внутрішньої будови (структури) та хімічного складу.

Метали – найбільш розповсюджені у природі елементи. Це хімічно прості речовини, які мають особливий (металевий) блиск, високу пластичність, електро- й теплопровідність. У техніці поняття „метал” означає речовину, що має вказані характерні властивості. Цей термін також використовують при визначенні металевих сплавів. За визначенням М.В. Ломоносова, „метали – суть світлі тіла, які кувати можна”.

Метали – це елементи, атоми яких складаються з позитивно зарядженого ядра, навколо якого на різній відстані обертаються негативно заряджені електрони, утворюючи певні електронні оболонки. Зовнішня електронна оболонка металів містить невелику кількість електронів (1..2).

Властивості металів зумовлює їх атомна будова і кристалічна структура. Залежно від будови і властивостей метали об’єднують у різні групи. За загальною і найбільш поширеною класифікацією метали поділяють на дві групи: чорні і кольорові.

Чорні метали загалом мають темно-сірий колір, більш високі температури плавлення, значну твердість і щільність, здатні до поліморфних перетворень (крім Ni). Серед них розрізняють заліз- ні - Fe, Co, Ni, Mn; тугоплавкі – температура плавлення яких ви- ща за температуру плавлення заліза (понад 1539 °C) - W, Mo, Re, Nb, Ti, V, Cr; уранові – актиніди; рідкісноземельні (РЗМ) - La, Ce, Nd, Pr та ін. У техніці використовується понад 90% чорних металів.

До кольорових відносять решту металів. Характерним для них є забарвлення (червоне, жовте, біле), висока пластичність, низька твердість, відносно низька температура плавлення, відсутність поліморфізму. Типовим представником групи кольорових металів є мідь і сплави на її основі (бронза, латунь). Серед кольорових металів розрізняють легкі - Be, Mg, Al; благородні - Ag, Au, Pt та метали платинової групи - Pd, Ir, Os, Ru, Rh; „напівблагородні” - Cu; легкоплавкі - Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Bi, Tl, Sb, а також елементи з послабленими металевими властивостями - Ga, Ge.

Кольорові метали додають до складу легированих сталей і сплавів для поліпшення їхньої структури та властивостей, а також використовують для виготовлення різноманітних виробів.

2. Атомно-кристалічна будова металів

Під атомно-кристалічною структурою розуміють взаємне розташування атомів (іонів) у реальному кристалі. Залежно від будови (розташування атомів) тверді тіла поділяють на аморфні і кристалічні. Аморфні характеризуються хаотичним розташуванням атомів. Тому, зберігаючи постійну форму, вони не мають певних (критичних) температур плавлення та кристалізації. Залежно від зовнішніх умов їхні властивості змінюються поступово. Аморфний стан металів реалізується за умов інтенсивного охолодження під час кристалізації.

За звичайних умов тверднення метали у твердому стані мають кристалічну будову. Для кристалічного стану характерно, перш за все, певне закономірне розташування атомів у просторі. Кожен атом (іон) у кристалі оточений певною кількістю найближчих атомів, розташованих на однаковій відстані від нього. Розташування атомів у кристалі зручно зображувати у вигляді просторових схем – елементарних кристалічних комірок. Під цим розуміється найменший комплекс атомів, що дозволяє відтворити при багатократному повторенні просторову кристалічну ґратку (рис. 1.1).

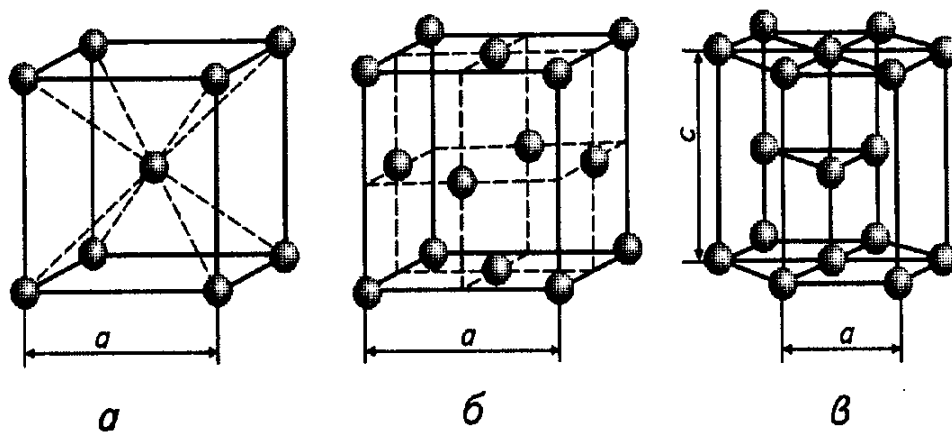


Рисунок 1.1 Елементарні кристалічні комірки металів:

а - об'ємноцентрована кубічна (ОЦК); б – гранецентрована кубічна (ГЦК); в – гексагональна щільного пакування (ГЦП)

Просторове розташування атомів у кристалічному тілі залежить від природи металу, характеру міжатомних зв'язків, температури, тиску.

Серед промислових металів найпоширенішим є утворення трьох основних типів кристалічних ґраток:

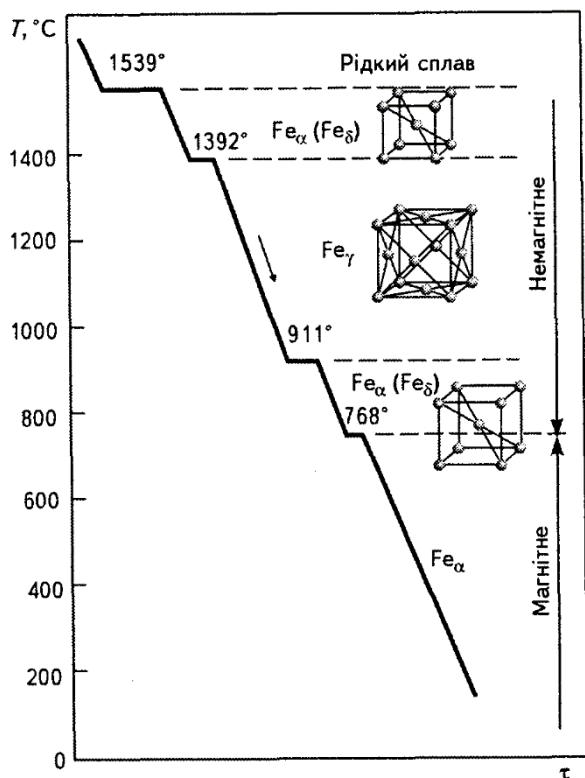
об'ємноцентровану кубічну ґратку (елементарна комірка має 9 атомів) мають К, Na, Li, Ta, W, V, Cr, Nb, Ba, Fe α , Ti β та інші метали;

гранецентровану кубічну ґратку (елементарна комірка має 14 атомів) мають Ag, Au, Pt, Pd, Ir, Cu, Ca α та ін.;

гексагональну ґратку щільного пакування (елементарна комірка має 17 атомів) мають Mg, Cd, Re, Os, Ru, Zn, Be, Ti α , Ca β та інші метали.

3. Алотропічність в металах

Алотропія металів або поліморфізм – це властивість перебудувати решітку при певних температурах у процесі нагрівання або охолодження.



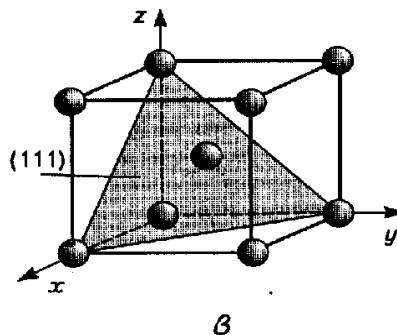
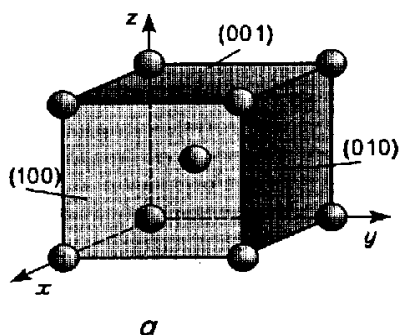
Залежно від температури та тиску деякі метали можуть змінювати будову (тип) кристалічної ґратки, тобто існувати у різних кристалічних формах – поліморфних модифікаціях. Поліморфну модифікацію, стійку при найнижчій температурі, позначають літерою α , при більш високій – β , далі – γ тощо. Перехід від однієї модифікації до іншої називають поліморфним перетворенням. Кожна з модифікацій має свій температурний інтервал існування. За умов рівноваги поліморфне перетворення відбувається при постійній температурі і супроводжується виділенням тепла,

якщо перетворення йде при охолодженні, або поглинанням тепла – в разі нагрівання.

4. Анізотропність та її значення

Із спостережень за розташуванням атомів у різних площинах кристалічної ґратки видно, що насиченість цих площин атомами неоднакова. Також різні й відстані між атомами та сили міжатомного зв'язку.

Це зумовлює різний рівень фізико-механічних властивостей окремих кристалів (монокристалів) у різних площинах і напрямках кристалічної ґратки – так звану анізотропію.



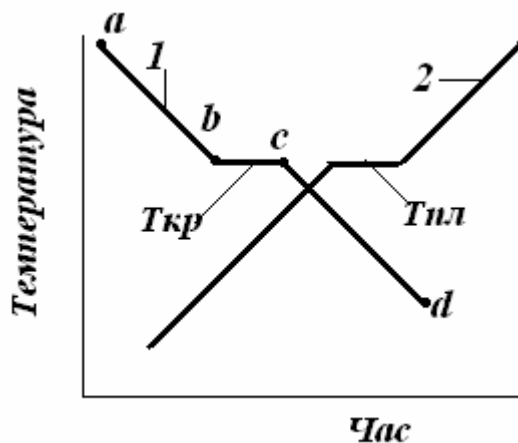
Це характерна особливість кристалічного тіла на відміну від аморфних з неупорядкованою насиченістю атомами у різних напрямках, тобто ізотропних.

Метали, які затверділи у звичайних умовах, складаються не з одного кристалу, а з безлічі окремих кристалів, по-різному орієнтованих один до одного, тому властивості литого металу приблизно однакові у всіх напрямках, це явище називають квазіізотропією.

5. Криві охолодження та нагрівання чистого металу та аморфного тіла.

Кристалізацією називають процес утворення кристалічних решіток при переході речовини з рідкого стану у твердий. Процес кристалізації відбувається при певних температурах і зумовлюється тим, що при твердненні рідкий метал безперервно втрачає вільну енергію.

Кристалізацією називається перехід металу з рідкого стану в твердий (кристалічний). Якщо неперервно вимірювати температуру металу з рідкого стану до кімнатної температури (20о С) і фіксувати її через проміжки часу з можливо меншим інтервалом (≈ 10 с) а потім нанести ці дані на графік, побудований в координатах Температура – Час, то отримаємо так звану криву охолодження (рис.2.1, крива 1). Горизонтальна площадка на цій кривій, яка свідчить про те, що з часом температура металу не змінюється, і буде температурою кристалізації. При нагрівнні металу з кімнатної температури до рідкого стану (рис.1.2, крива 2) отримаємо криву нагрівання, на якій також буде температурна зупинка. Ця температура буде температурою плавлення. Дільниця a-b на кривій охолодження 1- це падіння температури в рідкому металі, дільниця b-c – це температура кристалізації металу. Від початку до кінця кристалізації ця температура не змінюється внаслідок того, що виділяється так звана теплота кристалізації, яка і підтримує сталу температуру під час кристалізації. Дільниця c-d - це падіння температури твердого металу при його охолодженні до кімнатної температури.



6. Властивості металів: фізичні, хімічні, механічні і технологічні.

Властивості матеріалів в основному поділяються на фізичні, механічні, хімічні, технологічні та експлуатаційні (спеціальні). Властивості металів і сплавів залежать від їх складу та стану. До мішки, які є в металу або в сплаві, значно змінюють його властивості

До фізичних властивостей відносять: теплові властивості (теплоємність, теплопровідність, температуру плавлення, теплове розширення), електричну провідність, магнітну проникність, густину, колір тощо.

Під механічними властивостями розуміють здатність металу чинити опір дії зовнішніх сил. При виборі матеріалу для виготовлення деталей машин необхідно перш за все враховувати його механічні властивості: міцність, пружність, жорсткість, пластичність, ударну в'язкість, твердість та витривалість та інші.

До хімічних властивостей відноситься хімічна стійкість проти дії зовнішнього середовища (кислот, лугів, прісної та морської води, вологого повітря, газів, високої температури тощо). Не всі метали однаково стійкі проти корозії. Так, свинець дуже стійкий проти дії деяких кислот та лугів, а залізо і мідь такими властивостями не володіють. Золото і платина мають високу хімічну стійкість у воді, а залізо, мідь, магній у воді руйнуються. Для досягнення високої хімічної стійкості металічних деталей машин виробляють спеціальні нержавіючі кислотостійкі сталі, а також виконують різні захисні покриття.

Технологічні властивості характеризують здатність металу піддаватись різним методам обробки – різанню (точіння, фрезерування, шліфування та інші), обробці тиском (прокатування, штампування, пресування, волочіння, кування), зварюванню, литтю (рідкотекучість, усадка).

Експлуатаційні властивості визначають залежно від умов роботи спеціальними випробуваннями. Однією з найважливіших експлуатаційних властивостей є зносостійкість. Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зносу, тобто поступовому зменшенню розмірів і зміні форми тіла внаслідок руйнування поверхневого шару виробу при терті. Випробування металів на знос проводять у лабораторних і експлуатаційних умовах шляхом вимірювання розмірів, зважування зразків та іншими методами. До експлуатаційних властивостей належать також холодостійкість, жароміцність, антифрикційність, поведінка металів при підвищених її знижених температурах і тиску. Крім того, це властивості, яких метали і сплави звичайно не мають, але набувають їх уведенням спеціальних домішок при виплавці.

Опрацювати і законспектувати питання:

1. Випробування на твердість за методом Брінелля, Роквелла і Віккерса.
2. Основні відомості про випробування

Питання для самоконтролю

1. На які групи можна поділити метали?
2. Що являє собою наука Матеріалознавство?
3. Які тіла називають аморфними?
4. Що називають алотропією?
5. Що називають анізотропією?
6. Що таке кристалізація металу?
7. Які механічні властивості металів вам відомі?

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів" , ст. 33-37;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 59-64.

Лекція 5 ОСНОВИ ТЕОРІЇ СПЛАВІВ

План

1. Поняття про сплави, фази, компоненти.
2. Тверді розчини (проникнення і заміщення), хімічні сполуки, механічні суміші.
3. Криві охолодження сплавів.

1. Поняття про сплави, фази, компоненти.

Під сплавом розуміють речовину, яку отримують сплавленням двох або більш елементів. Можливі інші способи виготовлення сплавів: спікання, електроліз, випаровування, возгонка. В цьому випадку речовини називаються псевдосплавами.

Сплав, виготовлений переважно із металевих елементів, який має металеві властивості, називається металевим сплавом. Сплави володіють більш різноманітним комплексом властивостей, які змінюються в залежності від складу та методу обробки. Порівняно із чистими металами сплави мають більш цінний комплекс механічних, фізичних і технологічних властивостей.

Система – група тіл (сукупність металів, або металевих сплавів), які виділяються для спостереження та вивчення.

В металознавстві системами являються метали та металеві сплави. Чистий метал є простою однокомпонентною системою, сплав – складною системою, яка створюється із двох або більше компонентів.

Систему називають рівноважною, якщо перетворення в ній при нагріванні та охолодженні відбуваються зворотно, а рівноважні умови досягаються за незначних ступенів перегріву чи переохолодження.

Компоненти (K) – хімічні компоненти, які утворюють систему (сплав). В якості компонентів виступають чисті речовини і хімічні сполуки, як що вони не дисоціюють на складові частини у дослідному інтервалі температур.

Фаза (Φ) – однорідна частина системи, яка відокремлена від інших частин системи поверхнею розподілу, при переході крізь яку структура та властивості різко змінюються. При рівновазі зберігається й кількість співіснуючих фаз.

2. Тверді розчини (проникнення і заміщення), хімічні сполуки, механічні суміші.

Будова металічного сплаву залежить від того, у яку взаємодію вступають компоненти, що утворюють сплав. Майже усі метали у рідкому стані розчинюються один у одному в будь яких співвідношеннях. При утворенні сплавів в процесі їх кристалізації можлива різна взаємодія компонентів.

Під час кристалізації залежно від фізико-хімічних властивостей компонентів їх атоми взаємодіють. Внаслідок такої взаємодії формуються структури у вигляді:

- механічної суміші компонентів;
- хімічної сполуки;
- твердого розчину.

Сплави механічні суміші утворюються, коли компоненти не здатні до взаємного розчинення у твердому стані і не вступають у хімічну реакцію зі створенням з'єднання.

Створюються між елементами, які значно відрізняються за будовою та властивостями, коли сила взаємодії між однорідними атомами більша ніж між різнорідними. Сплав складається із кристалів компонентів, які в нього входять (рис. 4.1). В сплавах зберігаються кристалічні ґратки компонентів.

Механічну суміш, яку утворюють два компоненти, що нездатні взаєморозчинюватися або утворювати хімічну сполуку при кристалізації із рідкого стану, називають евтектикою. Слід очікувати, що властивості цих

сплавів будуть усередненими, виходячи з рівня властивостей компонентів та їхнього кількісного вмісту у сплаві.

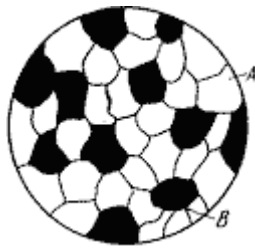


Рисунок 4.1. Схема мікроструктури механічної суміші

Утворення хімічної сполуки при кристалізації зумовлено здатністю різнорідних атомів (які значною мірою відрізняються за будовою та властивостями) об'єднуватись у певні пропорції, утворюючи новий тип кристалічної ґратки, що відрізняється від ґраток компонентів сплаву.

Особливості цих сплавів:

- постійність складу, тобто сплав утворюється при певному співвідношенні компонентів, хімічне з'єднання позначається $A_n B_m$;
- утворюється специфічна кристалічна ґратка з правильним впорядкованим розташуванням атомів, яка відрізняється від ґраток елементів, що створюють хімічне з'єднання (рис. 4.2).
- яскраво визначені індивідуальні властивості.
- постійність температури кристалізації, як у чистих компонентів

Сплави тверді розчини – це тверді фази, у яких співвідношення між компонентами можуть змінюватися. Є кристалічними речовинами.

Характерною особливістю твердих розчинів є: наявність в їх кристалічній ґратці різнорідних атомів, при збереженні типу ґратки розчинника.

Твердий розчин складається з однорідних зерен (рис. 4.3).

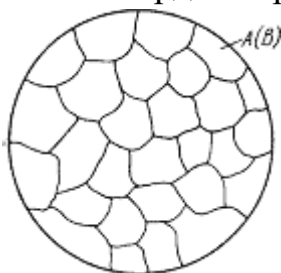


Рисунок 4.3. Схема мікроструктури твердого розчину

Класифікація сплавів твердих розчинів.

За ступенем розчинності компонентів розрізняють тверді розчини:

- з необмеженою розчинністю компонентів;
- обмеженою розчинністю компонентів.

При необмеженій розчинності компонентів кристалічна ґратка компонента розчинника по мірі збільшення концентрації розчиненого компонента повільно переходить у кристалічну ґратку розчиненого компонента.

Для утворення розчинів з необмеженою розчинністю необхідні:

- ізоморфність (однотипність) кристалічних ґраток компонентів;
- різниця розмірів атомних радіусів компонентів, не повинна відрізнятися більш ніж на 8...15 %.
- близькість фізико-хімічних властивостей подібних за будовою валентних оболонок атомів.

При обмеженій розчинності компонентів можлива концентрація розчиненої речовини до певної межі. При подальшому збільшенні концентрації однорідний твердий розчин розпадається з утворенням двофазної суміші.

За характером розподілення атомів розчиненої речовини у кристалічній ґратці розчинника розрізняють тверді розчини:

- заміщення;
- проникнення;
- вираховування.

У розчинах заміщення у кристалічній ґратки розчинника частина його атомів заміщується атомами розчиненого елемента (рис. 4.4 а). Заміщення відбувається у будь яких місцях, тому такі розчини називають неупорядкованими твердими розчинами.

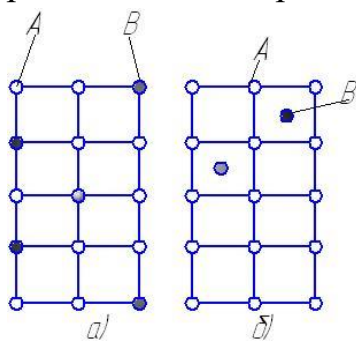


Рисунок 4.4. Кристалічна ґратка твердих розчинів заміщення (а), проникнення (б)

При утворенні розчинів заміщення періоди ґратки змінюються в залежності від різниці атомних діаметрів розчиненого елемента розчинника. Як що атом розчиненого елемента більший за атом розчинника, то елементарні комірки збільшуються, як що менші – скорочуються. У першому наближенні ця зміна пропорційна концентрації розчиненого компонента. Зміна параметрів ґратки при утворенні твердих розчинів – важливий момент, який визначає

зміну властивостей. Зменшення параметру призводить до більшого зміцнення, ніж його збільшення.

Тверді розчини проникнення утворюються втіленням атомів розчиненого компоненту у пори кристалічної ґратки розчинника (рис. 4.4 б). Утворення таких розчинів, можливе, як що атоми розчиненого елементу мають невеликі розміри. Такими є елементи, що знаходяться на початку періодичної системи Менделєєва, вуглець, водень, азот, бор. Як що розміри атомів перебільшують розміри міжатомних проміжків у кристалічній ґратці металу, це визиває спотворення ґратки і в ній виникають напруження. Концентрація таких розчинів не перебільшує 2 - 2.5%.

Тверді розчини вираховування або розчини з дефектною ґраткою утворюються на базі хімічних з'єднань, при цьому можлива не лише заміна одних атомів у вузлах кристалічної ґратки іншими, але і створення порожніх, не зайнятих атомами вузлів у ґратці.

Сплави хімічні з'єднання створюються між елементами, які значно відрізняються за будовою та властивостями, якщо сила взаємодії між різнорідними атомами більша, ніж між однорідними.

До хімічного з'єднання додають, один із елементів, що входить до формули, його атоми займають нормальне положення у ґратці з'єднання, а місце атомів іншого елемента залишається незайнятим.

3. Криві охолодження сплавів.

Кристалізація сплавів підкоряється тим самим закономірностям, що і кристалізація чистих металів. Необхідною умовою є наближення системи до стану з мінімумом вільної енергії

Основною відміною є велика роль дифузійних процесів, меж рідиною та фазою, що кристалізується. Ці процеси необхідні для перерозподілу різнорідних атомів, рівномірно розподілених у рідкій фазі.

У сплавах у твердому стані, мають місце процеси перекристалізації, які обумовлені алотропічними перетвореннями компонентів сплаву, розпадом твердих розчинів, виділенням із твердих розчинів вторинних фаз, коли розчинність компонентів у твердому стані змінюється зі зміною температури.

Ці перетворення називаються фазовими перетвореннями у твердому стані.

При перекристалізації у твердому стані утворюються центри кристалізації та відбувається їх ріст.

Зазвичай центри кристалізації виникають по границям зерен старої фази, де ґратка має найбільш дефектну будову, і де є домішки, які можуть стати

центрами нових кристалів. У старій та новій фазі, на протязі деякого часу, є загальні площини. Такий зв'язок ґраток називається когерентним зв'язком. В випадку різниці будови старій та новій фаз перетворення протікає з утворенням проміжних фаз.

Порушення когерентності - обособлення кристалів наступає, коли вони досягнуть визначених розмірів.

Процеси кристалізації сплавів вивчаються за діаграмами стану.

Діаграма стану.

Діаграма стану являє собою графічне зображення стану будь якого сплаву, систему якого вивчаємо залежно від концентрації та температури (рис. 4.5)

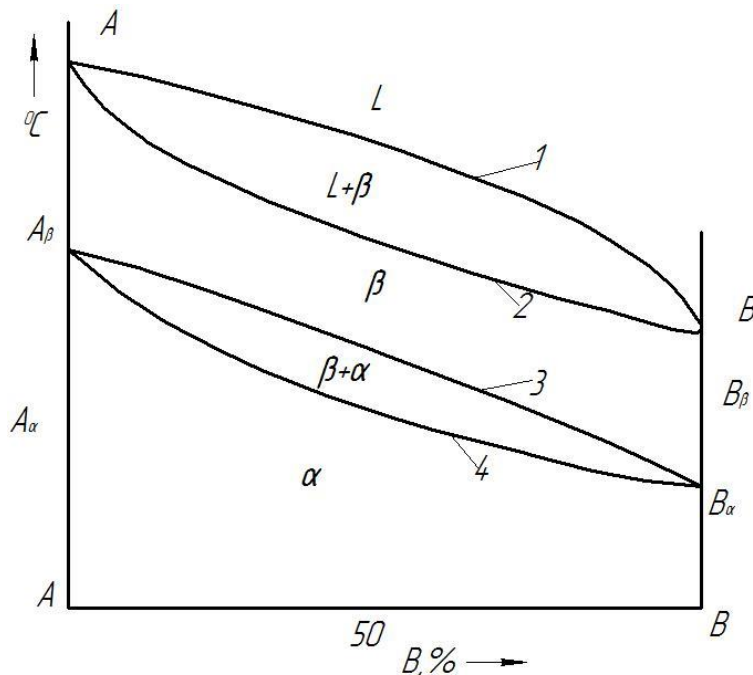


Рисунок 4.5. Діаграма стану

Діаграми стану показують стійкий стан, тобто стан, який при даних умовах має мінімум вільної енергії, і тому її також називають рівноважною діаграмою, так як вона показує, які при даних умовах існують рівноважні фази.

Побудова діаграм стану найчастіше відбувається за допомогою термічного аналізу.

В результаті отримують серію кривих охолодження, на яких при температурах фазових перетворень спостерігаються точки перегину та температурні зупинки.

Температури, які відповідають фазовим перетворенням, називають критичними точками. Деякі критичні точки мають назву, наприклад, точки які відповідають початку кристалізації називають точками ліквідус, а кінцю кристалізації – точками солідус.

За кривими охолодження будують діаграму стану в координатах: по осі абсцис – концентрація компонентів, по осі ординат – температура.

Шкала концентрацій показує вміст компонента В. Основними лініями є лінія ліквідус (1) і солідус (2), а також лінії які відповідають фазовим перетворенням у твердому стані (3, 4).

По діаграмі стану можна визначити температури фазових перетворень, зміну фазового складу, приблизно, властивості сплаву, види обробки, які можна застосувати до сплаву.

Питання для самоконтролю

1. Що називають сплавами?
2. Які види сплавів вам відомі?
3. Що називають фазами?
4. Що називають компонентами?
5. Що являють собою тверді розчини?
6. Що являють собою механічні суміші?
7. Що являють собою хімічні сполуки?

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів" , ст. 50-58;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 93-112.

Лекція 6

ВЛАСТИВОСТІ ТА ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

План

1. Властивості заліза і вуглецю
2. Алотропічні перетворення заліза
3. Характеристика структурних складових залізовуглецевих сплавів.
4. Діаграма стану залізо-цементит, її практичне застосування.

1. Властивості заліза і вуглецю

Залізо – сріблясто-білий метал, який має температуру плавлення 1539°C і такі механічні властивості: $\sigma_{\text{в}}=250 \text{ МПа}$, $\delta=45\%$, 80НВ. Густина заліза $7,86 \text{ г/см}^3$.

Вуглець – неметалева хімічна речовина, температура плавлення якої 3500°C , міцність $\sigma_{\text{в}}=20\dots 40 \text{ МПа}$

У залізовуглецевих сплавах вуглець буває у вигляді графіту (в структурі чавунів) або у вигляді хімічної сполуки карбіду заліза Fe_3C (цементит) із вмістом вуглецю 6,67%

2. Алотропічні перетворення заліза

Алотропічне перетворення завжди супроводжується виділенням теплоти при охолодженні й поглинанням теплоти при нагріванні.

Залізо і вуглець при відповідних концентраціях й температурах можуть утворювати механічні суміші, хімічні з'єднання і тверді розчини.

У твердому стані залізо може перебувати у двох модифікаціях:

Fe_α (об'ємноцентрична кубічна ґратка)

Fe_γ (гранецентрична кубічна ґратка)

У Fe_α (α -залізо) майже не розчиняється вуглець, а у Fe_γ (γ -залізо) – розчиняється до 2,14 % за температури 1147°C

3. Характеристика структурних складових залізовуглецевих сплавів.

Залежно від вмісту вуглецю, температури нагрівання і швидкості охолодження в залізовуглецевих сплавах утворюється шість структурних складових:

- Ферит
- Перліт
- Аустеніт
- Ледебурит
- Цементит
- Графіт

Ферит – твердий розчин вуглецю в α -залізі з граничною концентрацією 0,02% за температури 727°C і 0,006% вуглецю за температури 20°C . Просторова ґратка фериту – об'ємноцентричний куб. Під мікроскопом вона має вигляд світлих зерен різного розміру.

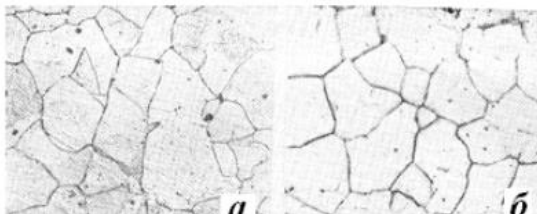
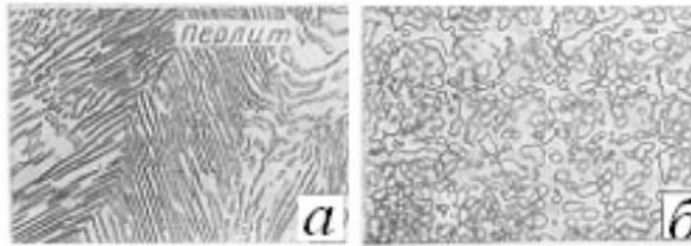


Рис.24 – Структура фериту (а) і аустеніту (б), виявленого у вакуумній камері при 1000°C ; $\times 150$

Перліт – евтектоїдна суміш зерен фериту і цементиту, відповідає повному розпаду твердого розчину аустеніту. При повільному охолодженні

вміст вуглецю становить 0,8%. Твердість перліту 160...260 НВ, міцність $\sigma_B=550\ldots1300$ МПа, пластичність $\delta=5\ldots20\%$.



Аустеніт – твердий розчин вуглецю в γ -залізі (з градецентричною кристалічною ґраткою). Найбільший вміст вуглецю в аустеніті за температури 1147⁰С становить 2,14%. Зі зниженням температури до 727⁰С вміст вуглецю зменшується до 0,8%. Під мікроскопом – світлі зерна з характерними подвійними лініями. Має високу в'язкість, його твердість 170...220 НВ.

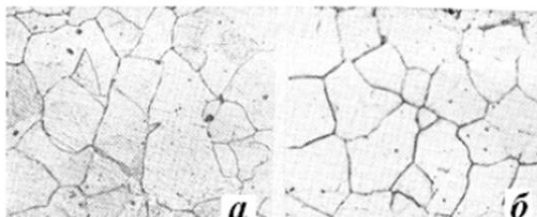


Рис.24 – Структура фериту (а) і аустеніту (б), виявленого у вакуумній камері при 1000⁰С; х 150

Ледебурит – евтектична суміш аустеніту і цементиту з вмістом вуглецю 4,3 %. За температури 727⁰С аустеніт перетворюється на перліт, тому за температур, нижчих 727⁰С, ледебурит складається з перліту і цементиту. Твердість ледебуриту – 700НВ, він дуже крихкий. Ледебурит характерний для структури білих чавунів.

Цементит – хімічна сполука заліза з вуглецем (Fe_3C), вміст вуглецю – 6,67%. Він має високу твердість (800НВ) і крихкість, пластичність його майже нульова. Цементит у сталях і чавунах буває у вигляді сітки на межах зерен або у вигляді вкраплень, які мають форму пластинок чи зерен.

Графіт – кристалічна видозміна вільного вуглецю. Трапляється в чавунах і сталях після відпалювання. Міцність графіту дуже низька. Під мікроскопом графіт у сірому чавуні має вигляд пластинок різного розміру і форми.

4. Діаграма стану залізо-цементит, її практичне застосування.

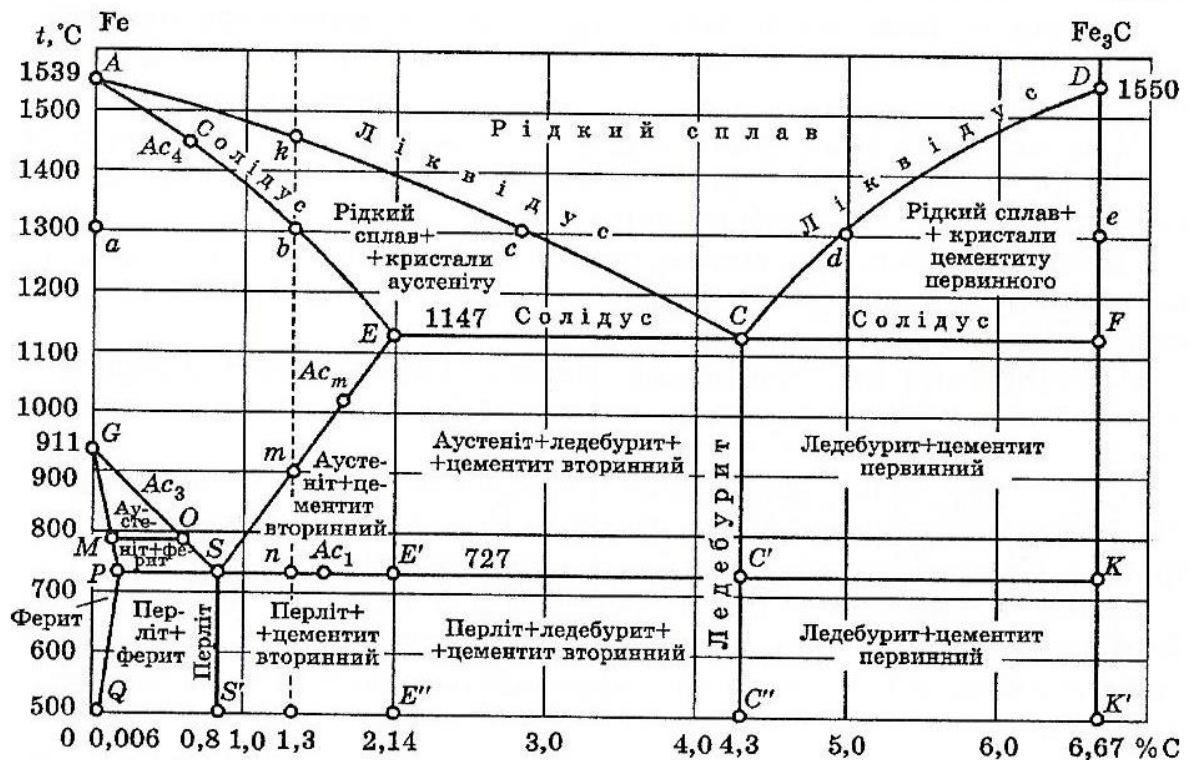


Рис. 2.22. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів стану Fe — Fe₃C

Діаграма стану залізо-вуглець є фундаментом науки про сталь і чавун (сплав заліза з вуглецем). Вуглець із залізом утворюють хімічну сполуку (цементит) або може перебувати у сплаві у вільному стані у вигляді графіту.

Відповідно є дві діаграми сплавів залізо-вуглець: цементитна і графітна. На рис.22 приведено спрощений вигляд цементитної діаграми стану системи залізо-вуглець. Найбільша кількість вуглецю, за цією діаграмою, 6,67 % відповідає вмісту вуглецю у хімічній сполуці-цементиті. Отже, компонентами, з яких складаються сплави цієї системи, будуть, з одного боку, чисте залізо (Fe), з іншого - цементит (Fe₃C).

Розглянемо характерні лінії і точки на діаграмі стану.

Характерні лінії: ACD - ліквідус; AECF - солідус. Вище лінії ACD сплави системи перебувають у рідкому стані. По лінії AC з рідкого розчину починають випадати кристали твердого розчину вуглецю в залізі, який називається аустенітом, отже, в області ACE буде суміш двох фаз - рідкого розчину і аустеніту; по лінії CD з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту; в області CEF міститься суміш двох фаз - рідкого розчину і цементиту.

Перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) проходить по лініях GSE, PSK і GPQ.

Перетворення у твердому стані відбуваються внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку із зміною розчинності вуглецю в залізі.

В області діаграми AGSE міститься аустеніт. При охолодженні сплавів аустеніт розпадеться з виділенням по лінії GS фериту (твердий розчин вуглецю в α - залізі), а по лінії SE - цементиту (хімічна сполука Fe_3C). Цементит, що випадає з твердого розчину, називається вторинним, на відміну від первинного, який випадає з рідкого розчину. В області діаграми GSP міститься суміш двох фаз - фериту і аустеніту, а в області SEE1 - суміш вторинного цементиту і аустеніту. По лінії PSK відбувається розпад аустеніту з утворенням перліту; тому ця лінія називається лонжею остаточного перетворення аустеніту в перліт або перлітною.

Характерні точки. У точці C при вмісті 4,3 % вуглецю і температурі 1420 °K відбувається одночасно кристалізація аустеніту і цементиту і утворюється їх тонка механічна суміш евтектика, яка називається ледебуритом. Точку C називають евтектичною точкою. Ледебурит є у всіх сплавах, які містять від 2,14 до 6,67 % вуглецю. Такі сплави є чавунами. Точка E відповідає граничному насиченню заліза вуглецем (2,14 %). Сплави, які лежать ліворуч від цієї точки, належать до сталей.

У точці S при вмісті 0,8 % вуглецю і температурі 1000 °K аустеніт розпадеться і кристалізується тонка механічна суміш фериту та цементиту вторинного - евтектоїд, який називається перлітом. Провівши аналіз перетворень на діаграмі стану Fe-Fe₃C, можна зробити висновок про структуру сталей та чавунів у нормальних умовах. Сталі із вмістом вуглецю від 0,0 до 0,8 % мають структуру ферит + перліт; із вмістом 0,8 % вуглецю - чистий перліт; із вмістом від 0,8 до 2,14 % вуглецю - перліт + цементит вторинний. Чавуни із вмістом від 2,14 до

4,3 % вуглецю мають структуру перліт + цементит вторинний + ледебурит; із вмістом 4,3 % вуглецю - чистий ледебурит; із вмістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % - цементит первинний і ледебурит.

Слід відмітити, що у залежності від умов виплавляння та термічної обробки, сталі і чавуни можуть змінювати свою структуру. У сірих, ковких та високоміцних чавунах є така фаза, як графіт у різних модифікаціях.

Опрацювати і законспектувати питання: 1. Побудова кривої охолодження заліза і діаграми Fe-Fe₃C. 2. Структурні перетворення при нагріві і охолодженні в залізовуглецевих сплавах.

Питання для самоконтролю

1. Які основні властивості заліза вам відомі?
2. Які основні властивості вуглецю вам відомі?
3. Що являє собою діаграма стану залізо-цементит?
4. Які основні складові залізовуглецевих сплавів?

Література

- 1) В.Ф.Ясюк., П.П.Тонкоглас., В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів" , ст. 58-63;
- 2) В.Попович "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 108-112.

Лекція №7 ЧАВУНИ

План

1. Класифікація чавунів та вплив домішок на їх структуру і властивості.
2. Види чавунів, їх маркування і застосування.

1. Класифікація чавунів та вплив домішок на їх структуру і властивості.

Залізовуглецеві сплави – це сплави заліза з вуглецем та іншими компонентами: манган і силіцій, які додають у сплав під час розкиснення, а також домішки – сірка і фосфор, які потрапляють у чавун під час його виплавлення.

Як відомо, через низькі механічні властивості, залізо в техніці не застосовують. Практично чистого заліза немає. Чистота заліза, якої нині досягнуто лабораторним методом, становить 99,99984% Fe (0,00016% домішок).

Чавун – це сплав заліза з вуглецем (з вмістом від 2,14 до 6,67% C).

У машинобудуванні застосовують чавуни, які містять від 2,14 до 4,5% вуглецю.

Чавун порівняно з вуглецевою сталлю характеризується кращими ливарними і гіршими пластичними властивостями.

Механічні властивості чавуну залежать від двох чинників: кількості, розміру, форми і розподілу графітових вкраплень; структури металевої основи.

Перший чинник має вирішальне значення, оскільки графітові вкраплення. Розмішуючись у чавуні і утворюючи ніби надрізи в металевій основі, ослаблюють його міцність (особливо при великих вкрапленнях). При дрібних графітових вкрапленнях чавун має високі механічні властивості.

Характер і ступінь графітизації зумовлюється швидкістю тверднення і охолодження чавуну. Чим повільніше відбувається процес тверднення й охолодження, тим краще розкладається карбід заліза, тим більше виділяється графіту.

Другим чинником впливу на міцність чавуну є структура його металевої основи.

Нормальна структура сірого чавуну (без добавляння легувальних елементів і без термообробки) є феритною чи перлітною, а проміжна між ними – феритно-перлітною металевою основою.

Найбільш бажана металева основа чавуну – перліт із вмістом 0,8% зв'язуючого вуглецю Fe_3C .

Вуглець визначає структуру і властивості чавуну. В чавуні він може бути в структурі цементиту або графіту. Графіт у чавуні має пластинчасту, кулясту і пластівцеву форму.

Виділення вуглецю у вигляді графіту надає чавуну кращих ливарних властивостей.

Манган збільшує крихкість чавуну, поліпшує рідкотекучість. Він сприяє відбілюванню чавуну, тобто утворенню хімічної сполуки Fe_3C (цементиту). У чавунах міститься 0,5...1,0% мангану.

Силіцій сприяє графітизації чавуну, тобто утворенню сірого чавуну. Він утворює із залізом хімічні сполуки, які називають силіцидами. Силіциди переходять у твердий розчин із залізом, знижують розчинність вуглецю залізі, сприяють розпаду цементиту з виділенням графіту.

Чим більше силіцію, тим менша міцність такого чавуну, нижча твердість – краще обробляється.

Силіцій сприяє деякому зниженню температури плавлення, покращує рідкотекучість.

Сірка є шкідливою домішкою. Вона сприяє відбілюванню чавуну: значно знижує його рідкотекучість та зумовлює крихкість і схильність до утворення тріщин. Тому вміст сірки обмежується 0,08...0,12%. Наявність сірки в чавуні затримує розпад цементиту, збільшує усадку, зумовлюючи таким чином утворення структури білого чавуну. При цьому в чавуні з'являються тверді плями, що погіршує його обробку різанням і механічні властивості.

Фосфор у невеликій кількості є корисною домішкою. Він майже не впливає на структуру чавуну, оскільки не прискорює і не сповільнює графітоутворення. Від наявності фосфору в твердому розчині твердість чавуну підвищується, а в'язкість значно знижується, що спричинює погіршення механічних властивостей чавуну. Фосфор поліпшує ливарні властивості: знижує температуру плавлення, збільшує рідкотекучість і сприяє якісному заповненню форми. Тому для лиття тонкостінних виробів беруть чавун із підвищеним вмістом фосфору (0,1...1,25%), а для звичайного лиття – 0,1...0,9% Р.

2. Види чавунів, їх маркування і застосування.

Залежно від хімічного складу і структури, чавуни бувають: білі, сірі, ковкі, високоміцні і спеціальні.

Білий чавун має обмежене застосування через високу твердість і крихкість. У білому чавуні майже весь вуглець перебуває у хімічно зв'язаному стані – у вигляді цементиту Fe_3C . Білий чавун дуже твердий, він майже не піддається обробці різанням і в машинобудуванні сільськогосподарської техніки не застосовується. Його використовують для виробництва сталі, ковкого чавуну, тому називають *переробним*.

Сірий чавун широко застосовують у машинобудуванні завдяки його високим ливарним, антифрикційним властивостям, задовільній обробці різанням, зносостійкості. Проте для нього характерні невисоке значення границі міцності при розтягуванні, дуже низька пластичність.

Границя його міцності при розтягуванні $\sigma_B=120\ldots380$ МПа, твердість 145...270НВ, відносне видовження $\delta=0,2\ldots0,8\%$.

Механічні властивості чавунів характеризується їх структурою й умовами (у визначенні не тільки хімічного складу). Стандарти регламентують не хімічний склад чавунів, а їхні властивості, які й позначають у марках чавунів. Наприклад, марка *СЧ20* позначає сірий чавун з границею міцності при розтягуванні $\sigma_B=200$ МПа. В машинобудуванні застосовують марки сірих чавунів *СЧ10...СЧ45* (остання цифра «0» або «5»).

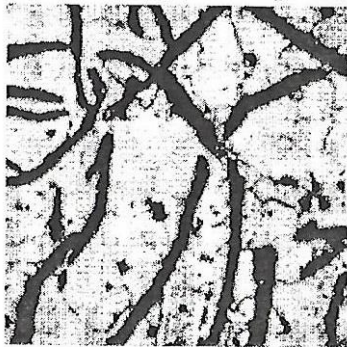


Рис. 2.24. Мікроструктура сірого чавуну (графіт пластинчастої форми)

Сірі чавуни містять постійні домішки в такій кількості: 3,0...3,5% вуглецю, 1,5...3,0% силіцію, майже 0,8% мангану, до 0,12% сірки і 0,3...0,9% фосфору.

У сірих чавунах вуглець частково або повністю перебуває у вільному стані у формі пластинчастого графіту. Через це в зломі має сірий колір. Інколи в структурі чавуну крім графіту утримується ледебурит. Такий сіро-білий чавун називають *половинчастим*. Основні його властивості: висока твердість, крихкість і низька міцність.

Отже, змінюючи вміст і співвідношення постійних домішок, можна в певних межах змінювати структуру чавуну і його властивості.

Залежно від розпаду цементиту одержують основи сірих чавунів, які складаються: з фериту, їх називають *феритними* чавунами; з фериту і перліту – *феритно-перлітними*; з перліту – *перлітними*. Найміцніші вважають перлітні чавуни.

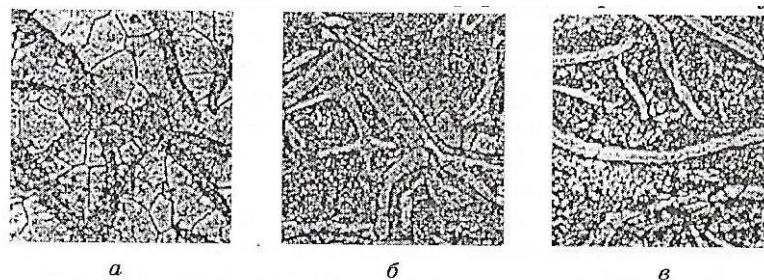


Рис. 2.25. Мікроструктура сірих чавунів:
а — феритний; б — феритно-перлітний; в — перлітний

Сірий чавун широко застосовують в автотракторному і сільськогосподарському машинобудуванні для виробництва деталей методом лиття. З нього виготовляють станини металорізальних верстатів, блоки і гільзи автомобільних і тракторних двигунів.

Щоб вибрати марку чавуну для конкретної деталі, потрібно обумовити, в яких умовах працює ця деталь і порівняти технологічні та механічні властивості вибраної марки для забезпечення технічних умов роботи деталі в механізмі.

Наприклад, феритний сірий чавун марки СЧ10 призначений для виготовлення слабо- і середньонавантажених деталей: кришок. Фланців, маховиків, дисків зчеплення та ін. феритно-перлітний чавун марки СЧ20 застосовують для деталей, які працюють при підвищених статичних, динамічних навантаженнях: блоки, поршні та головки циліндрів. Перлітні сірі (модифіковані) чавуни СЧ30, СЧ40 мають високі механічні властивості. Їх використовують для виготовлення гільз циліндрів, розподільних валів та ін.

Ковкий чавун має графітні вкраплення пластівчастої форми. Він міцніший і пластичніший від звичайного сірого чавуну, має вищу в'язкість.

Таблиця. 1 Масова частка хімічних елементів у сірих чавунах, %

Деталь	Марк а чавун у	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
Блок циліндрів дизельних двигунів	СЧ20	3,2...3, 5	2,0...2, 4	0,6...0, 8	0,3...0, 45	0,15	0,15...0 ,4
Головка циліндрів дизельних двигунів	СЧ25	3,2...3, 5	1,7...2, 1	0,5...0, 8	0,3...0, 6	0,2...0, 5	0,3...0, 6
Гільза циліндрів	СЧ30	3,1...3, 3	2,2...2, 6	0,6...0, 9	0,3...0, 7	0,1...0, 3	0,4...0, 7
Розподільн ий вал	СЧ40	3,0...3, 7	1,9...2, 2	0,6...0, 9	0,2...0, 6	0,1...1, 3	-

Диски зчеплення і гальмівний барабан	СЧ25	3,2...3,4	1,6...2,1	0,5...0,9	0,3...0,4	0,2...0,5	0,3...0,6
Маховик двигунів	СЧ20	3,2...3,4	2,0...2,3	0,5...0,8	0,3...0,4	0,1...0,15	-

Ковкий чавун – умовна назва, оскільки його не куять. Цей чавун одержують з білого чавуну термічною обробкою (спеціальним відпалюванням – томлінням).

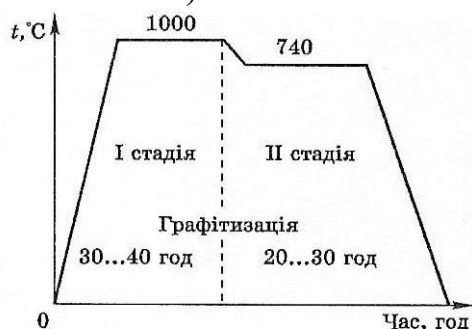


Рис. 2.28. Графік відпалювання білого чавуну на ковкий чавун

Щоб отримати ковкий чавун використовують білі чавуни (приблизно) такого складу: 2,5...3,2% вуглецю, 0,6...0,9% силіцію, 0,3...0,4% мангану, 0,1...0,2% фосфору і не більш як 0,06...0,10% сірки.

Для одержання ковкого чавуну білий чавун нагрівають до 950...1000°C і після тривалого витримування охолоджують з малою швидкістю до кімнатної температури.

Ковкий чавун має такий склад: 2,2...3,0% вуглецю; 0,7...1,5% силіцію; 0,2...0,6% мангану; до 0,2% фосфору і до 0,1% сірки. Його виплавляють в електропечах. Злом чавуну, структурою якого є ферит і графіт, буде темним.

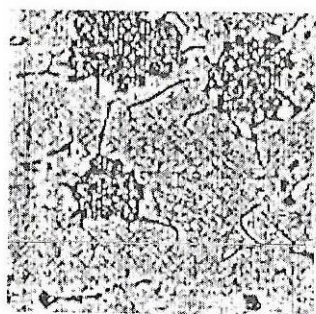


Рис. 2.26. Мікроструктура ковкого чавуну (графіт пластівчастої форми)

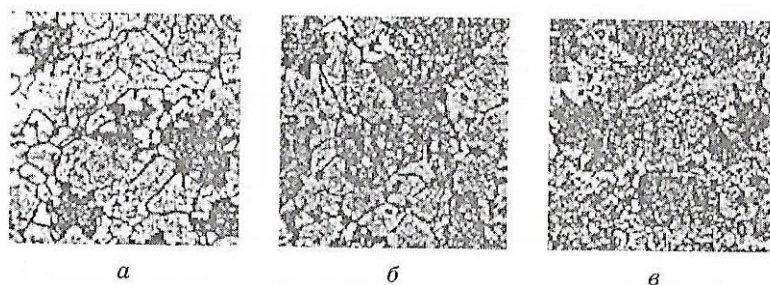


Рис. 2.27. Мікроструктура ковких чавунів: а — феритний; б — феритно-перлітний; в — перлітний

Ковкий чавун маркують літерами КЧ і цифрами, дві перших з яких позначають границю міцності при розтягуванні, а останні – відносне видовження. Наприклад, марка КЧ 30-6 означає: КЧ – ковкий чавун; 30 – границя міцності при розтягуванні ($\sigma_s=300$ МПа) і 6 – відносне видовження ($\delta=6\%$).

Ковкий чавун широко використовують в сільськогосподарському машинобудуванні для виготовлення деталей, які в процесі роботи витримують ударні навантаження (зубчасті колеса, шестерні, ланки ланцюгів, зірочки, пальці різального апарата зернозбирального комбайна та ін.), деталей сівалок,

зерноочисних машин, механізації тваринництва (корпуси водопровідних вентилів, кранів та ін.).

Таблиця 2. Деталі, виготовлені з ковкого чавуну

Марка чавуну	Назва деталі	Умови роботи
<i>Автомобілебудування</i>		
КЧ 35-10 КЧ 37-12	Картер редуктора заднього моста, диференціала, керма; маточини коліс, кронштейн двигуна, гальмівних колодок, накладки; балансири, котки, пробки та ін.	Складні, змінні, динамічні (ударні) навантаження
КЧ 45-7 КЧ 50-5 КЧ 55-4	Маточини коліс, гальмові барабани, кришки підшипників; колінчатого вала, картер розподільної коробки; редуктори заднього моста, втулки та ін.	Статичні і динамічні навантаження, спрацювання
КЧ 60-3 КЧ 65-3 КЧ 70-2 КЧ 80-1,5	Шатуни, поршні, шестерні, колінчасті вали	Високі статичні і динамічні навантаження, спрацювання
<i>Трактори і сільськогосподарські машини</i>		
КЧ 30-3 КЧ 33-8 КЧ 35-10 КЧ 45-7	Шестерні, муфти, храповики, важелі, зірочки; собачки, маточини, вилки карданних валів; котки, кронштейни, втулки; ланки ланцюгів	Згинальні, скручувальні, розтягувальні, статичні і динамічні навантаження, спрацювання

Високоміцний чавун. Міцність чавуну залежить від кількості і форми вкраплення графіту. Додавання в рідкий сірий чавун 0,5% дрібнозернистої структури. При цьому утворюються часточки графіту кулястої форми, яка унеможливорює наявність гострих надрізів усередині металевої основи. Тому міцність, пластичність і в'язкість чавуну значно підвищуються.

Високоміцний чавун (як і сірий) поділяють на марки залежно від механічних властивостей, причому основним показником є границя міцності при розтягуванні. Механічні властивості залежать від структури металевої основи, яка може бути перлітною, феритно-перлітною і феритною. Ліпшою є структура, яка складається з перліту і графіту кулястої форми, обмежених невеликими (білими) кільцями фериту.

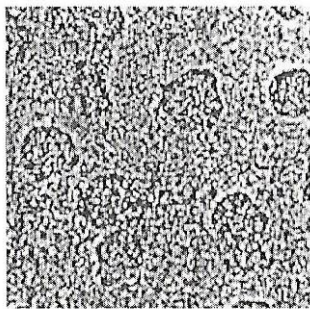
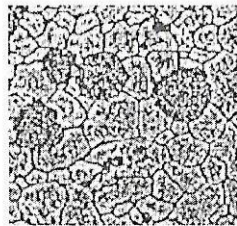
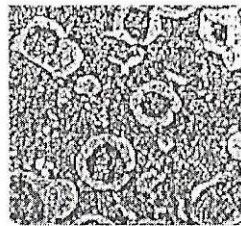


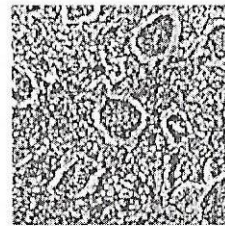
Рис. 2.29. Мікроструктура високоміцного чавуну (графіт кулястої форми)



а



б



в

Рис. 2.30. Мікроструктура високоміцних чавунів: а — феритний; б — феритно-перлітний; в — перлітний

Маркується високоміцний чавун літерами ВЧ (високоміцний чавун) і цифрами, дві перші з яких показують границю міцності при розтягуванні, а останні – відносне видовження. Наприклад, марка ВЧ 800-2 означає, що чавун цієї марки має $\sigma_{\text{с}}=800$ МПа, $\delta=2\%$.

Високоміцні чавуни є заміником литої і штампованої сталі. Тому з такого чавуну виготовляють відповідальніші деталі машин і двигунів – гільзи циліндрів, колінчасті вали, деталі супортів металорізальних верстатів, лапки бурякозбирального комбайна та ін.

Таблиця 3. Деталі, виготовлені з високоміцного чавуну

Марка чавуну	Твердість НВ	Назва деталі
ВЧ 600-3 ВЧ 700-2	192...277	Розподільний і колінчасті вали карбюраторних двигунів, малофорсованих дизелів, кришки і стакани підшипників, корпуси коробок передач, валів відбору потужності, лапки бурякозбиральних комбайнів
ВЧ 450-10	140...255	Корпуси редукторів, барабани, кронштейни, гальмові колодки, корпуси підшипників комбайнів та ін.
ВЧ 500-7	153...245	Блок-картери, головки циліндрів, кришки корінних підшипників, картери маховиків, корпусу розподільників коробок передач, задніх мостів, муфт зчеплення, деталі турбін, насосів, водополивних агрегатів та ін.
ВЧ 400-15	140...202	Маточини коліс автомобілів, кронштейни, корпуси диференціалів автомобілів, редукторів комбайнів і важелі, корпуси підшипників, ковпаки культиваторів та ін.

Чавун з вермикулярним графітом призначений для одержання виливків. Він має структуру графіту вермикулярної (червоподібної) форми з вкрапленням до 40% кулястого та 10% пластинчастого графіту.

Для виготовлення виливків призначені такі марки чавуну: ЧВГ 300-4, ЧВГ 300-5, ЧВГ 400-4, ЧВГ 500-1.

Умовне позначення марки чавуну з вермикулярним графітом, наприклад ЧВГ 300-4, означає: Ч – чавун, ВГ – вермикулярний графіт; 300 – границя міцності при розтягуванні, виражена в мегапаскалях (300 МПа); 4 – відносне видовження, виражене у відсотках (4%).

Леговані чавуни зі спеціальними властивостями. До цих чавунів належать: антифрикційні, які забезпечують низький коефіцієнт тертя; жаростійкі, що мають підвищену стійкість до окиснення і корозії.

Щоб одержати чавуни зі спеціальними властивостями, їх легують нікелем, хромом, молібденом, титаном, алюмінієм і міддю. Відповідно змінюються структура і властивості чавунів.

Антифрикційні чавуни характеризуються перлітною структурою металевої основи, наявністю великої кількості вкраплень графіту. При цьому перлітна основа утворює достатню міцність деталі, фосфідна евтектика забезпечує підвищення зносостійкості, а вбирання і утримування мастила відбувається у місцях розміщення графіту.

Антифрикційні чавуни маркують так: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, АЧК-1, АЧК-2, АЧВ-1, АЧВ-2, що означає: АЧС – антифрикційний чавун сірий; АЧК – антифрикційний чавун ковкий; АЧВ – антифрикційний чавун високоміцний; число в кінці марки означає порядковий номер. Порядковий номер вказує на хімічний склад антифрикційного чавуну.

Із антифрикційних чавунів виготовляють деталі тертя (втулки, вкладиші, підшипники ковзання, ролики, ущільнення та ін.).

Жаростійкі чавуни. Леговані чавуни з відповідним вмістом алюмінію, силіцію, хрому, нікелю мають підвищену жаростійкість. Крім того, вони забезпечують стабільність структури при нагріванні.

Жаростійкі чавуни маркують так: ЖЧХ-2,5 – жаростійкий хромовий чавун з вмістом 205% Cr; ЖЧЮХ – жаростійкий алюмінієво-хромовий чавун з вмістом 1% Al і 1% Cr; ЖЧЮ6С5 – жаростійкий алюмінієво-силіцієвий чавун з вмістом 6% Al і 5% С.

Такі чавуни застосовують для виготовлення деталей прес-форм, елементів плунжерних пар машин для лиття під тиском, штампів гарячого деформування та ін.

Питання для самоконтролю

1. Які основні домішки входять в структуру чавуну?
2. Які види чавунів ви знаєте?
3. Як маркують чавуни?

Література

1. В.М. Никифоров «Технологія металів і конструкційних матеріалів», ст. 92-98
2. В. Попович «ТКМ і матеріалознавство», ст. 119-126
3. В. Ясюк, П.П. Тонкоглас та ін. «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», ст. 63-72.

Лекція №8 ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ. КЛАСИФІКАЦІЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

План

1. Вплив вуглецю на властивості вуглецевих сталей.
2. Вплив постійних домішок на властивості сталей.
3. Класифікація вуглецевих сталей.
4. Маркування вуглецевих конструкційних сталей і застосування.
5. Маркування вуглецевих інструментальних сталей і застосування.

1. Вплив вуглецю на властивості вуглецевих сталей.

Основою вуглецевих сталей є залізо. Залізо – один з найпоширеніших на землі металів: земна кора містить 4,2% заліза. Однак лише приблизно сорокова частина цієї кількості сконцентрована у вигляді родовищ, придатних для розробки.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем (з вмістом вуглецю у сплаві до 2,14%). Вуглецева сталь, крім основи (заліза і вуглецю), містить постійні домішки (до 0,4% силіцію, до 0,8 % мангану, до 0,07% фосфору і до 0,06% сірки).

Вуглець є основним компонентом, який визначає будову і властивості вуглецевих сталей. Зі збільшенням його вмісту в сталі утворюється більше твердої складової – цементиту. Зі збільшенням вуглецю в структурі сталі зростає вміст цементиту. До 0,8%С сталь складається з фериту та перліту, більше 0,8% С в структурі сталі, крім перліту, з'являється структурно вільний вторинний цементит.

Ферит має низьку міцність, але порівняно пластичний. Цементит характеризується високою твердістю, але крихкий. Тому із зростанням вмісту вуглецю збільшується твердість і міцність і зменшується в'язкість і пластичність сталі.

Тому зі збільшенням в сталі змісту вуглецю зростають її твердість, межі міцності і текучості, а характеристики пластичності - відносне подовження і відносне звуження, а також і ударна в'язкість – знижуються. Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі змінюються і фізичні властивості: знижується щільність, підвищуються питомий електроопір, знижуються теплопровідність і магнітна проникність.

Зростання міцності відбувається до 0,8–1,0% вуглецю. При збільшенні вмісту вуглецю більше 0,8% зменшується не тільки пластичність, але й міцність. Це пов'язано з утворенням сітки крихкого цементиту навколо перлітних зерен, легко руйнується при навантаженні. З цієї причини заевтектійні сталі піддають спеціальному відпалу, в результаті якого отримують структуру зернистого перліту.

Вуглець робить істотний вплив на технологічні властивості сталі: зварюваність, оброблюваність тиском і різанням. Зі збільшенням кількості

вуглецю погіршується зварюваність, а також здатність до деформування в гарячому і особливо в холодному стані.

Найбільш добре обробляються різанням середньовуглецеві сталі, що містять 0,3–0,4% С. Низьковуглецеві сталі при механічній обробці дають погану поверхню і труднощі при видаленні стружки. Високівуглецеві сталі мають підвищену твердість, що знижує стійкість різального інструменту.

2. Вплив постійних домішок на властивості сталей.

Постійні домішки. До домішок, що завжди присутні в сталі, відносять марганець, кремній, сірку й фосфор, кисень, водень і азот. Концентрація цих елементів як домішок, пов'язана з існуючою технологією виробництва сталі і не повинна перевищувати відповідно: 0,8 % Mn, 0,4 % Si, 0,06 % S й 0,07 % P.

Манган є корисною домішкою, яку вводять у процесі розкислення. Він розчиняється у фериті, зміцнює його, підвищує механічні властивості. Він має більшу спорідненість з киснем, ніж залізо, й сприяє усуненню шкідливих домішок закису заліза за реакцією: $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{MnO} + \text{Fe}$. Марганець при виплавці утворює сульфід MnS . Значна кількість сульфідів марганцю спливає разом зі шлаком. Марганець підвищує міцність, пружність і прогартовуваність.

Силіцій також корисний, розчиняючись у фериті, підвищує його пружність, жорсткість. Як правило, кількість цієї домішки становить 0,35–0,37 %. Але в сталях, призначених для глибокого штампування, концентрацію кремнію встановлюють на рівні 0,17 %, а інколи навіть 0,07 % через його негативний вплив на пластичність сталі.

Сірка надає сталі червоноламкості – підвищує крихкість за температур гарячої обробки. Вона знижує стійкість сталі до спрацювання. Крім того, сірчані сполуки значно знижують механічні властивості сталі, особливо ударну в'язкість, пластичність, а також погіршують зварюваність й корозійну стійкість. Тому кількість сірки в сталі обмежують.

Найбільшу кількість до 0,05 % S мають сталі звичайної якості, в якісних сталях вона становить до 0,04 %, у високоякісних — до 0,025 %, а в особливо високо якісних — до 0,015 %. Але в деяких випадках сірка може бути й корисним елементом, тому що вона полегшує обробку сталі різанням. Такі сталі називають автоматними, їх оброблюють на верстатах-автоматах, а кількість S підвищують до 0,15–0,25 %. Поряд з сіркою збільшують й кількість марганцю, через що сірчасті сполуки, головним чином MnS , розміщуються не по межах зерен, а всередині і тому менш негативно впливають на пластичність сталі.

Фосфор. Навпаки, надає сталі холодноламкості – підвищує її крихкість за нормальної і, особливо, за знижених температур (розчиняється в фериті й аустеніті і значно викривлює кристалічну решітку заліза). Він також знижує ударну в'язкість сталі. Негативний вплив фосфору посилюється внаслідок схильності до ліквації. Найбільша його кількість допускається в сталях

звичайної якості — 0,04 % Р, в якісних сталях — 0,035 % Р, а в високоякісних — 0,025 % Р.

У зв'язку з цим фосфор і сірка вважаються шкідливими домішками в сталях і суворо обмежуються. Цей вміст є одним із показників якості сталі.

Кисень, азот, водень знаходяться в сталі у вигляді твердого розчину в фериті або утворюють хімічні сполуки (оксиди FeO, Al₂O₃, нітриди Fe₄N), або перебувають у вільному стані у шпарах металу (тріщинах, раковинах та ін.). Ці речовини називають випадковими домішками (невелика їх наявність в сталі: 0,002—0,008 % О, 0,002—0,007 % N, 0,0001 — 0,0007 % Н). Вони зумовлюють зниження в'язкості і пластичності сталі, підвищують її крихкість.

Крім того, неметалеві включення — це концентратори напружень. Наявність водню призводить до виникнення флокенів — невеликих тріщин овальної форми, які значно погіршують всі властивості сталі. Тому вакуумування є важливою операцією для поліпшення властивостей сталі.

3. Класифікація вуглецевих сталей.

Вуглецеві сталі класифікують за структурою, хімічним складом, призначенням, якістю, способом виробництва і розкиснення.

За структурою сталь поділяють на: *доевтектоїдну*, яка містить до 0,8% С; *евтектоїдну*, яка містить 0,8% С; *заевтектоїдну*, яка містить 0,8...2,14% С.

За хімічним складом сталі бувають *маловуглецеві* (до 0,3% С), *середньовуглецеві* (0,3...0,65% С) і *високовуглецеві* (від 0,65% до 1,35% С).

За призначенням сталь поділяють на *конструкційну* та *інструментальну*.

Конструкційну сталь застосовують для виготовлення деталей машин і конструкцій. Вона повинна мати задовільні технологічні властивості й досить високу міцність, пластичність і в'язкість.

Інструментальну сталь (містить 0,65...1,35% С) використовують для виготовлення різних інструментів для обробки металів і металевих сплавів, а також деревини.

За якістю сталі є *звичайної якості* з вмістом сірки до 0,06% і фосфору до 0,07%, *якісні* — сірки не більше, ніж 0,04% і фосфору не більше, ніж 0,035%, *високоякісні* — сірки не більше як 0,025% і фосфору не більше, ніж 0,018%.

За способом виробництва розрізняють сталі, виплавлені в електропечах, мартенівських печах, кисневих конверторах.

За способом розкиснення сталі поділяють на *киплячі*, *напівспокійні* і *спокійні*.

4. Маркування вуглецевих конструкційних сталей і застосування.

Нині у машинобудуванні найбільше застосовують вуглецеві конструкційні сталі, які поділяють на сталі *звичайної якості* та *якісні*.

Вуглецеві конструкційні сталі *звичайної якості* застосовують для виготовлення металевих конструкцій і деталей машин та будівельних споруд.

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості позначають літерами і цифрами. Літери «Ст» означають сталь; «кп» - кипляча, «пс» - напівспокійна, «сп» - спокійна; літера «Г» означає підвищений вміст мангану в сталі; цифра – умовний номер марки (від 0 до 6) залежно від масової частки хімічних елементів. *Наприклад Ст0 – вуглецева конструкційна сталь звичайної якості з умовним номером «0».*

Кипляча сталь найпластичніша завдяки найменшому вмісту силіцію (до 0,05%).

Таблиця 1. Масова частка хімічних елементів у вуглецевих конструкційних сталях звичайної якості, %

Марка сталі	C	Mn	Si
Ст0	Не більше ніж	-	-
Ст1кп	0,23	0,25...0,50	Не більше ніж
Ст1пс	0,06...0,12	0,25...0,50	0,05
Ст1сп	0,06...0,12	0,25...0,50	0,05...0,15
Ст2кп	0,06...0,12	0,25...0,50	0,15...0,30
Ст2пс	0,09...0,15	0,25...0,50	Не більше ніж
Ст2сп	0,09...0,15	0,25...0,50	0,05
Ст3кп	0,09...0,15	0,30...0,60	0,05...0,15
Ст3пс	0,14...0,22	0,40...0,65	0,15...0,30
Ст3сп	0,14...0,22	0,40...0,65	Не більше ніж
Ст3Гпс	0,14...0,22	0,80...1,10	0,05
Ст3Гсп	0,14...0,22	0,80...1,10	0,05...0,15
Ст4кп	0,14...0,22	0,40...0,70	0,15...0,30
Ст4пс	0,18...0,27	0,40...0,70	Не більше ніж
Ст4сп	0,18...0,27	0,40...0,70	0,15
Ст5пс	0,18...0,27	0,50...0,80	0,15...0,30
Ст5сп	0,28...0,37	0,50...0,80	Не більше ніж
Ст5Гпс	0,28...0,37	0,80...1,20	0,05
Ст6пс	0,22...0,30	0,50...0,80	0,05...0,15
Ст6сп	0,38...0,49	0,50...0,80	0,15...0,30
	0,38...0,49		0,05...0,15
			0,15...0,30
			Не більше ніж
			0,15
			0,05...0,15
			0,15...0,30

Сталь звичайної якості (містить до 0,20% вуглецю) призначена для виготовлення деталей способом гарячої обробки куванням, штампуванням, зварюванням, прокатуванням, тобто такими способами, які змінюють структуру і механічні властивості матеріалу.

Таблиця 2. Механічні властивості окремих марок вуглецевих конструкційних сталей звичайної якості

Марка сталі	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
Ст1	320...420	-	31...34
Ст3	380...400	210...250	23...26
Ст4	420...520	240...260	20...24
Ст5	500...620	260...280	19...21
Ст6	600...620	300...320	19...15

Марки сталі (із вмістом 0,3% і більше вуглецю) термічно обробляються, з них виготовляють таври, швелери, рейси, труби, кріпильні вироби для тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин; тяги, кронштейни, вали, черв'яки, осі для сільськогосподарських машин; шестерні, зірочки, які несуть рівномірне навантаження та ін.

Вуглецеві конструкційні якісні сталі відрізняються від сталей звичайної якості меншим вмістом сірки (0,04%) і фосфору (до 0,035%). Якісні конструкційні сталі виплавляють, як правило, в мартенівських печах (частково в електропечах і кисневих конверторах). Ці сталі призначені для виготовлення виробів, які піддаватимуться термічній обробці, тому регламентують масову частку хімічних елементів.

Маркування конструкційних якісних сталей позначаються двома цифрами, які вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. При позначенні киплячих або напівспокійних сталей у кінці марки зазначають «кп» або «пс». У разі спокійної сталі ступінь розкиснення не позначають. Випускають сталь таких марок: 10кп, 10пс, 10, 15пс, 15кп, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40...85.

Наприклад, 10 – вуглецева конструкційна якісна сталь з вмістом вуглецю 0,10%, сталь 70 – 0,70 % вуглецю.

Таблиця 3. Масова частка хімічних елементів, %, і властивості деяких марок якісних вуглецевих сталей

Марка сталі	C	Mn	Si	σ_B , МПа	δ , %
10	0,07...0,14	0,35...0,65	0,17...0,37	330	33
15	0,12...0,19	0,35...0,65	0,17...0,37	380	27
30	0,27...0,35	0,5...0,8	0,17...0,37	500	21
50	0,47...0,55	0,5...0,8	0,17...0,37	640	14
60	0,57...0,65	0,7...0,8	0,17...0,37	710	11
70	0,67...0,75	0,8...0,9	0,17...0,37	800	8
85	0,82...0,90	0,5...0,8	0,17...0,37	1150	6

Маловуглецеві сталі (до 0,3% C) мають високу пластичність, тому з них виготовляють вироби холодним штампуванням (сталь 10 застосовують для

штампування кузовів автомобілів), куванням, проте вони недостатньо міцні. Маловуглецеві сталі широко використовують також для зварних конструкцій.

Середньовуглецеві сталі марок 30...65 мають підвищену міцність, твердість, але меншу пластичність, ніж маловуглецеві. З цих сталей виготовляють вали, осі, тяги, штоки, шестерні, зубчасті колеса, ексцентрики та інші деталі, відповідальні кріпильні вироби (болти, гайки) та ін.

Високовуглецеві сталі марок 65...85 відрізняються високою твердістю і міцністю. З цих сталей виготовляють вироби високої міцності і пружності, наприклад: пружини, ресори, троси, стрічки, лапи культиваторів. Із наведених марок сталей (із вмістом 0,3% С і більше) виготовляють різні деталі (в тому числі відповідальні), що потребують нормалізації або поверхневого гартування.

До конструкційних вуглецевих сталей належить також *автоматна сталь* таких марок: А12, А20, А30, А35 (літера А – автоматна сталь, число – середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка).

Автоматна сталь має вміст сірки до 0,03% і фосфору до 0,15 %. Така сталь має підвищену здатність оброблятися різанням, тому її використовують для обробки на верстатах-автоматах. Застосовують цю сталь для виготовлення маловідповідальних деталей (переважно кріпильних).

5. Маркування вуглецевих інструментальних сталей і застосування.

Вуглецеві інструментальні сталі характеризуються високою міцністю і твердістю, тому їх використовують для виготовлення різальних, вимірювальних та інших інструментів. Ці сталі містять 0,7...1,3% вуглецю.

Вуглецеві інструментальні сталі за вмістом сірки і фосфору поділяють на якісні (У7 – У13) і високоякісні (У7А – У13А). У позначенні літера «У» означає, що сталь вуглецева інструментальна; цифри, які стоять після літери «У», показують середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка; літера «А» означає, що сталь високоякісна. *Наприклад, марка У7 означає, що сталь вуглецева інструментальна, якісна, містить 0,7% вуглецю; марка У13А – сталь вуглецева інструментальна, високоякісна, містить 1,3%; У8Г – літера «Г» вказує на підвищений вміст мангану у сталі.*

Таблиця 4. Масова частка хімічних елементів у вуглецевих інструментальних сталях, %

Марка сталі	С	Si	Mn	S	P
				Не більше ніж	
У7	0,65...0,74	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У8	0,75...0,84	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У8Г	0,80...0,90	0,17...0,33	0,33...0,58	0,030	0,028
У9	0,85...0,94	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У10	0,95...1,04	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У11	1,05...1,14	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028

У12	1,15...1,24	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У13	1,25...1,35	0,17...0,33	0,17...0,33	0,030	0,028
У7А	0,65...0,74	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У8А	0,75...0,84	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У8ГА	0,80...0,90	0,17...0,33	0,33...0,58	0,025	0,018
У9А	0,85...0,94	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У10А	0,95...1,04	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У11А	1,05...1,14	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У12А	1,15...1,24	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018
У13А	1,25...1,35	0,17...0,33	0,17...0,28	0,025	0,018

Із сталей У7, У7А виготовляють інструменти для обробки дерева (стамески, долота, сокири) та ударні інструменти (молотки, викрутки, гладилки). Сталі У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А використовують для виготовлення деревообробних інструментів (фрез, свердел, пилок) і для інструментів, які потребують підвищеної твердості і достатньої в'язкості (зубил, кернерів, матриць); сталь У10, У10А – мітчиків, свердел; сталі У11, У11А, У12, У12А, У13, У13А – інструментів, які потребують дуже високої твердості (шабери, полотна, ножівки, напилки, калібри, коси).

Для виготовлення деталей автомобілів, тракторів та інших машин, які працюють в найрізноманітніших умовах, марку сталі вибирають з урахуванням умов роботи кожної деталі окремо.

Питання для самоконтролю

1. Який допустимий вміст вуглецю в сталі?
2. Як впливає вуглець на механічні властивості сталі?
3. Які домішки входять до складу сталі?
4. Які домішки входять до складу сталі?
5. Як класифікують вуглецеві сталі?
6. Які маркують конструкційні сталі?
7. Які маркують інструментальні сталі?

Література

1. В.М. Никифоров «Технологія металів і конструкційних матеріалів», ст. 87-92
2. В. Попович «ТКМ і матеріалознавство», ст. 113-118
3. В. Ясюк, П.П. Тонкоглас та ін. «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», ст. 72-78.

Лекція №9 ЛЕГОВАНІ СТАЛІ

План

1. Легуючі елементи та їх вплив на структуру і властивості сталей.
2. Класифікація легованих сталей.
3. Маркування і застосування конструкційних і інструментальних сталей.

1. Легуючі елементи та їх вплив на структуру і властивості сталей.

Сталь, яка містить крім постійних домішок (манган, силіцій) один або кілька спеціальних елементів з вмістом понад 1% називають легованою.

До легованих сталей спеціально вводять легувальні елементи, які помітно змінюють їхні механічні і фізичко-хімічні властивості. До таких елементів належать хром, нікель, молібден, вольфрам, ванадій, кобальт, титан та ін. Манган у кількості понад 1% і силіцій понад 0,5% також є легувальними.

Введення легувальних елементів сприяє досягненню якіснішої термічної обробки, оскільки вони надають аустеніту великої стійкості.

Хром – дешевий легувальний елемент. Його широко застосовують для легування (в конструкційних сталях до 3%). Він підвищує твердість і міцність сталі при одночасному незначному зниженні пластичності і в'язкості. Хром підвищує опір корозії – при вмісті понад 13% Cr сталь стає неіржавною. Крім того, хром підвищує жароміцність, а також змінює магнітні властивості сталі. Завдяки високій зносостійкості хромистої сталі з неї виготовляють підшипники кочення. Хром вводять у сплав швидкорізальної сталі.

Нікель – цінний легувальний елемент (у конструкційних сталях 1...5%) – надає сталі міцності, високої пластичності і в'язкості. Його використовують у значній кількості, якщо потрібно одержати немагнітну сталь і сталь підвищеної антикорозійності.

Вольфрам – дорогий метал. Він дуже підвищує твердість сталі і надає їй червоностійкості – здатності зберігати твердість за підвищених температур. Його вводять переважно і інструментальні і швидкорізальні сталі.

Ванадій – карбідутворювальний елемент – підвищує твердість сталі і надає їй червоностійкості, сприяє утворенню дрібнозернистої структури, підвищує пружність. Його вводять в інструментальні й швидкорізальні сталі, в невеликій кількості (0,1...0,3%) – у конструкційні сталі.

Молібден – карбідотворювальний елемент – підвищує твердість і міцність сталі за підвищених температур. Він сприяє утворенню дрібнозернистості. Молібден вводять у конструкційні, інструментальні й жароміцні сталі.

Манган – недорогий легувальний елемент – є постійною домішкою сталі. В конструкційних сталях мангану не більше ніж 2%. Він підвищує міцність і

твердість сталі. З підвищенням вмісту мангану сталь стає зносо- і магнітостійкою.

Силіцій – постійна домішка сталі. У разі введення в сталь до 1% силіцію міцність її збільшується при збереженні в'язкості (ресорні і пружинні сталі). Він збільшує кислотостійкість, жароміцність. Силіцій вводять у конструкційні, електротехнічні та інші сталі.

Кобальт – підвищує жароміцність, магнітні властивості, збільшує опір ударам.

Титан – підвищує міцність, сприяє подрібненню зерен, поліпшує оброблюваність і опір корозії.

2. Класифікація легованих сталей

Леговані сталі класифікують за призначенням, хімічним складом, якістю та структурою.

За призначенням леговані сталі поділяють на *конструкційні, інструментальні і сталі з особливими фізичними і хімічними властивостями*.

Конструкційні сталі застосовують для виготовлення деталей машин і будівельних конструкцій. Конструкційні сталі повинні мати високі механічні властивості.

Інструментальні сталі і сплави застосовують для виготовлення різних виробничих інструментів (різальних, вимірювальних і ударно-штампових).

Інструментальні сталі повинні мати високу твердість і зносостійкість.

Сталі і сплави з особливими фізичними і хімічними властивостями застосовують для виготовлення деталей, які працюють в особливих умовах. Ці сталі об'єднано в шість груп: *неіржавні* (корозійностійкі), *з високим електроопором, електротехнічні, з особливим тепловим розширенням, магнітні і для роботи за високих температур* (жаростійкі й жароміцні).

За хімічним складом сталі поділяють залежно від того, які легувальні елементи і в якій кількості містяться в сталі.

За якістю леговану сталь поділяють на *якісну, високоякісну і особливо високоякісну*, яка містить сірку до 0,015%, фосфор до 0,025%.

Залежно від головних легувальних елементів сталь поділяють на групи, наприклад, *хромиста* (15Х, 40Х), *марганцевиста* (15Г, 30Г2), *хромонікелева* (12ХНЗ, 20ХН), *хромомангановосиліцієва* (25ХГС).

Залежно від вмісту легувальних елементів леговані сталі поділяють на три групи: *низьколеговані* (із загальним вмістом легувальних елементів до 3%), *середньолеговані* (3...10% легувальних елементів) і *високолеговані* (понад 10% легувальних елементів).

За структурою у відпаленому стані леговані сталі бувають *доевтектоїдні*, які мають у структурі вільний ферит; *заевтектоїдні* – надмірні карбіди і ледебуритні – первинні карбіди, які відокремилися з рідкої фази. За структурою після охолодження на повітрі леговані сталі поділяють на *перлітні, мартенситні й аустенітні*. Ця класифікація надзвичайно важлива,

оскільки за структурою сталей повністю встановлюють їхні властивості. Наприклад, сталь, яка має перлітну структуру, характеризується невеликою твердістю і високою пластичністю, а сталь, яка має мартенситну структуру, надто тверда і крихка.

3. Маркування і застосування конструкційних і інструментальних сталей

Для маркування сталей стандартом прийнято такі умовні позначення легувальних елементів: Х – хром, Н – нікель, В – вольфрам, Ф – ванадій, М – молібден, Г – манган, Д – мідь, К – кобальт, С – силіцій, Ю – алюміній, Р – бор, Б – ніобій, П – фосфор, Т – титан, Ц – цирконій.

Марка сталі складається з цифр і літер: якщо на початку марки стоять дві цифри (позначають конструкційні сталі), то вони вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка; якщо одна цифра – вміст вуглецю в десятих частках відсотка і якщо спереду марки цифри немає, то це означає, що вуглецю в цій сталі 1 % (позначають інструментальні сталі). Цифри, які стоять за літерами, вказують на вміст певної домішки (легувального елемента) у відсотках. Якщо після літери легувального елемента немає цифри, то вміст цього елемента становить до 1,5%. Літери в кінці марки означають: А – високоякісна сталь; літера Ш (через дефіс) вказує, що сталь особливо високоякісна (з обмеженим вмістом сірки і фосфору); Л – сталь, призначена для лиття; Я – сталь, розлита у вакуумі. *Наприклад, сталь 12Х2Н4А – хромонікелева високоякісна сталь з вмістом 0,12% вуглецю, хрому 2%, нікелю 4%; 5ХНМ – легована інструментальна сталь з вмістом 0,5 вуглецю, хрому, нікелю і молібдену до 1,5% кожного легувального елемента.*

Деякі леговані сталі виділено в окремі групи і на початку марки позначають літерами: Ш – підшипникові, ШХ15 (підшипникова хромиста сталь з вмістом 15% хрому); Р – швидкорізальні, Р18 (Р – швидкорізальна сталь, 18 – вміст вольфраму 18%); Л – лемішна сталь Л65 (0,65 % вуглецю); Е – магнітні сталі; ЕХЗ – магнітотверда хромової сталі (з вмістом 3% хрому); С_в – зварювальна сталь; Н_п – наплавлювальна сталь тощо.

Леговані конструкційні сталі.

Конструкційні леговані сталі застосовують для виготовлення різних відповідальніших деталей машин. Залежно від умов роботи вони повинні мати потрібні механічні властивості: високу міцність при значних статичних навантаженнях; пластичність і в'язкість при динамічних навантаженнях; твердість і зносостійкість при спрацюванні тертям.

Із сталей нормальної і підвищеної міцності найбільше застосовують сталі з підвищеною твердістю поверхні і в'язким осердям (цементовані, азотовані і зміцнені СВЧ сталі), які містять не більше ніж 5 % легувальних елементів.

Низьковуглецеві (0,1...0,3% С) леговані сталі зазнають цементації і нітроцементації. Цими технологічними методами зміцнюють шестерні,

зубчасті колеса, черв'яки, осі, важелі, поршневі пальці та інші деталі. Сталі, які зазнають цементації, наведено в табл. 1.

Як легувальні елементи використовують хром, нікель, манган, молібден, титан та ін. для деталей, які працюють в умовах спрацювання при терті (поршневі пальці, шліци), застосовують сталі марок 15Х, 20Х, 15ХФ, 20ХФ, 18ХГ, а також сталі підвищеної міцності марок 20ХН, 12ХН2М та ін. Для важконавантажених зубчастих коліс з високою міцністю осердя зуба використовують сталі 18ХГТ, 25ХГТ, 25 ХГМ, 30 ХГТ. Сталі 20ХГР, 27ХТР, 20ХНР з додаванням бору застосовують для виробів, які працюють на тертя (черв'яки, кулачки, шарніри). Деталі машин, виготовлені з цих сталей, зазнають термічної обробки (гартування і низького відпускання). Низьковуглецеві сталі крім твердої поверхні (58...63 HRC) мають достатньо міцне і в'язке осердя, стійке до навантажень.

Сталі 38Х2Ю і 38Х2МЮА після азотування використовують для виготовлення деталей з великою твердістю і зносостійкістю поверхні (валики водяних насосів, плунжери та ін.).

Для зміцнення поверхневим гартуванням, тобто нагріванням струмом високої частоти (СВЧ), вибирають середньовуглецеві сталі 40Х, 45Х, ШХ4, які застосовують для виготовлення зубчастих коліс, хрестовин, деталей підшипників кочення.

Леговані сталі з вмістом вуглецю 0,4...0,5% застосовують для великої групи деталей машин, які працюють не тільки при статичних, а й при ударних навантаженнях (вали, штоки, шатуни тощо).

Хромисті сталі 40Х, 45Х, 50Х належать до дешевих конструкційних матеріалів. Із збільшенням вмісту вуглецю в них підвищується міцність, але знижується пластичність і в'язкість.

Хромосиліцієманганові сталі 30ХГСА, 35ХГСА містять по 1% Cr, Mn і Si, мають високі технологічні і механічні властивості, їх широко застосовують в автомобілебудуванні (вали, деталі рульового керування).

Хромонікелеві сталі 4ХН, 45ХН, 50ХН мають високий температурний запас в'язкості і меншу схильність до крихкого руйнування порівняно з хромистими.

Для виготовлення пружин і ресор використовують леговані сталі 50С2, 55С2, 50ХФА, 60С2ХА та ін., які характеризуються високою пружністю, стійкістю, достатньою в'язкістю і пластичністю. Для знищення концентраторів напружень (волоsovих тріщин, рисок тощо) ресори і пружини піддають дробоструминному наклепу, що підвищує строк роботи у 5...8 разів.

Таблиця 1. Масова частка хімічних елементів у деяких легованих конструкційних сталях для цементації, %

Марка сталі	С	Cr	Mn	Інші елементи
20Х	0,17...0,23	0,7...1,0	0,5...0,8	-
20ХГР	0,18...0,24	0,8...1,1	0,7...1,0	(0,60...0,16) Ti
18ХГТ	0,17...0,23	1,0...1,3	0,8...1,1	(0,60...0,12) Ti
30ХГТ	0,24...0,32	1,0...1,3	0,8...1,1	(0,80...0,20) Ti

25ХГМ	0,22...0,28	1,0...1,3	0,8...1,1	(0,15...0,25) Мо
12ХНЗА	0,09...0,16	0,6...0,9	0,3...0,6	(2,75...3,15) Ni

Підшипникові сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ використовують для виготовлення підшипників кочення. Вони мають високу твердість і витримують велику кількість циклів високих контактних напружень. Перелічені хромисті сталі подібні до вуглецевих сталей приблизно з 1% вуглецю.

Корозійностійка підшипникова сталь ШХ15 (Ш – підшипникова сталь) призначена для виготовлення деталей, які працюють за температури до 500⁰С.

Манганова сталь марки 110Г13Л (Л – ливарна сталь) добре протистоїть абразивному спрацюванню. З неї відливають ланки гусениць тракторів, а також деталі землерийних машин.

Низьколеговані будівельні сталі застосовують для виготовлення конструкцій зварюванням. Ці сталі працюють без термообробки в процесі виготовлення, тобто в такому стані, в якому випускаються металургійними заводами. Вони мають добре штампуватися, зварюватися, не давати напружень і тріщин біля зварного шва. Найчастіше застосовують високоміцні сталі таких марок: 14ГА, 14ХГС і 15ХГС.

У таблиці 2 наведено перелік окремих деталей сільськогосподарської техніки, які виготовлені з конструкційних сталей.

Таблиця 2. Перелік деталей, які виготовлені із конструкційних сталей

Назва деталі	Марка сталі	Спосіб зміцнення
Сільськогосподарські машини		
Полиця плуга	Ст2сп	Цементация і гартування
Леміш плуга	Л53, Л65	Гартування і відпускання
Леміш картоплекопача	65Г, 70Г	Те саме
Лапа культиватора	65Г	Гартування
Диски сівалки, луцильника, борони	70Г	Те саме
Різальні сегменти	Х12М	Гартування і відпускання
сінокосарок, жаток	Ст3, Ст4	Без термічної обробки
Рама плуга		
Трактори і автомобілі		
Підшипники кочення	ШХ15 ШХ15СГ	Гартування і відпускання
Зубчасті колеса	45, 40Х, 45Х	Те саме
Колінчасті і розподільні вали	40, 45, 45Г2	Гартування СВЧ
Півосі вантажних автомобілів	40	Те саме

Закінчення табл. 2

Назва деталі	Марка сталі	Спосіб зміцнення
--------------	-------------	------------------

Капоти автомобілів і тракторів, кожухи, гальмові стрічки, трубки	10	Без термообробки
Кулачкові вали, осі, пальці, зірочки, навантажувальні вилки тяг, штовхачі клапанів, пальці ресор, поршневі пальці	15, 20, 25, 15Х, 20Х	Цементация, гартування і відпускання
Фрикційні диски, черв'яки	15Г, 20Г, 25Г, 20ХГР, 27 ХТР, 20ХГНР	Цементация або ціанування, гартування і відпускання
Шліцові вали, зубчасті колеса (автомобілів УАЗ, ГАЗ, ЗІЛ)	20ХН, 20ХН2М, 20ХФ	Цементация, гартування і відпускання
Зубчасті колеса коробок зміни швидкостей, ведене зубчасте колесо бортової передачі тракторів, зубчасті колеса редуктора заднього моста	18ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 30ХГТ	Те саме
Хрестовини кардан (ЗіЛ, КамАЗ)	20ХГНТР, 15ХГН2ТА	«
Гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згоряння	38Х2МЮА, 38Х2Ю	Азотування, гартування і відпускання
Впускні клапани тракторних двигунів	38ХС, 40Х9С2	Гартування і відпускання
	65С	Те саме
Пружини клапанів автомобільних двигунів	55С2, 55С2А, 50ХГ	«
Ресори і пружини	30Х13Н7С2, 45Х22Н4М3	Гартування, відпускання і гартування
	10Х13СЮ	Гартування
Випускні клапани автомобільних двигунів	40, 45, 50, 40Х, 45Х	Гартування і відпускання
Випускні клапани тракторних двигунів	110Г13Л	Гартування
Шатуни, шатунні болти	30ХГСА, 35ХГСА	Гартування і відпускання
	45	
Ланки гусениць		Гартування СВЧ
Деталі рульового керування		
Валик водяного насоса двигунів СМД		

Леговані інструментальні сталі

Леговані інструментальні сталі залежно від умов роботи і вимог поділяють на три групи: для *різальних інструментів*; для *штампувальних інструментів*; для *вимірювальних інструментів*.

Сталі для *різальних інструментів*, у свою чергу, поділяють на дві групи: *низьколеговані* – для інструментів малої і середньої швидкості різання; *високолеговані* – для інструментів високої швидкості різання.

Низьколеговані інструментальні сталі легують хромом, манганом, ванадієм і вольфрамом (загальною кількістю до 3...5%) головним чином для забезпечення високої твердості при гартуванні в мінеральній оливі.

Таблиця 3. Масова частка хімічних елементів у деяких легованих інструментальних сталях, %

Марка сталі	C	Mn	Si	Cr	W	V
3X	1,25...1,4	0,30...0,6	0,15...0,3	0,40...0,7	-	-
9X	0	0	5	0	-	-
XBG	0,85...0,9	0,30...0,6	1,20...1,6	0,95...1,2	1,20...1,6	-
XBSG	5	0	0	5	5	0,05...0,1
9X5B	0,90...1,0	0,80...1,1	0,15...0,3	0,90...1,2	0,50...0,8	5
Ф	5	0	5	0	0	0,15...0,3
	0,95...1,0	0,60...0,9	0,65...1,0	0,60...1,1	0,80...1,2	0
	5	0	0	0	0	
	0,85...1,0	0,15...0,4	0,15...0,4	4,50...5,5		
	0	0	0	0		

Високолеговані інструментальні сталі – це швидкорізальні сталі, які мають мартенситно-карбідну структуру, зберігають твердість при високих швидкостях різання і тому називають *швидкорізальними*, або *рапірними*. Ці сталі здатні зберігати твердість у нагрітому стані до температури 600...640°C, оскільки структура відпалених швидкорізальних сталей має до 25% карбідів.

Таблиця 4. Масова частка хімічних елементів у деяких швидкорізальних сталях, %

Марка сталі	C	Cr	W	V	Mo
P18	0,70...0,80	3,80...4,40	17,0...18,5	1,0...1,4	До 1,0
P9	0,65...0,95	3,80...4,40	8,5...10,0	2,0...2,6	До 1,0
P6M5	0,80...0,88	3,80...4,40	5,5...6,5	1,7...2,1	5,0...5,5
P6M3	0,85...0,95	3,00...3,50	5,5...6,5	2,0...2,5	3,0...3,6

Штампові сталі повинні бути твердими, міцними і мати достатню в'язкість для запобігання поломкам штампів при ударному навантаженні, а сталі для гарячого штампування мають зберігати свою твердість і міцність за підвищених температур (до 900...1200°C).

Сталі для вимірювального інструменту повинні мати високу стійкість до спрацювання, невеликий коефіцієнт лінійного розширення і здатність тривалий час зберігати задані розміри. Цим вимогам відповідають низьколеговані сталі марок Х, ХГС, ХВГ, 9ХС. Зі сталей цих марок виготовляють вимірювальний інструмент високого класу точності (калібри, мікрометри, вимірювальні плитки).

Сталі й сплави з особливими властивостями

Неіржавні (корозійностійкі) сталі. Неіржавні сталі мають високу корозійну стійкість у хімічно активних газових і рідких середовищах. Висока корозійна стійкість цих сталей забезпечується великим вмістом хрому, нікелю і мангану. Неіржавна сталь, яка добре протистоїть корозії та окисненню, містить приблизно 13...19% хрому і 8...13% нікелю.

Зносостійкі сталі. Довговічність машин значною мірою залежить від зносостійкості матеріалу, із якого виготовлені її деталі.

Зносостійкість сталі залежить від її хімічного складу, структури, термічної обробки, твердості структурних складових.

На спрацювання деталей, які працюють на тертя, значно впливають характер роботи, умови спрацювання, а також хімічний склад сплаву. Наприклад, графіт є внутрішнім змащуванням, зменшується тертя і спрацювання поверхні деталі. Структура мартенситу має високу зносостійкість завдяки наявності твердих і рівномірно розміщених карбідів.

Жаростійкі й жароміцні сталі та сплави. Під жароміцністю розуміють здатність сплавів зберігати міцність за високих температур, а під жаростійкістю – здатність сплавів чинити опір впливу хімічних речовин та газового середовища за високих температур.

Електротехнічні сталі і сплави. Сталі і сплави цього типу використовують як матеріал, що має мінімальний електроопір, або, навпаки, для перетворення електричної енергії на теплову. Друга група електротехнічних сплавів має високий електроопір і використовується для виготовлення електронагрівальних елементів і реостатів. Для провідникових матеріалів застосовують мідь, алюміній, рідко – срібло. Провідникові матеріали повинні містити мало домішок, оскільки легувальні домішки підвищують електроопір.

Питання для самоконтролю

1. Які домішки входять до складу легованої сталі?
2. Як класифікують леговані сталі?
3. Як маркують леговані сталі?

Література

1. В.М. Никифоров «Технологія металів і конструкційних матеріалів», ст. 87-92
2. В. Попович «ТКМ і матеріалознавство», ст. 115-118

3. В Ясюк, П.П. Тонкоглас та ін. «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», ст. 78-91.

Лекція №10 ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

План

1. Основи термічної обробки сталі.
 - 1.1. Призначення і класифікація видів термічної обробки.
 - 1.2. Режими проведення гартування і відпуску.
2. Особливості ТО легованих сталей і чавунів.
 - 2.1. Призначення і основи ТО.
 - 2.2. Суть процесу цементації сталі та термічна обробка сталі після цементації.
 - 2.4. Термомеханічна обробка (ТМО)

1.3.1. Основи теорії термічної обробки сталі.

Термічна обробка полягає у зміні структури металів і сплавів при нагріванні, видержуванні та охолодженні, згідно спеціального режиму, і тим самим, у зміні властивостей останніх. В основі термічної обробки сталей лежить перекристалізація аустеніту при охолодженні. Перекристалізація може відбутися дифузійним або бездифузійним способами. У залежності від переохолодження аустеніт може перетворюватися у різні структури з різними властивостями.

Повний дифузійний розпад аустеніту відбувається при незначному переохолодженні. У даному випадку утворюється пластинчастий перліт (механічна суміш фериту і цементиту вторинного). Якщо переохолодження збільшити до 373-393 °К, пластинки фериту і цементиту встигають вирости тільки до товщини (0,25-0,30мм), таку структуру називають сорбітом. Твердість сорбіту вища за твердість перліту.

Коли переохолодження досягає 453-473 °К, ріст пластинок припиняється на товщині 0,1-0,15 мкм, така структура називається трооститом. Твердість трооститу вища від твердості сорбіту.

При значному переохолодженні аустеніту (до 513 °К) дифузійний розпад його стає неможливим, перекристалізація має бездифузійний характер. У такому випадку утворюється перенасичений твердий розчин вуглецю в α -залізі, який називається мартенситом. Твердість мартенситу вища від твердості трооститу.

Структура перліту є рівноважною, а структури сорбіту, трооститу і мартенситу є не рівноважними.

1.3.2. Види термічної обробки.

Розрізняють такі види термічної обробки: відпал, нормалізація, загартування і відпуск.

Відпал. Відпалом називають нагрівання до високих температур, видержування і повільне охолодження разом з піччю.

Розрізняють такі види відпалу: рекристалізаційний, дифузійний, на зернистий перліт, ізотермічний, повний і неповний. Відпал підвищує пластичність, зменшує внутрішні напруження, понижує твердість сталей.

Нормалізація. Нормалізацією називають нагрівання до високої температури, видержування і повільне охолодження на повітрі. Нормалізація доводить сталь до дрібнозернистої та однорідної структури. Твердість і міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалу.

Загартування сталі. Загартуванням називають нагрівання до високої температури, видержування і швидке охолодження (у воді, мінеральній оливі та інших охолоджувачах). Є такі види загартування: в одному охолоджувачі; перервне; ступінчасте; ізотермічне; поверхневе та ін. Загартування сталей забезпечує підвищення твердості, виникнення внутрішніх напружень і зменшення пластичності. Твердість збільшується у зв'язку з виникненням таких структур: сорбіт, троостит, мартенсит. Практично загартуванню піддається середньо- і високовуглецеві сталі.

Відпуск сталі. Відпуском називають нагрівання до температур нижче 973°K , видержування і повільне охолодження на повітрі.

Розрізняють три види відпуску: низький (нагрівання до температури 473°K ; середній ($573-773^{\circ}\text{K}$); високий ($773-973^{\circ}\text{K}$). Після відпуску в деякій мірі зменшується твердість і внутрішні напруження, збільшується пластичність і в'язкість сталей. До цього приводить зміна структур після відпуску. Структура мартенситу сталі переходить відповідно в структуру трооститу і сорбіту. Чим вища температура відпуску, тим менша твердість відпущеної сталі і тим більша її пластичність та в'язкість.

Відпуск, в основному, проводять після загартування для зняття внутрішніх напружень. Низький відпуск застосовують при виготовленні різального інструменту, вимірювального інструменту, цементованих деталей та ін; середній - при виробництві ковальських штампів, пружин, ресор; високий - для багатьох деталей, що зазнають дії високих напружень (осі автомобілів, шатуни і т.п.).

1.3.3. Основи теорії хіміко-термічної обробки.

Хіміко-термічною обробкою називають насичення поверхні виробу різними елементами. Мета хіміко-термічної обробки - надати поверхневому шару сталей деталей підвищеної твердості, зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості та ін. Для цього нагріті деталі поміщають у середовище, з якого в процесі дифузії у поверхневий шар переходять деякі елементи (вуглець, азот, алюміній, хром, кремній, бор та ін.).

Такі елементи найкраще поглинаються тоді, коли вони виділяються в атомарному стані при розпаді якої-небудь сполуки. Подібний розпад найлегше відбувається у газах, тому їх і намагаються застосовувати для хіміко-термічної обробки сталі. Активізований атом елемента, що виділяється при розпаді, проникає у решітку кристалів сталі і утворює твердий розчин або хімічну сполуку. Найпоширенішими видами хіміко-термічної обробки сталі є: цементація, азотування, ціанування, дифузійна металізація.

Цементацією називається насичення поверхні сталюого виробу вуглецем. Після загартування такого виробу він стає твердим на поверхні і в'язким у серцевині. Цементації піддають в основному деталі, які працюють на стирання і удар одночасно. Цементація придатна для маловуглецевих сталей. Є два види цементації: цементація твердим карбюризатором і газова цементація.

Азотування - це насичення поверхневого шару виробу азотом, щоб надати йому високої твердості, підвищити зносостійкість та опір агресивним середовищем. Азотують леговану сталь, що містить алюміній, титан, ванадій, вольфрам, молібден або хром. Такі елементи, при взаємодії з азотом, утворюють тверді, стійкі в агресивних середовищах нітриди (TiN і т.п.).

Ціанування - насичення поверхневого шару виробів одночасно вуглецем і азотом. Воно буває рідинне і газове, низькотемпературне (773-973 °K), високотемпературне (1073-1123 °K). Ціанування в основному застосовують для обробки інструментів із швидкорізальної сталі, підвищується твердість і корозійна стійкість.

Дифузійна металізація - насичення поверхневого шару виробу різними металами. Найбільш поширені: алютування (насичення алюмінієм); хромування (насичення хромом); нікелювання (насичення нікелем); силіціювання (насичення кремнієм). Дифузійна металізація проводиться для підвищення твердості, корозійної стійкості, жаростійкості, блиску і естетичного вигляду. Цей спосіб насичення поверхневого шару проводиться, у твердому стані.

1. Які домішки входять до складу легованої сталі?
2. Як класифікують леговані сталі?
3. Як маркують леговані сталі?

Література

1. В.М. Никифоров «Технологія металів і конструкційних матеріалів», ст. 87-92
2. В. Попович «ТКМ і матеріалознавство», ст. 115-118
3. В. Ясюк, П.П. Тонкоглас та ін. «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», ст. 78-91.

Лекція №11

СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

1. Властивості та марки чистої міді. Латуні. Бронзи.
2. Властивості та застосування алюмінію.
3. Маркування чистого алюмінію.
4. Алюмінієві сплави.

1. Властивості та марки чистої міді.

Густина чистої міді становить $8,9 \text{ г/см}^3$; температура плавлення - 1083°C ; електропровідність - $(0,65 \text{ мком}\cdot\text{м})^{-1}$. Механічні властивості міді відносно низькі. Так, у литому стані $\sigma_{\text{в}} = 150\text{-}200 \text{ МПа}$, $\delta = 15\text{-}25 \%$. Тому як конструкційний матеріал мідь знаходить обмежене застосування. Маркують мідь залежно від наявності в ній домішок: М00 (99,97 % Cu); М0 (99,95 % Cu), М2, М3 і М4 (99 % Cu). Мідь широко застосовують в електротехніці та в інших галузях народного господарства. На її основі виготовляють найважливіші технічні сплави: латунь (сплав міді з цинком), бронзу (сплав міді з іншими, крім цинку, елементами).

2. Латуні.

Латуні – це подвійні або багатокомпонентні сплави, у яких основним легуючим елементом є цинк. Латунь може мати у своєму складі до 45 % Zn. Підвищення кількості цинку в латуні підвищує міцність ($\sigma_{\text{в}}$ до 450 МПа). Максимальна пластичність латуні спостерігається при вмісті цинку близько 37 %.

На рисунку показано залежність $\sigma_{\text{в}}$ і δ від кількості цинку в латуні.

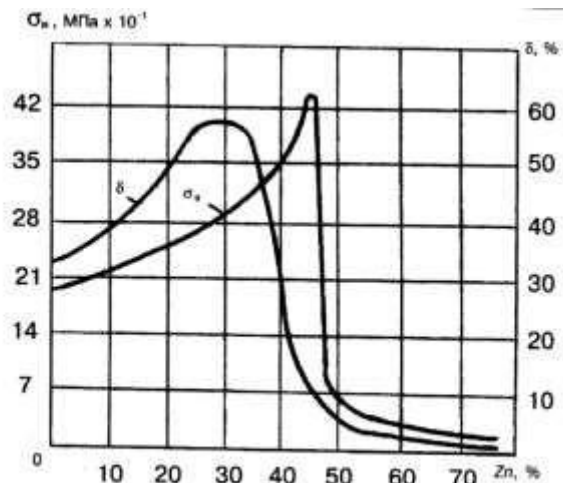


Рис. 5.17. Зміна механічних властивостей мідноцинкових сплавів залежно від вмісту цинку

Маркують латуні буквою Л, за якою стоїть цифра* що середній вміст міді у процентах (наприклад, у сплаві Л62 міститься 62 % Cu і 38 % Zn). Якщо окрім міді та цинку в сплаві є ще інші елементи, то для їхнього позначення після букви Л ставляться початкові букви назв цих елементів (О - олово, С - свинець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Ц - цинк, Мц - марганець). Процент кожного з цих елементів, що знаходиться у сплаві, позначають відповідні цифри, що стоять після кількісного показника міді в латуні. Наприклад, сплав ЛАЖ60-1-1 містить (%): Cu - 60; Al - 1; Fe - 1; Zn - 38.

З латуней марок Л62, Л68 виготовляють стрічки, гільзи патронів, радіаторні трубки, дріт. Латунь марки Л80 (томпак) має колір золота. Застосовують її при виготовленні різних відповідальних деталей, а також ювелірних виробів, декоративних прикрас. З латуні марки Л59 виготовляють прутки, а з них за допомогою обробки різанням - різні деталі.

Крім звичайних (простих) латуней у промисловості застосовують спеціальні складні латуні, до яких додатково вводять різні елементи: свинець для поліпшення оброблюваності сплаву (латунь марки ЛС59 містить близько 40 % Zn і 1-2 % Pb, так звана автоматна латунь); олово для підвищення стійкості проти корозії у морській воді (морська латунь); алюміній і нікель для підвищення механічних властивостей (ЛАН59-3-2).

3. Бронзи

Бронзами називають сплави міді з іншими хімічними елементами, серед яких цинк є неосновним легуючим елементом.

Сплав міді з алюмінієм (БрАЖ9-4, БрАЖНІ0-4-4) називають алюмінієвою бронзою, а сплави міді з кремнієм, оловом та іншими елементами (БрКМцЗ-І, БрОЦС-5-5-5, БрС30 тощо) - відповідно кремнистою, олов'янистою, берилієвою та іншими бронзами.

Алюмінієву бронзу піддають гартуванню у воді за мінімальної температури 900°C і відпуску при нагріванні до різних температур. З алюмінієвої бронзи виготовляють втулки, напрямні сидла, фланці, шестірні та інші дрібні відповідальні деталі. Кремниста бронза є заміником олов'янистої. Наприклад, бронза БрКМц3-1 (3 % Si і 1 % Мп) є заміником олов'янистої бронзи БрОЦС6-6-3 (6 % Sn; 6 % Zn і 3 % Pb). Кремниста бронза краща за олов'янисту за протикорозійною стійкістю, механічними властивостями і щільністю виливок та зливків, але поступається їй величиною усадки.

Берилієва бронза БрБ2 (з 2 % Ве) має високу хімічну стійкість, добре зварюється, легко ріжеться. З цієї бронзи виготовляють пружини, мембрани, пружні контакти, безіскрові інструменти для ведення вибухонебезпечних гірничих робіт тощо. Берилієву бронзу гартують у воді після нагрівання до 800°C і піддають штучному старінню при 325° С. Механічні властивості берилієвої бронзи після старіння: ($\sigma_b = 1100-1200$ МПа; твердість 370 НВ; $\delta = 1$ %).

Свинцевиста бронза БрС30 є високоякісним антифрикційним матеріалом, який широко застосовують у машинобудуванні.

1. Властивості та застосування алюмінію.

Алюміній – легкий і пластичний метал сріблясто – білого кольору з високою тепло – і електропровідністю, який на повітрі швидко покривається тонкою оксидною плівкою Al_2O_3 , що надійно захищає його від корозії в атмосферних умовах, воді, органічних кислотах. Він добре оброблюється тиском, газовим і контактним зварюванням, але погано обробляється різанням. Ливарні і механічні характеристики алюмінію невисокі.

Густина чистого алюмінію - 2,7 г/см³, температура плавлення - 657°C. Прокатаний і відпалений алюміній високої чистоти має $\sigma_b = 60$ МПа, $\delta = 50$ %, $\psi = 85$ %, твердість 25 НВ.

Чистий алюміній широко застосовується в електротехнічній промисловості для виготовлення провідників, шин, кабелів. У харчовій промисловості з алюмінію виготовляють різні ємкості та фольгу для упаковки продуктів. В металургії алюміній використовують для одержання чистих рідкісних металів, а також для розкислення сталі.

2. Маркування чистого алюмінію.

Первинний алюміній випускають таких марок: особливої чистоти – А999, високої чистоти – А995, А99, А97, А95, технічної чистоти – А85, А8, А7, А6, А5, А0. Цифри в позначеннях марок означають масову частку вмісту алюмінію, а основу (99%) не вказують. Наприклад. Алюміній А97 містить 99, 97% Al, решта – домішки, їх загальний вміст не перевищує 0,03%.

3. Алюмінієві сплави.

Сплави на основі алюмінію поділяють на *сплави, що деформуються, та ливарні*. Сплави, що деформуються, у свою чергу, - на незміцнювані та зміцнювані термообробкою.

Сплави, що деформуються без зміцнення термообробкою.

Сплави, що деформуються без зміцнення термообробкою мають невисоку міцність, але високу пластичність і протикорозійну стійкість АМц(1-1,6 % Мп), АМгЗ(3,2-3,8 % Мд), АМг5(4,8-5,8 % Мд). З цих сплавів виготовляють деталі методом штампування.

Дюралюміній та інші сплави, що деформуються, зміцнювані термообробкою.

Дюралюміній - найпоширеніший у техніці сплав алюмінію з міддю, магнієм, марганцем, кремнієм і залізом. Слово дюралюміній у перекладі з французької означає твердий (франц. *durte* - твердість). Він містить близько 4 % Cu, 1 % Mg, 1 % Mn, незначну кількість Fe і St. Найпоширеніші у техніці марки дюралюмінію - Д1, Д16.

Щоб підвищити механічні властивості дюралюмінію, його піддають гартуванню (температура гартування дорівнює 485-505°C) і природному старінню.

Алюмінієві сплави з додаванням цинку (крім міді та магнію) мають вищу міцність і називаються *високоміцними* (сплави В95, В96 мають σ_b до 650 МПа).

Сплави алюмінію для поковок і штампування. При виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів методом кування і штампування (наприклад, лопастей гвинта, картерів двигунів тощо) застосовують алюмінієві сплави марок АК6, АК8, які містять (в %): Cu - 1,8-4,8; Mg - 0,3-0,8; Mn - 0,4-0,8; Si - 0,5-1,2; Fe - 0,8. Поковки і штамповки одержують при температурі 380-450°C. Поковки піддають гартуванню від 500 до 575°C і старінню при 150-165°C протягом 6-15 годин.

Ливарні сплави.

ГОСТ передбачає п'ять груп ливарних сплавів на основі систем: Al-Si, Fe-Si-Cu, Al-Cu, Al-Mg, Al - інші елементи. Крім підвищених порівняно з алюмінієм механічних характеристик, вони мають високу рідкотекучість і невелику усадку, задовільну пластичність, добре обробляються різанням. Їх широко застосовують для виготовлення корпусних деталей двигунів, насосів і приладів, електроарматури, тонкостінних виливків складної форми. Маркуються від АЛ1 до АЛ33. У позначенні марок буква А означає, що це сплав алюмінієвий, Л - що він ливарний, цифри - порядковий номер сплаву.

Типовими ливарними алюмінієвими є сплави системи Al-Si - *силуміни* (10-13 % Si), з яких в авто- і авіабудівництві виготовляють литі деталі.

Лекція №12
ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ.
ПЛАН

1. Порошкова металургія.
2. Класифікація твердих сплавів та мінералокерамічних матеріалів.
3. Литі тверді сплави.

1.Порошкова металургія.

З порошків металів і неметалів під тиском 200...800 МПа одержують у прес-формах суміші (пресовки), які спікають за температури, на 1/3 нижчої за температуру плавлення металу основного компонента суміші. Такий метод одержання деталей називають *методом порошкової металургії*.

Методами порошкової металургії можна виготовити деталі з тугоплавких матеріалів, які не сплавляються (наприклад, мідь і графіт, мідь і вольфрам, вольфрам і срібло).

Виробництво деталей з порошкового матеріалу включає готування порошків, складання шихти, пресування та спікання.

2.Класифікація твердих сплавів та мінералокерамічних матеріалів.

Тверді сплави і мінералокераміка – це велика група конструкційних та інструментальних матеріалів. Основний метод виготовлення виробів з цих матеріалів – порошкова металургія. Сплави, які отримані методом порошкової металургії, називають *спеченими*.

За хімічним складом тверді сплави класифікують:

металічні – леговані, швидкорізальні вольфрамові, швидкорізальні безвольфрамові, залізонікелеві, хромонікелеві та інші;

металокерамічні – карбідохромові, карбідотитанові, вольфрамові, титановольфрамові, титанотанталовольфрамові та інші;

мінералокерамічні – мікроліт, кераміти, оксидно-карбідна кераміка.

Також тверді сплави і мінералокерамічні матеріали класифікують в залежності від твердості:

тверді, або підвищеної твердості (1500...2000HV), які виготовляють з порошків карбідів вольфраму, титана, танталу, легованих сталей, нікелю, заліза та інших металів і їх карбідів;

дуже великої твердості (2000...2500HV), це, як правило, абразивні матеріали (карбід кремнію, електрокорунд);

надто тверді (більш ніж 2500HV), які призначені для абразивів, ріжучого інструменту (алмази природні та синтетичні, кубічний нітрид бору).

3. Литі тверді сплави.

Литі тверді сплави виготовляють у вигляді спеціальних електродів і застосовують для наплавлення (наварювання) стійкого проти спрацювання шару на поверхні нових або спрацьованих деталей та інструментів, штампів, ножів для різання металу, деталей сільськогосподарських машин та ін. До литих сплавів належать сталі В2К і В3К – сплави на основі вольфраму, хрому і кобальту, сормайти №1 і №2 – високо вуглецеві сплави на залізо-хромовій основі, литий карбід вольфраму – реліт. Наплавлення здійснюють за допомогою ацетиленокисневого полум'я або електричної дуги. Крім того, на заводах сільськогосподарського машинобудування широко застосовують порошкові тверді сплави, що наносяться на поверхню виробів способом індукційної наплавки. Деталі чи інструмент, призначені для наплавлення, виготовляють з вуглецевої сталі, чим досягають економії дорогих легированих сталей. Після наплавлення вироби відпалюють, обробляють різанням для надання необхідної форми і розмірів, гартують і відпускають.

Лекція №13 НЕМЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ПЛАН

1. Класифікація неметалевих матеріалів.
2. Загальні відомості, види та склад пластмас.
3. Термопластичні пластмаси.
4. Термореактивні пластмаси
5. Виготовлення виробів з пластмас.

1. Класифікація неметалевих матеріалів.

До неметалевих матеріалів належать пластмаси, гума та ебоніт, графіт та абразив, лакофарбові та клеючі матеріали, шкіра, азбест, скло, кераміка, фарфор, мармур, повстьб, текстильні та паперові матеріали. Широкого застосування набули композиційні матеріали, особливо волокнисті, що складаються з коротких або безперервних волокон як наповнювачів, і середовища, що заповнює простір між ними, чим забезпечує монолітність композиції.

2. Загальні відомості, види та склад пластмас.

Пластмаси — це матеріали на основі природних або синтетичних полімерів (смола), які можуть набувати заданої форми при нагріванні під тиском і стойко зберігати її після охолодження.

До смол природного походження належать бурштин, канифоль, шелак, асфальти. Для добування синтетичних смол використовують кам'яне вугілля, нафту, газ. Наприклад, фенольні смоли — це продукти поліконденсації фенолу, який одержують з кам'яного вугілля, і формальдегіду, для одержання якого використовують природний газ — метан або метиловий спирт. Поліетилен — продукт полімеризації етилену, що переважно міститься у продуктах нафтопереробки і входить до складу коксового газу.

Смоли у пластмасах виконують роль зв'язки для всіх інших компонентів. Пластмаси поділяються на прості і складні (композиційні). Просто пластмаси складаються переважно з одного полімера - синтетичної смоли, наприклад поліетилен, полістирол, плексиглас, а композиційні — з кількох компонентів, кожен з яких виконує певну роль.

Наповнювачі вводять до складу пластмас для підвищення механічної міцності і твердості, зменшення усадки, покращення звуко-, тепло-, електроізоляційних та інших властивостей. В ролі наповнювачів використовуються азбест, деревна мука, папір, тканина, скловолокно та інші речовини органічного і неорганічного походження. У складі пластмас їх вміст може досягати 70%. Залежно від виду наповнювача розрізняють пористі, порошкові, волокнисті, шаруваті і складні пластмаси. Велика група пластмас (наприклад, прозорі) наповнювача не має.

Затвердники (наприклад, окисли деяких металів,) вводять до складу пластмас для швидкого затверднення поліконденсаційних смол і прискорення технологічного процесу виготовлення виробів.

Барвники — стійкі органічні та мінеральні пігменти: хризолін, нігрозин, вохра, сурик, мумія, умбра та ін. надають пластмасам певного кольору.

Стабілізатори (сполуки олова і свинцю, сажі) гальмують руйнування (старіння) пластмасових виробів під дією світла, тепла та інших факторів, що зменшують їхню еластичність і підвищують крихкість.

Крім того до складу пластмас входять пластифікатори (дифталат, камфора, рицинова олія), які підвищують їх пластичність та еластичність, антистатик, що запобігають виникненню і накопиченню електричного заряду на виробах, антипірени, котрі знижують горючість матеріалів, та інші компоненти.

Змінюючи склад і структуру пластмас, можна в широких межах змінювати їхні властивості. Такими перш за все є невелика густина в поєднанні з відносно високою механічною міцністю, хімічна і корозійна стійкість, добрі діелектричні, антифрикційні або фрикційні властивості. Останнім часом створені різноманітні за своїми характеристиками струмопровідні,

напівпровідникові, магнітні, декоративні та інші пластмаси. Проте основну групу серед них становлять конструкційні пластмаси, призначені для виготовлення різноманітних деталей — зубчастих коліс, фланців, ручок, корпусних деталей тощо.

3. Термопластичні пластмаси.

За своєю поведінкою при підвищених температурах всі пластмаси поділяються на дві групи: термопластичні або термооборотні і термореактивні, або термонеоборотні. Термопластичні пластмаси виготовляють на основі полімеризаційних смол. До них належать поліетилен, полістерол, вініпласт, поліпропілен, поліаміди, полі- акрилати. Внаслідок багаторазового нагрівання та охолодження вони зберігають здатність розм'якати, плавитись і знову тверднути. Жодних необоротних хімічних перетворень в них не відбувається. Термопласти зручні для переробки у виробі, дають незначну усадку при формуванні (1-3%). Вони характеризуються великою пружністю, малою крихкістю і здатністю до орієнтації. Термопласти переважно виготовляють без наповнювачів. Останнім часом почали застосовуватись термопласти з наповнювачами у вигляді мінеральних і синтетичних волокон — органопласти.

4. Термореактивні пластмаси

Термореактивні пластмаси після затверднення і переходу зв'язуючого полімера в термостабільний стан стають крихкими, часто дають велику усадку (до 10 – 15%) при їх переробці, тому до їхнього складу вводять підсилюючі наповнювачі. До термореактивних пластмас належать такі широко відомі пластмаси, як гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, азботекстоліт.

5. Виготовлення виробів з пластмас.

Специфічні фізичні і технологічні властивості полімерів, вид наповнювача, форма виробів визначають своєрідні методи переробки їх у напівфабрикати і деталі. Пластмаси випускають у вигляді порошків, гранул, плівок, листів, плит, труб та інших напівфабрикатів.

Для виготовлення виробів із термопластів найчастіше застосовують лиття під тиском, відцентрове лиття, екструзію (видавлювання), штампування, вакуумне і пневматичне формування.

Основними методами виготовлення з реактопластів є пресування на гідравлічних і гідравлічних пресах, профільне пресування. Крім того, всі пластмаси можна склеювати, а термопласти – зварювати. Обробка пластмас

різанням у серійному і масовому виробництві застосовується рідко через її низьку продуктивність і велику кількість відходів.

Пластмаси – один з найбільш прогресивних і часто незамінних матеріалів у машинобудуванні.

ЛЕКЦІЯ 14 ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

План

- 1) Значення ливарного виробництва.
- 2) Технологічний процес одержання виливків у одноразових формах.
- 3) Модельний комплект.
- 4) Ливникові системи.
- 5) Формувальні і стрижневі суміші та їх застосування.

1. Значення ливарного виробництва

Ливарним виробництвом прийнято називати процеси отримання заготовок або готових деталей заповненням рідким металом чи сплавом металів порожнин форми, яка має конфігурацію відливної заготовки. Після затвердіння металу форми розкривають або ламають і виймають вилиті деталі, які називаються *виливками*. Остаточних розмірів деталі набувають зазвичай після механічної обробки.

Ливарне виробництво — основна заготівельна база всіх напрямів машинобудування. В багатьох випадках лиття — єдиний можливий спосіб отримання заготовок складної форми. Литі заготовки є найдешевшими, а часто мають і мінімальний припуск на механічну обробку.

Литтям можна отримати деталі з різноманітних сплавів масою під кількох грамів до сотень тонн з товщиною стінок до 0,5 мм, з розмірами від кількох міліметрів до десятків метрів найскладнішої форми, яку неможливо отримати іншим способом.

Світову славу здобули роботи майстрів-ливарників. У 1586 р. Андрій Чохов відлив із бронзи «Царь-пушку» масою 39 т, а в 1735 р. Іван Моторін із сином Михайлом відлили «Царь-колокол» масою близько 200 т.

Способи виготовлення виливків поділяють на дві групи: лиття в піщані форми; спеціальні способи лиття. В свою чергу, лиття в піщані форми може бути ручним і машинним (механізованим та автоматизованим). Спеціальні методи поділяють на лиття в кокілі (металеві форми вільним заливанням); лиття за моделями, що виплавляються, розчиняються чи випалюються; відцентрове лиття; лиття під тиском; лиття в оболонкові форми; інші способи лиття.

2. Технологічний процес одержання виливків у одноразових формах

Технологія виготовлення виливків у одноразових формах складається з таких послідовних операцій: виготовлення модельних комплектів;

приготування фермових і стрижневих сумішей; виготовлення форм і стрижнів; сушіння стрижнів, а іноді і форм; складання форм; одержання рідкого металу; заливання форм металом; вибивання виливків із форм; обрубкування й очищення литва; термічна обробка виливків (у деяких випадках); контроль готових виливків.

3. Модельний комплект

Модельний комплект складається з моделі одного або кількох стрижневих ящиків і моделей елементів ливникової системи (рис. 3.1).

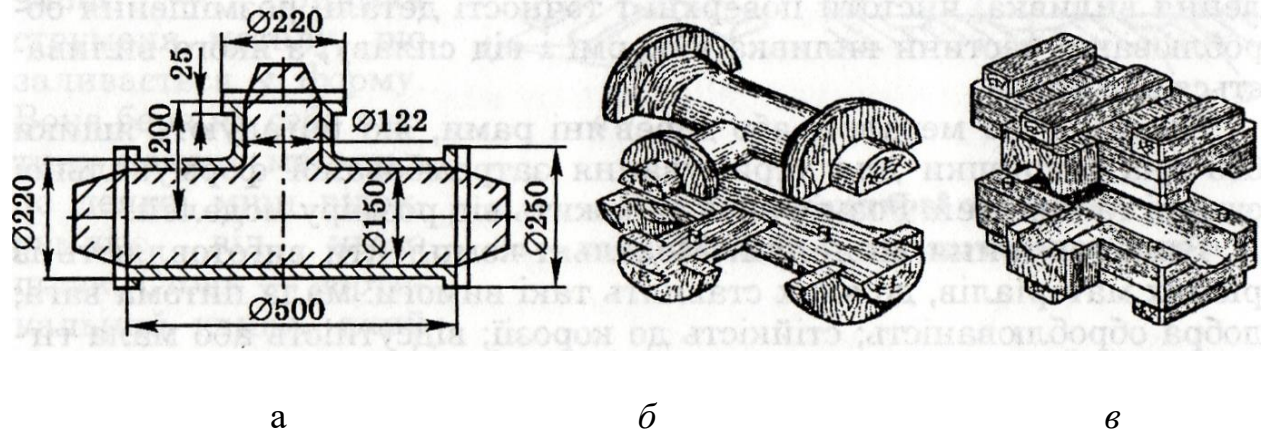


Рис.3.1. Модельний комплект трійника:

а — ескіз вилівка; б — рознімна модель; в — стрижневий ящик

Модель — зразок, за допомогою якого одержують звичайно зовнішні окреслення виливка в формі. Внутрішні порожнини і отвори у виливках утворюють за допомогою стрижнів, які виготовляють у стрижневих ящиках.

Модель за конструкцією дещо відрізняється від деталі. Вона не має отвору, а навпаки, в місцях виходу отвору, на торцях, є виступи — *знаки*. Аналогічні знаки є і в стрижневому ящику, отже, вони будуть і у стрижня. Знаки фарбують у чорний колір на відміну від моделей, які фарбують у червоний колір. Знаки утворюють у формувальній землі відповідні порожнини, які призначені для укладання в них і закріплення *стрижня*, тобто форми майбутньої порожнини у відливку.

Моделі складної форми виготовляють рознімними або з від'ємними частинами, а вертикальні стінки їх, перпендикулярні до площини рознімання, виконують з уклоном. Це дає змогу легко виймати модель частинами без руйнування форми. Величина формувальних уклонів залежить від матеріалу, з якого виготовляють модель, способу формування (ручне чи машинне) і від висоти стінок виливка. Для дерев'яних моделей формувальні уклони становлять від 3° до 15', для металевих при машинному формуванні — від 1°30' до 20'.

Модель виконують дещо більших розмірів, ніж деталь, оскільки враховують лінійну усадку сплаву і дають припуски на обробку поверхонь, які зазнають механічної обробки. *Усадка* — зменшення об'єму і лінійних розмірів виливка порівняно з розмірами форми, яке відбувається в процесі охолодження металу від температури заливання до нормальної температури.

Середнє значення лінійної усадки для сірого чавуну становить 1 %, для сталі — 2%, для бронз — 1,25... 1,50 %.

Припуски на обробку залежать від розмірів і точності виготовлення виливка, чистоти поверхні і точності деталі, розміщення оброблюваної частини виливка у формі і від сплаву, з якого виливається заготовка.

Опоки — це металеві або дерев'яні рами, які нагадують ящики без дна і кришки для утримування затрамбованої формувальної суміші та моделей. Розмір опок залежить від розміру моделей.

Виготовлення моделей. Модельні комплекти виготовляють із різних матеріалів, до яких ставлять такі вимоги: мала питома вага; добра оброблюваність; стійкість до корозії; відсутність або мала гігроскопічність; низька вартість. Поширеним матеріалом для моделей є деревина (сосна, вільха, береза, липа, груша, ясен та ін.), а при машинному формуванні — металеві сплави, частіше алюмінієві. Іноді для виготовлення моделей застосовують гіпс, спеціальні цементи, а останнім часом — пластмаси.

Дерев'яну модель і стрижневий ящик виготовляють не із суцільних шматків деревини, а із заготовок, склеєних з кількох окремих частин добре просушеного пиломатеріалу, які укладають так, щоб волокна деревини перехрещувалися. Це зменшує короблення моделі в процесі роботи. Для зменшення гігроскопічності й одержання більш гладенької поверхні дерев'яні моделі фарбують і вкривають шаром лаку. Швидкоспрацьовувані частини моделей, призначені для великої кількості формувань, виконують із металу або окантовують металом.

Металеві моделі монтують на металевих плитах або виливають разом із ними як одне ціле, тоді їх називають *модельними плитами*. Модельні плити виготовляють одно- і двобічними. Металеві модельні плити міцні й довговічні. Вони можуть витримувати кілька десятків тисяч формувань, а форми, отже, і виливки, що одержують за ними, виходять точніші. Особливо доцільно їх застосовувати при серійному і масовому виробництві.

4. Ливникові системи

Ливникова система призначена для заливання з певною швидкістю металу в форму, а в деяких випадках — для живлення виливка рідким металом у процесі його тверднення.

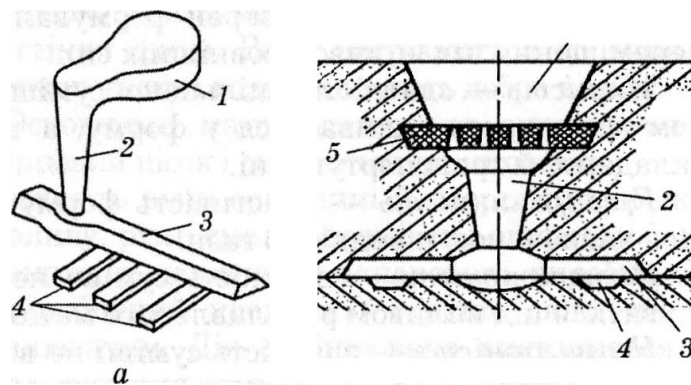


Рис. 3.2. Ливникові системи:
а — нормальна; б — з фільтрувальною сіткою

Модель нормальної ливникової системи (рис. 3.2, а) складається з ливникової чаші 1, стояка 2, шлаковловлювача 3 і живильників 4. Ливникова чаша — приймач струменя металу, що заливається у форму. Вона бере на себе частину напору металу і до деякої міри відокремлює від нього шлак. Стояк — вертикальний канал, який з'єднує ливникову чашу з іншими елементами ливникової системи.

Шлаковловлювач призначений для затримки неметалевих вкраплень. При поворотах і втраті швидкості руху струменя металу в шлаковловлювачі шлак спливає на поверхню, а чистий метал проходить у канали, які безпосередньо підводять метал до форми.

У разі виготовлення великих і середніх виливків до ливникової системи додають випор для виходу повітря і газів із форми, а при виготовленні форм для виливків із сплавів з підвищеною усадкою — додатки або живильні бобишки.

Крім нормальної ливникової системи, застосовують гальмівні системи з додатковими елементами опору для кращого відокремлення шлаку від металу і більш плавного підведення металу до форми. Прикладом є ливникова система з фільтрувальною сіткою 5 (рис. 3.2, б), яка поширена в ливарних цехах масового виробництва. Фільтрувальна сітка добре відокремлює шлак від металу і при цьому майже не ускладнює ливникову систему і не збільшує витрату металу на неї.

5. Формувальні і стрижневі суміші та їх застосування

Вимоги, що ставляться до формувальних і стрижневих сумішей. Формувальні матеріали, які застосовують для виготовлення одноразових форм, повинні мати такі властивості: пластичність, текучість, міцність, газопроникність, вогнетривкість, непригарність, піддатливість і мінімальну газотвірність.

Пластичність — здатність формувальної суміші набирати тієї форми, що їй надається, без руйнування і давати точні відбитки моделі при формуванні.

Текучість — здатність зерен формувальної суміші до взаємного переміщення під впливом зовнішніх сил.

Міцність — здатність ущільненої суміші не руйнуватися під тиском металу, що заливається у форму, а також від поштовхів при складанні й транспортуванні.

Газопроникність — властивість формувальної суміші пропускати з визначеною швидкістю газу.

Вогнетривкість — здатність суміші не плавитися і не розм'якшуватися під впливом розплавленого металу.

Непригарність — здатність суміші не вступати у хімічну взаємодію з металом, не сплавлятися з ним, не приварюватися до поверхні виливка.

Піддатливість — властивість суміші не чинити великого опору усадці металу при охолодженні виливка у формі.

Газотвірність — здатність формувальної суміші виділяти гази при нагріванні.

Крім того, формувальні суміші мають зберігати свої властивості при багаторазовому використанні.

Склад формувальних і стрижневих сумішей. Основними складовими формувальних і стрижневих сумішей є пісок, глина (або інші скріплювачі), вода і спеціальні добавки.

Кварцовий пісок надає формувальній суміші вогнетривкості, газопроникності і текучості, а глина — пластичності, міцності, але знижує газопроникність, піддатливість і ускладнює вибивання форм і стрижнів після заливання. Якщо потрібні одночасно висока міцність, газопроникність і піддатливість, наприклад при виготовленні стрижнів, то глину заміняють іншими скріплювачами.

До спеціальних добавок формувальних сумішей належать кам'яновугільний пил, мазут, тирса та ін. Кам'яновугільний пил і мазут вводять у формувальні суміші для зменшення пригорання їх до виливків, які виготовляють із чавуну і сплавів кольорових металів, а тирсу та інші органічні речовини — з метою підвищення їх піддатливості й газопроникності. В процесі сушіння при вигорянні цих речовин у формі залишаються пори і канали.

Склад формувальних сумішей визначається сплавами, з яких виливатимуться деталі (чавун, сталь, бронза та ін.), розміром і складністю виливків, а також станом форм перед заливанням (сирі чи висушені). Формувальні суміші, призначені для виготовлення литва з тугоплавких сплавів, які мають велику усадку і газотвірну здатність (наприклад, зі сталі), повинні мати підвищені вогнетривкість, піддатливість і газопроникність. Зазвичай суміші виготовляють з більш чистого кварцового піску і вогнетривкої глини або спеціальних скріплювачів з невеликою домішкою горілої землі або зовсім без неї.

Особливо високі вимоги ставляться до стрижневих сумішей, оскільки в процесі заливання й охолодження металу стрижні перебувають у складніших умовах, ніж стінки форм. Вони нагріваються до вищих температур, зазнають значного тиску і водночас мають добре відводити гази, що утворюються. Основними матеріалами для виготовлення стрижневих сумішей є кварцовий пісок і спеціальні скріплювачі.

Як скріплювачі застосовують різні органічні й неорганічні речовини: олію і мінеральну оливу, різні смоли, сульфітно-спиртову барду (продукт переробки відходів целюлозно-паперового виробництва), декстрин (хімічно оброблений крохмаль) і рідке скло, що є швидкотверднучим скріплювачем. Дія скріплювача виявляється в процесі сушіння або після сушіння при охолодженні. Для прискорення процесу тверднення через стрижень або форму продувають вуглекислий газ. При цьому сушіння можна проводити до виймання стрижня з ящика і моделі з форми, що зменшує деформацію форми та підвищує точність литва.

Підготовка формувальних і стрижневих сумішей. Цей процес складається з таких операцій: підготовка нових формувальних матеріалів (піску і глини); підготовка відпрацьованої (горілої) суміші; змішування і зволоження суміші.

Пісок і глину висушують у механізованих печах, а потім просівають на плоских вібраційних або барабанних обертових ситах для видалення крупних домішок.

Відпрацьовану формувальну суміш подрібнюють на дробарках і просівають крізь густі сита. Для видалення металевих часточок, які потрапляють у суміш при обробуванні литва, суміш пропускають через магнітний сепаратор.

Для приготування єдиної формувальної суміші до відпрацьованої суміші додають 10...30 % свіжих формувальних матеріалів і відповідну кількість води. При цьому перемішувати суміш можна за допомогою шнекових змішувачів безперервної дії або змішувальних бігунів.

Стрижневу суміш виготовляють за такою самою схемою, але з відповідних матеріалів.

Питання для самоконтролю

- 1. Які ви знаєте ливарні сплави?*
- 2. Яка різниця між формувальними і стрижневими сумішами?*
- 3. Яке призначення вагранки?*
- 4. Ливарні браки, їх виникнення та способи попередження?*
- 5. Шихта та флюс для вагранки?*
- 6. Вимоги, що ставляться до формувальних і стрижневих сумішей.*

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк.,П.П.Тонкоглас.,В.В.Мартинюк"Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів" , ст. 148-153;
- 2) В.Попович"Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 231-236.

ЛЕКЦІЯ 15 ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

План

- 1) Характеристика основних видів обробки металів тиском.*
- 2) Пружні і пластичні деформації.*
- 3) Вплив різних чинників на опір деформуванню і пластичність.*
- 4) Нагрівання металів і сплавів для обробки тиском.*
- 5) Явища, які супроводжують процес нагрівання.*
- 6) Нагрівальні пристрої.*

1.Характеристика основних видів обробки металів тиском

Обробку металів тиском здійснюють впливом на метал зовнішніх сил, які спричиняють у металі напруження, що перевищують границю текучості, в

результаті чого металева заготовка пластично деформується. При цьому форма заготовки змінюється за рахунок переміщення (зсувів) часточок металу без порушення цілісності заготовки. Із деформацією змінюється структура металу і поліпшуються його механічні властивості.

Обробка тиском є подальшим етапом обробки зливків і прокатування чорних й кольорових металів та їхніх сплавів.

Із зливків одержують напівфабрикати у вигляді різних профілів прокату: квадратні і круглі заготовки, листи, фасонні профілі (в тому числі рейки і балки), труби, дріт.

Ковані і штамповані поковки, виготовлені з прокату і зливків, використовують як заготовки для подальшої їх обробки різанням, після чого одержують деталі машин, верстатів, апаратів тощо.

Листові заготовки використовують для виготовлення різноманітних штампованих деталей, а з тонкого пруткового металу і дроту виготовляють металеві вироби (болти, заклепки, гвинти, шурупи, цвяхи та ін.).

Зауважимо, що найвідповідальніші, важконавантажені, рухомі деталі машин одержують куванням і штампуванням.

Основні види обробки тиском. Основними видами обробки металів тиском є прокатування, пресування, волочіння, вільне кування, об'ємне і листове штампування.

Прокатуванням називають обтискування металу обертовими валками прокатного стану (рис. 4.1, а), в результаті чого одержують вироби з однаковою (прутки, балки, рейки, листи, дріт, труби) або з такою, що періодично змінюється по всій довжині, формою поперечного перерізу.

Пресуванням здійснюють витиснення нагрітого металу із замкненої порожнини (контейнера) крізь отвір у матриці (рис. 4.1, б). Залежно від форми цього отвору одержують прутки різного профілю, дріт і труби (переважно з кольорових металів і сплавів).

Волочіння — це протягування металевої заготовки крізь отвір (вічко) у волочильній матриці (рис. 4.1, в). Волочіння застосовують для одержання тонких сортів дроту, тонкостінних труб і каліброваних прутків з катаної або пресованої заготовки.

Вільне кування — це деформування заготовки плоскими або фасонними бойками під молотом або пресом із застосуванням різноманітних ковальських інструментів. При цьому нагрітий метал вільно тече від центра заготовки в сторони (рис. 4.1, г). Цим методом виготовляють поковки порівняно простої форми.

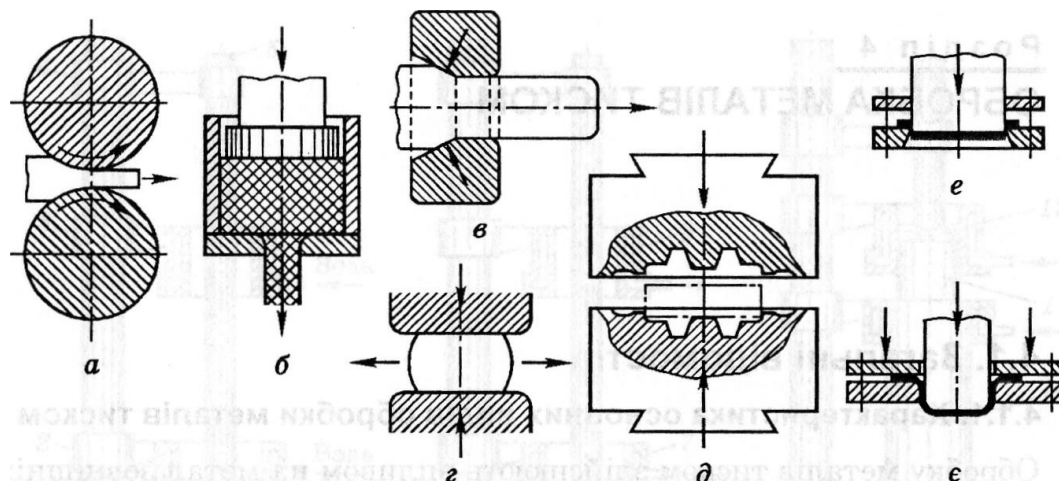


Рис. 4.1. Схеми основних видів обробки металів тиском

Об'ємне штампування застосовують при деформуванні одночасно всієї заготовки за допомогою спеціальних бойків — штампів, які мають заглибини — канавки (рис. 4.1, д) у процесі серійного і масового виробництва однакових поковок. Штампи встановлюють на спеціалізованих молотах або пресах.

Листове штампування — це обробка листового прокату в штампах на пресах. Одержувані деталі здебільшого бувають плоскими (при вирізуванні з листа, рис. 4.1, е) або порожнистими (при витягуванні з листа, рис. 4.1, є) з товщиною стінок, яка мало відрізняється від товщини вихідного матеріалу.

2.Пружні і пластичні деформації

Напруження, що виникають у металі при обробці тиском.

Деформацією називається зміна форми твердого тіла в результаті дії зовнішніх або інших сил, під впливом яких у металі виникають внутрішні сили взаємодії, що діють на кожну його часточку. Ці сили, що припадають на одиницю площі, називають *напруженням*.

Види деформацій. Деформації поділяють на пружні й пластичні.

Деформації, які зникають після зняття сил, що їх спричинили, називаються *пружними*, або *оборотними*. Вони пов'язані з пружним викривленням атомних ґраток металу і за величиною є незначними.

Деформації, які зберігаються після зняття прикладених сил, називаються *залишковими*, або *пластичними*. Вони пов'язані з необоротним переміщенням одних шарів кристала щодо інших або переміщенням зерен металу.

Для того щоб одержати залишкові зміни форми, в металі потрібно створити такі напруження, які перевищують значення, за яких відбуваються пружні деформації.

Так, вуглецева сталь 35, яка має границю пружності $\sigma_{\text{п}} = 280 \text{ МН/м}^2$ (23 кгс/мм²); границю текучості $\sigma_{\text{т}} = 320 \text{ МН/м}^2$ (32 кгс/мм²) і границю міцності при розтягуванні $\sigma_{\text{в}} = 560 \text{ МН/м}^2$ (56 кгс/мм²) дістане при розтягуванні остаточне (пластичне) подовження зразка, якщо напруження σ в металі перевищать границю пружності $\sigma_{\text{п}}$ і становитимуть не нижче ніж $\sigma_{\text{т}} = 320 \text{ МН/м}^2$.

Слід урахувати, що пластичні деформації завжди супроводжуються пружними, які зникають після зняття сил, що їх спричинили.

Механізм пластичної деформації. Полікристалічний метал деформується за рахунок внутрішньокристалічної і міжкристалічної деформацій його зерен. Внутрішньокристалічна деформація відбувається внаслідок ковзання окремих атомних шарів (пачок) один відносно одного. Ковзання має кілька різновидів. Пластичну деформацію полікристала з перевагою ковзання наведено на рис. 4.2. У кожному окремому кристалі (рис. 4.2, а) зсуви проходять по одній (рис. 4.2, б) або кількох кристалографічних площинах, зазвичай найщільніше заповнених атомами. Ковзання двох сусідніх зерен (рис. 4.2, в) по кількох площинах зображено на рис. 4.2, г. Під дією зовнішніх сил зсуви у полікристала спочатку відбуваються по окремих площинах (рис. 4.2, д), причому ці площини у кожного зерна мають свій кут нахилу. Наприкінці деформації весь полікристал охоплюється пластичною деформацією (рис. 4.2, е).

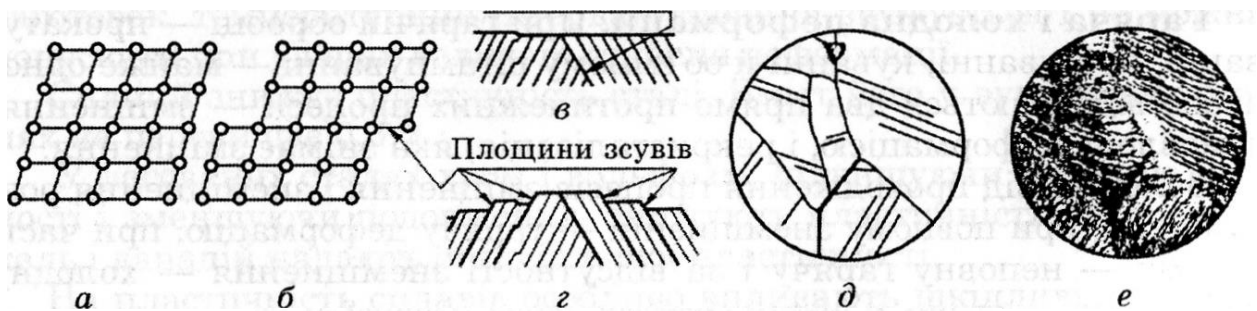


Рис. 4.2. Схеми утворення зсувів при ковзанні

Отже, основна зміна форм відбувається за рахунок внутрішньокристалічної деформації. Відносно ковзання зерен (міжкристалічна деформація) розвивається за значних ступенів деформації, особливо за високих температур. Зміцнення металу. Пластична деформація зумовлює значні зміни механічних, фізичних і хімічних властивостей металу, які характеризуються такими явищами: зміною форми зерен, їх поділом і здрібненням; зміною орієнтування зерен, утворенням волокнистої будови або текстури; підвищенням опірності деформуванню, збільшенням границі пружності, текучості, міцності і твердості, зниженням пластичності; збільшенням залишкових напружень; зміною фізико-хімічних властивостей — електроопору, магнітних властивостей, теплопровідності й стійкості до корозії.

Сукупність явищ, пов'язаних зі зміною механічних і фізико-хімічних властивостей металу в процесі пластичної деформації, називають *зміцненням*, або *наклепом*.

У результаті зміцнення пластичні властивості металу можуть знизитися настільки, що подальша деформація призведе до зруйнування матеріалу.

Знеміцнення. Відновити пластичні властивості зміцненого металу можна термічною обробкою: поворотом або рекристалізаційним відпалюванням.

Поворотом називають процес часткового зняття механічного зміцнення (на 20...30 %). Для низьковуглецевої деформованої сталі температура повороту становить 270...400 °С.

Рекристалізацією називають зміну кристалічної структури холоднодеформованого металу в результаті його відпалювання. При цьому утворюються нові центри кристалізації та нові зерна і їхній наступний ріст. Рекристалізаційне відпалювання сталі проводять за температури 650...680 °С. Гаряча і холодна деформації. При гарячій обробці — прокатуванні, пресуванні, куванні й об'ємному штампуванні — майже одночасно відбуваються два прямо протилежних процеси — зміцнення, зумовлене деформацією, і рекристалізація, яка знімає зміцнення.

Залежно від проходження процесів зміцнення і знеміцнення розрізняють: при повному знеміцненні — гарячу деформацію, при частковому — неповну гарячу і за відсутності знеміцнення — холодну деформації.

3. Вплив різних чинників на опір деформуванню і пластичність

Пластичністю називають здатність металу за певних умов зазнавати остаточної (пластичної) деформації без зруйнування.

На опір деформуванню і пластичність впливають: температура деформації; хімічний склад металевого сплаву; вид напруженого стану; швидкість деформації та ін.

Вплив температури. Від температури деформації залежить механізм пластичної деформації, знеміцнювальні процеси, фазовий склад, механічні показники пластичності, опір деформуванню і розмір зерна сталі. Отже, температура має вирішальний вплив на процеси деформування металу.

З підвищенням температури нагрівання значення таких показників пластичності, як подовження і відносне звуження при розриванні, ударна в'язкість, збільшуються, а границя міцності при розтягуванні, границя текучості і твердість зменшуються.

Так, при нагріванні конструкційної вуглецевої сталі границя міцності зменшилася: при 600 °С — в 2,4; при 800 °С — в 7,7; при 1000 °С — у 18; при 1200 °С — у 36 разів. Проте в інтервалі температур 200...400 °С значення показників пластичності знизилися в 1,4 раза, тоді як границя міцності досягла максимуму. Цей інтервал температур називають *зоною крихкості*, або *синьоламкості*, оскільки поверхня зламу за цієї температури має синій колір.

Деяке зниження показників пластичності в зоні температур фазових перетворень сталі (727...880 °С) пояснюється наявністю у металі, що деформується, одночасно двох фаз (γ-заліза і α-заліза) з різними властивостями.

При нагріванні сталі до 1000... 1200 °С її пластичність зростає в 4...8 разів.

Вплив хімічного складу. Найбільшу пластичність мають чисті метали. Складові елементи в металевому сплаві значно впливають на його пластичність.

Вуглець у сталі підвищує міцність при одночасному зниженні пластичності. Кування сталей, які містять понад 1 % вуглецю, ускладнюється, оскільки при цьому потрібне повільне нагрівання заготовок, температурний інтервал кування звужується і не можна допускати при ударах великого ступеня деформації.

Силіцій знижує пластичність сталі. Вміст його у вуглецевих сталях не перевищує 0,5 %.

У легованих сталях хром і вольфрам, підвищуючи границю міцності і зменшуючи подовження, знижують пластичність сталі, а нікель і ванадій надають сталі більшої пластичності.

На пластичність сплавів особливо впливають шкідливі домішки, що входять до їх складу: сірка, фосфор, арсен, а також гази — кисень, водень і азот.

При підвищеному вмісті в сталі сірки (понад 0,1 %) по границях зерен фериту утворюється сульфідна евтектика ($\text{Fe} + \text{FeS}$) з температурою плавлення 940 °С. При нагріванні такої сталі для обробки тиском евтектика розплавляється; зв'язок між зернами порушується і сталь стає крихкою. Це явище називають *червоноламкістю* сталі.

Манган, утворюючи з сіркою сульфід мангану (MnS) з температурою плавлення 1450 °С, нейтралізує шкідливий вплив сірки.

Фосфор, розчиняючись у фериті, збільшує твердість і знижує ударну в'язкість сталі. При вмісті фосфору 0,1..0,2 % сталь стає крихкою за низьких температур. Це явище має назву *холодноламкості* сталі.

Кисень, розчиняючись у фериті, утворює тверді й крихкі оксиди, які знижують пластичність і в'язкість сталі. Евтектика ($\text{FeO} + \text{Fe}$) має температуру плавлення 940 °С, в результаті чого сталь стає *червоноламою*. Водень шкідливо впливає на механічні властивості сталі. У легованих сталях він спричинює появу скупчень або гнізд найдрібніших тріщин — флокенів.

Азот, утворюючи нітриди Fe_2N , Fe_4N та інші, підвищує крихкість сталі, знижуючи її пластичність і в'язкість.

Вплив виду напруженого стану. Чим вищі стискувальні напруження і чим менші деформації і розтягувальні напруження, тим вища пластичність металу. Підвищення стискувальних напружень при обробці тиском можна досягти створенням бічного тиску на метал жорсткими стінками інструменту. Як приклад можна зазначити заміну кування плоскими бойками куванням фігурними бойками (рис. 4.3, а). Ще кращий результат досягають штампуванням (рис. 4.3 б) або прокатуванням у рівчаках калібрувальних валків (рис. в). У цих умовах деформується багато металів і сплавів, які виявляються малопластичними, якщо заготовка перебуває під дією розтягувальних напружень.

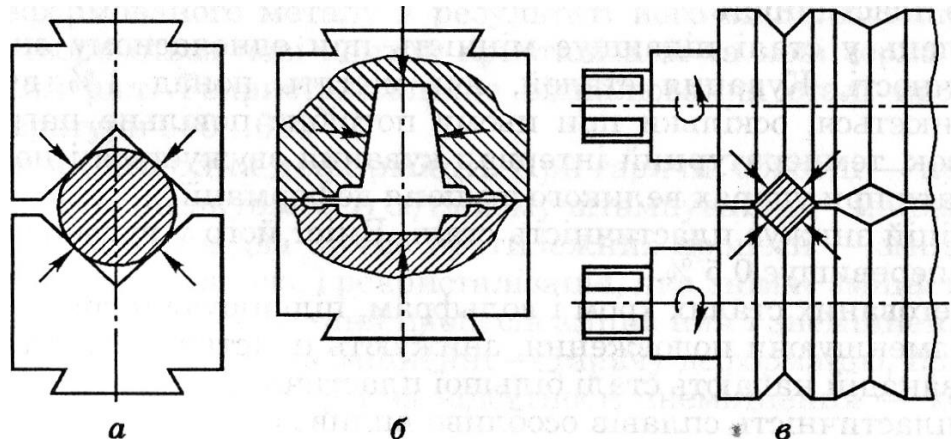


Рис. 4.3. Приклади тискувальних напружень при деформуванні металу

Вплив швидкості деформації. При обробці тиском на молотах і пресах швидкість деформації металу заготовки є різною внаслідок різної швидкості поступального руху робочого органа машини.

Загалом підвищення швидкості відносної деформації за одиницю часу приводить до зниження пластичності і збільшення опору деформуванню. При куванні нагрітого металу це можна пояснити впливом двох процесів, що відбуваються паралельно: зміцнення в результаті подрібнення зерен і знеміцнення внаслідок рекристалізації. При великих швидкостях деформації знеміцнення може відставати від зміцнення.

При куванні на молоті опір металу деформуванню приблизно вдвічі більший, ніж при обтискуванні на гідравлічному пресі.

Вплив обробки тиском на макроструктуру і механічні властивості металів і сплавів. Зливки металів і сплавів мають структуру, яка характеризується наявністю в ній великих кристалітів первинної кристалізації (дендритів, рис. 4.4, а), по границях яких розміщені прошарки, збагачені домішками і неметалевими вкрапленнями.

Деформування такої структури в умовах гарячої деформації приводить до подрібнення зерен і витягування їх у напрямку найбільшої деформації. В тому самому напрямку витягуються міжкристалічні прошарки, які містять неметалеві вкраплення. При досить великому ступені деформації зерна металу подрібнюються і сплющуються, а неметалеві вкраплення набувають форми волокон, витягнутих у напрямку течії металу (рис. 4.4, б).

Волокнистість впливає на механічні характеристики металу: у поздовжньому напрямку показники пластичності кращі, ніж у поперечному. Ця відмінність властивостей у різних напрямках називається *анізотропією*. У поперечних зразків ударна в'язкість зменшується приблизно на 50...70 %, відносне звуження — на 40 %, відносне подовження — на 20 %, тоді як границя міцності, границя текучості і твердість у поздовжніх і поперечних зразків практично однакові.

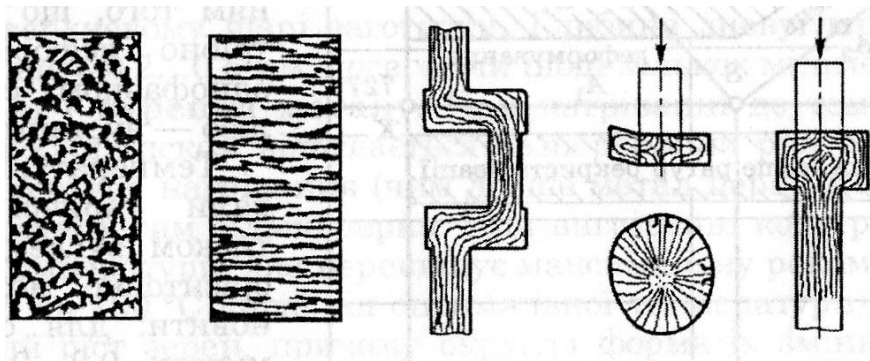


Рис.4.4 Макроструктура сталі:

а — литої; *б* — після гарячої деформації; *в* — колінчастого вала, виготовленого із застосуванням згинання; *г* — шестерні, виготовленої осаджуванням; *д* — болта, виготовленого висаджуванням

Для забезпечення підвищених механічних властивостей деталей потрібно, щоб волокна йшли за контуром деталі і не перерізувалися (рис. 4.4, *в*, *д*).

4. Нагрівання металів і сплавів для обробки тиском

Температурний інтервал гарячої обробки тиском. Нагрівання є одним із основних чинників підвищення пластичності, який у багато разів знижує опір деформуванню. Тому при значній деформації, якої зазнає метал при прокатуванні, пресуванні, куванні й об'ємному штампуванні, вихідна заготовка нагрівається до оптимальної температури (рис. 4.5).

Для сталі температура нагрівання має бути на 150...200 °C нижчою за температуру початку плавлення. Оскільки температура плавлення залежить від вмісту вуглецю в сплаві, оптимальну температуру нагрівання сталі вибирають за діаграмою стану сплавів залізо — вуглець. Температуру закінчення деформації вибирають з урахуванням того, що сталь потрібно деформувати в однофазному стані (у-за-лізо — аустеніт).

Температурні інтервали гарячої обробки тиском вуглецевої сталі орієнтовно можуть становити: для сталі, яка містить 0,2...0,7% C, — 1250...850 °C, а для сталі з 0,8...1,3% C — 1100...820 °C.

Кольорові метали і сплави слід нагрівати на 100...150 °C нижче від температури початку плавлення. Так, червону мідь обробляють в інтервалі температур 950...700 °C, латунь Л62 — 800...650 °C, алюміній — 500...350 °C, дуралюмін АК8 — 470...380 °C, магнієвий сплав МА5 — 370...320 °C.

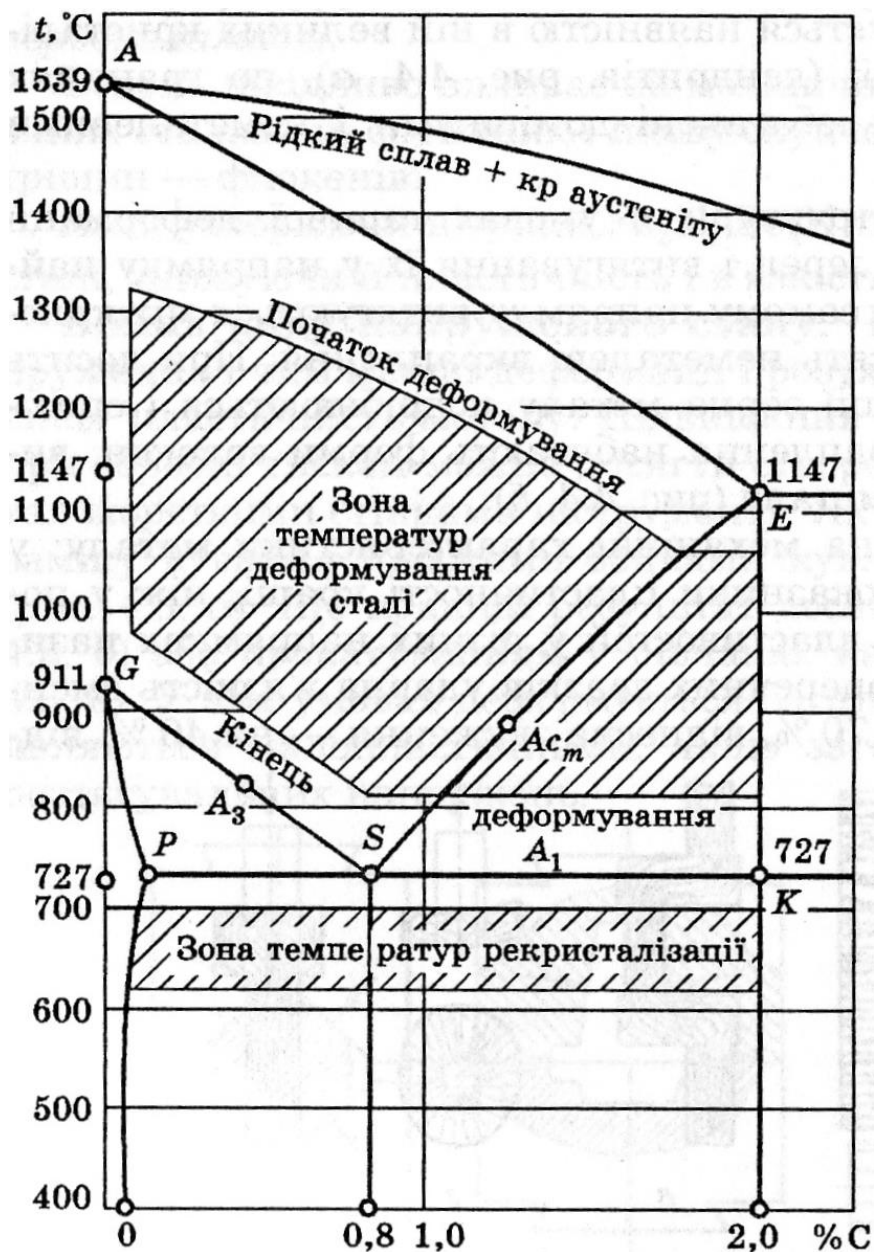


Рис. 4.5. Температурні інтервали гарячого деформування і рекристалізаційного відпалювання

5. Явища, які супроводжують процес нагрівання

Окиснення металу. При нагріванні сталі вище від температури 700 °C поверхневий шар помітно окиснюється, утворюючи окалину. Підвищення температури і тривалості нагрівання спричинює збільшення товщини шару окалини. Для її утворення в атмосфері печі мають бути O_2 , H_2O , CO_2 або $3O_2$. Оксид вуглецю CO є відновником заліза, проте зменшення окалиноутворення за рахунок неповного горіння палива нераціональне. Нагрітий метал окиснюється також на повітрі в процесі кування або прокатування.

Окалина складається з трьох шарів: FeO_3 , Fe_3O_4 і FeO ; всередину кисень проникає за рахунок дифузії.

При підвищенні температури нагрівання сталі до 1330... 1350 °С окалина плавиться, поверхня металу оголяється і окиснення відбувається надзвичайно швидко (з поверхні металу вилітає сніп яскраво-голубих іскор). Леговані сталі, за винятком жаростійких, вигоряють більше, ніж вуглецеві.

Втрати на окалину протягом одного нагрівання зазвичай становлять 1,5...2,5 %, а при електронагріванні — 0,4...0,7 % від маси заготовки.

Боротьба з окисненням металу полягає в застосуванні швидкісного нагрівання, захисного газового шару на поді печі, а також у переході на електронагрівання і нагрівання заготовок у захисній атмосфері.

Разом із процесом окиснення заліза відбувається вигоряння вуглецю в поверхневому шарі заготовки. Глибина знеуглецьованого шару становить 0,2...0,5 мм, досягаючи іноді кількох міліметрів.

Перегрів і перепал металу. При нагріванні до температури гарячої обробки тиском відбувається безперервний ріст зерен: чим вища температура нагрівання (чим довше метал перебуває за високих температур), тим більші зерна. При нагріванні конструкційних сталей до температури, яка перевищує максимальну рекомендовану (приблизно на 100 °С вище від оптимальної температури), відбувається різкий ріст зерен, причому округла форма їх змінюється на кутасту з кутом при вершинах близько 60°. У інструментальних сталей під цим кутом розміщуються великі пластини або голки цементиту. Такий метал називається *перегрітим*.

Перегріта сталь за високих температур характеризується деяким зниженням пластичності, а за кімнатної температури — погіршенням механічних властивостей (відносно подовження, звуження в шийці і опір ударному навантаженню зменшуються приблизно на 25 %).

Нагрівання сталі до вищих температур може спричинити *перепал* металу, при якому інтенсивний ріст зерен супроводжується частковим або повним розплавленням найбільш легкоплавких оболонок зерен і їх окисненням. Це призводить до появи тріщин і втрати пластичності.

Перепал тим сильніший, чим більша окиснювальна атмосфера печі. Дуже перепалена високовуглецева сталь при куванні розсипається на шматки. Орієнтовні температури, за яких відбувається перепал вуглецевих сталей: для сталі з 0,2 % С — 1370 °С; 0,5 % С — 1310 °С; 1 % С — 1210 °С; 1,3 % С — 1180 °С.

Перегрітий метал після кування, штампування або прокатування можна виправити термічною обробкою (відпалюванням або нормалізацією), а перепалений метал є невиправним браком.

Режим нагрівання. Метал нагрівають у полумєневих печах і електричних нагрівниках. У початковий момент нагрівається поверхневий шар зливка або заготовки. Для проникнення теплоти в центр заготовки потрібен певний час. Швидкість проникнення теплоти залежить від теплопровідності металу. При значній різниці температур поверхні і середини і, отже, різному розширенні шарів металу зливка в ньому виникають температурні напруження, які можуть

призвести до появи тріщин. Особливо важливо це для заготовок великого перерізу.

Найбільша ймовірність утворення тріщин для сталі можлива в зоні синьоламкості (200...500 °C) і за температур фазових перетворень (727...820 °C). У зв'язку з цим при нагріванні заготовок діаметром понад 150 мм, а також зливків застосовують поступове (методичне) нагрівання, яке поділяють на такі етапи: повільне нагрівання до температури фазових перетворень, витримання за цієї температури, прискорене нагрівання до остаточної температури, витримання за цієї температури для рівномірного прогрівання по всьому перерізу.

6.Нагрівальні пристрої

Види нагрівальних пристроїв. Нагрівальні пристрої для обробки металів тиском поділяють на полуменеві нагрівальні печі і електронагрівники (опору та індукційні).

Найпоширенішими нині є полуменеві печі. Вони працюють на газоподібному (природному і генераторному газі, а також суміші коксувального і доменного газів) та рідкому (мазуті) паливі. Газоподібне паливо спалюється за допомогою пальників, які забезпечують добре змішування газу з повітрям. Для спалювання мазуту застосовують форсунки, в яких мазут розпилюється стисненим повітрям, що подається вентилятором.

Полуменеві печі за конструкцією поділяють на камерні, нагрівальні колодязі, методичні, напівметодичні і механізовані (зі штовхачами, карусельні, конвеєрні та ін.).

Камерною називають піч, яка має однакову температуру по всьому робочому простору. Печі для нагрівання заготовок діаметром до 150 мм виготовляють переносними. Конструкцію такої печі зображено на рис. 4.6. У камеру введено дві форсунки, або пальники 2. Заготовки завантажуються на під через завантажувальне вікно 8. Воно призначене для видаляння продуктів горіння, які повітряним відсікачем 3, що є трубкою з отворами для стисненого повітря, спрямовуються під передній щит 5. На шляху руху пічних газів розміщено трубу, яка подає у форсунки 7 повітря від вентилятора. Ділянка труби 1 є рекуператором, тобто підігрівником для повітря. Піч вміщена в металевий каркас і всередині футерована вогнетривкою шамотною цеглою, а верхня частина поду 4 має набивку з магнезитового порошку. Козирок 6 біля завантажувального вікна підтримує заготовку при завантаженні і видачі її.

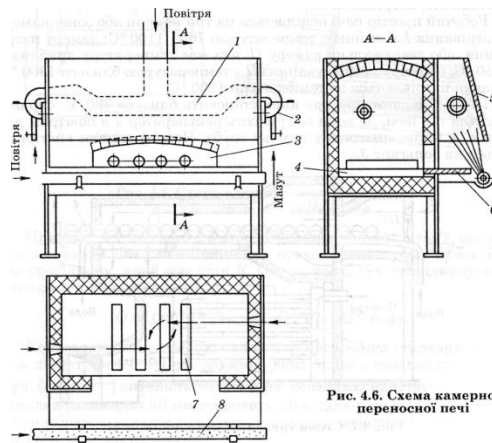


Рис. 4.6. Схема камерної переносної печі

Для нагрівання дуже великих зливків під вільне кування застосовують камерні печі з висувним подом.

Різновидом камерних печей є *нагрівальні колодязі*, які застосовують для нагрівання великих зливків під прокатування і кування. Нагрівальний колодязь — це вертикальна шахтна піч, в якій зливки розміщуються вертикально і завантажуються краном зверху.

Методичні печі (рис. 4.7) призначені для нагрівання великих заготовок і зливків масою до 2 т під кування і прокатування, довжина яких становить 8...22 м. Заготовки 4 безперервно переміщуються вздовж печі. Просуває їх по поду штовхач, встановлений біля завантажувального вікна. Брус штовхача 5 натискає на крайню заготовку, а всі заготовки, що укладені на поді, проштовхуючи одна одну, переміщуються одночасно. Вздовж поду укладають охолоджувальні труби 6, по яких рухаються заготовки або зливки. Форсунки, або пальники, 2 розміщені на одному кінці печі так, що заготовки рухаються назустріч пічним газам. Це забезпечує поступове (методичне) нагрівання їх.

Робочий простір печі поділяється на три камери або зони: камеру підігрівання *I* зі змінною температурою 700... 1100 °С; камеру нагрівання, або зварювальну камеру *II*, яка має температуру приблизно 1350 °С, і камеру витримування *III* з температурою близько 1300 °С. Зливки нагріваються до температури 1200 °С.

Пічні газы, температура яких становить близько 700 °С, спрямовуються під печі, де вони обігрівають рекуператор *I* з повітрям для дуття, а потім виходять у димову трубу. Нагріті зливки виштовхуються на рольганг 3.

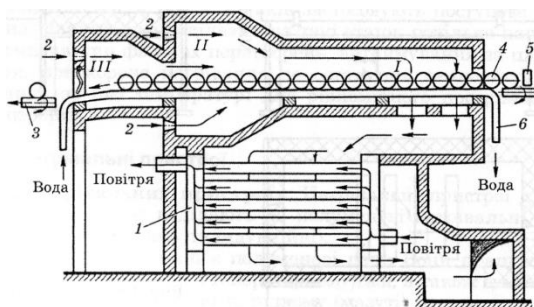


Рис. 4.7. Схема тризонної методичної печі

Напівметодичні печі є перехідними від камерних печей до методичних. Вони мають меншу довжину і застосовуються для нагрівання порівняно невеликих заготовок діаметром до 120 мм для штампування.

Електричні нагрівники. У масовому виробництві широко застосовують електронагрівальні пристрої для контактного й індукційного нагрівання, в яких електричний струм безпосередньо впливає на метал, що нагрівається.

При *контактному нагріванні* електричний струм напругою 220 або 380 В звичайної частоти підводиться до однофазного знижувального трансформатора 3 (рис. 4.8, а), де напруга знижується до 5... 15 В, а сила струму підвищується. Від вторинної обмотки трансформатора струм підводиться до мідних затискних клем 2, в яких за допомогою стисненого повітря (0,1...0,5 МПа, або 1...5 атм) затискаються кінці заготовки 1. Заготовка, що нагрівається, є опором і при проходженні струму нагрівається за рахунок теплоти, що виділяється при цьому.

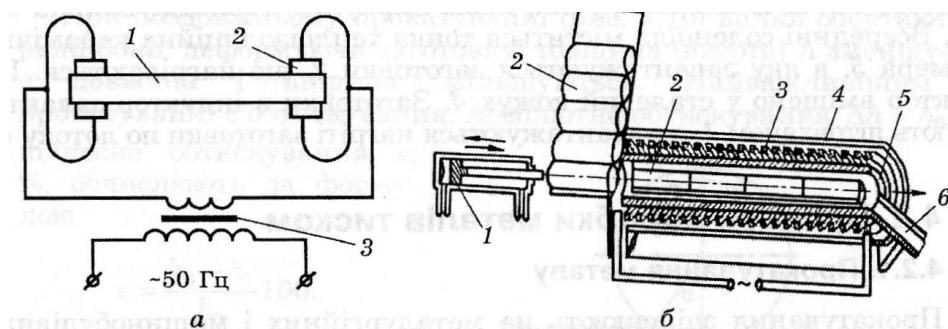


Рис. 4.8. Схеми електричних нагрівників:

а — контактний; б — індукційний

Принцип контактного електронагрівання полягає в тому, що згідно із законом Джоуля - Ленца при проходженні струму силою I , А, по провіднику, який має опір R , Ом, за час t , с, у провіднику виділиться теплота, що дорівнює $Q = 1000I^2 R t$ Дж, або $Q = 0,24 I^2 R t$ ккал.

Контактний метод застосовують для нагрівання сталевих заготовок діаметром 18...70 мм, довжина яких більша, ніж квадрат діаметра ($l > d^2$). Тривалість нагрівання невелика, наприклад, для заготовки діаметром 50 мм становить 50 с. Для нагрівання заготовок із кольорових металів і сплавів, які мають невеликий електроопір, цей метод не застосовують.

Індукційне нагрівання засноване на відомому законі електротехніки, за яким у провіднику, вміщеному в електромагнітному полі змінного електричного струму, виникають вихрові електричні струми, які нагрівають провідник. Сталева заготовка до втрати нею магнітних властивостей (до 768 °С) нагрівається також за рахунок магнітного гістерезису.

Унаслідок явища поверхневого ефекту індукційний струм проходить не по всьому перерізу заготовки, а лише в поверхневому шарі. Чим більша частота струму, тим у тоншому шарі індукується діелектричний струм. Решта перерізу

заготовки нагрівається за рахунок теплопровідності. Для заготовок діаметром 130...400 мм застосовують струм звичайної частоти 50 Гц, діаметром 25... 120 мм — струм підвищеної частоти 8000...2500 Гц, а діаметром 4...20 мм — струм високої частоти понад 200 000 Гц.

Заготовки 2 (рис. 4.8, б), які підлягають нагріванню, вміщують у середину котушки (соленоїда) 3, що називається індуктором. Обмоткою котушки пропускають струм відповідної частоти. Соленоїд 3 виготовляють із мідної трубки, якою циркулює охолоджувальна вода. Всередині соленоїда міститься тонка теплоізоляційна керамічна камера 5, в яку завантажуються заготовки 2, що нагріваються. Індуктор вміщено у сталевий кожух 4. Заготовки в індуктор завантажують штовхачем 1, а вивантажуються нагріті заготовки по лотку 6.

Питання для самоконтролю

1. Основні види обробки тиском?
2. Пластичністю називають?
3. Знеміцнення?
4. Перегрів і перепал металу?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 181-194;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 10-15.

ЛЕКЦІЯ 16 ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

План

- 1) Суть, значення і види зварювання.
- 2) Зварюваність металів і сплавів.
- 3) Зварні шви і з'єднання та техніка їх виконання .
- 4) Класифікація способів зварювання.

1) Суть, значення і види зварювання

Зварювання є одним із основних технологічних процесів у машинобудуванні та будівництві. Важко назвати галузь народного господарства, де б не застосовувалося зварювання.

Зварювання дало змогу внести докорінні зміни в технологію виробництва, створити принципово нові конструкції машин. Наприклад, застосування зварних конструкцій замість клепаних у будівництві дало змогу зекономити

близько 20 % металу, знизити на 5...30 % трудомісткість виготовлення конструкцій.

Розвиток зварювання. Основним видом зварювання вважають дугове. Основоположниками дугового зварювання є вчені та інженери В.В. Петров (1761 - 1834), М.М. Бенардос та М.Г. Слав'янов.

У 1802 р. вперше в світі професор В.В. Петров відкрив дуговий розряд.

М.М. Бенардос у 1882 р. вперше застосував електричну дугу між вугільним електродом і металом для зварювання, а також для наплавлення та різання металів.

М.Г. Слав'янов запропонував виконувати дугове зварювання плавким металевим електродом. Перше публічне демонстрування нового способу відбулося в 1888 р. у Пермі.

Способи М.М. Бенардоса і М.Г. Слав'янова є основою сучасних видів електрозварювання металів і мають назву «дугове зварювання способом Бенардоса і Слав'янова».

Особливі заслуги в галузі електродугового зварювання і механізації його процесу належать ученому Є.О. Патону. В 1929 р. він організував при Академії наук УРСР електрозварювальну лабораторію. В 1934 р. було створено Інститут електрозварювання, яким Є.О. Патон керував протягом 25 років. Нині НДІ електрозварювання НАН України очолює його син Б.Є. Патон — президент НАН України.

Визначний внесок у розробку теоретичних основ зварювання зробили вчені: В.П. Вологдін, В.П. Нікітін, К.К. Хренов, Є.О. Патон, Н.О. Окерблом, К.В. Любавський, Б.Є. Патон та ін.

На сучасному етапі розвитку зварювального виробництва дуже зріс діапазон зварюваних товщин, матеріалів, видів зварювання. Нині зварюють матеріали завтовшки від кількох мікрометрів до кількох метрів. Крім традиційних конструкційних сталей зварюють спеціальні сталі та сплави на основі титану, цирконію, молібдену, ніобію та інших матеріалів.

Істотно розширилися умови проведення зварювальних робіт. Зварювання виконують як у звичайних умовах, так і в умовах високих температур, радіації, під водою, в глибокому вакуумі, невагомості. Швидкими темпами впроваджуються нові види зварювання — лазерне, електронно-променеве, іонне, світлове, дифузійне, ультразвукове, електромагнітне, вибухове, розширюються можливості дугового та контактного зварювання.

2)Зварюваність металів і сплавів

Зварюваність — властивість металу чи сплаву утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, що відповідає вимогам, обумовленим конструкцією та експлуатацією виробу. Розрізняють фізичну та технологічну зварюваність.

Фізична зварюваність — властивість матеріалів створювати монолітне з'єднання з хімічним зв'язком. Таку зварюваність мають практично всі технічні сплави та чисті метали, а також ряд сполучень металів з неметалами.

Технологічна зварюваність є характеристикою реакції металу на дію зварювання та здатність при цьому утворювати зварне з'єднання із заданими експлуатаційними властивостями.

Зварюваність металу залежить від його хімічних і фізичних властивостей, кристалічної ґратки, ступеня легування, домішок та інших чинників. Основні показники (критерії) зварюваності металів та їхніх сплавів: окиснюваність металу при зварювальному нагріванні, що залежить від його хімічної активності; чутливість металу до теплової дії зварювання, яка характеризується ростом зерен металу, структурними та фазовими змінами в шві та зоні термічного впливу, зміною міцнісних і пластичних властивостей; опірність утворенню гарячих тріщин; опірність утворенню холодних тріщин при зварюванні; чутливість до утворення пор; відповідність властивостей зварного з'єднання заданим експлуатаційним вимогам, до яких належать міцність, пластичність, витривалість, повзучість, в'язкість, жаростійкість та жароміцність, корозійна стійкість та ін.

Крім перелічених основних показників зварюваності, є ще показники, від яких залежить якість зварних з'єднань, зокрема якість формування зварного шва, власні напруження, деформації і короблення зварюваних матеріалів і виробів.

Окиснюваність металу при зварюванні визначається хімічними властивостями зварюваного матеріалу. Чим хімічно активніший метал, тим більша його схильність до окиснення і тим вищою має бути якість захисту при зварюванні. До найактивніших металів, які легко окиснюються при зварюванні, належать Ti, Zn, Ta, Mo, U. При їх зварюванні треба захищати від взаємодії з повітрям не лише розплавлений метал, а й основний, що примикає до зварювальної ванни, та шов, який остигає із зовнішнього боку. Найкращу якість захисту забезпечують високий вакуум та інертний газ високої чистоти.

Високою хімічною активністю при зварюванні відрізняються й інші кольорові метали: Al, Mg, Cu, та сплави на їхній основі. Якість їхнього захисту забезпечується інертними газами, а також спеціальними електродними покриттями та флюсами.

Під час зварювання сталей та сплавів на основі заліза від взаємодії з повітрям розплавлений метал захищають покриттями, флюсами, а також захисними газами.

Технологію зварювання (вид зварювання, зварювальні матеріали, техніку зварювання) вибирають залежно від основного показника зварюваності (або поєднань кількох показників) для кожного конкретного матеріалу.

Зварюваність різних металів і сплавів залежить від ступеня легування, структури та вмісту домішок. На зварюваність сталей найбільше впливає вуглець. Зі збільшенням вмісту вуглецю, а також ряду інших легувальних елементів зварюваність сталей погіршується.

Чим вищий вміст вуглецю в сталі, тим вища небезпека холодних і гарячих тріщин і важче забезпечити рівномірність зварного з'єднання. Орієнтовним кількісним показником зварюваності сталі відомого хімічного складу є

еквівалентний вміст вуглецю $C_{\text{екв}}$, який визначають за формулою К.К. Хренова:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Cu}}{15} + \frac{\text{V}}{14} + \dots,$$

де вміст вуглецю та легувальних елементів подано у відсотках. Формулу виведено дослідним шляхом, вона не завжди враховує взаємний вплив компонентів.

Залежно від еквівалентного вмісту вуглецю та пов'язаною з цим схильністю до загартування та утворення холодних тріщин сталі за зварюваністю поділяють на чотири групи: добре, задовільно, обмежено та погано зварювані (табл. 5.1).

Група зварюваності	Сталь	
	вуглецева	конструкційна легована
Добра $C_{\text{екв}} \leq 0,25 \%$	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, сталь 08, 10, 15, 20, 25, 12кп, 15кп, 18кп, 20кп	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 14ХГС, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХГСНД,
Задовільна $C_{\text{екв}} = 0,25 \dots 0,35 \%$	Ст5, сталь 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 14Х2МР, 10Г2М, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30Х, 30ХМ
Обмежена $C_{\text{екв}} = 0,36 \dots 0,45 \%$	Ст6, сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХМФА, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГСМ, 35ХМ, 20Х2Н4А, 4ХС, 12Х2Н4МА.
Погана $C_{\text{екв}} > 0,45 \%$	Сталь 65, 70, 75, 80, 85, У7, У8, У9, У10, У11, У12	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, 6ХС, 7Х3, 9ХС, 8Х3, 5ХНТ, 5ХНВ

Сталі першої групи мають $C_{\text{екв}} < 0,25 \%$, добре зварюються без утворення гартівних структур і тріщин у широкому діапазоні режимів, товщин і конструктивних форм. Сталі, що задовільно зварюються ($C_{\text{екв}} = 0,25 \dots 0,35 \%$), не дуже схильні до утворення холодних тріщин при правильному доборі режимів зварювання, в деяких випадках потрібне підігрівання. Обмежено зварювані сталі ($C_{\text{екв}} 0,36 \dots 0,45 \%$) схильні до тріщиноутворення, можливість регулювання опірності утворенню тріщин зміною режимів зварювання обмежена, потрібне підігрівання. Погано зварювані сталі ($C_{\text{екв}} > 0,45 \%$) дуже схильні до загартування та утворення тріщин, потребують при зварюванні підігрівання, спеціальних технологічних способів зварювання та термообробки.

Зварюваність металів і сплавів залежить від хімічного складу та фізичних властивостей їх. Краще зварюються метали з доброю взаємною розчинністю, високою теплопровідністю, невеликою усадкою і малим коефіцієнтом лінійного розширення. Чавун можна зварювати лише плавленням місць з'єднання, бо він має низькі пластичні властивості. Низьковуглецеві сталі ($C_{\text{екв}} < 0,25 \%$) добре зварюються будь-якими способами. Зі збільшенням вмісту

вуглецю у сталі (понад 0,3 %) зварювання погіршується, бо виникає схильність до утворення гартівних тріщин у зоні шва тощо.

На міцність зварного шва негативно впливають фосфор і сірка, що підвищують його крихкість. Вміст їх у сталі має бути мінімальним.

Міцність зварного шва можна підвищити, легуючи метал шва манганом, силіцієм та іншими елементами. Манган при вмісті до 0,7 % поліпшує зварюваність, а силіцій є розкиснювачем і в кількості до 0,25 % допускається в складі сталі.

При зварюванні легованої сталі міцність з'єднання знижується внаслідок її невисокої теплопровідності: висока температура зосереджується лише в місці нагрівання, а це спричинює напруження, а іноді й тріщини. Незадовільна міцність зварного шва може зумовлюватися здатністю деяких легованих сталей загартуватися після високого нагрівання при охолодженні на повітрі.

Отже, при зварюванні легованих сталей треба неухильно дотримуватися режиму зварювання, підігрівати вироби перед зварюванням і проводити термічну обробку виробів після зварювання.

3)Зварні шви і з'єднання та техніка їх виконання

Зварний шов — це ділянка зварного з'єднання, що утворилась у результаті зварювання на межі з'єднаних деталей. Зварні шви класифікують так: щодо дії сил — флангові, торцеві, лобові, косі; за протяжністю — суцільні і переривчасті; за розташуванням у просторі — нижні, горизонтальні, вертикальні і стельові. Крім цього, розрізняють одно- і багат шарові, одно- і двосторонні, прорізні, точкові та з підготовленими кромками. Шви для фіксації взаємного розміщення деталей називають *прихватками*.

Основними видами з'єднань, що застосовуються при ручному дуговому зварюванні, є стикові, кутові, таврові і внапусток (рис. 5.1).

Конструктивні елементи цих з'єднань згідно зі стандартом наведено на рис. 5.2. Стикові з'єднання залежно від товщини зварюваних листів виконують з відбортовуванням (рис. 5.2, а), без скосу кромки (рис. 5.2, б, в), з У-подібним (рис. 5.2, г) і Х-подібним (рис. 5.2, д) скосами кромки. Х-подібний скіс кромки криволінійної форми (рис. 5.2 е) застосовують для листів завтовшки від 30 до 60 мм.

Для забезпечення проварювання по всьому перерізу зварюваних листів між кромками залишають зазор, який залежно від товщини металу становить від 0 до 4 мм.

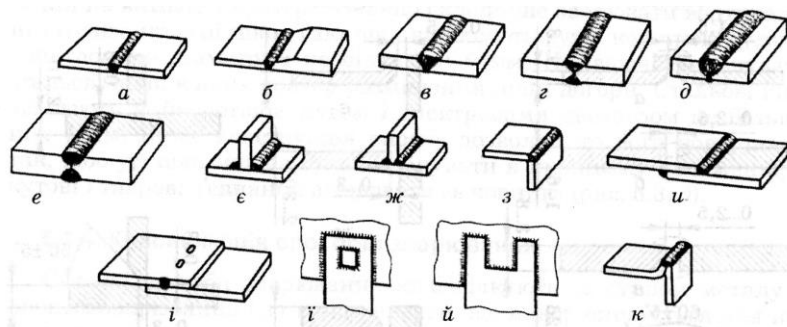


Рис. 5.1. Види зварних з'єднань і швів:

а, б — стикові без скосу кромки; в — стикове з V-подібним скосом кромки; г — стикове з X-подібним скосом кромки; д — з V-подібним криволінійним скосом кромки; е — з X-подібним криволінійним скосом; є, ж — таврове без скосу кромки; з — кутове; и — внапусток; і, ї — прорізні; і — внапусток електрозаклепками (точками); к — відбортовуванням кромки

Щоб запобігти пропалюванню, гострі кромки листів притуплюють. Притуплення становить 1...3 мм. Спільний кут розкриття кромки дорівнює $60^\circ \pm 5^\circ$. Кутові і таврові з'єднання, так само як і стикові, залежно від товщини листів виконують без скосу кромки (рис. 5.2 є, ж, і), а також з однобічним (рис. 5.2, з, й) і двобічним (рис. 5.2, и, і, к) скосом кромки. Кут розкриття $50^\circ \pm 5^\circ$, а для листів завтовшки 12...25 мм (рис. 5.2, к) — $60^\circ \pm 5^\circ$. З'єднання внапусток (рис. 5.2, л) застосовують для листів завтовшки від 2 до 60 мм. Зварювання проводять з одного або з двох боків суцільним чи переривчастим швом.

Зварні шви на кресленнях позначають односторонньою стрілкою на лінії-виносці та умовним позначенням над поличкою для видимих і під нею для невидимих швів тонкими суцільними лініями.

Техніка виконання зварних з'єднань в основному залежить від положення швів у просторі і від виду зварного з'єднання.

За положенням у просторі шви поділяють на нижні (рис. 5.3, а), вертикальні (рис. 5.3, б), горизонтальні (рис. 5.3, в) і стельові (рис. 5.3, г). Найзручніше зварювати нижні шви, оскільки розплавлений метал не витікає з кратера. Значно складніше зварювати вертикальні і горизонтальні шви. Такі шви виконують дуже короткою дугою і електродами діаметром не більш як 5 мм. Найважче виконувати стельові шви, в яких кратер розміщений дном догори. Стельові шви зварюють найкоротшою дугою і електродами діаметром не більше ніж 4 мм. Якщо конструкція виробу дозволяє, то його повертають так, щоб усі шви можна було виконувати в нижньому положенні, а кутові і таврові з'єднання зварювати «в човник» (рис. 5.3, д).

4) Класифікація способів зварювання

Сучасні способи зварювання класифікують за станом металу в процесі зварювання і за видом енергії, що використовується для нагрівання зварюваних частин.

За першою ознакою розрізняють зварювання плавленням і зварювання тиском.

При зварюванні плавленням метал нагрівається до розплавленого стану і зварне з'єднання утворюється без застосування тиску. Зварювання тиском здійснюється переважно при нагріванні металу до пластичного стану або до початку плавлення зварюваних поверхонь.

Такі пластичні метали, як свинець, алюміній, мідь та інші, можна зварювати і в холодному стані за рахунок лише тиску.

За видом енергії, що застосовується для нагрівання металу, всі способи зварювання поділяють на три основні групи: електричні, хімічні і механічні.

Найважливішою є група *електричних способів*, при яких для нагрівання металу використовується електричний струм. Залежно від принципу перетворення електричної енергії на теплову, яку використовують у процесі зварювання, розрізняють такі основні види електричного зварювання: дугове, електрошлакове, контактне, індукційне та електронно-променеве.

До *хімічних способів* зварювання належать горнове або ковальське, газове і термітне. За цих способів зварювання метал нагрівається за рахунок теплоти екзотермічних реакцій окиснення різних речовин, що перебувають у твердому, рідкому або газоподібному стані.

До *механічних способів* належать холодне зварювання тиском, зварювання тертям і зварювання ультразвуком. За цих способів зварювання для з'єднання металів використовують відповідні види механічної енергії.

З перелічених способів зварювання найважливішими є електричне дугове, контактне і газове зварювання.

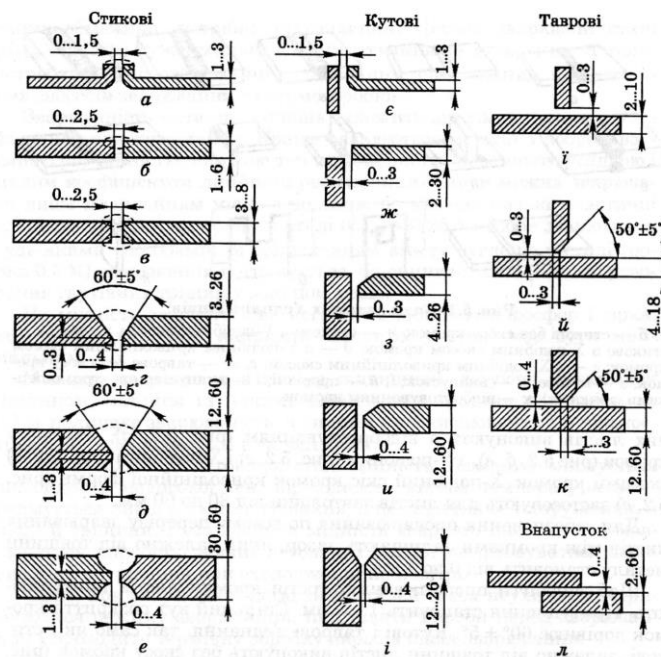


Рис. 5.2. Конструктивні елементи зварних з'єднань, що застосовуються при ручному дуговому зварюванні

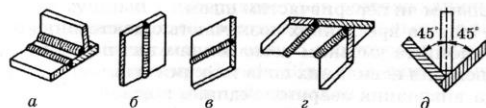


Рис. 5.3. Просторове розташування швів

1) Класифікація способів дугового зварювання

Дугове зварювання можна класифікувати за різними ознаками. Найістотнішими з них є характер впливу дуги на присадний і основний метали. Такий вплив може бути прямим, непрямим і комбінованим. За дією ознакою розрізняють такі основні види дугового зварювання: метод Бенардоса, метод Слав'янова, аргондугове зварювання і зварювання трифазною дугою.

Зварювання методом Бенардоса. При цьому методі зварювання (рис. 5.4, а) дуга постійного струму при прямій полярності (мінус на електроді і плюс на виробі) горить між вугільним або графітовим електродом 3 і зварюваним виробом або основним металом 1. Присадний метал 2 у зварювальне коло не ввімкнений, тому дуга прямо діє лише на основний метал і побічно на присадний.

При зворотній полярності, тобто коли електрод стає анодом (плюс на електроді), а виріб катодом (мінус на виробі) вугільна дуга стає нестійкою і відбувається науглецювання металу.

Зварювання методом Бенардоса має незначне застосування, переважно при наплавленні порошковими твердими сплавами деталей, які зазнають швидкого спрацювання, і при виправленні дефекту в чавунних і бронзових виливках.

Зварювання методом Слав'янова. При такому методі дуга постійного (при прямій чи зворотній полярності) або змінного струму (рис. 5.4, б) горить між

металевим плавким електродом 2, який одночасно є присадним металом, і зварюваним виробом 1. Цей метод застосовують при ручному, напівавтоматичному та автоматичному зварюванні і наплавленні чорних і кольорових металів.

Для захисту розплавленого металу від впливу кисню й азоту повітря при ручному зварюванні використовують шлако- і газозахисні електродні покриття, а при напівавтоматичному і автоматичному зварюванні — різні флюси і захисні гази.

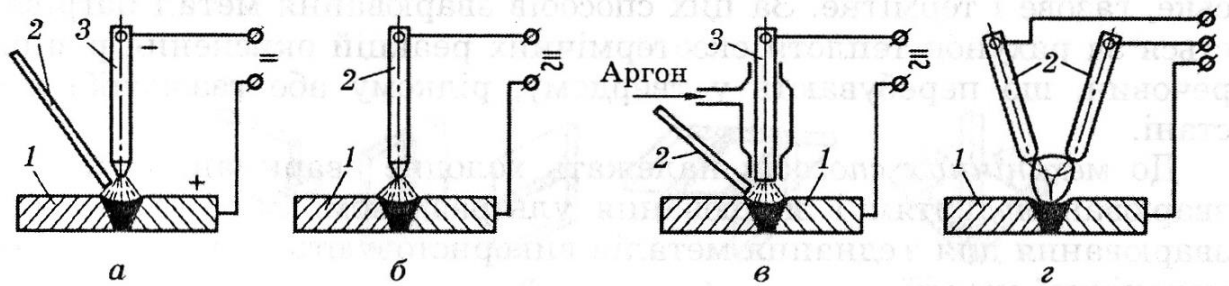


Рис. 5.4. Схеми основних видів дугового зварювання:

а — зварювання методом Бенардоса; *б* — зварювання методом Слав'янова;
в — аргонодугове зварювання; *г* — зварювання трифазною дугою

Аргонодугове зварювання. При аргонодуговому зварюванні (рис. 5.4, *в*) дуга постійного або змінного струму горить між зварюваним виробом 1 і неплавким вольфрамовим або плавким металевим електродом 3 в середовищі аргону, який підводиться в зону дуги для захисту розплавленого металу від оточуючого повітря. Присадний метал 2 у зварювальне коло не включений. У зв'язку з високою температурою плавлення (3400°C) і кипіння (5900°C) вольфраму, а також охолоджувальною дією аргону, що подається концентрично навколо вольфрамового електрода, ці електроди в дузі не плавляться. Аргонодугове зварювання застосовують переважно при зварюванні виробів з магнієвих і титанових сплавів, алюмінію та його сплавів, а також високолегованих сталей завтовшки до 5 мм.

Зварювання трифазною дугою (рис. 5.4, *г*) характеризується комбінованим впливом дуги на присадний і основний метали. При трифазному зварюванні одночасно горять три дуги: одна — між двома ізольованими один від одного металевими плавкими електродом 2, а дві інші — між кожним з цих електродів 2 і зварюваним виробом 1. Цей вид зварювання характеризується вищою продуктивністю порівняно зі способом Слав'янова.

Проте зварювання трифазною дугою має і низку недоліків. Основними з них є швидка втомлюваність зварника при ручному зварюванні внаслідок великих розмірів і маси електродотримача, необхідність виготовлення нестандартних спарених електродів, потреба в спеціальних трифазних зварювальних трансформаторах та ін. Тому цей метод застосовують в основному при автоматичному зварюванні металу великої товщини.

2) Характеристика зварювальної дуги

Фізична суть дуги. Зварювальна дуга — це потужний електричний розряд у газах, який супроводжується виділенням значної кількості теплоти і світла. З фізичного погляду вона є складним іонним і електронним процесом перенесення електричних зарядів через повітря. Повітря, як відомо, в звичайних умовах не проводить електричного струму. Якщо в повітрі з'являються заряджені часточки, тобто позитивні й негативні іони і вільні електрони, то воно стає провідником.

Процес утворення заряджених часточок називається *іонізацією*, а газ, в якому з'явилися заряджені часточки, стає *іонізованим*. Іонізація газу може зумовлюватися різними чинниками, наприклад зіткненням молекул і атомів газу з вільними електронами, нагріванням газу до високої температури, поглинанням часточками газу квантів світлової енергії.

При дуговому зварюванні іонізація газового проміжку зумовлена переважно електронною емісією, тобто видаленням з великою швидкістю з гарячого катода вільних електронів і бомбуванням цими електронами нейтральних часточок газу.

Для виникнення електронної емісії до катода й анода підводять певну різницю потенціалів, тобто підключають їх до джерела зварювального струму, а потім для розігрівання катода між катодом і анодом створюють короткочасне коротке замикання.

Після відривання електрода від виробу з розігрітого катода, яким при зварюванні постійним струмом залежно від полярності може бути і електрод, і виріб (при змінному струмі полярність змінюється), відбувається випромінювання електронів, тобто електронна емісія. Електрони, що вилетіли з поверхні катода, направляються на анод і на своєму шляху, зіштовхуючись із молекулами і атомами газу, іонізують їх. Утворювані в дуговому проміжку негативні іони й електрони переміщуються до анода, а позитивні іони до катода. На поверхні катода й анода нейтралізуються заряджені часточки і електрична енергія перетворюється на теплову.

Електричні параметри дуги. Оскільки в момент короткого замикання електрод, виріб і повітряний проміжок між ними недостатньо нагріті, то для запалювання дуги потрібна вища напруга, ніж при її горінні. При зварюванні змінним струмом напруга, потрібна для запалювання дуги, становить 55...80 В. Для підтримання сталого горіння дуги достатньою є напруга 18...30 В при ручному і 30...45 В при автоматичному зварюванні. При зварюванні постійним струмом дуга запалюється при напрузі від 45 до 50 В, а горить при напрузі 16...30 В.

Значення зварювального струму становить від 30...50 до 600 А при ручному і від 100 до 4000 А при автоматичному зварюванні.

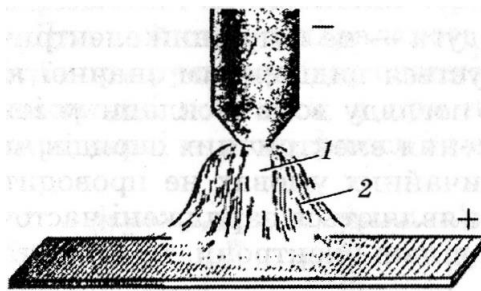


Рис. 5.5. Зварювальна дуга, яка горить між електродом і металом:

1 — стовп дуги; 2 — ореол дуги

Будова дуги та її теплові властивості. Зварювальна дуга (рис. 5.5) складається з трьох частин: катодної, анодної і стовпа дуги. Майже весь простір займає стовп дуги 1, в якому відбуваються процеси іонізації і переміщення заряджених часточок до катода й анода. Температура стовпа дуги становить близько 6000 °С. Стовп дуги оточений ореолом 2, який є розжареною газоподібною сумішшю пари електродного і зварюваного металів та продуктів реакції цих парів з навколишнім газовим середовищем. Теплову потужність дуги, Дж/с, визначають за формулою

$$q = U_d I_d \quad (0,24 U_d I_d \text{ кал/с}),$$

де U_d — спад напруги на дузі, В; I_d — струм, А.

Не вся теплота дуги витрачається на плавлення присадного і основного металу: приблизно 50 % — на нагрівання виробу; близько 30 % — на нагрівання електрода і приблизно 20 % становлять втрати теплоти в навколишній простір. Велика кількість теплоти (42...43 %) виділяється на аноді і менша (30...38 %) — на катоді. Тому температура анода трохи вища за температуру катода. При зварюванні постійним струмом розрізняють пряму і обернену полярність. У разі прямої полярності електрод вмикають у негативний полюс і він є катодом, а виріб під'єднують до позитивного полюса і він є анодом. При оберненій полярності — навпаки. Обернену полярність використовують для зварювання тонких та легкоплавких матеріалів.

Плавлення і перенесення електродного металу. При дуговому зварюванні металевим плавким електродом після запалювання дуги на торці електрода створюється краплина рідкого металу, яка при переході на основний метал зумовлює коротке замикання дугового проміжку. Після відривання краплини від електрода між електродом і виробом знову запалюється дуга.

Кількість цих краплин, що переносяться з короткими замиканнями, залежить від діаметра електрода, його марки, довжини дуги, значення струму, а також від інших умов і становить від 5 до 40 за секунду. Не весь розплавлений електродний метал переходить у шов. Приблизно від 10 до 20 %

становлять втрати на вигар і розбризкування. Кількість електродного металу, що перейшов у шов, визначають за рівнянням

$$Q_n = k_n It,$$

де Q_n — маса наплавленого металу, кг; k_n — коефіцієнт наплавлення; I — сила струму, А; t — час зварювання, с.

Коефіцієнт наплавлення характеризує кількість електродного металу, що переходить у шов за 1 с при силі струму 1 А.

При ручному зварюванні коефіцієнт наплавлення залежить переважно від марки електрода, а також від значення і роду струму; для більшості електродів він становить $(10 \dots 16) \cdot 10^{-6}$ кг/А·с.

Плавлення основного металу і утворення наплавленого валика. При розплавленні основного металу в зоні зварювання утворюється зварювальна ванна 3 (рис. 5.6), в яку зі швидкістю до 40 м/с безперервним потоком надходять краплини електродного металу. Під дією тиску газів дуги у зварювальній ванні створюється заглиблення, що називається *кратером*. За глибиною кратера визначають також глибину проварювання. Остиглий розплавлений метал утворює наплавлений валик, або зварний шов 1, з дендритною структурою, властивою вилитому металу. Безпосередньо до нього прилягає перехідна зона 2, яка називається *зоною термічного впливу*, або *нарколошовною зоною*.

Зона термічного впливу є ділянкою основного металу, в якому внаслідок високого нагрівання і швидкого охолодження відбуваються явища нормалізації, загартування або відпускання.

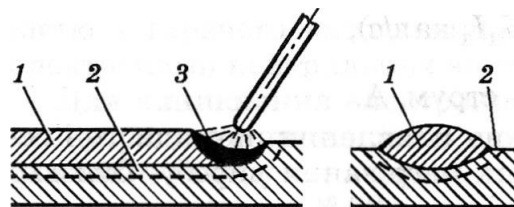


Рис. 5.6. Схема утворення наплавленого валика

3) Джерела струму для дугового зварювання

Для дугового зварювання застосовують як постійний, так і змінний струм. Джерелом постійного струму є зварювальні генератори постійного струму і зварювальні випрямлячі. Розрізняють селенові, германієві і силіцієві випрямлячі.

Генератори постійного струму будують стаціонарними і пересувними з приводом від електродвигуна (перетворювачі) і від двигуна внутрішнього згоряння (агрегати).

При зварюванні змінним струмом використовують переважно зварювальні трансформатори.

Оскільки режим дугового зварювання характеризується частими короткими замиканнями, то для обмеження струму короткого замикання джерела струму створюють так звану спадну зовнішню характеристику.

Зовнішньою характеристикою називається залежність між напругою U_a на затискачах джерела струму і струмом навантаження I_a , виражена графічно. *Спадною характеристикою* називається такий характер цієї залежності, коли зі збільшенням струму навантаження напруга на затискачах джерела струму знижується.

На рис. 5.7 зображено два види зовнішніх характеристик: жорсткої і спадної. Жорстку характеристику мають джерела струму, які призначені для силових або освітлювальних навантажень. Напруга у таких джерел при зміні струму навантаження залишається постійною.

Якщо ж джерело струму має спадну зовнішню характеристику, то зі збільшенням струму навантаження напруга на затискачах джерела струму падатиме і це приведе до обмеження струму короткого замикання.

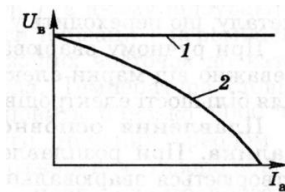


Рис. 5.7. Зовнішні характеристики джерел струму:
1 — жорстка; 2 — спадна

Зварювальні трансформатори. Зварювальний трансформатор знижує високу напругу електромережі (220 або 380 В) до напруги холостого ходу трансформатора (55...80 В), що досягається за рахунок відповідного добору витків первинної і вторинної обмоток трансформатора.

Крім цього, трансформатор створює на дузі спадну зовнішню характеристику. З цією метою послідовно з дугою і вторинною обмоткою трансформатора вмикають так звану дросельну, або реактивну, обмотку. При проходженні зварювального струму у витках дросельної обмотки індукуються ЕРС (електрорушійна сила) самоіндукції, яка має напрям, протилежний основній ЕРС трансформатора. Тому напруга, підведена до дуги, знижується від значення холостого ходу до 18...45 В під час горіння дуги і майже до нуля при короткому замиканні.

Застосовують дві схеми вмикання дросельної обмотки з трансформаторними обмотками. При першій схемі (рис. 5.8, а) первинна I і вторинна II обмотки знижувального однофазного трансформатора розміщені на залізнму

осерді 1, а дросельна обмотка III— на осерді 2, які є двома окремо виконаними апаратами.

При другій схемі вмикання (рис. 5.8, б) трансформаторні {I-II} і дросельна (III) обмотки розміщені на спільному залізному осерді і є одним апаратом. Причому та частина осердя, на якій розміщені обмотки I і II, і є власне трансформатором, а частина, на якій розміщена обмотка III,— дроселем.

У зварювальних трансформаторах струм регулюють зміною самоіндукції дроселя, тобто збільшенням або зменшенням повітряного зазору між рухомою і нерухомою частинами осердя дроселя.

При збільшенні зазору самоіндукція дроселя, яка залежить від магнітного потоку осердя дроселя, зменшується, а напруга на дузі і, отже, зварювальний струм збільшуються. Зі зменшенням зазору відбувається зворотнє явище.

У зварювальних трансформаторах ТСК-500 (часто трапляються в ремонтних майстернях) струм регулюють переміщенням котушки вторинної обмотки по спільному осердю спеціальним гвинтом. Для підвищення коефіцієнта потужності такі трансформатори мають у первинному ланцюгу конденсатор великої потужності.

Спеціальні зварювальні трансформатори трифазного струму застосовують для багатопостового зварювання змінним струмом і при зварюванні трифазною дугою.

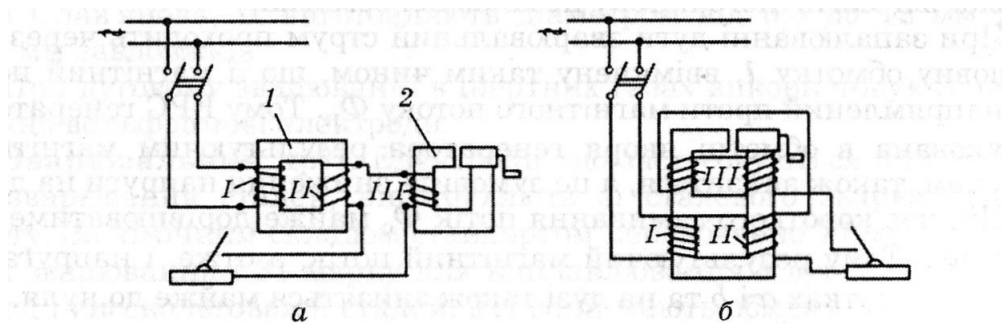


Рис. 5.8. Схеми зварювальних трансформаторів:
а — з окремою дросельною обмоткою; б — в однокорпусному виконанні

Однопостові зварювальні генератори постійного струму. Спадну зовнішню характеристику у однопостових зварювальних генераторів постійного струму одержують безпосередньо в самому генераторі. Це досягається за рахунок розмагнічування основного потоку генератора магнітним потоком послідовної обмотки збудження або за рахунок реакції якоря.

Принципову електричну схему генератора, що працює за принципом розмагнічувальної послідовної обмотки збудження, зображено на рис. 5.9, а. Генератор має дві обмотки збудження: обмотку 3, що підключена до головної щітки B і допоміжної щітки c, і обмотку 1 — до головних щіток a і B.

Напруга між щітками B і c при холостому ході і всіх режимах навантаження залишається постійною. Тому постійними є і магнітний потік Φ_n , який створюється обмоткою 3, що підключається до цих щіток. Обмотка 3 називається

також обмоткою незалежного збудження. Під час холостого ходу ЕРС генератора, а отже, і напруга на головних щітках a , b і на дузі залежатиме тільки від магнітного потоку незалежної обмотки.

При запалюванні дуги зварювальний струм проходить через послідовну обмотку 1, ввімкнену таким чином, що її магнітний потік Φ_c напрямлений проти магнітного потоку Φ_n . Тому ЕРС генератора, індукована в обмотці якоря генератора результирующим магнітним потоком, також знизиться, а це зумовить зниження напруги на дузі.

Під час короткого замикання потік Φ_c майже дорівнюватиме потоку Φ_n . Тому результируючий магнітний потік, а отже, і напруга на головних щітках a і b та на дузі також знизяться майже до нуля.

Зварювальний струм у генераторах такого типу регулюється зміною струму збудження незалежної обмотки за допомогою реостата 2 або за рахунок зміни кількості витків незалежної і серієсної обмоток.

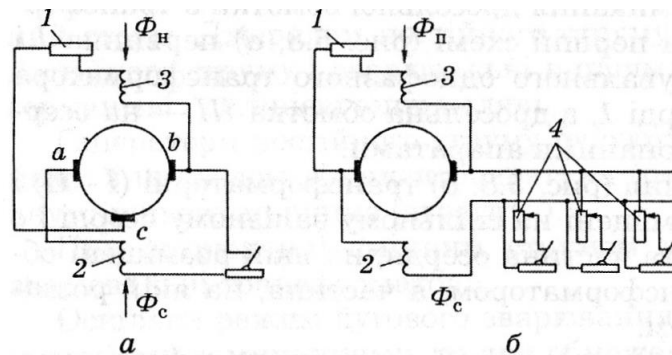


Рис. 5.9. Схеми зварювальних генераторів постійного струму:

a — однопостовий з розмагнічувальною послідовною обмоткою; b — багатопостовий з баластними реостатами

Багатопостові зварювальні генератори постійного струму (рис. 5.9, b) мають послідовну 1 і паралельну 3 обмотки збудження, які створюють відповідно магнітні потоки Φ_c і Φ_n одного напрямку. Тому ці генератори мають не спадну характеристику, а жорстку.

Для одержання спадної характеристики на дузі на кожному робочому місці послідовно з дугою вмикають баластні реостати 4. При замиканні зварювального кола частина напруги генератора втрачається в баластному реостаті згідно з рівнянням

$$U_p = IR,$$

де U_p — втрата напруги на реостаті, В; R — опір реостата, Ом.

При короткому замиканні втрата напруги в баластному реостаті майже дорівнює напрузі на затискачах генератора, тому напруга на дузі падає майже до нуля. Баластним реостатом користуються також для регулювання

зварювального струму, а реостат 2 призначений для зміни напруги холостого ходу генератора.

Осцилятори — апарати для живлення зварювальної дуги струмом високої частоти (150...450 кГц) і високої напруги (2...8 кВ), який дає можливість запалювати дугу без доторкання до деталі і легко її утримувати. Створена осцилятором висока напруга безпечна для людини внаслідок низької електричної потужності, яка становить близько 150 Вт.

Нині на зміну розглянутих типів джерел, які ще широко застосовуються, приходить нове покоління джерел живлення з використанням тиристорів, модуляторів і мікропроцесорів, що мають кращі експлуатаційні характеристики.

4) Електроди для дугового зварювання

При дуговому зварюванні застосовують вугільні та металеві електроди. Вугільні електроди використовують при зварюванні методом Бенардоса, їх випускають у вигляді стрижнів діаметром від 6 до 30 мм. Металеві електроди використовують при зварюванні методом Слав'янова, їх виготовляють діаметром від 0,3 до 12 мм і до 450 мм завдовжки.

При дуговому зварюванні в інертних газах використовують переважно вольфрамові електроди.

Зварювальний дріт. Електроди, що застосовуються для дугового зварювання сталей, виготовляють зі сталевого зварювального дроту. За хімічним складом стандартом передбачено 77 марок дроту для зварювання і 31 марку для наплавлювання з вуглецевої, легованої і високолегованої сталей. Усі вони мають обмежений вміст вуглецю, сірки і фосфору.

Позначення марок дроту складається з літер Св чи Нп, які характеризують призначення (зварювальна чи наплавлювальна), і далі через дефіс зазначається марка матеріалу. Наприклад: Св-08Х25Н 12Г2Т; Нп-30ХіЗ.

Зварювальний дріт марки Св-08А, який широко застосовують для зварювання багатьох марок низьковуглецевих сталей, має такий склад: до 0,10 % С; 0,35...0,60 % Мп; 0,03 % Si; 0,03 % S і 0,03 % Р.

Дріт постачається діаметром від 0,3 до 12 мм (для наплавлення від 0,3 до 8 мм) у мотках, котушках чи касетах із внутрішнім отвором 150...750 мм та масою від 1,5 до 40 кг.

Покриття електродів. Дугове зварювання стрижнями зі сталевого дроту (голими електродами) внаслідок незадовільної стійкості дуги, як правило, не застосовують. Для підвищення стабілізації зварювальної дуги на електродні стрижні наносять так звані тонкі, або стабілізуювальні, покриття. До них належать різні сполуки лужних і лужноземельних металів, які в дузі легше іонізуються, ніж кисень і азот повітря.

Найпоширенішими серед цих покриттів є крейдяне, яке наносять на стрижень у суміші з клейкою речовиною (рідким склом) завтовшки 0,1...0,2 мм.

Проте електроди зі стабілізувальним покриттям не забезпечують потрібної якості металу шва, тому їх застосовують для зварювання маловідповідальних виробів.

Низька якість металу шва при зварюванні електродами зі стабілізувальним покриттям пояснюється значним насиченням наплавленого металу киснем і азотом повітря. Тому для поліпшення його якості потрібно захищати розплавлений метал в зоні дуги від повітря. При ручному зварюванні цього досягають за рахунок нанесення на електродні стрижні товстих або якісних покриттів. До складу цих покриттів, крім стабілізувальних і клейких речовин, входять речовини, які створюють шлаковий і газовий захист розплавленого металу, а також речовини, що розкиснюють зварювальну ванну. Для одержання наплавленого металу спеціального складу і властивостей в електродні покриття іноді вводять різні легувальні елементи.

Шлакоутворювальними речовинами є оксиди різних металів, наприклад оксиди мангану, силіцію, титану. Їх вводять у покриття найчастіше у вигляді різних мінералів (кремнезему, польового шпату та ін.) і руд (титанової, манганової та ін.). У процесі плавлення товстих покриттів утворюються шлаки, які вкривають краплини електродного металу в дузі та зварювальну ванну на основному металі і таким чином захищають розплавлений метал від взаємодії з киснем і азотом повітря (рис. 5.10).

Як речовини, що створюють газовий захист, в електродне покриття вводять різні органічні сполуки, наприклад деревне або харчове борошно, електродну целюлозу, крохмаль. При згорянні цих речовин навколо дуги утворюються гази у вигляді оксиду вуглецю і водню, які відтискують повітря від зварювальної зони.

Як розкиснювачі застосовують елементи, що мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо. До них належать манган, титан, силіцій, алюміній та ін. Перебуваючи у зварювальній ванні, вони відбирають кисень від оксидів заліза, створюючи нерозчинні в залізі оксиди відповідних елементів, які потім спливають у шлак.

Легувальні елементи, такі як хром, манган, вольфрам, молібден та ін., в електродне покриття вводять тоді, коли електроди призначені для зварювання високолегованих сталей або для одержання твердих наплавів. Розкиснювачі і легувальні елементи вводять у покриття головним чином у вигляді феросплавів. Покриття на електроди наносять на спеціальних обмазувальних пресах методом опресовування або, в окремих випадках, вручну — методом занурення — завтовшки від 0,5 до 2,0 мм.

Обмазувальну масу виготовляють з тонкомелених і просіяних електродних компонентів у суміші з рідким склом.

При машинному нанесенні покриття обмазувальну масу виготовляють густою, подібною до віконної замазки, а при ручному нанесенні — подібною до сметани.

Позначення електродів. Для зварювання і наплавлення різних сталей у промисловості застосовують багато марок електродів. Умовне позначення

електродів складається з позначення марки, типу, діаметра стрижня, типу покриття тощо, наприклад

946А-УОНІІІ-13/45-3,0-УД2 ГОСТ 9466-75;

9432(5)-Б10 ГОСТ 9467-75,

яке розшифровується так: 946А — тип електрода (9 — електрод для дугового зварювання; 46 — границя міцності металу шва (460 МПа); А — гарантується одержання пластичного шва); УОНІІІ-13/45 — марка електрода (з російської Универсальная обмазка Научно- исследовательского института — мається на увазі НДІ електрозварювання ім. Є.О. Патона АН України). До складу покриття електродів марки УОНІІІ-13/45 входять такі компоненти: 53% мармуру, 18% плавикового шпату, 9 % кремнезему, 15 % феротитану, 3 % феросиліцію, 2 % феромангану і рідке скло в кількості 25 % від маси сухих компонентів; 3,0 — діаметр стрижня; У — для зварювання вуглецевих сталей; Д2 — з товстим покриттям другої групи; 432(5) — група індексів, які зазначають характеристику наплавленого металу і металу шва; 43 — тимчасовий опір на розрив — не менш як 460 МПа; 2 — відносне видовження не менш як 22 %; 5 — має ударну в'язкість не менш як 34,3 Дж/см² за температури мінус 40 °С; Б — основне покриття; 1 — для зварювання в усіх просторових положеннях; 0 — на постійному струмі оберненої полярності.

5) Вибір режиму зварювання

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електрода і сила зварювального струму. Швидкість зварювання і напруга дуги при ручному зварюванні, як правило, не регламентуються. Ці дані встановлює зварник залежно від марки електрода і положення шва в просторі.

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварювального металу, катета шва і положення швів у просторі (табл. 5.2).

Сила зварювального струму залежить в основному від діаметра електрода і її підбирають за формулою

$$I = kd,$$

де I — зварювальний струм, А; d — діаметр електрода, мм; k — коефіцієнт ($k = 30$ при діаметрі електрода до 3,0 мм; $k = 35...40$ для високолегованих сталей; $k = 40...60$ для маловуглецевих сталей; за К.К. Хреновим $k = 20 + 6d_{\text{ел}}$).

Зварювання швів у вертикальному та стельовому положеннях, як правило, виконують електродами діаметром не більш як 4 мм. При цьому сила струму має бути на 10...20 % нижчою, ніж для зварювання в нижньому положенні.

Дуга може збуджуватися двома способами: дотиком впритул і відведенням перпендикулярно вгору або «чирканням» електродом як сірником. Другий спосіб зручніший, але непридатний у вузьких і незручних місцях.

Таблиця 5.2. Вибір електрода для зварювання вуглецевої сталі змінним струмом у нижньому положенні

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм
0,5...1,0	1,0...1,5
1,0...2,0	1,2...2,5
2,0...5,0	2,5...4,0
5,0...10,0	4,0...6,0
Понад 10	4,0...8,0

У процесі зварювання треба підтримувати певну довжину дуги, яка залежить від марки та діаметра електрода. Орієнтовно нормальна довжина дуги має становити $L_d = (0,5... 1,1)d_{ел}$.

З'єднання під зварювання складають у пристроях, найчастіше з прихватками.

Електродотримачі призначені для кріплення електрода та підведення до нього струму в процесі ручного дугового зварювання. Вони випускаються для струму 125, 315 та 500 А та дроту перерізом 25, 50 і 70 мм² відповідно. За конструкцією розрізняють вилкові, пасатижні ЗП-З, важільні ЗР-1, гвинтові ЗВ-4 та заціпні ЗУ-ЗООІ електродотримачі.

Зварювальні дроти призначені для подачі струму від джерела живлення до електродотримача та зварюваної деталі. Переріз дроту вибирають із розрахунку 5...7 А/мм², наприклад для зварювання струмом 200 А потрібно дріт перерізом 30...40 мм². Рекомендується така залежність середнього значення зварювального струму та перерізу дроту:

Струм, А	150	200	300	450	600
Переріз дроту, мм	25	35	50	70	95

Для поліпшення умов роботи зварника і забезпечення вільного маневрування електродом під час зварювання до електродотримача кріплять відрізок гнучкого дроту (кабелю) 2...3 м завдовжки.

Зварювальні шоломи та щитки і маски застосовують для захисту очей і шкіри обличчя від проміння зварювальної дуги та бризок розплавленого металу. Їх виготовляють із фібри або пластмас. Для спостереження за дугою в них роблять прямокутний виріз, облямований рамкою зі світлофільтром, який не пропускає ультрафіолетового та інфрачервоного проміння. Зовні світлофільтр прикритий захисним склом.

6) Автоматичне і напівавтоматичне дугове зварювання під флюсом

При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні під флюсом до виробу 7 (рис. 5.11) подається голий дріт 1 і окремо порошкоподібний флюс 3.

Дуга під флюсом горить у газовому бульбашці, що утворюється навколо стовпа дуги з парів присадного і основного металів і продуктів дисоціації складових флюсу.

Розтоплена частина флюсу 2 оточує газовий бульбашку і вкриває зварювальну ванну 4 тонким шаром шлаку, таким чином запобігаючи стицанню розплавленого присадного і основного металів з киснем і азотом повітря.

Після остигання металу і шлаку останній у вигляді шлакової кірки 5 легко відокремлюється від наплавленого металу 6. Невикористана частина флюсу відсмоктується з виробу назад у бункер за допомогою флюсовідсмоктувальних пристроїв.

Переваги зварювання під флюсом. Автоматичне зварювання під флюсом порівняно з ручним дуговим має такі переваги: у 5... 10 разів підвищується продуктивність зварювання, досягається однорідність шва і підвищується якість наплавленого металу; економиться зварювальний дріт у зв'язку зі зменшенням втрат металу на вигар, розбризкування і відсутністю недогарків; полегшується праця робітника.

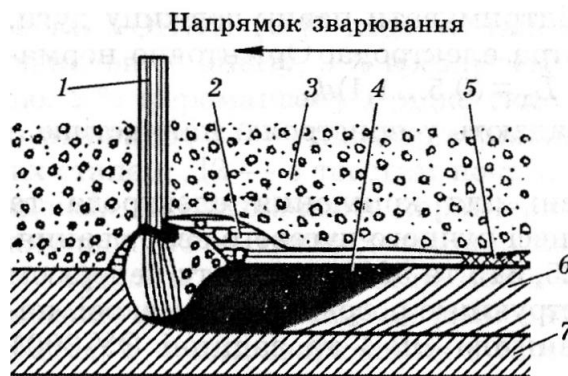


Рис. 5.11. Схема зварювання під шаром флюсу

Продуктивність зварювання під флюсом підвищується головним чином за рахунок застосування великих струмів. Під час ручного дугового зварювання максимально допустимими є струми до 500...600 А. При більших струмах погіршується формування шва.

При зварюванні під флюсом застосовують струм 3000...4000 А без погіршення якості металу шва.

Флюси для автоматичного зварювання. Флюси мають забезпечувати постійне горіння дуги, необхідний хімічний склад і механічні властивості наплавленого металу, добре формування зварювального шва і легке відокремлення шлакової кірки від наплавленого металу. За способом виготовлення флюси поділяють на плавлені і керамічні.

Плавлені флюси одержують сплавленням шихти у полумєневих або електричних печах з наступною грануляцією. До складу плавлених флюсів входять тільки шлакоутворювальні компоненти. Наприклад, до складу флюсів марок ОСЦ-45 і АН-348, які широко застосовують для зварювання

маловуглецевих і низьколегованих сталей, входять 38...44 % ZrO_2 , 34...47 % MnO , 3,5...9,0 % CaF_2 та інші домішки. Шихтою для одержання цих флюсів є кварцовий пісок, манганова руда і плавииковий шпат.

До складу *керамічних флюсів*, крім шлакоутворювальних компонентів, входять також розкиснювачі і різні легувальні елементи. Технологія одержання керамічних флюсів подібна до технології одержання електродної обмазувальної маси, яка наноситься на електроди методом опресовування. З одержаної у такий самий спосіб густого замісу маси виготовляють гранульований флюс, який потім просушують і прожарюють.

Керамічні флюси використовують для зварювання деяких марок легованих і високолегованих сталей та для одержання твердих наплавлень.

Будова зварювальних автоматів. При автоматичному зварюванні всі рухи зварювального дроту автоматизовані.

Залежно від принципу підтримання постійної довжини дуги зварювальні автомати поділяють на два типи: з автоматичним регулюванням і з саморегулюванням довжини дуги.

При зміні довжини дуги в автоматах першого типу використовують зміни напруги на дузі, а в автоматах другого типу — зміни струму. В першому випадку автомати обладнують спеціальними пристроями (реле, іонні лампи та ін.), які пов'язані з напругою дуги і з механізмом подачі дроту.

Зі збільшенням довжини дуги і підвищенням напруги на дузі швидше подається дріт до виробу.

Автомати з саморегулюванням довжини дуги не мають зазначених пристроїв, тому в них швидкість подачі дроту стала. В разі зміни довжини дуги вона відновлюється до початкових розмірів за рахунок зміни швидкості плавлення дроту. Для сталого горіння дуги в автоматах цього типу потрібно, щоб певній швидкості плавлення дроту відповідала певна швидкість його подачі. Якщо в процесі зварювання збільшується довжина дуги, то це зумовлює зменшення сили зварювального струму і зниження швидкості плавлення дроту. Завдяки сталій швидкості подачі дроту довжина дуги знову збільшується до початкових розмірів. При скороченні довжини дуги відбувається зворотне явище: струм і швидкість плавлення зростають і довжина дуги збільшується.

Зварювальні автомати бувають стаціонарними і переносними. Поширенішими є переносні зварювальні автомати, які називаються зварювальними тракторами.

Зварювальний трактор типу ТС-17М-у Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона АН України зображено на рис. 5.12. Трактор має сталу швидкість подачі дроту в процесі зварювання при заданому режимі і призначений для зварювання будь-яких швів у нижньому положенні при силі струму до 1000 А. Основними вузлами трактора є електродвигун 1 потужністю 0,2 кВт, візок з ведучими 2 і веденими 3 бігунками, бункер 5 для флюсу, касета 7 для дроту і кнопковий пульт керування 8. Крім того, трактор має джерело струму,

магнітний пускач і електровимірювальні прилади 6. Електродвигун трактора з'єднаний з механізмом подачі дроту і механізмом пересування.

Механізм подачі дроту складається з редуктора, привідного і притисного роликів, а механізм пересування — з редуктора та ведучих бігунків 2. Добором змінних шестерень у редукторах змінюють швидкість подачі дроту в межах 52...403 м/год і швидкість пересування автомата, тобто швидкість зварювання, в межах 16...126 м/год.

Після встановлення трактора у вихідне положення і натискання кнопки «Вниз-стоп 1» на пульті керування 8 зварювальний дріт із касети 7 подається до стикання з виробом. Потім з бункера 5 до місця зварювання подається флюс і натисканням кнопки «Пуск» автомат вмикається в роботу.

При зупиненні зварювального трактора спочатку зупиняється електродвигун і при звичайному обриві дуги в кінці шва заварюють кратер. Після цього вимикають усю схему трактора.

Для спрямування трактора вздовж лінії шва використовують різні напрямні пристрої. В окремих випадках трактор напрямляють вручну за допомогою рукоятки 4, укріпленої на бункері 5.

Зварювальний напівавтомат — це зварювальний апарат з механізованою подачею дроту, який переміщується в процесі зварювання вручну.

Шлангові напівавтомати застосовують для зварювання як плавкими, так і неплавкими електродами. Механізоване зварювання характеризується високою маневреністю, можливістю зварювання всіх видів з'єднань практично в усіх просторових положеннях, у тому числі й у важкодоступних місцях.

Шлангові напівавтомати класифікують за такими ознаками:

- способом захисту дуги — для зварювання в захисних газах, під флюсом, без зовнішнього захисту (при зварюванні порошковими та самозахисними дротами), універсальні, пристосовані для зварювання з кількома різними способами захисту дуги;
- типом застосовуваного електродного чи присадного дроту — для зварювання суцільним сталевим (жорстким) дротом, дротом із алюмінієвих сплавів (м'яким), порошковим дротом, універсальні;
- способом та швидкістю регулювання подачі дроту — штовхального, тягнучого, тягнучо-штовхального типу; з плавним, ступінчастим і змішаним регулюванням швидкості подачі;
- транспортабельністю — стаціонарні з транспортуванням під час зварювання подавальним механізмом, який може бути пересувним і переносним (чемоданного типу, ранцевий, ручний з подавальним механізмом і катушкою дроту, вбудованою в тримач пальника);
- способом охолодження пальника — із природним (повітряним) та штучним (водяним або газовим).

До складу найпоширеніших напівавтоматів — шлангових — для зварювання в захисних газах входять (рис. 5.13): пальник 1 або комплект пальників зі шлангом 2, механізм 3 подачі електродного дроту, катушка 4 чи

інші пристрої для електродного дроту, шафа чи блок керування 5 (якщо він не поєднаний з джерелом живлення), а також проводи для зварювального кола та кіл керування, апаратура для регулювання подачі захисного газу та вимірювання параметрів (складу, витрати, тиску), шланг для газу, джерело живлення.

Напівавтомати для зварювання під флюсом складаються з тих самих вузлів, але замість газової апаратури вони мають пристрої для подачі флюсу. Особливістю напівавтоматів для зварювання без зовнішнього захисту дуги є відсутність газової апаратури та пристроїв для подачі флюсу.

Більшість використовуваних пальників (~ 90 %) — пальники з природним (повітряним) охолодженням струмоведучих частин і тих, що нагріваються теплотою дуги. Водяне охолодження застосовують у пальниках, розрахованих на струми понад 400 А. За характером взаємного розміщення основного корпусу та рукоятки розрізняють пальники молоткового та пістолетного типів. Останні становлять не більш як 10 % від загальної кількості пальників.

Найпоширенішими напівавтоматами є напівавтомати штовхального типу, в яких електродний дріт прошовується по шлангах (гнучких напрямних каналах) від подавального механізму.

Значна більшість пальників має шланги завдовжки до 3 м, як правило, для сталевих електродного дроту. Для зварювання тонким дротом (діаметром 0,6...1,0 мм) і дротом з м'яких алюмінієвих сплавів пальники комплектують шлангами завдовжки 1,5...2,0 м.

Механізми подачі електродного дроту чи подавальні механізми складаються з електродвигуна, редуктора та системи подавальних і притискних роликів. Ведучий ролик, який приводиться в обертання електродвигуном через редуктор, прошовує дріт крізь шланг у зону зварювання.

Швидкість подачі дроту регулюють шестернями або роликами, а також плавним регулюванням частоти обертання при використанні двигуна постійного струму.

Залежно від призначення застосовують схеми з одним привідним роликом (тонкий сталевий дріт), двома привідними роликами (сталевий дріт 1,6...2,0 мм, іноді алюмінієвий дріт) та чотирма привідними роликами (алюмінієвий та порошковий дроти).

До складу комплексу приладів і арматури для подачі захисного газу від балона чи мережі до електромагнітного газового клапана напівавтомата входять газовий редуктор та витратомір, які іноді поєднані в одному приладі — редукторі-витратомірі. При зварюванні у вуглекислому газі до цього комплексу входить також підігрівник газу, який може бути вбудований у редуктор-витратомір.

7) Дугове зварювання в захисних газах

Як захисні гази при дуговому зварюванні застосовують аргон, гелій, вуглекислий газ, азот і водень. Найбільше використовують аргон і вуглекислий газ.

Аргон одержують з повітря, де його міститься близько 1 %. Транспортують аргон у балонах місткістю 40 л із тиском газу 15 МПа. Застосовують його переважно для зварювання титану, алюмінієвих сплавів і неіржавних сталей. Вуглекислий газ в 10... 15 разів дешевший від аргону. В середовищі вуглекислого газу зварюють багато сталей електродом, що плавиться, як вручну, так і напівавтоматичним і автоматичним способами. Зварювання у вуглекислому газі характеризується високою продуктивністю. На відміну від зварювання під шаром флюсу, в такому разі можна безпосередньо спостерігати за процесом зварювання і зварювати в усіх просторових положеннях.

Щоб знешкодити окиснювальну дію вуглекислого газу, як присадний метал при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей використовують зварювальний дріт із підвищеним вмістом мангану і силіцію (Св-08ГС і Св-ЮГС).

При зварюванні високолегованих сталей застосовують дріт, за складом подібний до основного металу. Як джерела струму при зварюванні у вуглекислому газі застосовують зварювальні генератори постійного струму з жорсткою або зростаючою характеристикою.

8. Безпека праці при електрозварюванні

Ураження електричним струмом відбувається при дотику до струмоведучих частин електропроводки. Струми понад 0,05 А (при частоті 50 Гц), що проходять через тіло людини, можуть спричинити тяжкі наслідки і навіть смерть (>0,1 А). Опір людського організму залежно від його стану (втомленість, вологість шкіри, стан здоров'я) змінюється від 1 до 20 кОм. Напруга джерел живлення дуги досягає 90 В. Згідно із законом Ома, при поганому стані зварника через його тіло може пройти струм, близький до граничного:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{90}{1000} = 0,09 \text{ А.}$$

Електробезпека забезпечується: надійною ізоляцією, застосуванням заземлення, обмеженням напруги холостого ходу джерел живлення (генератори до 80 В, трансформатори до 90 В); індивідуальними засобами захисту (спецодяг, рукавиці, гумові килимки, калоші).

Захист органів зору та шкіри забезпечується щитками зі світлофільтрами (розмір 52 x 102 мм) типу С 13-ти класів (замість типу 9 5-ти класів). їх вибирають за силою струму (наприклад, С4 на 30...60 А, С11 при струмі 900 А).

Для захисту від випромінювання встановлюють кабінки, переносні щити та ширми, пофарбовані в світло-сірий колір, який поглинає ультрафіолетові промені. Від шкідливих газів, пари та пилу застосовують місцеву та

загальнообмінну вентиляцію, а в особливих умовах — респіратори та протигази.

Питання для самоконтролю

- 1. Призначення види електродного покриття?*
- 2. Відмінність між зварюванням методом Слав'янова та Бенардоса?*
- 3. Режимми зварювання?*
- 4. Джерела струму для дугового зварювання?*
- 5. Фізична суть дуги?*

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 226-243;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 60-76.

ЛЕКЦІЯ 17

ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

План

- 1) Газове зварювання.*
- 2) Кисень, його одержання, транспортування і зберігання.*
- 3) Властивості ацетилену і його одержання.*
- 4) Обладнання для газового зварювання.*
- 5) Ацетиленокисневе полум'я і техніка газового зварювання.*
- 6) Підготовка виробів до зварювання і техніка його виконання.*
- 7) Безпека праці при газовому зварюванні.*

1) Газове зварювання

При газовому зварюванні для нагрівання присадного металу і кромки основного металу до розплавленого стану використовують тепло газового полум'я, яке утворюється від згоряння різних горючих газів у суміші з киснем.

Як горючий газ найбільше застосовують ацетилен, який при згорянні в кисні дає температуру полум'я 3150 °С, достатню для зварювання сталей і більшості інших відомих металів та їхніх сплавів.

Для зварювання металів (свинцю, алюмінію тощо), температура плавлення яких нижча за температуру плавлення сталі, використовують й інші горючі гази, наприклад водень, природний газ, що мають нижчу температуру плавлення.

Найчастіше газове зварювання застосовують під час виготовлення листових і трубчастих конструкцій з маловуглецевих і низьколегованих сталей

завтовшки до 3...5 мм, при виправленні дефектів у виливках із сірого чавуну і бронзи, а також для зварювання кольорових металів та їхніх сплавів.

2) Кисень, його одержання, транспортування і зберігання

Кисень у промислових масштабах одержують переважно з повітря. У повітрі є близько 21 % кисню, 78 % азоту, 0,93 % аргону, 0,03 % вуглекислого газу і 0,0019 % благородних газів.

Одержання кисню з повітря ґрунтується на принципі зрідження повітря за температури мінус 194,5 °С і нормального тиску та наступної ректифікації, тобто при розділенні рідкого повітря на азот і кисень. Процес ректифікації рідкого повітря заснований на різниці температур кипіння рідкого азоту (— 196 °С) і рідкого кисню (—183,5 °С). Отриманий у такий спосіб у ректифікаційному апараті рідкий кисень у теплообміннику перетворюється на газоподібний і потім надходить у газгольдер. Звідси кисневим компресором його нагнітають у кисневі балони до тиску 15 МПа (150 атм).

Транспортують і зберігають газоподібний кисень у кисневих балонах. Найпоширеніші балони місткістю 40 л. У такому балоні при тиску 150 МПа (150 атм) вміщується 6000 л (6 м³) кисню. Балони фарбують у блакитний колір, напис «КИСЕНЬ» роблять чорною фарбою.

Кисневий балон (рис. 5.22) — це циліндрична посудина, виготовлена зі сталевих суцільнотягнутих труб. У верхній його частині є горловина 4 з внутрішньою конічною різьбою, куди вкручується запірний латунний вентиль 2. На горловину насаджують кільце 3 для нагвинчування запобіжного ковпака 1. На опуклому дніщі 5 насаджений башмак 6, що надає стійкості балону.

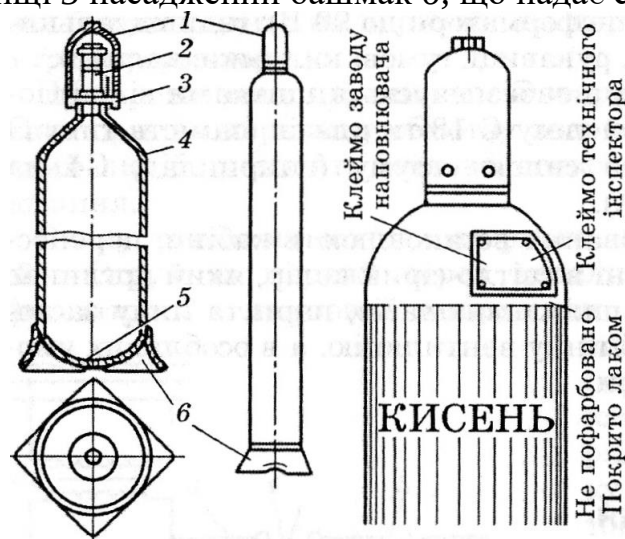


Рис. 5.22. Кисневий балон

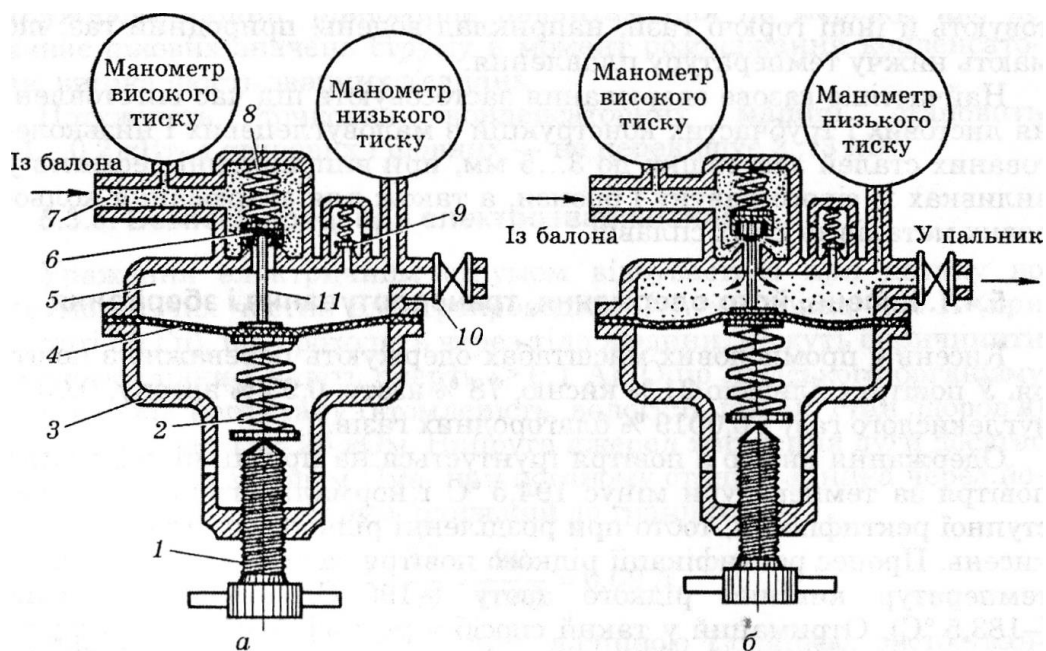


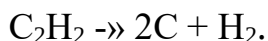
Рис. 5.23. Схема роботи кисневого редуктора

Кисневі редуктори (рис. 5.23) призначені для зниження високого тиску кисню, що знаходиться в балоні, до робочого 0,2...0,4 МПа (2...4 атм) при зварюванні і до 1,2...1,4 МПа (12... 14 атм) при різанні, а також для підтримання його сталого значення незалежно від витрати кисню з балона і зниження в ньому тиску.

Принцип роботи редуктора такий. Після приєднання редуктора до балона і відкриття на балоні вентиля кисень із балона через штуцер 7 підходить до клапана 6, який у початковий момент притиснений до седла клапана пружиною 8. Для того щоб відкрити клапан і пропустити кисень у камеру низького тиску 5, користуються регулювальним гвинтом 1. Загвинчуючи регулювальний гвинт у корпус 3, натискають через головну пружину 2 і мембрану 4 на штифт 11, який і відкриває клапан 6. Як тільки тиск кисню в камері низького тиску подолає зусилля головної пружини 2, мембрана знову переміститься в початкове положення і пружина 8 знову закриє клапан 6. При відбиранні газу з редуктора через вентиль 10 тиск кисню в камері 5 знизиться і під дією головної пружини 2 клапан 6 знову відкриється. Таким пристроєм і забезпечується саморегулювальна дія редуктора. Кисневі редуктори оснащують манометрами високого і низького тиску і запобіжним клапаном 9, який захищає мембрану 4 від розривання в разі підвищення тиску кисню в камері низького тиску вище від допустимого.

3) Властивості ацетилену і його одержання

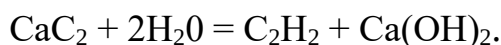
Ацетилен C_2H_2 — це хімічна сполука вуглецю з воднем. Хімічно чистий ацетилен безбарвний і має слабкий ефірний запах. Технічний ацетилен забруднений різними домішками — сірководнем, аміаком тощо, які надають ацетилену різкого і неприємного запаху. При тиску понад 0,2 МПа і одночасному нагріванні понад 500 °С відбувається вибуховий розпад ацетилену:



Під час нагрівання ацетилену до температури понад 150 °С відбувається процес його полімеризації, що полягає в утворенні нових сполук — бензолу C_6H_6 , стиrolу C_8H_8 та ін. Цей процес супроводжується виділенням значної кількості теплоти, що при недостатньому її відведенні також може призвести до вибуху ацетилену.

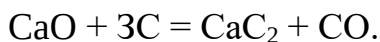
За наявності ацетилену в повітрі від 2,2 до 88 % або в суміші з киснем (ацетилену від 2,3 до 93 %) утворюються вибухові суміші, які вибухають від іскри чи полум'я. Ацетилен добре розчиняється в ацетоні. В одному об'ємі ацетону при тиску 0,1 МПа (1 атм) розчиняється 23 об'єми ацетилену. З підвищенням тиску розчинність ацетилену зростає пропорційно тиску. У розчиненому стані ацетилен не вибухає при тиску 1,6 МПа, а за наявності пористої маси — і при вищому тиску. Цією властивістю користуються при заповненні ацетиленових балонів до тиску 1,6 МПа. Ацетиленові балони попередньо заповнюють пористими матеріалами, просоченими ацетоном: деревним вугіллям, пемзою, інфузорною землею, азбестом та ін. Балони фарбують у білий колір, напис «АЦЕТИЛЕН» роблять червоною фарбою.

Основним способом одержання ацетилену C_2H_2 є розкладання карбіду кальцію CaC_2 водою за рівнянням



При розкладанні 1 кг хімічно чистого карбіду кальцію (для реакції потрібно 562 г води) виділяється близько 340 л ацетилену і 1675 кДж (400 ккал) теплоти. З технічного карбіду кальцію залежно від його сорту і грануляцій вихід ацетилену становить від 230 до 300 л/кг.

Карбід кальцію одержують в електродугових печах сплавленням коксу або антрациту з випаленим вапняком:



Розплавлений карбід виливають з печі в чавунні виливниці і після остигання подрібнюють на шматки розміром 2... 120 мм. Транспортують карбід кальцію в герметично закритих барабанах з покрівельної жерсті масою від 30 до 130 кг.

4) Обладнання для газового зварювання

Ацетиленові генератори. Апарати, в яких одержують технічний ацетилен, називають ацетиленовими генераторами. Залежно від принципу взаємодії карбіду кальцію з водою розрізняють такі системи генераторів: «карбід у воду», «вода на карбід», а також контактного тиску «зануренням» і «витісненням».

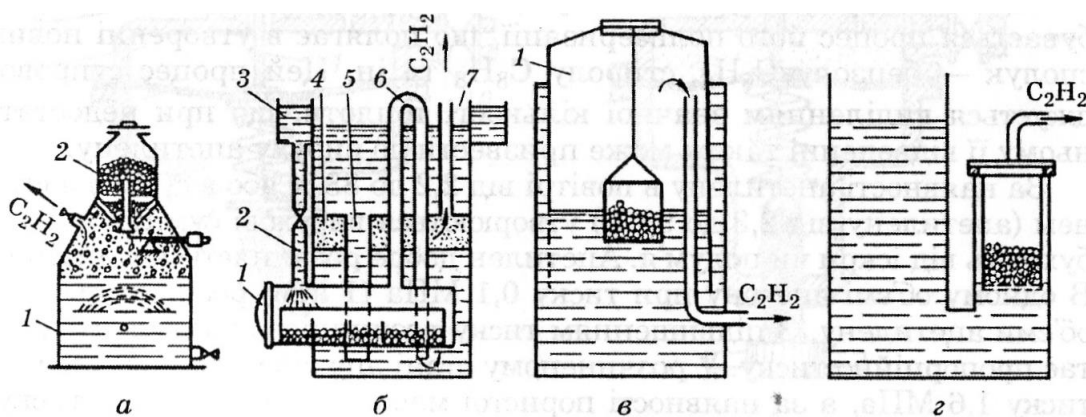


Рис. 5.24. Схеми основних систем ацетиленових генераторів

У генераторах системи «карбід у воду» (рис. 5.24, а) карбід кальцію в резервуар з водою 1 подається із завантажувального бункера 2 за допомогою автоматичних пристроїв, які працюють залежно від витрачання і значення тиску ацетилену. Генератори цієї системи мають найбільшу потужність. Вони забезпечують найповніший розпад карбіду кальцію і одержання чистого та охолодженого ацетилену. Такі генератори — найменше вибухонебезпечні.

У генераторах системи «вода на карбід» (рис. 5.24, б) карбідом кальцію завантажують одну чи дві реторти 1, в які з окремого резервуара 3 трубкою 2 подається вода. Ацетилен, що утворюється при розкладанні карбіду кальцію, з реторти 1 по трубці 6 надходить у нижню частину генератора, де він збирається під перегородкою 4.

Вода, що знаходиться тут, під тиском ацетилену витискується циркуляційною трубою 5 у верхню частину корпусу генератора. Відводиться ацетилен з генератора по трубці 7.

Генератори системи «вода на карбід» випускають невеликої продуктивності, низького тиску і здебільшого переносними.

Генератори контактної системи «зануренням» (рис. 5.24, в) або «витісненням» (рис. 5.24, г) характеризуються тим, що в них карбід кальцію з водою залежно від значення тиску стикається періодично. В першому випадку (див. рис. 5.24, в) при збільшенні тиску вище від граничного відбувається піднімання газгольдера 1 і виймання карбіду кальцію з води. У другому випадку (див. рис. 5.24, г) при надмірному тиску ацетилену вода витискується в сполучену посудину, і розпад карбіду кальцію теж припиняється. У разі зниження тиску відбуваються зворотні явища.

Переносні генератори контактної системи витісненням невеликої продуктивності будують у поєднанні з генераторами системи «вода на карбід».

За значенням тиску ацетиленові генератори поділяють на три типи: низького — від 0,001 до 0,01 МПа (0,01...0,1 атм), середнього — від 0,01 до 0,15 МПа (ОД... 1,5 атм) і високого — понад 0,15 МПа (1,5 атм). Залежно від продуктивності і типу установки генератори бувають стаціонарними і переносними.

Запобіжні затвори. При нагріванні мундштука зварювального пальника понад $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині наконечника пальника можливе спалахування ацетилену й утворення зворотного удару полум'я.

Для захисту ацетиленових генераторів від вибуху на генераторах, а в окремих випадках і на робочих місцях зварників установлюють запобіжні затвори. Найпоширенішими є водяні затвори, які залежно від значення тиску ацетилену в генераторах бувають відкритого і закритого типів.

Затвори відкритого типу встановлюють на генераторах низького тиску, а затвори закритого типу — на генераторах середнього і високого тисків.

Схеми водяних затворів відкритого типу зображено на рис. 5.25, а, б. За нормальної роботи (див. рис. 5.25, а) ацетилен надходить у водяний затвор через трубку 1, що занурена у воду глибше, ніж відкрита трубка 2. При зворотному ударі полум'я (див. рис. 5.25, б) під тиском вибухової хвилі частина води і полум'я викидаються в атмосферу через запобіжну трубку 2. Шлях полум'я до генератора залишається закритим рештою води у затворі й зануреним у неї кінцем трубки 1.

Схеми водяних затворів закритого типу зображено на рис. 5.25, в, г. За нормальної роботи (див. рис. 5.25, в) газ вільно проходить через зворотний клапан 1, газорозподільник 2, краплевідбивач 3 і штуцер 4. При зворотному ударі (див. рис. 5.25, г) тиск вибухової хвилі передається на воду і клапан закриває доступ полум'я через трубку 6 до генератора. В цей самий момент тонка алюмінієва або олов'яна мембрана 5 розривається і вибухова суміш викидається в атмосферу.

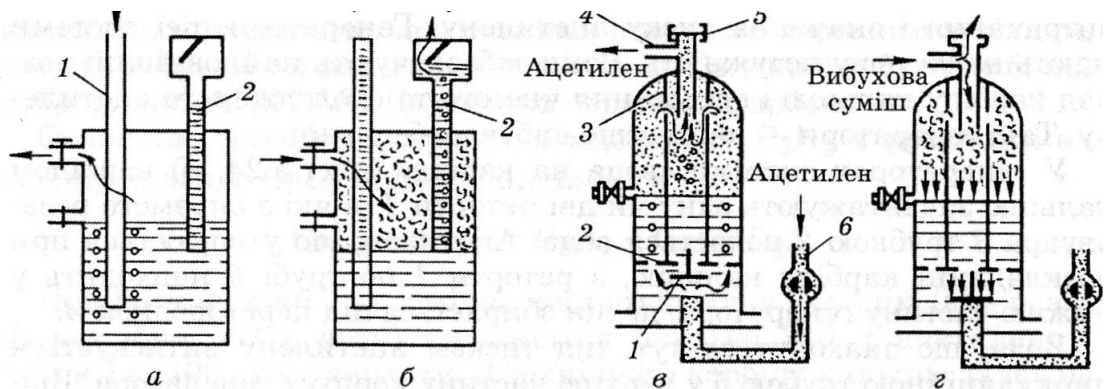


Рис. 5.25. Схеми водяних затворів

Зварювальні пальники. Основним інструментом газозварника є зварювальні пальники. Вони призначені для змішування в потрібних пропорціях горючого газу і кисню з метою одержання потрібних властивостей зварювального полум'я.

За способом подачі горючого газу в камеру змішування розрізняють інжекторні (низького тиску) і безінжекторні (однакового тиску) пальники. У промисловості використовують переважно пальники інжекторного типу. В цих пальниках (рис. 5.26) кисень під тиском $0,2 \dots 0,4\text{ МПа}$ ($2 \dots 4\text{ атм}$) подається через ніпель і регулювальний вентиль в інжектор 4. Інжектор має вузький центральний отвір — сопло і поздовжні прорізи по циліндричній поверхні.

Виходячи з отвору сопла з великою швидкістю, кисень створює в камері змішування 3 значне розрідження, внаслідок чого ацетилен, що має нижчий тиск, засмоктується через ніпель 6, регулювальний вентиль для ацетилену 5, внутрішній канал рукоятки, поздовжні пази інжектора 4 в камеру змішування 3. Тут кисень і ацетилен утворюють горючу суміш, яка з камери змішування 3 трубкою 2 надходить у мундштук 1. При виході з мундштука і запалюванні цієї суміші утворюється зварювальне полум'я. Потрібне співвідношення газів у пальнику регулюється кисневим і ацетиленовим вентилями.

Пальники інжекторного типу мають сім змінних наконечників, які дають змогу провадити зварювання металу завтовшки від 0,5 до 30 мм. Наконечник до рукоятки пальника приєднується за допомогою накидної гайки. Крім односоплових зварювальних пальників, у промисловості застосовують багатосопові, призначені для поверхневого загартування, паяння та інших робіт.

Газові рукави (шланги) призначені для підведення газів від балона (генератора) до пальника. Їх виготовляють із вулканізованої гуми з тканинними прокладками. Внутрішній діаметр рукавів 6,3; 8; 9; 10; 12; 12,5 та 16 мм, а довжина 10 і 14 м. За призначенням рукави поділяють на класи: 1-й клас — для ацетилену, 2-й — для рідких палив (нафтопродуктів) і 3-й — для кисню. Два перших класи розраховані на тиск до 0,63 МПа, а 3-й — на тиск до 2 МПа. Для легкого розрізнення їх виконують кольоровими: 1-й клас — червоні; 2-й клас — жовті та 3-й клас — сині. Стандартом допускається виготовляти рукави чорними з кольоровою поздовжньою смужкою або відповідним написом через 0,7... 1,0 м.

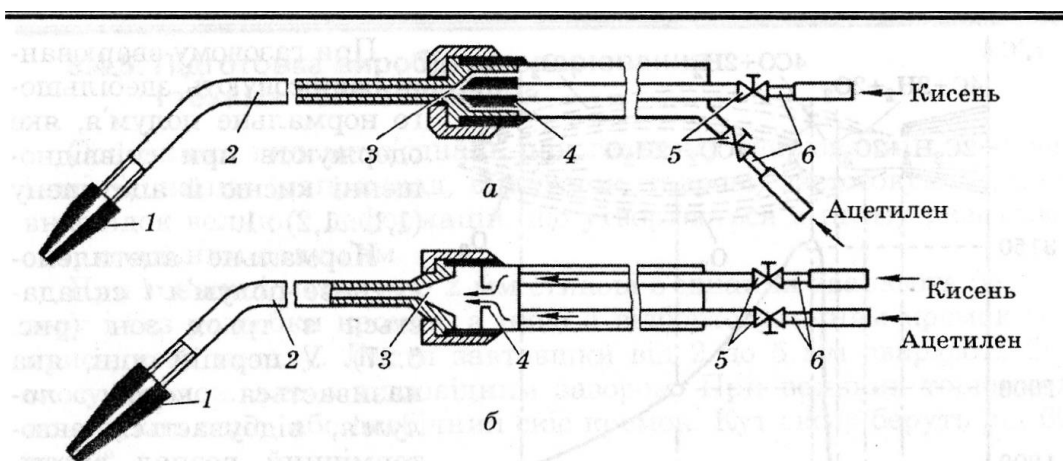


Рис. 5.26. Схеми ацетиленових пальників:
а — інжекторні; б — безінжекторні

5) Ацетиленокисневе полум'я і техніка газового зварювання

Залежно від співвідношення кисню і ацетилену в суміші, яка надходить із пальника, розрізняють три основних види ацетиленокисневого полум'я: нормальне, або відновлювальне, з надлишком кисню, або окиснювальне, з надлишком ацетилену, або науглецювальне.

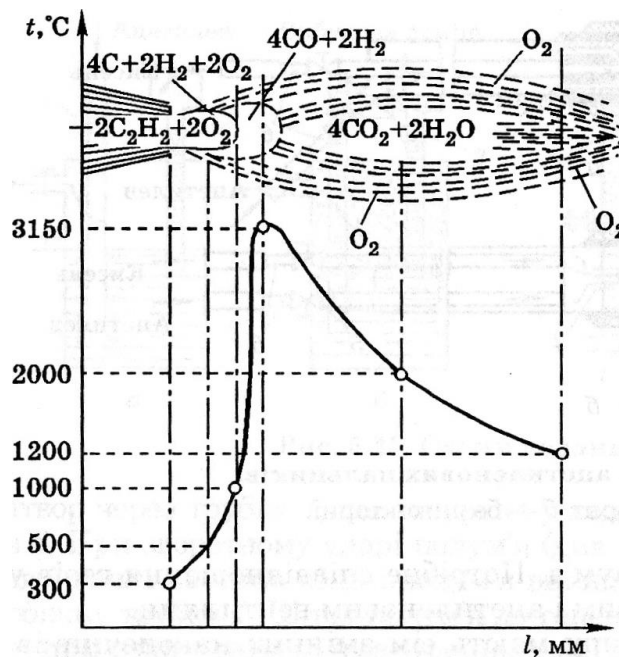
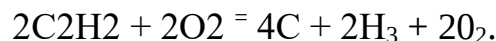


Рис. 5.27. Схема нормального ацетилено-кисневого полум'я і розподіл температур

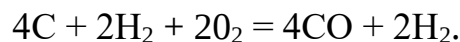
При газовому зварюванні застосовують здебільшого нормальне полум'я, яке одержують при співвідношенні кисню й ацетилену (1,1... 1,2): 1.

Нормальне ацетиленокисневе полум'я l складається з трьох зон (рис. 5.27). У першій зоні, яка називається *ядром полум'я*, відбувається екзотермічний розпад ацетилену на його складові елементи:



Розжарені часточки вуглецю надають цій зоні яскравого освітлення. Температура в ядрі полум'я досягає 1000 °C.

У другій зоні, що називається *зварювальною*, відбувається неповне згоряння вуглецю:



Завдяки відновному характеру другої зони внаслідок наявності в ній оксиду вуглецю і водню, а також високої температури цієї частини полум'я, яка досягає 3150 °C, метал зварюють другою зоною.

Третя зона називається *факелом*. У ній за рахунок кисню повітря відбувається згоряння оксиду вуглецю і водню:



Температура третьої зони становить приблизно 1200 °C.

При співвідношенні кисню і ацетилену, більшому за 1,2, полум'я має зайвий кисень і стає окиснювальним.

Якщо це співвідношення буде меншим за 1, то полум'я матиме надлишок ацетилену і стане науглецювальним.

Окиснювальне полум'я застосовують при зварюванні латуні та паянні твердими припоями, а науглецювальне — при зварюванні чавуну та наплавленні твердими сплавами.

б) Підготовка виробів до зварювання і техніка його виконання

Основними видами з'єднань при газовому зварюванні є стикові. Інші з'єднання (наприклад, внапусток, таврові) застосовують рідко внаслідок великих деформацій, що утворюються в цьому разі газозварювальним полум'ям.

При товщині металу до 2 мм стикові з'єднання зварюють без зазору і без розробки кромek, а іноді з відбортовуванням кромek без присадного металу. Листи завтовшки від 2 до 5 мм зварюють без скосу кромek, але з відповідним зазором. При великих товщинах виконують одно- або двобічний скіс кромek. Кут скосу беруть від 60 до 90°.

При газовому зварюванні застосовують два способи переміщення пальника: лівий і правий.

За лівого способу (рис. 5.28, а) полум'я пальника переміщується справа наліво і направлене на холодний метал, а за правого (рис. 5.28, б) — зліва направо і спрямоване на гарячий метал.

У першому випадку присадний дріт рухається попереду пальника, а в другому — позаду.

При товщині сталі до 3 мм продуктивнішим є лівий спосіб, а для великих товщин — правий.

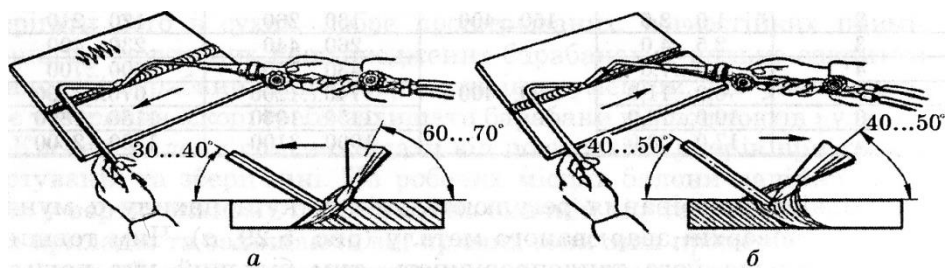


Рис. 5.28. Способи газового зварювання залежно від положення полум'я пальника:

а — лівий; б — правий

Однак при виборі способу газового зварювання керуються не тільки товщиною зварюваного металу, а й положенням шва в просторі. Нижні шви залежно від товщини листів зварюють лівим або правим способом. Вертикальні шви незалежно від товщини з'єднуваних листів виконують тільки лівим способом, а стельові — тільки правим.

Як присадний метал при газовому зварюванні сталі, як і при дуговому, використовують зварювальний дріт.

Оскільки за правого способу полум'я спрямоване на зварний шов, то забезпечуються кращий захист зварювальної ванни від кисню та азоту повітря, велика глибина проплавлення, уповільнене охолодження металу-шва в процесі кристалізації. Теплота полум'я розсіюється менше, ніж за лівого способу, тому кут розроблення кромки роблять не 90° , а $60...70^\circ$, що зменшує кількість наплавленого металу та жолоблення. За правого способу продуктивність на 20...25% вища, а витрата газів на 15...20 % менша, ніж за лівого. Правий спосіб доцільно застосовувати при зварюванні металу за товщини більш як 5 мм і металів з великою теплопровідністю.

За лівого способу зварювання виконують справа наліво, зварювальне полум'я спрямовують на ще незварені кромки металу, а присаджувальний дріт переміщують попереду полум'я. За лівого способу зварнику добре видно зварюваний метал, тому зовнішній вигляд шва кращий, ніж за правого способу; попереднє підігрівання кромки зварюваного металу забезпечує добре перемішування зварювальної ванни. Завдяки цим властивостям лівий спосіб є найпоширенішим і застосовується для зварювання тонколистових матеріалів і легкоплавких металів.

Потужність зварювального пальника за правого способу вибирають з розрахунку $120...150 \text{ дм}^3/\text{год}$ ацетилену, а за лівого — $100...130 \text{ дм}^3/\text{год}$ на 1 мм товщини зварюваного металу.

Наконечник пальника (табл. 5.3) і діаметр присадного дроту вибирають залежно від товщини зварюваного металу. За правого способу зварювання діаметр присадного дроту $d_{np} = S/2$ мм, але не більше ніж 6 мм, за лівого $d_{np} = S/2 + 1$ мм, де S — товщина зварюваного металу, мм.

Таблиця 5.3. Вибір наконечника пальника, тиску та витрати газів при газовому зварюванні нормальним полум'ям

Номер наконечника пальника	Товщина зварюваного металу, мм	Тиск кисню, кПа	Витрата, л/год	
			кисню	ацетилену
0	0,2...0,7	50...400	22...70	20...65
1	0,5...1,5	100...400	55...135	50...125
2	1,0...2,5	150...400	130...260	120...210
3	2,5...4,0	200...400	260...440	230...400
4	4,0...7,0		430...750	400...700
5	6,0...11,0		740...1200	670...1100
6	10,0...18,0		1150...1950	1150...1850
7	17,0...30,0		1900...3100	1700...2800

Швидкість нагрівання регулюють зміною кута нахилу α мундштука до поверхні зварюваного металу (рис. 5.29, о). Чим товщий метал і більша його теплопровідність, тим більший кут нахилу мундштука до поверхні зварюваного металу.

У процесі зварювання газозварник кінцем мундштука пальника здійснює одночасно два рухи: поперечний (перпендикулярно до осі шва) і поздовжній

(вздовж осі шва, рис. 5.29, б). Основним є поздовжній рух. Поперечний рух призначений для рівномірного прогрівання кромek основного металу та одержання шва потрібної ширини.

Газовим зварюванням можна виконувати нижні, горизонтальні (на вертикальній площині) вертикальні та стельові шви. Горизонтальні та стельові шви виконують зазвичай правим способом зварювання, вертикальні знизу вгору — лівим способом.

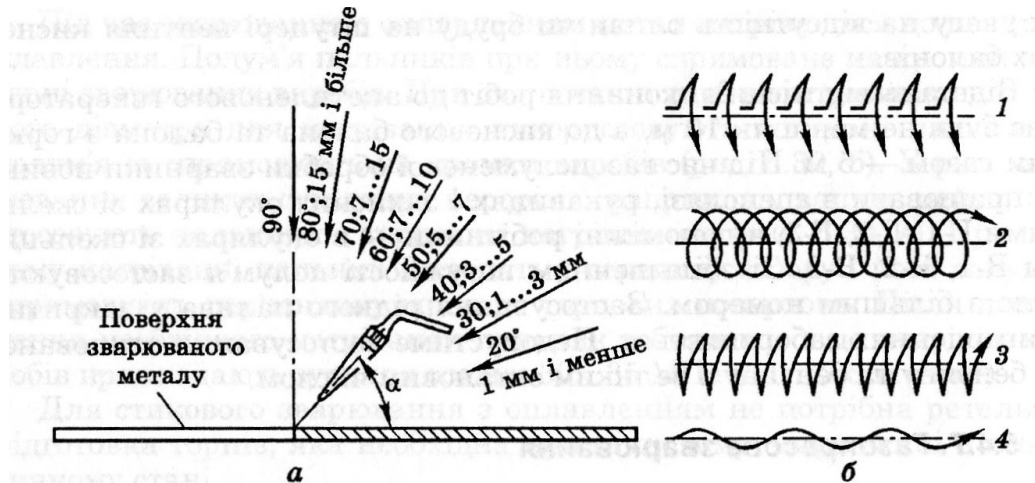


Рис. 5.29. Кути нахилу мундштука пальника при зварюванні різних товщин (а) і способи переміщення мундштука пальника (б):

1 — з відривом пальника; 2 — спіралеподібний;
3 — півмісяцем; 4 — хвильовий

7) Безпека праці при газовому зварюванні

До виконання газозварювальних робіт допускаються робітники, які досягли 18-ти років, після спеціального навчання і перевірки знань безпечної роботи. Забороняється працювати без водяного затвора. Треба бути обережним під час роботи з карбідом кальцію: зберігати його в сухих, добре провітрюваних, вогнестійких приміщеннях у жерстяних непошкоджених барабанах зі щільно закритою кришкою; барабани слід розкривати інструментом, що унеможливує утворення іскор; треба захищати барабани від поштовхів і ударів.

Кисневі балони слід захищати від поштовхів і ударів при транспортуванні та зберіганні. На робочих місцях балони надійно кріплять у вертикальному положенні на значній відстані від нагрівальних приладів та захищають від прямих сонячних променів. Сумісне зберігання балонів з горючими газами та киснем не дозволяється.

Експлуатація брудних, із вм'ятинами та пошкрябинами, несвоєчасно випробуваних балонів не допускається. Особливо слід звертати увагу на відсутність оливи чи бруду на штуцері вентиля кисневих балонів.

Відстань від місця виконання робіт до ацетиленового генератора має бути не менш як 10 м, а до кисневого балона та балона з горючим газом — 5 м. Під час газополуменевої обробки зварники повинні працювати в спецодязі,

рукавицях і захисних окулярах зі скельцями Г-1, Г-2, Г-3, а допоміжні робітники — в окулярах зі скельцями В-1, В-2, В-3. Зі збільшенням потужності полум'я застосовують скло з більшим номером. Застосування рідкого палива у закритих приміщеннях забороняється. Недопустиме застосування етилованого бензину та бензину з великим октановим числом.

Питання для самоконтролю

- 1. Відмінність між правим і лівим способом зварювання?*
- 2. Властивості ацетилену?*
- 3. Види ацетиленових пальників?*
- 4. Призначення водяного затвору?*
- 5. Призначення та будова ацетиленового генератора?*

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 251-262;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 81-86.

ЛЕКЦІЯ 18 СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ

План

- 1) Структура металу шва і зони термічного впливу.*
- 2) Зварювання сталей.*
- 3) Зварювання чавуну.*
- 4) Зварювання кольорових металів.*
- 5) Наплавлення швидкоspraцьовуваних поверхонь.*

1) Структура металу шва і зони термічного впливу

При зварюванні плавленням під впливом теплоти дуги або газо-зварювального полум'я на зварюваному металі утворюється ванна рідкого металу — зварювальна ванна, що є сплавом основного і присадного металів. У міру просування джерела теплоти, а також унаслідок відведення теплоти з ванни в масу зварюваного металу і теплообміну з навколишнім середовищем температура металу зварювальної ванни знижується і в ній починається процес кристалізації. Центрами кристалізації є нерозплавлені кристали основного металу на межі зварювальної ванни. Кристали ростуть у напрямку, зворотному відведенню теплоти, тобто від стінок основного металу до центра шва (рис. 5.40, а).

Первинна структура зварного шва крупнокристалічна, дендритна; здебільшого має форму стовпчастих кристалів.

Під час повторного нагрівання металу шва понад 900 °С і швидкого охолодження стовпчаста структура перетворюється на дрібнозернисту рівноважну. Тому при багатошаровому електродуговому зварюванні структура перших і наступних шарів є дрібнозернистою і рівноважною, а в останньому шарі зберігається стовпчаста, що має знижені механічні властивості. З кристалів аустеніту, що утворилися в процесі первинної кристалізації нижче від точки A_{c3} , випадають зерна фериту, а за температури 727 °С і нижче аустеніт перетворюється на перліт. Отже, при зварюванні маловуглецевої сталі зварний шов має стовпчасту дендритну або рівноважну дрібнозернисту структуру, а його структурними складовими є ферит і невелика кількість перліту.

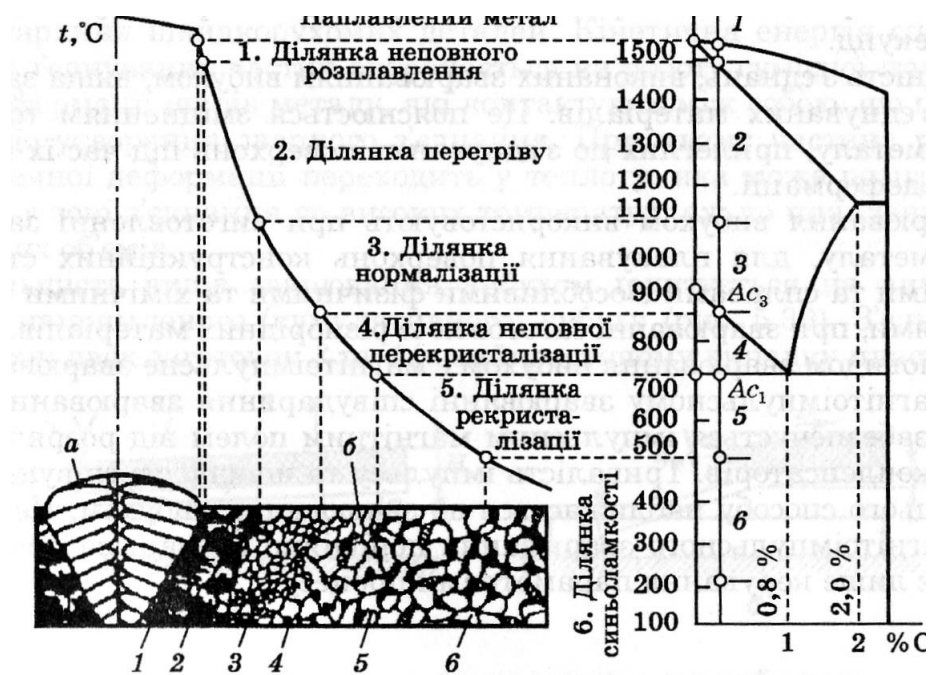


Рис. 5.40. Зона термічного впливу

Під час дугового зварювання електродами зі стабілізувальними покриттями у зварному шві є також оксиди і нітриди, шлакові і газові вкраплення.

При інших видах зварювання, наприклад при зварюванні електродами з якісними покриттями, автоматичному зварюванні під флюсом або в атмосфері захисних газів тощо, неметалевих вкраплень немає взагалі або є в невеликих кількостях.

Частина основного металу, яка близько прилягає до металу зварного шва, називається зоною термічного впливу. В процесі зварювання вона зазнає нагрівання до високих температур і наступного охолодження. Окремі ділянки цієї зони нагріваються до різних температур і тому мають різну структуру.

При зварюванні маловуглецевої сталі в зоні впливу розрізняють такі структурні ділянки (рис. 5.40, б).

Ділянка 1 є вузькою смужкою зони сплавлення основного металу, нагрітого до температури плавлення, з розплавленим присадним металом. Ця ділянка має крупнокристалічну будову і незначні лінійні розміри.

Ділянка 2 називається *ділянкою перегрівання*. На цій ділянці метал нагрівається від температури 1100 до 1500 °С. Вона також характеризується наявністю крупнокристалічної і навіть відманш-теттової структури, які мають знижені механічні властивості.

Ділянка 3 є *ділянкою нормалізації*. Метал у цій ділянці нагрівається приблизно від 900 до 1100 °С і має дрібнокристалічну будову і підвищені механічні властивості.

Ділянка 4, яка називається *ділянкою неповної перекристалізації*, зазнає нагрівання від точки A_{c1} до точки A_{c3} , що для маловуглецевої сталі відповідає нагріванню від 727 до 900 °С. В інтервалі цих температур відбувається лише часткова перекристалізація основного металу, яка характеризується тим, що крім більших зерен фериту, що не пройшли перекристалізації, утворюються нові, дрібніші зерна фериту і перліту, які перекристалізувалися. Механічні властивості металу, що має таку структуру, дещо знижені.

Ділянка 5 (від 450 °С до точки $A_{c\pm}$) є *ділянкою рекристалізації*. У цьому інтервалі температур відбувається укрупнення роздрібнених зерен фериту, одержаних під дією попередньої пластичної деформації.

Ділянка 6 називається *ділянкою синьоламкості*. Тут метал зазнає нагрівання до температури 200...500 °С, за якої з'являється синій колір мінливості.

За своєю структурою метал на цій ділянці не відрізняється від структури основного металу, але порівняно з ним має нижчі пластичні властивості. Розміри зони термічного впливу, так само як і структурні зміни на окремих ділянках цієї зони, залежать від способів і режимів зварювання та зварюваного металу. При дуговому зварюванні маловуглецевих сталей зона впливу зазвичай не перевищує 6 мм, при газовому зварюванні її лінійні розміри збільшуються до 25...28 мм. При зварюванні маловуглецевих сталей структурні зміни в зоні термічного впливу не позначаються помітно на зниженні механічних властивостей зварних з'єднань. При зварюванні сталей, які мають підвищений вміст вуглецю, або тих, що мають значні кількості легувальних домішок, у зоні впливу утворюються гартівні структури, а в деяких випадках і гартівні тріщини. Тому з метою одержання оптимальних якостей зони термічного впливу цих сталей точно дотримуються заданого режиму зварювання, а в деяких випадках застосовують попереднє підігрівання, наступну термічну обробку та інші заходи.

2) Зварювання сталей

Зварювання вуглецевих сталей. Сталі, які містять до 0,27 % вуглецю, добре зварюються всіма способами. Сталі з підвищеним вмістом вуглецю здебільшого зварюються з попереднім підігріванням, а іноді з наступною термічною обробкою — нормалізацією або відпалюванням.

Зварювання низьколегованих сталей. Сталі, що містять легувальних елементів до 5 %, належать до низьколегованих. За призначенням їх поділяють на три групи: низьколеговані маловуглецеві, низьколеговані середньовуглецеві і низьколеговані жароміцні.

Низьколеговані маловуглецеві сталі містять до 0,22 % вуглецю, їх легують хромом, манганом, силіцієм, нікелем, міддю, титаном і використовують у машинобудуванні.

До низьколегованих середньовуглецевих належать сталі, які містять від 0,20 до 0,40 % вуглецю. Найбільше використовують хромо- силіцієманганові сталі марок 20ХГС, 25ХГСА, 30ХГСА, що мають підвищену міцність і пружність.

До низьколегованих жароміцних належать сталі, які легуються в основному хромом, молібденом, ванадієм і вольфрамом. Використовують їх при виготовленні пароенергетичних установок, що працюють за температур до 500 °С і більше.

Низьколеговані сталі зварюють різними способами. Проте, на відміну від звичайних маловуглецевих сталей, вони, подібно до сталей з підвищеним вмістом вуглецю, мають підвищену схильність до гартування і утворення гартувальних тріщин у зоні термічного впливу.

Тому більшість низьколегованих сталей при товщині понад 10 мм зварюють з попереднім підігріванням до температури від 150 до 350 °С, а після зварювання піддають термічній обробці — нормалізації чи високотемпературному відпусканню.

Для виготовлення електродів, що застосовуються для зварювання цих сталей, використовують низьколегований зварювальний дріт. Електродні покриття, як правило, мають фтористо-кальцієву шлакову основу.

Зварювання хромистих сталей. Хромисті неіржавні сталі з вмістом хрому від 12 до 18 % за наявності вуглецю понад 0,1 % мають різко виражену схильність до гартування на повітрі. Тому, щоб уникнути появи в зварюваних швах і в навколошовних зонах структури мартенситу, зварювання цих сталей виконують з обов'язковим підігріванням до 200...250 °С і наступним відпалюванням або високотемпературним відпусканням. У практиці широко застосовують дугове зварювання хромистих сталей електродами з хромонікелевого дроту або дроту того самого складу, що й основний метал, з покриттям типу УОНІІІ-13.

Хромисті сталі, які містять понад 25 % хрому, наприклад марок Х25, Х28, належать до феритного класу. Вони мають високу кислото* і окислостійкість при нагріванні до температури 1000... 1100 °С і є незагартувними.

При зварюванні феритних хромистих сталей у металі шва утворюється крупнозерниста структура з низькими механічними властивостями. В навколошовній зоні також відбувається інтенсивний ріст зерна, що властиве однофазним сталям, які не зазнають фазових змін зі зміною температури.

Структура і механічні властивості швів із цих сталей трохи поліпшуються, якщо в електроди і покриття ввести титан, алюміній та інші елементи, що

сприяють здрібненню зерна. Застосовують також проковування зварних швів. Сталі марок Х25 і Х28 зварюють електродами, металевий стрижень яких має такий самий склад, що й основний метал.

Зварювання хромонікелевих аустенітних сталей. Хромонікелеві аустенітні сталі мають високу корозійну стійкість. Ці сталі, особливо сталь марки Х18Н9, зварюються всіма способами і значно краще, ніж хромисті.

Основними труднощами при зварюванні хромонікелевих сталей є утворення за температур 500...700 °С карбідів хрому і випадання їх по границях зерен, що значно погіршує антикорозійні властивості зварних з'єднань. Щоб запобігти цьому явищу, хромонікелеві сталі зварюють при мінімальному розігріванні і великих швидкостях охолодження. Для повного відновлення аустенітної структури після зварювання рекомендується виробити піддавати загартуванню від температур 1050... 1100 °С з наступним швидким охолодженням у воді.

Ручне дугове зварювання виконують на малих струмах аустенітними хромонікелевими електродами малого діаметра, що мають покриття типу УОНИИ.

Газове зварювання здійснюють із застосуванням флюсів з бури, борної кислоти і плавикового шпату, а при автоматичному дуговому й електрошлаковому зварюванні використовують спеціальні марки флюсів. Зварювальний дріт у всіх випадках застосовують того самого складу, що й основний метал, але з більш низьким вмістом вуглецю із присадками титану, молібдену, ніобію та інших елементів.

Тонколистові вироби успішно зварюють на точкових і шовних контактних машинах, у середовищі вуглекислого газу, аргонодуговим способом.

3)Зварювання чавуну

Зварювання чавуну застосовують при виправленні браку в чавунних виливках, під час ремонтних робіт, наприклад при зварюванні тріщин у блоках циліндрів двигунів, у станинах верстатів і пресів, а також при виготовленні зварнолитих конструкцій із високоміцних чавунів.

Чавун, як відомо, містить більшу кількість вуглецю (3,5...4,0 %), ніж сталь, що значно ускладнює його зварювання.

При швидкому остиганні розплавленого чавуну утворюється відбілений чавун, який має велику твердість і крихкість. Високий вміст таких домішок, як сірка і фосфор, ще більше знижує пластичність чавуну і збільшує його здатність до утворення тріщин.

Тому основними труднощами при зварюванні чавуну є поява зон відбілювання і утворення тріщин як у наплавленому, так і в основному металі. Щоб цього уникнути, чавун слід зварювати з попереднім підігріванням і з наступним уповільненим охолодженням. Однак такий спосіб зварювання дуже трудомісткий, тому на практиці застосовують три основних способи зварювання чавуну: гарячий, напівгарячий і холодний.

Гаряче зварювання. За цього способу всю деталь перед зварюванням нагрівають у горнах, печах або спеціальних тимчасових нагрівальних пристроях, опалюваних деревним вугіллям або коксом, до температури 500...600 °С.

Дефектні місця перед зварюванням вирубують зубилом до здорового металу. Розробку кромки провадять під кутом 90°. Щоб розплавлений метал не витікав при наскрізному проплавленні або не розтікався по поверхні виробів, місця зварювання формують графітовими або вугільними пластинками. Щілини між пластинками і виробами забивають формувальним піском, замішаним на рідкому склі. Як присадний метал застосовують чавунні стрижні діаметром від 5 до 15 мм, які містять від 3 до 3,5 % вуглецю і від 3 до 4,6 % силіцію.

Гаряче зварювання чавуну найчастіше виконують ацетиленокисневим нормальним або з невеликим надлишком ацетилену полум'ям. Як флюс використовують прожарену буру або суміш бури (50 %) і соди (50 %).

Після зварювання деталь повільно охолоджують разом з піччю. Для цього її засипають сухим піском або шлаком. Гаряче зварювання чавуну забезпечує найкращу якість зварних з'єднань без зон відбілювання і тріщин. Наплавлений метал після зварювання легко піддається механічній обробці. Гаряче зварювання чавуну застосовують переважно для найвідповідальніших деталей або деталей, що мають складну форму (блоки циліндрів, станини деяких пресів та ін.).

Напівгаряче зварювання. При напівгарячому зварюванні деталь тільки частково нагрівається (переважно в місцях зварювання) до температури 250...450 °С. Такий спосіб застосовують при зварюванні деталей невеликої товщини і при невеликому об'ємі наплавленого металу. Зварювання здійснюють ацетиленокисневим полум'ям і рідше — електродуговим способом вугільними електродами.

Зварені деталі, так само як і за гарячого способу, для повільного остигання засипають сухим піском або шлаком.

Холодне зварювання. За цього способу чавунні деталі зварюють за методом Слав'янова без підігрівання. Існують такі його різновиди.

Зварювання електродами із мало вуглецевої сталі. Його застосовують під час ремонту невідповідальних деталей, а також деталей, які після зварювання не потребують механічної обробки. Маловідповідальні деталі зварюють електродами з крейданим покриттям.

Ремонт складніших і відповідальніших деталей (станин і рам потужних дизелів, циліндрів газоповітрових машин, станин верстатів, корпусів електродвигунів великої потужності та ін.) виконують електродами з якісними покриттями, наприклад типу УОНІІ, і з установами на різьбі по кромках деталей сталевих шпильок.

Зварювання електродами із монель-металу. Монель-метал — це мідно-нікелевий сплав, що містить близько 70 % нікелю і близько 30 % міді. Зварювання монель-металом застосовують тоді, коли потрібно одержати

м'який метал шва, що легко піддається механічній обробці. До недоліків цього способу належать недостатня механічна міцність зварного з'єднання і висока вартість електродів.

Зварювання мідними і мідно-залізними електродами. При зварюванні такими електродами, як і електродами із монель-металу, забезпечуються невелике нагрівання основного металу і утворення незначної зони відбілювання. Це дає можливість провадити механічну обробку порівняно в'язкого і не дуже твердого металу шва. Мідно-залізні електроди виготовляють електролітичним нанесенням міді на залізні стрижні або обгортанням мідних стрижнів смужкою з чорної або білої жерсті. На електроди наносять крейдове покриття. Застосовують також пучки електродів, що складаються з одного чи двох сталевих електродів з якісним покриттям і одного мідного стрижня.

Зварювання залізо-нікелевими електродами. При зварюванні залізо-нікелевими електродами у шві утворюється сплав заліза з нікелем, що має до 50 % нікелю. Такі електроди використовують при холодному зварюванні складних виливків з високоміцного чавуну, що потребує після зварювання механічної обробки.

4) Зварювання кольорових металів

Зварювання міді. Мідь відрізняється від сталі тим, що має високу теплопровідність, яка майже в 6 разів перевищує теплопровідність сталі, інтенсивно поглинає і розчиняє різні гази, утворюючи з киснем оксид міді (I) Si_2O і оксид міді (II) SiO . Оксид міді (I) створює з міддю евтектику, температура плавлення якої (1064°C) нижча за температуру плавлення міді (1083°C). При затвердненні рідкої міді ця евтектика розміщується по границях зерен, робить мідь крихкою і здатною до утворення тріщин. Тому основним завданням при зварюванні міді є захист її від окиснення і активне розкиснення зварювальної ванни.

Найпоширенішим є газове зварювання міді киснево-ацетиленовим полум'ям за допомогою пальників у 1,5...2,0 рази потужніших, ніж при зварюванні сталей. Присадним металом є мідні прутки, що містять як розкиснювачі до 0,25 % фосфору і до 1,25 % силіцію, а також фосфориста бронза, до складу якої входить 0,25 % фосфору і 1,5... 10 % олова.

При товщині виробів понад 5...6 мм їх попередньо підігрівають до температури $250\ldots300^\circ\text{C}$. Флюсами при зварюванні є прожарена бура або суміш, що складається з 70 % бури і 30 % борної кислоти.

Для підвищення механічних властивостей і поліпшення структури наплавленого металу мідь після зварювання проковують за температури близько $200\ldots300^\circ\text{C}$. Проковану мідь знову нагрівають до $500\ldots550^\circ\text{C}$ і охолоджують у воді.

Мідь можна зварювати також електродуговим способом вугільними або металевими електродами, в струмені захисних газів під шаром флюсу на конденсаторних машинах, способом тертя.

Зварювання латуні. Латунь, так само як і мідь, здебільшого зварюють киснево-ацетиленовим полум'ям. Газове зварювання латуні ведуть окиснювальним полум'ям, при якому на поверхні ванни з'являється плівка тугоплавкого оксиду цинку, що зменшує подальше вигорання і випаровування цинку. Як присадний метал застосовують латунний дріт з присадкою до 0,5 % силіцію. Флюси використовують ті самі, що й при зварюванні міді.

Зварювання бронзи. При нагріванні бронзи до температури понад 500 °С вона втрачає в'язкість і стає крихкою. Для запобігання утворенню тріщин під час зварювання застосовують попереднє підігрівання до 300...450 °С.

Усі марки бронзи мають цілком задовільну зварюваність. Бронзи, що містять олово, найчастіше зварюють киснево-ацетиленовим полум'ям із застосуванням тих самих флюсів, що й при зварюванні міді. Присадним металом є фосфориста бронза або латунь. Алюмінієві або алюмінієво-залізисті бронзи краще зварюються електродуговим способом вугільними або металевими електродами. Як присадний метал у цьому разі застосовують прутки такого самого складу, що й основний метал, а як флюси або електродні покриття — хлористі і фтористі сполуки калію і натрію.

Зварювання алюмінію. Основними чинниками, що утруднюють зварювання алюмінію, є низька температура його плавлення (658 °С), велика теплопровідність (яка приблизно втричі перевищує теплопровідність сталі), утворення тугоплавких оксидів алюмінію Al_2O_3 , що мають температуру плавлення 2050 °С і щільність $3,9 \cdot 10^3$ кг/м³, яка значно перевищує щільність алюмінію ($2,7 \cdot 10^3$ кг/м³). Крім того, ці оксиди слабо реагують як з кислими, так і з основними флюсами і тому погано видаляються зі шва.

Найбільше використовують газове зварювання алюмінію киснево-ацетиленовим полум'ям. За останні роки значно поширилося також автоматичне дугове зварювання металевими електродами під флюсом і в середовищі аргону. За всіх способів зварювання, за винятком аргонодугового, застосовують флюси або покриті електроди, до складу яких входять хлористі і фтористі сполуки літію, калію, натрію та інших елементів. Під впливом флюсів Al_2O_3 переходить у леткий $AlCl_3$, що має низьку густину ($2,4 \cdot 10^3$ кг/м³) і самосублімаційний за температури 183 °С. Як присадний метал за всіх способів зварювання використовують дріт або стрижні того самого складу, що й основний метал.

До сплавів алюмінію, які широко застосовуються в техніці, належать алюмінієво-манганові, алюмінієво-магнієві, алюмінієво-мідні і алюмінієво-силіцієві. Перші два сплави мають добру зварюваність і їх зварюють аналогічно алюмінію. Гірше зварюються два інших сплави — дуралюмін і силумін, які зазвичай зварюють киснево-ацетиленовим полум'ям.

Зварювання магнієвих сплавів. Із магнієвих сплавів для зварних конструкцій використовують переважно магнієво-манганові, які краще за інші зварюються за допомогою контактного, газового і аргонодугового зварювання. При газовому зварюванні обов'язково застосовують фторидні флюси, які на відміну від хлоридних не спричиняють корозії зварних з'єднань. Дугове

зварювання магнієвих сплавів металевими електродами через низьку якість зварних швів до цього часу не застосовують.

При зварюванні магнієвих сплавів спостерігаються великий ріст зерна у навколошовних ділянках і значний розвиток стовпчастих кристалів у зварному шві. Тому границя міцності зварних з'єднань становить 55...60 % границі міцності основного металу.

Зварювання нікелю. Нікель і деякі його сплави зварюють вольфрамовим електродом в аргоні, дуговим зварюванням покритими електродами і під флюсом. Зварювання в аргоні виконують на постійному струмі прямої полярності. При ручному, як і при автоматичному зварюванні під флюсом, як присадний метал використовують дріт того самого складу, що й основний метал. На електродні стрижні наносять покриття типу УОНІІІ; автоматичне зварювання здійснюють під фторидними флюсами.

Зварювання титану. Титан зварюють вольфрамовими електродами в середовищі інертних газів і плавкими металевими електродами під фторидними і хлоридними флюсами, які не містять кисневих сполук. Зварювання в середовищі інертних газів ведуть на постійному струмі прямої полярності, а зварювання під флюсом — на постійному струмі зворотної полярності.

Газове зварювання для титану і його сплавів не застосовують.

Зварювання свинцю. Свинець зварюють киснево-ацетиленовим і киснево-водневим полум'ям. Зварювання виконують у нижньому положенні із застосуванням присадного металу або без нього.

5) Наплавлення швидкоспрацьовуваних поверхонь

Тверді наплавлення застосовують при виготовленні нових і відновленні спрацьованих деталей, які зазнають швидкого спрацьовування. Для їх одержання використовують тверді сплави, порошкові або зерноподібні суміші, спеціальні наплавні електроди, порошкові дроти або стрічки, чавунну суцільну стрічку і легувальні флюси.

Наплавлення литими сплавами і порошковими сумішами. До литих твердих сплавів належать пруткові сплави, які виготовляються на вольфрамохромокобальтовій основі типу ВКЗ, а також на хромозалізонікелевій основі типу сормайт. Цими сплавами провадять наплавлення за методом Слав'янова або киснево-ацетиленовим полум'ям деталей машин, які працюють на стирання, штампів для гарячого і холодного штампування, ущільнювальних поверхонь пароводяної арматури, що працює при високих параметрах пари. Твердість (40...60 HRC) наплавлень досягається за рахунок введення вольфраму, хрому, вуглецю, мангану та інших елементів, що входять до складу цих сплавів. До порошкових або зернистих сумішей належать сталініт і вокар. Сталініт — це суміш, що складається з ферохрому, феромангану, чавунної стружки і нафтового коксу. До складу вокару входять вуглець, силіцій, вольфрам і залізо. Ширше застосовують сталініт, яким за допомогою вугільної дуги наплавляють зуби екскаваторів, ножі бульдозерів,

щоки каменедробарок та ін. При наплавленні сталінітом твердість наплавлень досягає 60 HRC і вище.

Наплавлення спеціальними електродами. Для одержання наплавлень, що мають твердість 25...67 HRC, у промисловості застосовують багато різних марок електродів. Так, для наплавлень залізничних рейкових кінців і хрестовин та автотракторних деталей, середня твердість яких має становити 25...40 HRC, використовують електроди, якими легують метал наплавлень хромом і манганом або одним манганом, що міститься в електродному покритті. При наплавленні деталей подрібнювально-молоткового устаткування, землерийних і будівельно-шляхових машин застосовують електроди, які забезпечують одержання наплавлень високої твердості (58...64 HRC). Цього досягають за рахунок хрому, вуглецю і бору, що переходять у наплавлений метал з електродних покриттів.

При виготовленні наплавленого різального інструменту з матеріалу на зразок швидкорізальної сталі P18, який має твердість близько 62...67 HRC, наплавлений метал легують вольфрамом, хромом, ванадієм та іншими елементами, що входять в електродні стрижні чи електродні покриття.

При виготовленні зубців ковпів екскаваторів, траків гусеничних тракторів, щік каменедробарок та інших деталей, які швидко спрацьовуються, досить часто використовують високоманганову литу сталь, що містить 11... 16% мангану і 0,8... 1,4% вуглецю. Вироби з цієї сталі після значного спрацьовування піддаються відновлювальному наплавленню електродуговим способом. Здебільшого застосовують наплавлення ручним способом за допомогою електродів, які забезпечують одержання високоманганових або хромонікелевих аустенітних наплавлень невисокої твердості (порядку 180...280 HB), але великої в'язкості і високої зносостійкості. Для одержання аустенітної структури метал наплавлень при яскраво-червоному гартуванні рекомендується охолоджувати водою або струменем стисненого повітря.

Способи автоматичного наплавлення. При автоматичному дуговому наплавленні під флюсом для одержання твердих наплавлень різного складу і властивостей застосовують порошкові дроти і стрічки, легувальні флюси, чавунну стрічку. Порошкові дроти і стрічки виготовляють порожнистими на спеціальних протяжних верстатах зі сталевих стрічок холодного прокату. Для цієї мети використовують стрічки завтовшки від 0,2 до 1 мм і завширшки від 8 до 100 мм. У порожнинну частину дроту і стрічки в процесі їх виготовлення запресовують порошкову легувальну шихту, яка складається із суміші різних феросплавів і вуглецю.

Автоматичне наплавлення під флюсом широко застосовують для наплавлень валів прокатних станів, великого різального інструменту, штампів холодного і гарячого штампування тощо.

Питання для самоконтролю

1. Особливості зварювання чавунних деталей?

2. Зона термічного впливу?
3. Гаряче зварювання?
4. Особливості зварювання кольорових металів?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 272-281;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 89-91;

ЛЕКЦІЯ 19 ОСНОВИ СЛЮСАРНОЇ ОБРОБКИ

1. Організація праці і робоче місце слюсаря

Під слюсарними роботами розуміють обробку металів у холодному стані, яку слюсар виконує ручним способом за допомогою різних інструментів; складання; регулювання і ремонт різних машин і механізмів.

Слюсарні роботи складаються з таких основних технологічних операцій: розмічання, рубання, виправлення і гнуття металів, розрізування металів ножівкою і ножицями, нарізування різьби, клепання, шабрування, паяння, лудіння тощо.

Робочим місцем називається певна ділянка виробничої площі цеху, відділення, ділянки або майстерні, закріплена за даним робітником (або бригадою робітників), призначена для виконання певної роботи.

Верстак з установленими на ньому лещатами є основним устаткуванням робочого місця слюсаря.

Для тримання і закріплення оброблюваних предметів на верстаку встановлюють затискні пристрої, які називають верстковими лещатами. В слюсарній справі застосовують паралельні, стільцеві і ручні лещата.

2. Розмітка і її призначення

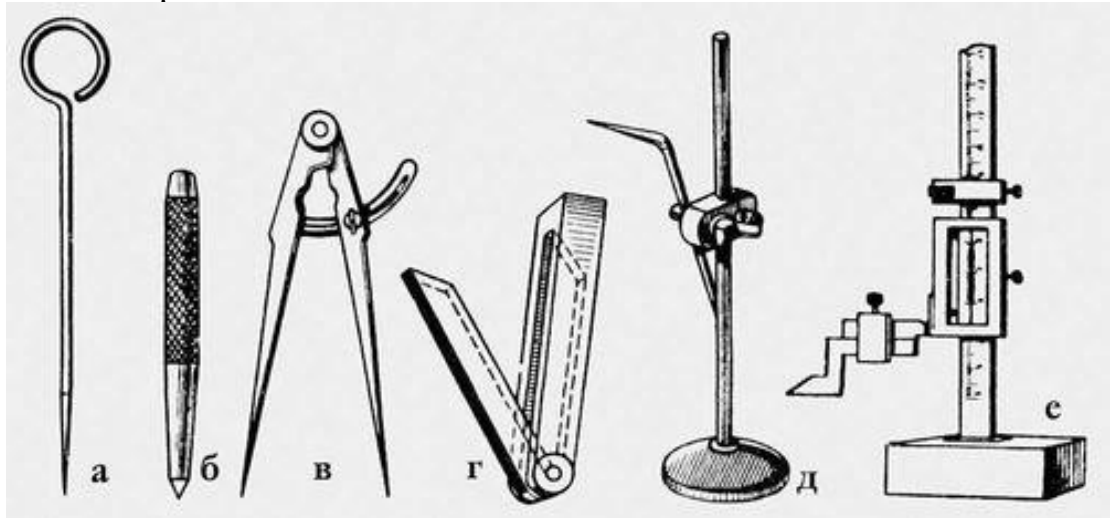
Розміткою називають операцію нанесення на оброблювану деталь або на заготовку ліній (розмічувальних рисок), що визначають межі обробки.

Залежно від форми деталі застосовують площинну або просторову розмітку.

Розмічувальні інструменти: рисувалка, реймус з рисувалкою, розмічувальний циркуль, кернер.

Розмічальний інструмент, застосовується при розмітці заготовок для нанесення рисок, поглиблень, вимірів довжини, ділення відрізків, кутів і кіл і т.д. Один з найчастіше використовуваних для нанесення рисок по лінійці і косинцю Р. і. — рисувалка (мал., а), кінець якої загартований і загострений. Для нанесення поглиблень (кернів) на заздалегідь розмічених лініях з метою збереження розмітки до кінця обробки застосовують кернери (мал., б), голівку і вістря яких гартують, вістря заточують. Накернування робляють, ударяючи легким розмічальним молотком по голівці кернера. Для розмітки кіл і дуг, ділення відрізків і різних геометричних побудов, а також для перенесення

розмірів з вимірювальних лінійок на заготовку користуються циркулями (мал., в). Перпендикулярні риски проводять по косинцю. Похилі лінії наносять за допомогою кутоміра та малки (мал., г). Для точного ділення прямих ліній і нанесення центрів, розмітки кіл великого діаметру застосовують розмічальний штангенциркуль. Основний інструмент, використовуваний при просторовій розмітці, - рейсмас (мал., д). Він служить для нанесення паралельних вертикальних і горизонтальних ліній, перевірки установки деталей на розмічальній плиті. Для точнішої розмітки застосовують рейсмас з мікрометричним гвинтом і штангенрейсмас (мал., е), яким можна також виробляти виміри.



3. Рубання металу

Рубання – слюсарна операція, при якій із заготовки зрізують зайвий шар металу чи розрубують її на частини.

Інструменти для рубання: зубило, крейцмейсель, канавковий крейцмейсель, шаблон для перевірки правильності заточування.

4. Різання металу

Різання – операція розділення металу чи заготовки на частини зі зняттям і без зняття стружки. Різання металу відрізняється від рубання тим, що в цій операції ударні зусилля замінюються натискуванням.

Для різання штабового, круглого, профільного і товстого листового матеріалу застосовують ручні ножівки, дискові пилки, різці, привідні ножівки, а також електричне, плазмове і газове різання.

Інструменти для різання:

- Ручна ножівка (суцільна, розсувна)
- Турборіз
- Ножиці (прямі, криві, пальцеві).

5. Випрямлення і гнуття металу

Випрямленням називають слюсарну операцію, під час якої матеріал заготовки або деталі, що має вм'ятини, хвилястість або викривлення, вирівнюють і надають їй потрібної геометричної форми.

Гнуття виконують оправками, шаблонами, лещатами, плоскогубцями, круглогубцями, металевими і дерев'яними молотками.

6. Обпилювання

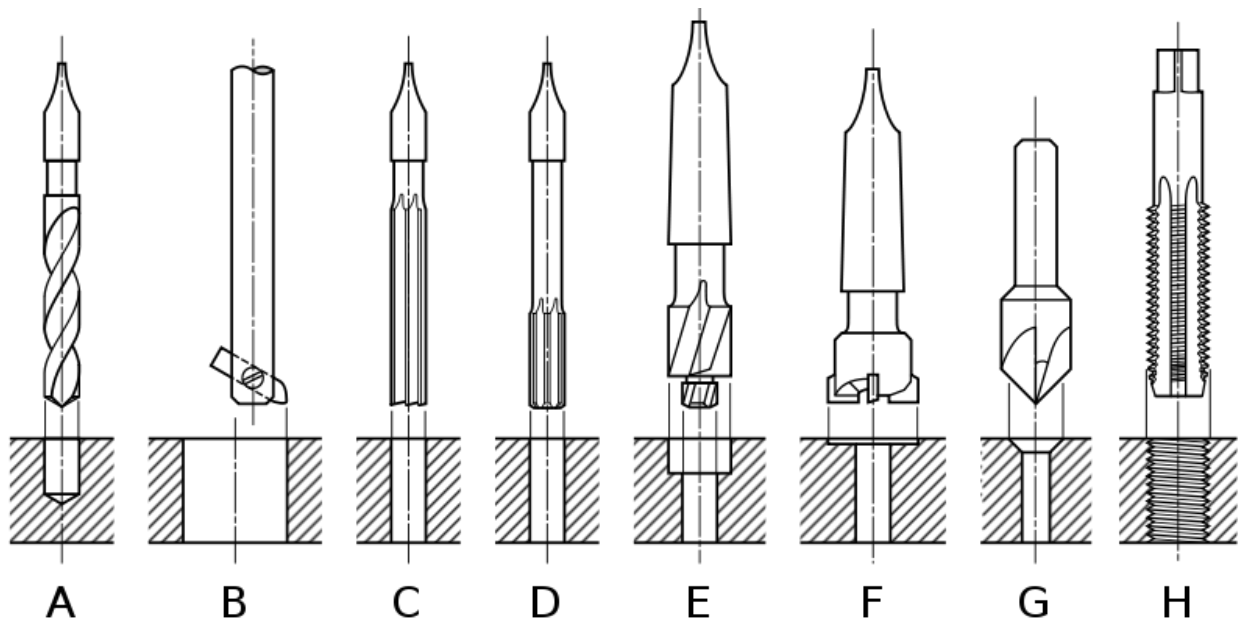
Обпилюванням називається обробка поверхні виробу різальним інструментом – напилком, за допомогою якого з оброблюваного виробу знімається шар металу в межах 0,05...1,0 мм, для одержання потрібної форми, розміру і шорсткості поверхні. Різновиди напилків: плоскі, квадратні, трикутні, круглі, напівкруглі, ромбічні, ножівкові.

Свердлінням називається процес одержання отворів у суцільному матеріалі деталі за допомогою різального інструменту – свердла. Збільшення діаметра отвору, який вже є в деталі, за допомогою свердла називають розсвердлюванням. Одержання в суцільному матеріалі неглибокого не наскрізного отвору називають засвердлюванням.

Зенкеруванням називається оброблення готових отворів, одержаних відливанням, штампуванням або свердлінням, щоб надати їм точної циліндричної форми більшої точності і меншої шорсткості.

Зенкуванням називається оброблення вихідної частини отвору, наприклад зняття задирок з країв отвору, розширення центрових отворів, утворення заглибин під потайні головки гвинтів і заклепок, обробка сідальних гнізд для клапанів. Інструментом для цієї операції є зенкери.

Розвірчування. Отвори розвірчують тоді, коли до них ставлять підвищені вимоги щодо точності і шорсткості поверхні. Інструментом для цієї операції є розвертки.



A — свердління; B — розточування; C — розвірчування; D — зенкерування; E, F — цекування (торцеве зенкування); G — зенкування; H — нарізання різьби

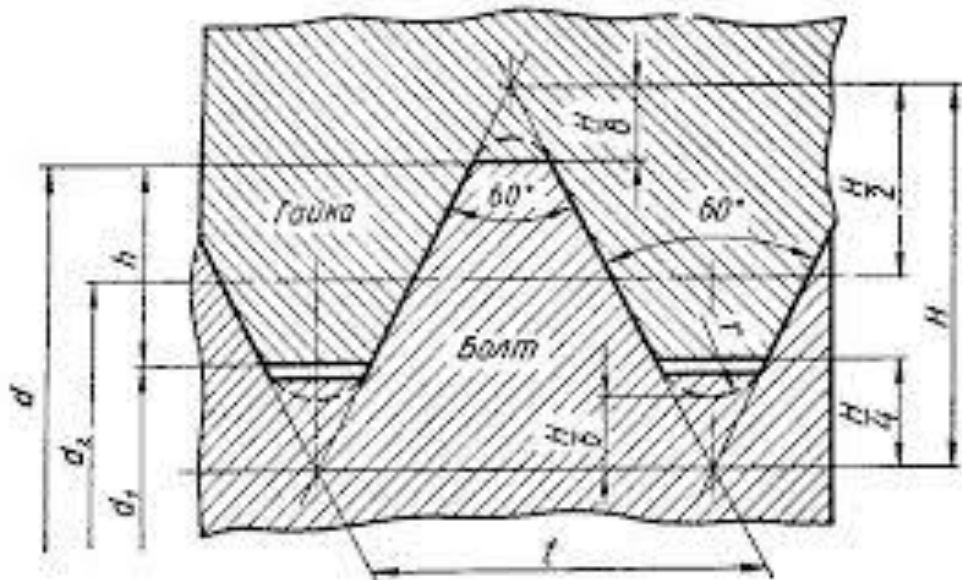
Нарізування різьби.

Різьба призначена для з'єднання деталей машин і є гвинтовою поверхнею, що утворюється на деталях різцем при одночасному обертовому і поступальному рухах.

Класифікація різьб:

- За призначенням – кріпильна, ходова і спеціальна
- За формою профілю – трикутна, трапецеїдальна, упорна, кругла, прямокутна
- За характером поверхні – циліндрична, конічна
- За розміщенням – зовнішня (гвинт, болт), внутрішня (гайка)
- За числом заходів – однозаходова, багатозаходова
- За напрямом гвинтової лінії – права і ліва

У машинобудування прийнято три системи трикутних різьб: метричну, дюймову і трубну.



Метричну різьбу (рис.5) застосовують головним чином в гвинтових з'єднаннях деталей. Тугі метричні різьби застосовуються для посадки шпильок в корпуси виробів і в інших подібних випадках, коли потрібно усунути можливість вигвинчування шпильки при відгвинчуванні гайки або її самовідгвинчуванні без додаткових кріпильних деталей. Стандартами на метричних різьби передбачаються елементи різьби діаметрів до 1 мм (0,25-0,9 мм) і понад 1 мм (1-600 мм). Кут профілю метричних різьб складає 60°.

Крок метричних різьб вимірюється в міліметрах.

Крок (P) – відстань між однойменними бічними сторонами профілю, вимірюється в долях метра, в долях дюйма або числом ниток на дюйм — це знаменник звичайного дробу, чисельник якого є дюймом. Виражається натуральним числом (наприклад: 28, 19, 14, 11). Зовнішній діаметр (D, d), діаметр циліндра, описаного довкола вершин зовнішньої (d) або

западин внутрішнього різьблення (D). Дорівнює діаметру заготовки болта перед нарізкою різьблення. Середній діаметр (D2, d2), діаметр циліндра, твірна якого пересікає профіль різьблення таким чином, що її відрізки, утворені при пересіченні з канавкою, дорівнюють половині номінального кроку різьблення. Внутрішній діаметр (D1, d1), діаметр циліндра, вписаного в западини зовнішньої (d1) або вершини внутрішнього різьблення (D1). Дорівнює діаметру отвору заготовки гайки перед нарізкою різьблення:

$$D1 = D - 2 \times (H - 2c)$$

Основним інструментом для нарізування різьби є мітчики і плашки.

Діаметр свердла для одержання отвору під метричну, дюймову і трубну різьби вибирають за таблицями ГОСТ. Діаметр свердла під метричну різьбу з достатньою точністю можна визначити за формулою

$$d_{\text{св}} = d - P, \text{ де } d - \text{зовнішній діаметр різьби, } P - \text{крок різьби.}$$

Клепання – з'єднання двох або кількох деталей за допомогою заклепок. Клепання буває холодне, гаряче, змішане.

Шабрування – чистова обробка поверхні деталей зіскоблюванням тонкого шару металу спеціальним інструментом – шабером.

Притирання – обробка поверхонь виїмок за допомогою паст і абразивних порошків, які наносять на поверхню притира – інструменту, що має форму поверхні, що притирають.

Для попереднього притирання застосовують плити з канавками завглибшки і завширшки 1 мм, розміщеними одна від одної на відстані 10-15 мм, а для остаточного притирання використовують плити з гладенькою поверхнею. Як притиральні застосовують тверді абразивні матеріали у вигляді порошків (наждак, корунд, карборунд та ін.), а також притиральні пасти ГОІ. Пасти ГОІ порівняно з іншими шліфувальними матеріалами ефективніші і можуть застосовуватися для притирання як твердих, так і м'яких металів.

Для притирання (мал. 6.31) водночас із різними абразивними порошками застосовують різні змащувальні матеріали: для грубих і середніх порошків — гас, а для дрібних — машинне масло.

Паста ГОИ (от ГОИ — Государственный оптический институт) — шлифовальные и полировальные пасты на основе оксида хрома (III), используемые для шлифования и полирования стальных сплавов, в том числе термически упрочнённых, цветных металлов, твёрдых пластмасс и полимеров, стёкол (в том числе оптического стекла), керамических материалов и изделий из них.

ЛЕКЦІЯ 20 МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

План

- 1) *Рух робочих органів у верстаті та основні види обробки металів різанням.*
- 2) *Частини і елементи різця, поверхні оброблюваної деталі та координатні площини.*
- 3) *Кути прохідного токарного різця.*
- 4) *Елементи режиму різання і переріз зрізуваного шару.*
- 5) *Процес стружкоутворення при різанні металів.*
- 6) *Теплові явища в процесі різання. Спрацювання різця.*
- 7) *Сили різання і потужність, що витрачається при точінні.*
- 8) *Швидкість різання і чинники, що впливають на неї.*
- 9) *Вибір режиму різання.*

1) Рух робочих органів у верстаті та основні види обробки металів різанням

Для здійснення обробки різанням заготовка і різальний інструмент мають виконувати один відносно одного певні рухи, які поділяють на основні, або робочі, і допоміжні. Основними називають рухи, при яких із заготовки знімається стружка; допоміжними — рухи, при яких стружка не знімається (підведення інструменту до оброблюваної заготовки перед початком обробки, відведення).

Основний рух поділяють на головний рух і рух подачі. Головним рухом називається такий, швидкість якого є найбільшою. На більшості верстатів стружка знімається лише при поєднанні цих двох рухів, оскільки рух подачі дає змогу розпочати процес різання і поширити його на необроблені ділянки поверхні заготовки.

У металорізальних верстатах використовують два основних види головного руху — обертальний (у токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних верстатах) і зворотно-поступальний (у стругальних і довбальних верстатах). У верстатах з обертальним головним рухом рух подачі безперервний і завдяки цьому процес різання також безперервний. У верстатах із зворотно-поступальним головним рухом робочий хід чергується з холостим, рух подачі здійснюється перед початком робочого ходу, тому процес різання є переривчастий.

Залежно від виконуваної роботи і різального інструменту є такі основні види обробки металів різанням (рис. 7.1.): точіння, свердління, фрезерування, стругання, протягування, шліфування.

Точіння (рис. 7.1, а). Під час точіння головним рухом зі швидкістю V є обертання заготовки 2 навколо її осі, а рухом подачі S — поступальне переміщення різця 1 відносно заготовки.

Свердління (рис. 7.1, б). При свердлінні отворів на свердлильних верстатах головний рух (обертальний) і рух подачі в осьовому напрямку дістає свердло 1.

Фрезерування (рис. 7.1, в). При фрезеруванні головним рухом є обертання фрези 1, а рухом подачі — поступальне переміщення заготовки 2.

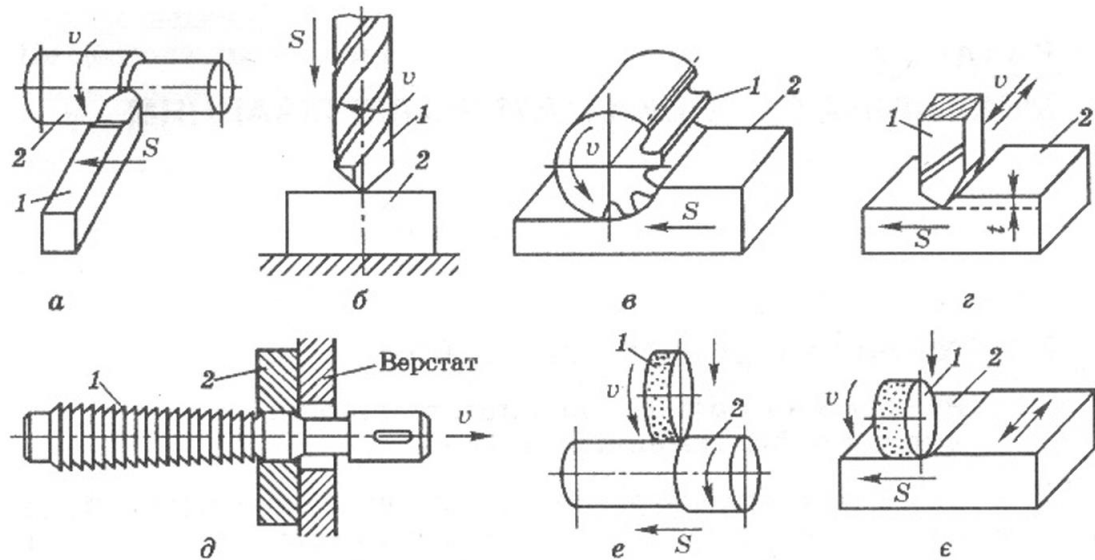


Рис. 7.1. Схеми основних видів обробки металів різанням

Стругання (рис. 7.1, з). На поперечно-стругальних верстатах головний рух (прямолінійний зворотно-поступальний) здійснює різець 1, а рух подачі (прямолінійний, перпендикулярний до головного руху, переривчастий) — заготовка 2.

Протягування (рис. 7.1, д). Здійснюють за допомогою спеціального різального інструменту — протяжки 1, що має на робочій частині зубці, які рівномірно підвищуються вздовж протяжки. Головним рухом є поздовжнє переміщення інструменту, а руху подачі немає. Протягування — продуктивний метод обробки, що забезпечує високу точність і малу шорсткість оброблюваної поверхні заготовки 2.

Шліфування на круглошліфувальних верстатах (рис. 7.1, е). Тут різальний інструмент 1 (шліфувальний круг) дістає головний обертальний рух і поперечну переривчасту подачу (встановлення на глибину різання I), заготовка 2 — колову і поздовжню подачу.

Шліфування на плоскошліфувальних верстатах (рис. 7.1, є). Головний (обертальний) рух дістає шліфувальний круг 1; поздовжню подачу (зворотно-поступальний рух) і поперечну переривчасту подачу здійснює заготовка 2, вертикальну переривчасту подачу (встановлення на глибину різання 0) здійснює шліфувальний круг 1.

2) Частини і елементи різця, поверхні оброблюваної деталі та координатні площини

Різець (рис. 7.2) складається з двох частин — робочої частини 1, або головки, і стрижня (тіла) 2, потрібного для закріплення різця у різцетримачі.

Головка є робочою частиною різця і складається з таких елементів: передньої поверхні 3; головної різальної кромки 4, головної задньої поверхні 5, допоміжної задньої поверхні 6, допоміжної різальної кромки 8, вершини 7.

Передня поверхня призначена для того, щоб у процесі різання по ній сходила стружка.

Головна задня поверхня проходить через головну різальну кромку і обернена до поверхні різання.

Допоміжна задня поверхня проходить через допоміжну різальну кромку і обернена до обробленої поверхні.

Головна різальна кромка утворюється перетином передньої і головної задньої поверхонь.

Допоміжна різальна кромка утворюється перетином передньої і допоміжної задньої поверхонь.

Вершина різця — це перетин головної і допоміжної кромок. Практично вершина різця завжди заокруглена. Радіус заокруглення становить 0,5...5,0 мм.

При обробці заготовки на верстаті на ній розрізняють такі поверхні (рис. 7.3): оброблювану 2, оброблену 4, різання 3 — поверхня, що утворюється в процесі різання безпосередньо різальною кромкою. *Оброблюваною* називають поверхню, яка підлягає обробці. *Обробленою* поверхню дістають після видалення зрізаного шару. З метою визначення кутів різця встановлено такі координатні і січні площини: різання 1 і основну 5 (див. рис. 7.3); головну *A* - *A* і допоміжну *B* — *B* січні площини (рис. 7.4).

Площиною різання називають площину, яка дотична до поверхні різання, проходить через головну різальну кромку і перпендикулярна до основної площини.

Основною площиною називають площину, паралельну напрямкам поздовжньої і поперечної подачі. У токарних і стругальних різців призматичної форми основна площина збігається з опорною поверхнею різця.

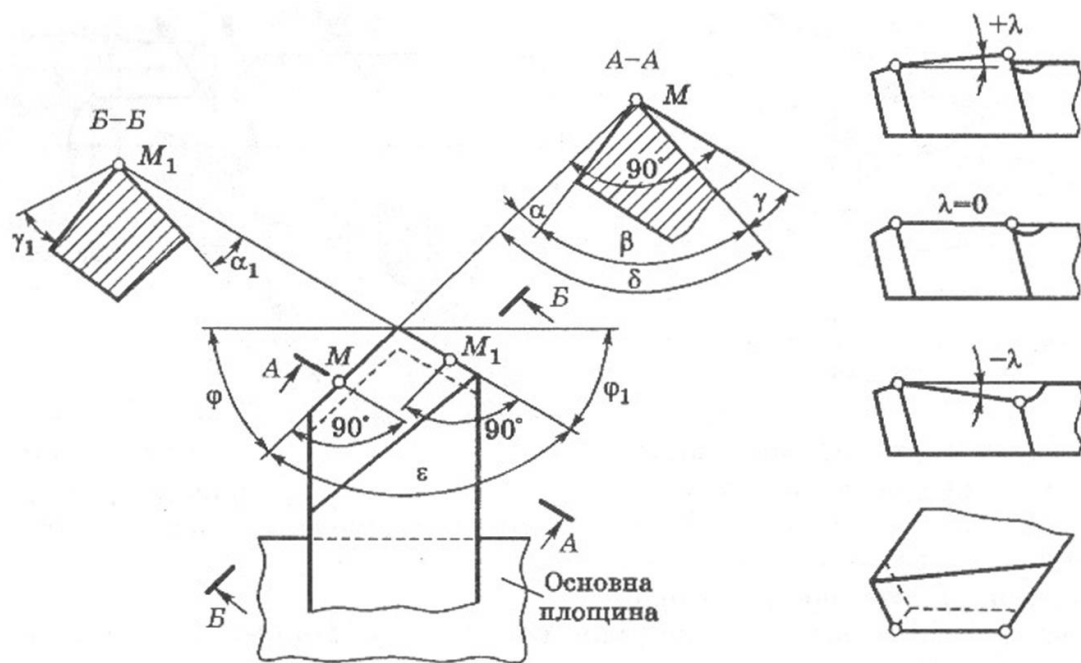


Рис. 7.4. Координатні й січні площини та основні й допоміжні кути різця

Головною січною площиною називають площину, перпендикулярну до проекції головної різальної кромки на основну площину.

Допоміжною січною площиною називають площину, перпендикулярну до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину.

3) Кути прохідного токарного різця

Сліди площини різання, головної січної площини $A-A$, допоміжної січної площини $B-B$ і переріз різця цими площинами показано на рис. 7.4, на якому зображено вигляд різця зверху.

Кути різця, вимірювані в головній січній площині, називають *головними*, а вимірювані в допоміжній січній площині — *допоміжними*.

Головний задній кут α — кут між головною задньою поверхнею і площиною різання. Задній кут зменшує тертя головної задньої поверхні об поверхню різання та її спрацювання. Цей кут становить $6...12^\circ$. Зі збільшенням α зменшується міцність різальної кромки.

Кут різання δ — кут між передньою поверхнею і площиною різання.

Головний передній кут γ — кут між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною до площини різання, проведеною через головну різальну кромку. Якщо кут різання менший за 90° , то передній кут додатний, коли кут різання більший ніж 90° , передній кут від'ємний, при куті різання 90° — передній кут дорівнює нулю. Передній кут у значно впливає на процес різання і на стійкість різця. З його збільшенням полегшується врізання різця в оброблюваний матеріал, зменшуються деформація зрізаного шару, сила різання і витрата потужності. Водночас поліпшуються умови відведення стружки і якість оброблюваної поверхні. Проте збільшення переднього кута

(зменшення кута δ) призводить до зменшення кута ρ , а отже, послаблює різальну частину різця, погіршує відведення теплоти. Обробляючи тверді і крихкі матеріали, застосовують різці з невеликими і навіть з від'ємними передніми кутами, а обробляючи м'які й пластичні матеріали, — різці з більшими передніми кутами. На практиці найчастіше використовують різці з передніми кутами від -10 до $+20^\circ$.

Кут загострення β — кут між передньою і головною задньою поверхнями різця. Між головними кутами різця є такі співвідношення:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ; \alpha + \beta = \delta; \delta + \gamma = 90^\circ.$$

Головний кут у плані ϕ — кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину і напрямком подачі. Головний кут у плані значною мірою впливає на стійкість різця і шорсткість обробленої поверхні. Зменшення кута ϕ у певних межах підвищує стійкість різця і шорсткість обробленої поверхні зменшується, але зростає радіальна складова сили різання, напрямлена перпендикулярно до осі заготовки, що зумовлює підвищене деформування оброблюваної заготовки. Тому найчастіше беруть кут $\phi = 45^\circ$. На практиці використовують різці з кутом $\phi = 30 \dots 90^\circ$. Для обробки довгих і тонких валів найкраще застосовувати різці з кутом $\phi = 90^\circ$.

Допоміжний кут у плані ϕ_1 — кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямком, зворотним напрямку подачі. Кут ϕ_1 зміцнює вершину різця і впливає на якість оброблюваної поверхні. Зі зменшенням ϕ_1 зменшується шорсткість обробленої поверхні, підвищується міцність різця і зменшується спрацювання. Значення кута ϕ_1 становить від 5 до 60° (у різбових різцях), найчастіше застосовують різці з кутом $\phi_1 = 5 \dots 45^\circ$.

Кут при вершині ε — кут між проекціями головної і допоміжної різальних кромки на основну площину. Цей кут визначають із співвідношення

$$\varepsilon = 180 - (\phi + \phi_1).$$

Кут нахилу головної різальної кромки λ — кут між головною різальною кромкою і лінією, проведеною через вершину різця паралельно основній площині. Якщо вершина різця є найнижчою точкою на головній різальній кромці, кут λ вважається додатним, якщо найвищою — від'ємним. Якщо головна різальна кромка паралельна основній площині, то кут λ дорівнює нулю. Від'ємний кут відводить стружку в бік оброблюваної поверхні і рекомендується при чистовій обробці. Додатний кут λ відводить стружку в бік обробленої поверхні і пошкоджує її, тому різці з такими кутами застосовують при чорновій обробці. Якщо $\lambda = 0^\circ$, то стружка закручується в архімедову спіраль. Кут λ становить від $+5$ до -5° .

Допоміжний задній кут різця α_1 — кут між допоміжною задньою поверхнею і площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку, перпендикулярно до основної площини. Кут α_1 зменшує тертя допоміжної

задньої поверхні об оброблену поверхню. Інші допоміжні кути γ , β , δ_1 на процес різання не впливають.

4) Елементи режиму різання і переріз зрізуваного шару

Основними елементами режиму різання є глибина різання, подача і швидкість різання.

Глибиною різання (рис. 7.5) називають товщину шару металу, що знімається за один прохід. Її визначають як відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряну по перпендикуляру до обробленої. При поздовжньому точінні t , мм,

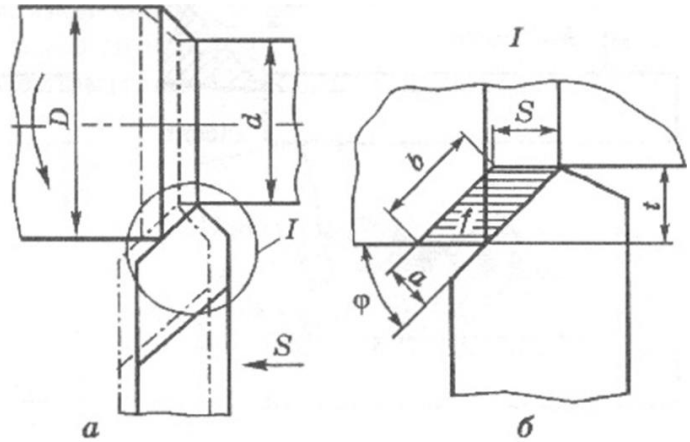


Рис. 7.5. Елементи перерізу зрізаного шару

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D — діаметр заготовки, мм; d — діаметр обробленої деталі, мм.

Подачею S , мм/об, називають величину переміщення різця в напрямку руху подачі за один оберт заготовки.

Швидкістю різання V , м/хв, називають швидкість головного руху. Швидкість різання — це шлях, який проходить точка, що лежить на оброблюваній поверхні заготовки, відносно різальної кромки інструменту за одиницю часу і визначається за формулою

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

де D — діаметр заготовки, мм; n — частота обертання заготовки, хв⁻¹.

На рис. 7.5, а суцільною лінією показано вихідне положення різця, а штрихпунктирною — друге його положення після переміщення на величину S подачі за час, коли заготовка зробить один оберт, а на рис. 7.5, б — поперечний переріз зрізуваного шару. Основними елементами перерізу зрізуваного шару є його ширина і товщина, глибина різання і подача.

Шириною зрізуваного шару b називається відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряна по поверхні різання ($b = t \sin \varphi$).

Товщиною зрізуваного шару a — це відстань між двома послідовними положеннями головної Рис. 7.5. Елементи перерізу зрізаного шару різальної кромки за один

оберт заготовки, виміряна в напрямку, перпендикулярному до ширини зрізуваного шару ($a = t \cos \varphi$). Номінальну площу поперечного перерізу

зрізуваного шару визначають як добуток подачі на глибину різання або товщини шару на його ширину, мм²:

$$f = St = ab.$$

5) Процес стружкоутворення при різанні металів

Різання металів є складною сукупністю різних деформацій: зсуву, зрізу, зминання, що супроводжується тертям зрізаної стружки об передню поверхню різця і тертям поверхні різання заготовки об задню поверхню різця.

Пертим дослідником процесів різання та утворення стружки був російський професор І.А. Тіме, який опублікував свої праці ще в 1870 р.

Значні заслуги у розвитку науки про різання металів належать видатному вченому, професору Харківського технологічного інституту, а потім Київського політехнічного інституту К.О. Зворикіну (1861 - 1928).

Різець під дією сили P вдавлюється в оброблюваний метал, стискаючи розміщений перед ним шар (рис. 7.6, а), внаслідок чого у зрізуваному шарі утворюються значні напруження, які зумовлюють пружні і пластичні деформації. В момент, коли напруження, що виникло, перевищує міцність оброблюваного металу, відбувається зсув (сколювання) елемента стружки по площині $A-B$ (рис. 7.6, б), яку називають *площиною зсуву*. З обробленою поверхнею вона утворює кут β_1 , який називають *кутом зсуву*. Цей кут не залежить від геометричних параметрів різального інструменту і властивостей оброблюваного матеріалу і становить приблизно 30°.

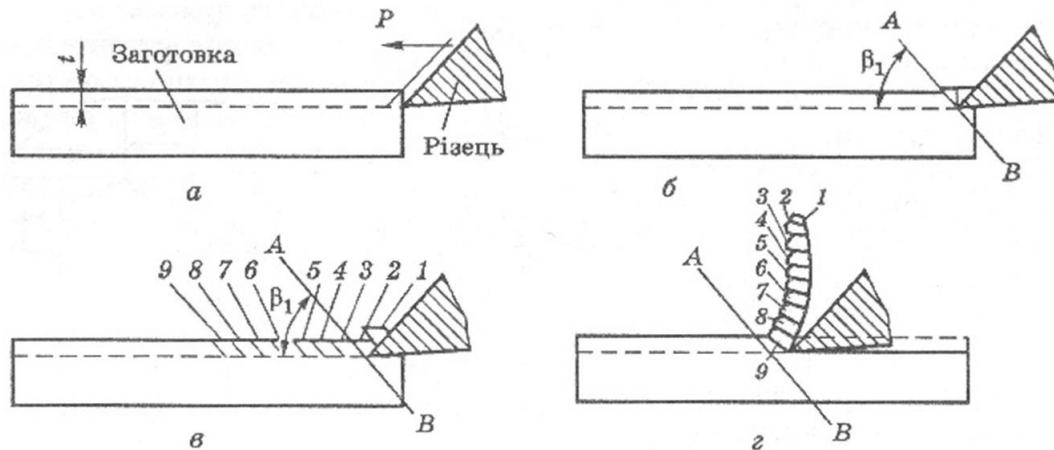


Рис. 7.6. Схема процесу різання

Переміщуючись далі, різець передньою поверхнею послідовно стискає і зсуває наступний об'єм зрізуваного шару, внаслідок чого утворюються елементи стружки 1, 2, ..., 9 і т.д. (рис. 7.6, в). З таких окремих елементів і утворюється стружка (рис. 7.6, г). Отже, процес різання можна уявити собі як процес безперервного зсуву окремих елементів стружки.

Досліджуючи процес різання металів, І.А. Тіме виявив три типи стружок, які назвав так: звивина, сколювання і надлому.

Звивина стружка (рис. 7.7, а) — це безперервна стрічка, яка звивається в спіраль. Окремі елементи такої стружки міцно зв'язані між собою. Бік стружки, звернутий до передньої грані інструменту, блискучий і гладенький; другий (внутрішній) бік матовий, оскільки з цього боку окремі елементи стружки трохи зміщені один відносно одного. Звивна стружка утворюється при різанні м'якої сталі (сталь 10 — сталь 30) і пластичних металів (латуні, алюмінію).

Стружка сколювання (рис. 7.7, б) складається з окремих зв'язаних один з одним елементів. Обернений до різця бік стружки гладенький, а протилежний — пилоподібний. Така стружка утворюється при обробці металів підвищеної твердості, з невеликою швидкістю різання і великою товщиною зрізуваного шару (наприклад, сталь 45, сталь 50).

Стружка надлому (рис. 7.7, в) складається з окремих або слабкозв'язаних між собою шматочків металу неправильної форми. Утворюється вона при обробці крихких металів (чавуну, бронзи, деяких сплавів алюмінію). Оброблена поверхня в цьому разі має значні нерівності.

Під час різання таких пластичних металів, як сталь, латунь відбувається явище, що має назву *наростоутворення*. Воно полягає в тому, що внаслідок адгезійної взаємодії, великого тертя між стружкою і різцем, тиску і значного виділення теплоти на передній поверхні різця біля різальної кромки затримується й дуже міцно утримується на ній шар металу стружки — *наріст* (рис. 7.8).

Наріст — це застій металу на передній поверхні різця, що відокремився від стружки і закріпився на різці. Внаслідок значної деформації наріст набуває твердості в 2,5...3,5 раза більшої за твердість основного металу і бере безпосередню участь у різанні. Наріст з'являється у певному діапазоні швидкостей різання. При малих швидкостях (2... 10 м/хв) наросту майже немає. Особливо інтенсивно наріст утворюється при швидкостях різання 15...40 м/хв.

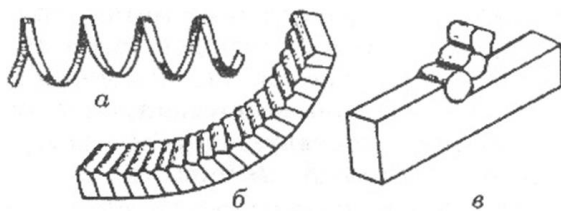


Рис. 7.7. Типи стружок

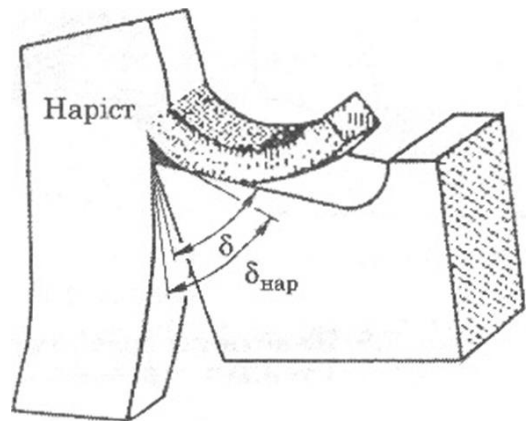


Рис. 7.8. Утворення наросту на різці

При збільшенні швидкості наростоутворення зменшується і зникає зовсім при швидкості 70 м/хв. Наріст періодично руйнується, виноситься стружкою. Чистота і точність обробки, коли є наріст, погіршується. При чистовій обробці потрібно працювати на підвищених швидкостях різання,

застосовувати мастильно-охолодні рідини.

Усадка стружки. Під дією різального інструменту відбувається пружне і пластичне деформування зрізуваного шару. Схему поширення пластичної деформації під час різання зображено на рис. 7.9, а (деформовану зону заштриховано). Зовні пластична деформація зрізуваного шару металу виявляється в тому, що довжина стружки L коротша за шлях L_0 , пройдений різцем по оброблюваній поверхні, а товщина стружки більша від товщини зрізуваного шару (рис. 7.9, б). Явище скорочення і потовщення стружки порівняно з довжиною і товщиною зрізуваного шару називається *усадкою стружки*. Величина її характеризується коефіцієнтом усадки, який визначають відношенням довжини стружки L до шляху різця по обробленій поверхні L_0 : $K = L / L_0 < 1$.

Для крихких матеріалів коефіцієнт K наближається до одиниці, для пластичних $K=0,4...0,7$ (за Time). Відомі матеріали з $K=0,2$ і навіть $0,15$.

Наклеп при різанні.

Під час різання металів поверхневий шар обробленої деталі пластично деформується (див. рис. 7.9, а). Пластичне деформування металу поверхневого шару змінює його структуру і властивості, зумовлюючи зміцнення, або наклеп.

Це явище характеризується підвищенням твердості, міцності і зниженням пластичності. Твердість металу безпосередньо біля обробленої поверхні може в 2...3 рази перевищувати твердість вихідного металу деталей.

6) Теплові явища в процесі різання. Спрацювання різця

Теплота, що виділяється при різанні, негативно впливає на спрацювання і стійкість різальних інструментів, на якість обробленої поверхні. Теплота складається із: Q_d — теплоти, що утворюється в результаті пластичних деформацій; $Q_{п.п}$ — теплоти, що виділяється від тертя стружки об передню поверхню інструменту; $Q_{з.п}$ — теплоти від тертя задніх поверхонь інструменту об заготовку, що обробляється.

Тепловий баланс процесу різання визначають за рівнянням

$$Q_d + Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

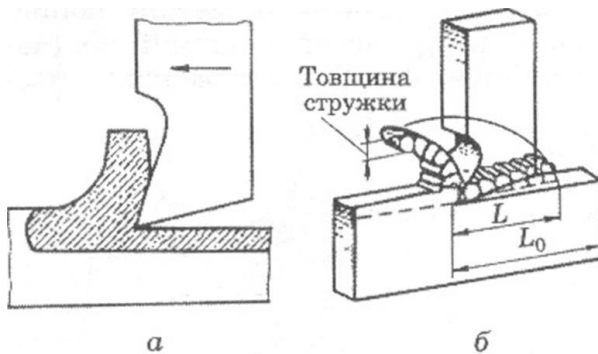


Рис. 7.9. Пластичне деформування і усадка стружки

де Q_1 — кількість теплоти, що відводиться стружкою (залежно від технологічного процесу становить 28...85 %); Q_2 — кількість теплоти, що переходить у деталь (12...50 %); Q_3 — кількість теплоти, що переходить у різець (2...8 %); Q_4 — кількість теплоти, що відводиться у навколишнє середовище (близько 1 %).

Зі збільшенням швидкості різання кількість теплоти, що відводиться стружкою, збільшується, а та, що йде

у виріб та інструмент, — зменшується.

У поверхневому шарі інструменту, що перебуває в контакті із стружкою, температура може досягати точки плавлення оброблюваного металу. Це приводить до зменшення зусиль різання, проте знижує твердість і стійкість різальних інструментів. На нагрівання інструменту найчастіше впливає швидкість різання, дещо менше — подача і ще менше — глибина.

Нагрівання інструменту та оброблюваної деталі змінює її геометричні параметри, що спричинює виникнення похибок, розмірів і відхилення від геометричної форми оброблених поверхонь. Отже, теплові процеси, що відбуваються при різанні металів, негативно впливають на точність оброблюваної деталі.

Спрацювання різця. Спрацювання різця зумовлюється тертям, яке виникає під час сходження стружки з передньої поверхні, а також внаслідок тертя задніх поверхонь різця об оброблювану поверхню. На спрацювання впливає багато чинників: якість оброблюваного матеріалу і матеріалу інструменту; стан поверхонь і різальних кромek інструменту; режими різання; геометрія різальної частини інструменту; якість мастильно-охолодної рідини.

Розрізняють три види спрацювання інструментів (рис. 7.10): по передній поверхні (рис. 7.10, а); по задній поверхні (рис. 7.10, б); по передній і задній поверхнях (рис. 7.10, в).

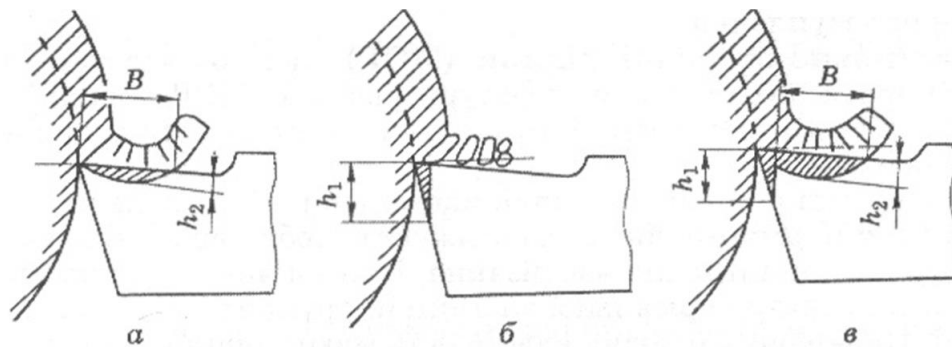


Рис. 7.10. Види спрацювання різців

Спрацювання по передній поверхні характерне при обробці сталей з великими

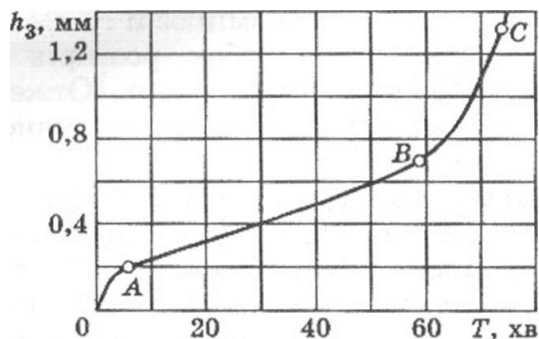


Рис. 7.11. Спрацювання різця залежно від часу його роботи

швидкостями різання без охолодження з товщиною зрізаного шару $a > 0,5$ мм.

Спрацювання по задній поверхні характерне при обробці крихких матеріалів, наприклад чавуну, а також пластичних, якщо товщина зрізаного шару $a < 0,1$ мм.

Одночасне спрацювання по передній і задній поверхнях найпоширеніше. Таке спрацювання спостерігається при обробці сталей з товщиною зрізаного шару $a > 0,1$ мм. Так спрацьовуються торцеві і дискові фрези, свердла, зенкери, різці.

Величина допустимого спрацювання /ц залежить від оброблюваного й інструментального матеріалів, виду різального інструменту, режиму різання, точності і шорсткості обробленої поверхні. Так, для токарних різців, оснащених пластинками твердих сплавів, при чорновому точінні сталі $h_1 = 1,0 \dots 1,4$ мм, а при чистовому $h_1 = 0,4 \dots 0,6$ мм; при чорновій обробці чавуну $0,8 \dots 1,0$ мм, при чистовій — $0,6 \dots 0,8$ мм; для відрізних різців $h_1 = 0,8 \dots 1,0$ мм. Для різців із ельбору $h_1 = 0,4$ мм.

Криву спрацювання різця по задній поверхні залежно від часу роботи наведено на рис. 7.11. Вона має три характерні ділянки: ділянку *OA* початкового спрацювання, *AB* — нормального спрацювання і *BC* — катастрофічного спрацювання. У точці *C* спрацювання відповідає такому стану інструменту, за якого продовжувати процес різання неможливо. Різання треба припинити в точці *B*, спрацювання в якій відповідає встановленому критерію затуплення.

Мастильно-охолодні рідини (МОР) застосовують для зменшення тертя, зусилля і температури різання. МОР повинні мати антикорозійні властивості, бути нетоксичними, стійкими при зберіганні та експлуатації.

Рідини поділяють на охолодні, мастильні і зчіплювальні.

Охолодні рідини лише охолоджують, тобто відводять частину теплоти, яке виникає під час різання, і таким чином сприяють зниженню температури різальної частини інструменту та оброблюваної деталі. Найкращу охолодну властивість мають рідини на водній основі — емульсії; $1,0 \dots 1,5\%$ -й розчин кальцинованої соди і мила.

Склад емульсії: $3 \dots 6\%$ емульсолу і решта — вода. Склад емульсолу: каніфоль $12 \dots 15\%$, мінеральна олива — $80 \dots 85\%$, їдкий натр — $4 \dots 5\%$.

Найпоширенішим способом є охолодження вільним струменем рідини, яку підводять зверху на зрізуваний шар металу (рис. 7.12, *а*).

При точінні важкооброблюваних сплавів застосовують охолодження тонким струменем рідини, що її підводять під тиском 3 МПа (30 кгс/см²) до різальної кромки різця з боку задньої поверхні (рис. 7.12, *б*). Це дає змогу збільшити стійкість різців у кілька разів.

Застосовують також охолодження розпиленою рідиною, спрямованою до різальної кромки з боку задньої поверхні різця (рис. 7.12, *в*) під тиском $0,2 \dots 0,4$ МПа ($2 \dots 4$ кгс/см²).

Для охолодження, крім рідин, застосовують гази (азот, вуглекислий газ, стиснене повітря), проте обмежено.

Мастильні рідини призначені в основному для зменшення тертя, зусилля різання і поліпшення якості оброблюваної поверхні, крім цього, вони частково охолоджують її. При чистовій обробці застосовують саме рідини з високими мастильними властивостями — це мінеральні оливи, рослинні олії. Дія мастильних рідин посилиться, якщо ввести поверхнево-активні речовини. Широко застосовують сульфатфрезоли — мінеральні оливи, що містять невеликі добавки сірки.

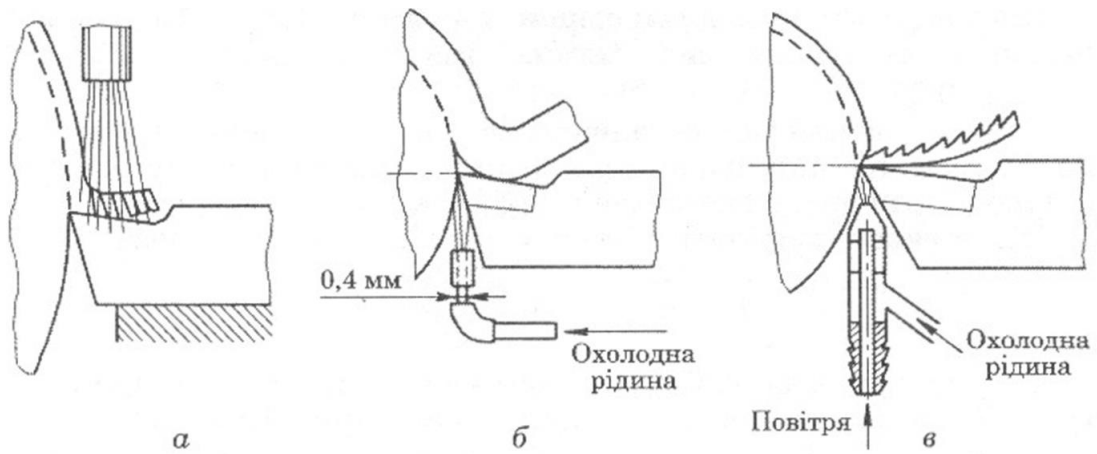


Рис. 7.12. Способи підведення мастильно-охолодної рідини

Зчіплювальні рідини сприяють заглибленню інструменту в метал. Для цього при обробці чавуну застосовують гас або скипидар.

7) Сили різання і потужність, що витрачається при точінні

При зрізуванні стружки різець долає опір оброблюваного матеріалу різанню і сил тертя.

Рівнодійну сил, що діють на різець у процесі різання, називають *рівнодійною силою різання* R . При поздовжньому точінні рівнодійну R розкладають на три взаємно перпендикулярні складові P_z , P_y ,

P_x (рис. 7.13): P_z — сила різання, або тангенціальна (дотична), що діє в площині різання; P_y — радіальна, що діє перпендикулярно до осі заготовки; P_x — осьова сила (аксіональна), або сила подачі, що діє вздовж осі заготовки паралельно і протилежно напрямку поздовжньої подачі.

Рівнодійна R є діагоналлю паралелепіпеда, побудованого на складових силах, і визначається за формулою

Під час роботи прохідним різцем, у якого $\phi = 45^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, співвідношення складових сил можна взяти такими: P_z :

P_y : $P_x = 1 : 0,4 : 0,25$.

Співвідношення сил не залишається сталим, а змінюється залежно від геометричних параметрів різця, елементів режиму різання, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Підставивши прийняті співвідношення між силами, одержимо

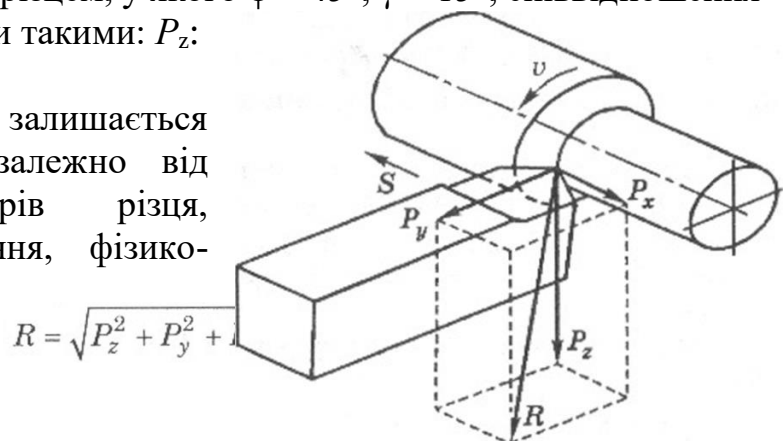


Рис. 7.13. Складові сили різання при точінні

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$$

$$R = \sqrt{P_z^2 + (0,4P_y)^2 + (0,25P_x)^2} = 1,1P_z.$$

Тому при розрахунках можна брати до уваги тільки одну складову P_z . Вона залежить від кутів γ (рис. 7.14) і φ (рис. 7.15).

Силу різання P_z , Н, при точінні визначають за емпіричною формулою

$$P_z = 10C_{P_z} t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} V^{n_{P_z}} K_{P_z},$$

де C_{P_z} — коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу і умов різання; t — глибина різання, мм; S — подача, мм/об; V — швидкість різання, м/хв; 10 — коефіцієнт переведення кілограм-сили у ньютони (точно 9,80665, або 9,81); X_{P_z} , Y_{P_z} , n_{P_z} — показники степенів при глибині різання, подачі і швидкості; K_{P_z} — поправний коефіцієнт на змінені умови обробки порівняно з тими, для яких дано значення C_{P_z} .

Значення C_{P_z} , X_{P_z} , Y_{P_z} , n_{P_z} для різних матеріалів і різних умов обробки наведено в довідниках.

$$K_{P_z} = K_{mP_z} K_{\varphi P_z} K_{\lambda P_z},$$

де K_{mP_z} — коефіцієнт, який враховує матеріал різця; $K_{\varphi P_z}$ — коефіцієнт, який враховує головний кут у плані; $K_{\lambda P_z}$ — коефіцієнт, який враховує кут нахилу головної різальної кромки.

Приклад Визначити силу різання P_z при поздовжньому точінні заготовки зі сталі 40, де $\sigma_b = 650$ МПа ($= 65$ кгс/мм²) різцем, оснащеним пластиною з твердого сплаву Т5К10. Глибина різання $t = 4$ мм, подача $S = 0,6$ мм/об, швидкість різання $V = 110$ м/хв. Геометричні елементи різця: $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\lambda = +5^\circ$, $r = 1$ мм.

Розв'язання. 1. З довідника технолога-машинобудівника виписуємо значення коефіцієнтів і показники степенів:

$$C_{P_z} = 300, X_{P_z} = 1, Y_{P_z} = 0,75, n_{P_z} = -0,15, K_{mP_z} = 0,9, K_{\varphi P_z} = 0,94, K_{\lambda P_z} = 1,0.$$

2. Знайдені значення величин підставляємо у формулу сили різання:

$$\begin{aligned} P_z &= 10C_{P_z} t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} V^{n_{P_z}} K_{mP_z} K_{\varphi P_z} K_{\lambda P_z} = 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 110^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = \\ &= 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0,6^{0,75} \cdot (1/110^{0,15}) \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = 10 \cdot 300 \cdot 0,68 \cdot (1/2,02) \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 = \\ &= 3417 \text{ Н } (\approx 342 \text{ кгс}). \end{aligned}$$

Сила P_z на шпинделі верстата створює крутний момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{P_z D_{заг}}{2},$$

де $D_{заг}$ — діаметр оброблюваної заготовки, мм.

Сила P_y намагається відтиснути різець від оброблюваної деталі, а рівнодійна сил P_y і P_z — зігнути його. Це зменшує точність обробки і змінює форму деталі. Тому довгі і тонкі деталі слід обробляти різцями з великими кутами в плані, аж до $\varphi = 90^\circ$, при якому сила P_y мінімальна.

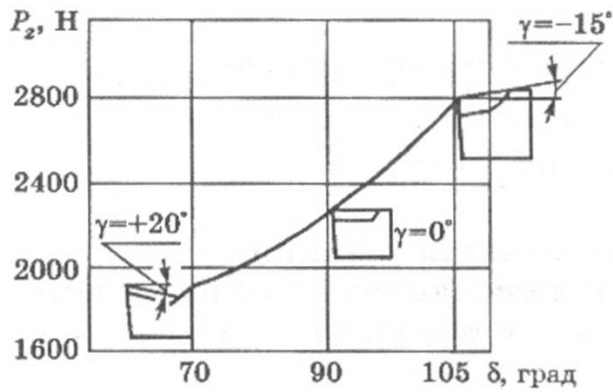


Рис. 7.14. Вплив кута різання (переднього) на силу різання

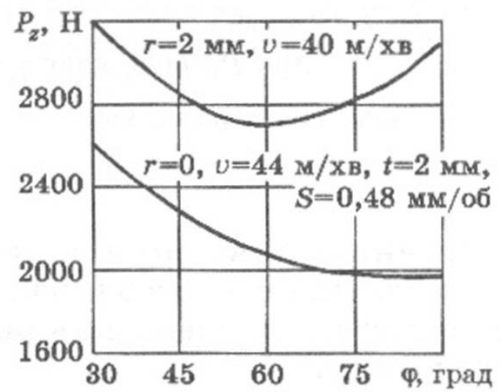


Рис. 7.15. Залежність сили P_z від головного кута ϕ в плані

Значення сили P_y треба знати для розрахунку на міцність станини і супорта, а сили P_x — для розрахунку механізму подачі верстата. Приблизні значення сил P_x і P_y можна визначити з наведеного вище співвідношення. Для вимірювання сил різання використовують спеціальні динамометри.

Потужність, що витрачається на різання при точінні, кВт,

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 1000},$$

де P_z — сила різання, Н; V — швидкість різання, м/хв.

Потужність електродвигуна верстата, кВт

$$N_{дв} = \frac{N_e}{\eta},$$

де N_e — потужність, що витрачається на різання при точінні; $\eta = 0,7 \dots 0,8$ — ККД верстата.

Приклад Визначити потужність, що витрачається на різання при точінні, якщо $P_z = 3417$ Н, $V = 110$ м/хв.

Розв'язання.

$$N_e = P_z v / (60 \cdot 1000) = 3417 \cdot 110 / (60 \cdot 1000) = 6,264 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна має бути не меншою (при $\eta = 0,75$) за N_e :

$$N_{дв} = N_e / \eta = 6,264 / 0,75 = 8,35 \text{ кВт.}$$

Чинники, які впливають на зусилля різання: фізико-механічні властивості оброблюваного металу; подача і глибина різання; геометрія різця; швидкість різання; метод охолодження і охолодне середовище.

Сила різання зростає зі збільшенням твердості оброблюваного металу та його в'язкості. Із формули видно, що глибина різання більше впливає на силу різання, ніж подача.

При збільшенні глибини різання, наприклад у 2 рази, у стільки ж разів зростає сила різання, оскільки показник степеня $X_{p_z} = 1$

для всіх оброблюваних металів.

При збільшенні подачі у 2 рази сила P_z зменшується менше, ніж у 2 рази, оскільки показник степеня $Y_{P_z} < 1$. При обробці сталі і чавуну $Y_{P_z} = 0,75$.

8) Швидкість різання і чинники, що впливають на неї

Швидкість різання при точінні V , м/хв, яка допускається різальними властивостями інструменту, визначають за формулою

$$v = \frac{C_v K_v}{T^m t^{X_v} S^{Y_v}},$$

де C_v — коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що обробляється, матеріалу різального інструменту і умов різання; K_v — спільний поправний коефіцієнт, який враховує змінені умови різання, порівняно з тими, для яких дано значення C_v ; T — стійкість різця, хв; t — глибина різання, мм; S — подача, мм/об; m, X_v, Y_v — показники степенів, які беруть із довідників.

Приклад Визначити швидкість різання, яка допускається різальними властивостями різця при поздовжньому точінні заготовки зі сталі 35 з $\sigma_B = 600$ МПа. Заготовка — прокат гарячекатаний. Різець токарний прохідний, оснащений пластиною із твердого сплаву Т14К8; глибина різання $t = 2,5$ мм; $S = 0,5$ мм/об; $T = 60$ хв. Геометричні елементи різця: $\phi = 60^\circ$; $\phi = 10^\circ$; $\gamma = 12^\circ$, $\alpha = 12^\circ$; $r = 1$ мм.

Розв'язування. 1. З довідника технолога-машинобудівника виписуємо значення коефіцієнтів: $C_v = 350$, $X_v = 0,15$, $Y_v = 0,35$, $m = 0,2$.

2. З урахуванням умов різання визначаємо K_v

$$K_v = K_{MV} K_{NV} K_{IV} K_{\phi V},$$

де K_{MV} — поправний коефіцієнт на оброблюваний матеріал; K_{NV} — коефіцієнт, який враховує стан оброблюваної поверхні; K_{IV} — коефіцієнт, який враховує матеріал різця; $K_{\phi V}$ — коефіцієнт, який враховує головний кут у плані;

$$K_v = 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,81.$$

Отже, для заданих умов обробки швидкість різання буде:

$$\begin{aligned} v &= C_v K_v K_{MV} K_{NV} K_{IV} K_{\phi V} / (T^m t^{X_v} S^{Y_v}) = \\ &= (350 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9) / (60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}) = \\ &= (350 \cdot 0,81) / (2,27 \cdot 1,15 \cdot 0,78) = 139 \text{ м/хв.} \end{aligned}$$

Чинники, що впливають на швидкість різання: стійкість різального інструменту; фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу; властивості матеріалу різальної частини різця; подача і глибина різання; геометричні параметри різця; метод охолодження і охолодне середовище.

Вплив стійкості на швидкість різання. Залежність стійкості від швидкості виражається степеневою функцією

$$v_1 T_1^m = v_2 T_2^m = \dots = v_n T_n^m = \text{const} = A,$$

де A — стала, яка залежить від оброблюваного матеріалу і умов різання; m — показник відносної стійкості, який при точінні дорівнює 0,1...0,3.

Оскільки m — дробове число, яке набагато менше від одиниці, то значна зміна стійкості приводить до невеликої зміни швидкості різання і, навпаки, невелика зміна швидкості різання зумовлює значну зміну стійкості. Наприклад, при $m=0,2$ зі зменшенням стійкості в 3 рази швидкість різання збільшується всього на 25 %.

Вплив на швидкість різання властивостей металу, що обробляється, і металу різального інструменту. З підвищенням вмісту в сталі вуглецю, мангану, хрому і вольфраму збільшується її міцність і твердість, знижується теплопровідність. Це підвищує температуру в зоні різання і прискорює спрацювання різального інструменту. Тому твердіші й міцніші матеріали обробляють при менших швидкостях різання, а алюміній та його сплави — при швидкостях різання, в 4...6 разів більших.

Залежно від теплостійкості, міцності і теплопровідності матеріалу різальної частини інструменти при тому самому періоді стійкості можуть працювати з різними швидкостями різання. Наприклад, якщо швидкість різання, яку допускає твердосплавний різець T15K6, взяти за 1, то швидкість різання, що допускається різцями швидкорізальної сталі P9 і P18, становитиме 0,25, а з легованої сталі 9ХС — 0,12...0,15. Різці, оснащені мінералокерамікою, допускають швидкості різання в 1,3... 1,5 рази більші, ніж різці з пластинками T15K6.

9) Вибір режиму різання

Вибір режиму різання значною мірою впливає на продуктивність обробки. Призначення елементів режиму різання виконують у такій послідовності. Вибирають глибину різання t_z таких міркувань, щоб весь припуск на обробку зняти за один прохід, якщо чистова обробка не потрібна. Якщо після чорнової обробки проводять чистову обробку для досягнення потрібної шорсткості поверхні і точності, то припуск слід видаляти при мінімальній кількості проходів, залишаючи для чистового точіння невеликий припуск.

Подачу S визначають після встановлення максимально можливої глибини різання. З метою підвищення продуктивності процесу різання і одночасного зменшення машинного часу треба встановлювати максимальну технологічно допустиму подачу, яка залежить від таких основних чинників: необхідної чистоти і точності оброблюваної поверхні; міцності і жорсткості виробу; потужності верстата; стійкості і жорсткості різця.

Швидкість різання вибирають після встановлення глибини різання і подачі. Оптимальну швидкість різання V_0 визначають за емпіричною формулою залежно від призначеної стійкості різального інструменту або за таблицями. Після цього визначають оптимальну частоту обертання деталі, xv^{-1} :

$$n = \frac{1000v_0}{\pi D},$$

де D — діаметр заготовки, мм.

Якщо верстат такої частоти обертання не має, то вибирають меншу, близьку за значенням згідно з паспортом верстата.

Питання для самоконтролю

1. Основні види обробки металів різанням?
2. Типи стружок під час різання?
3. Головний рух?
4. Елементи режиму різання?
5. Кути прохідного токарного різця?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 341-359;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 94-116.

ЛЕКЦІЯ 21

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МЕХАНІЗМИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

План

- 1) Класифікація металорізальних верстатів.
- 2) Позначення металорізальних верстатів.
- 3) Приводи, ряди частот обертання шпинделя.
- 4) Передачі і механізми верстатів.
- 5) Кінематична схема верстата.
- 6) Паспорт верстата. Монтаж і випробування верстатів.

1) Класифікація металорізальних верстатів

Металорізальні верстати призначені для обробки різанням металів та інших конструкційних матеріалів з метою надання оброблюваним деталям потрібної форми, розмірів і шорсткості поверхні.

За рівнем спеціалізації верстати поділяють на універсальні, спеціалізовані і спеціальні. Універсальні призначені для виконання різноманітних операцій на

різних деталях. Застосовують їх в одиничному і малосерійному виробництві. *Спеціалізовані* використовують у серійному виробництві для обробки однотипних деталей різних розмірів. *Спеціальні* призначені для обробки певної деталі, такі верстати використовують у масовому виробництві.

За прийнятою класифікацією, розробленою Експериментальним науково-дослідним інститутом металорізальних верстатів (ЕНДІМВ), залежно від характеру виконуваних робіт і типу різальних інструментів усі металорізальні верстати поділяють на 9 груп (табл. 7.1).

Кожна група верстатів, у свою чергу, поділяється на 10 типів, а кожен тип — на типорозміри. Тип верстата характеризується такими основними ознаками:

- ♦ технологічним призначенням (круглошліфувальні, плоскошліфувальні);
- ♦ конструктивними особливостями (універсально-поздовжньо-фрезерні);
- ♦ розміщенням робочих органів у просторі (горизонтально-свердлильні);
- ♦ кількістю головних робочих органів верстата (одношпиндельні і багатошпиндельні);
- ♦ ступенем автоматизації (звичайні, напівавтомати, автомати).

Кожен тип верстата поділяється на типорозміри.

Залежно від точності встановлено п'ять класів верстатів: Н — нормальної точності, П — підвищеної точності, В — високої точності, А — особливо високоточні і С — надзвичайно точні (прецизійні) верстати призначені для виготовлення деталей високої точності для верстатів А і В.

Клас точності верстата, крім нормального, вказують після індексу його моделі, наприклад 16K20В — токарно-гвинторізний верстат високої точності.

Верстати класів А, В і С для забезпечення високої точності мають експлуатуватися в спеціальних термоконстантних приміщеннях, в яких потрібно підтримувати постійну температуру і вологість.

За масою верстати поділяють на легкі (до 0,5 т), середні (до 4 т), нормальні (до 10 т), великі (до 30 т), важкі (до 100 т) і унікальні (понад 100 т).

3) Позначення металорізальних верстатів

Прийнята класифікація дає змогу присвоювати кожному верстату індекс моделі з трьох або чотирьох цифр, іноді з додаванням літер, якими позначають додаткову характеристику верстата. Перша цифра вказує номер групи верстата, друга — тип верстата у цій групі, третя або третя і четверта цифри разом характеризують типорозмір чи основний параметр обробки.

Таблиця 7.1. Класифікація металорізальних верстатів

Верстати	Група	Тип									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарні	1	Автомати і напівавтомати			Токарно-револьверні	Токарно-револьверні напівавтомати	Карусельні	Токарні і лобові	Багато-різцеві і копіювальні	Спеціалізовані	Інші токарні
		спеціалізовані	одношпиндельні	багатшпиндельні							
Свердлильні і розточувальні	2	—	Вертикально-свердлильні	Напівавтомати		Координатно-розточувальні	Радіально-свердлильні	Розточувальні	Викінчу-вально-розточувальні	Горизонтально-свердлильні	Інші свердлильні
				одношпиндельні	багатшпиндельні						
Шліфувальні, полірувальні, довідні, заточувальні	3	—	Круглошліфувальні, безцентровошліфувальні	Внутрішньошліфувальні, координатношліфувальні	Обдирношліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	—	Заточувальні	Плоскошліфувальні	Притиральні, полірувальні хонінгувальні, довідні	Інші верстати, що працюють абразивним інструментом
Електрофізичні і електрохімічні	4	—	—	Світлопроменеві	—	Електрохімічні	—	—	Електроерозійні, ультразвукові, прошивальні	Анодно-механічні, відрізні	—

Верстати	Група	Тип									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зубо- і різьбонарізні	5	Різьбонарізні	Зубодовбальні для циліндричних коліс	Зубонарізні для конічних коліс	Зубонарізні для циліндричних коліс і шліцювальних валів	Для нарізування черв'ячних коліс	Для обробки торців зубів коліс	Різьбофрезерні	Зубовікінчувальні, обкатні	Зубо-різьбошліфувальні	Інші зубо-різьбообробні
Фрезерні	6	Барабанно-фрезерні	Вертикально-фрезерні консольні	Фрезерні безперервної дії	Поздовжні одностоякові	Копіювальні і гравіювальні	Вертикально-фрезерні безконсольні	Поздовжні двостоякові	Консольно-фрезерні операційні	Горизонтально-фрезерні консольні	Інші фрезерні
Стругальні, довбальні, протяжні	7	—	Поздовжні		Поперечно-стругальні	Довбальні	Протяжні горизонтальні	Протяжні вертикальні для протягування		—	Інші стругальні
			одностоякові	двостоякові				внутрішнього	зовнішнього		
Розрізні	8	—	Відрізні працюючі			Правильно-відрізні	Пилки			—	—
			різцем	шліфувальним кругом	гладеньким або насиченим диском		стрічкові	дискові	ножівкові		
Різні	9	—	Трубо- і муфтообробні	Пилко-насічні	Правильно- і безцентрово-обдирні	—	Для випробування інструментів	Ділильні машини	Балансувальні	—	—

Примітка. Резервні групи 0 і 4 призначені для верстатів, які працюють за новими технологічними методами.

Для токарних верстатів ці цифри означають висоту центрів; для револьверних верстатів і токарних автоматів — максимальний діаметр оброблюваного прутка; для свердлильних верстатів — найбільший діаметр отвору, який можна просвердлити одним свердлом на цьому верстаті в сталі середньої твердості. У фрезерних та шліфувальних остання цифра — умовний розмір стола.

Наприклад, індекс 2Н135 означає: 2 — свердлильний; 1 — вертикальний; 35 — найбільший діаметр отвору, який можна просвердлити у сталі середньої твердості; літера Н означає модернізацію верстата базової моделі 2135. Алфавітний порядок літер відповідає числу модифікацій. Літера, яка стоїть в кінці номера, означає модифікацію (видозміни) базової моделі. Наприклад, індекс вертикально-фрезерного верстата — 6Н12, але на базі цієї моделі створений копіювально-фрезерний верстат і верстат з програмним керуванням, яким відповідно і присвоєний індекс 6Н12К і 6Н12Ф1.

У моделях верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у кінці шифру вводять літеру Ф з цифрою: Ф1 — верстати з цифровою

індексацією і попереднім набором координат; Ф2 — з позиційною системою керування; Ф3 — з контурною системою; Ф4 — з універсальною системою для позиційної і контурної обробки, наприклад індекс 16K20Ф3 — токарно-гвинторізний верстат з висотою центрів 200 мм і контурною системою програмного керування.

4) Приводи, ряди частот обертання шпинделя

Приводом називають сукупність пристроїв, які передають рух від джерела руху до робочих органів верстата.

У сучасних металорізальних верстатах як джерело руху застосовують один або кілька електродвигунів, тобто може бути індивідуальний привід головного руху, приводу подачі, привід допоміжних рухів. Приводи верстатів можуть бути механічними, гідравлічними й електричними.

Змінювати частоту обертання шпинделя верстата або подачу можна безступінчастим або ступінчастим регулюванням. При безступінчастому регулюванні можна дістати будь-яку частоту обертання в установлених межах, при ступінчастому — певний ряд чисел частоти обертання, які дають ступінчастий перепад. Безступінчастий спосіб регулювання забезпечує вибір найвигіднішої швидкості різання або подачі. При ступінчастому регулюванні здебільшого доводиться вибирати частоту обертання за хвилину або подачу, більшу або меншу за найвигідніші через відсутність у ряду потрібної частоти обертання або подачі.

У металорізальних верстатах ряд частот обертання із ступінчастим регулюванням становить геометричну прогресію із знаменником φ :

$$n_{\min} = n_1; n_2 = n_1 \varphi; n_3 = n_1 \varphi^2; \dots; n_{\max} = n_z = n_1 \varphi^{z-1},$$

де z — кількість різних швидкостей.

Діапазоном частоти обертання шпинделя називається відношення максимальної і мінімальної частот:

$$C = \frac{n_{\max}}{n_{\min}},$$

де C — діапазон регулювання частоти обертання шпинделя; $n_{\max}$ — максимальна частота обертання шпинделя, хв^{-1} ; $n_{\min}$ — мінімальна частота обертання шпинделя, хв^{-1} .

Для токарних, фрезерних, розточувальних верстатів $C = 50 \dots 100$; свердлильних $C = 15 \dots 30$, шліфувальних $C = 1 \dots 3$. Чим більший діапазон частот обертання шпинделя, тим універсальніший верстат (дає змогу обробляти заготовки на режимах, близьких до розрахункових).

Граничне значення частот обертання шпинделя (ходів повзуна) встановлюють, виходячи з умов обробки і граничнодопустимих швидкостей різання.

Перепадом A швидкості називають зміну її значення при переході від однієї частоти обертання до наступної.

Перепад A звичайно подають у відсотках:

$$A = \frac{\varphi - 1}{\varphi} 100 \%$$

Знаменники геометричного ряду ϕ і відповідні їм перепади стандартизовані:

ϕ	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,0
$A, \%$	5	10	20	30	40	45	50

Перепад A буде тим меншим, чим менший знаменник геометричної прогресії, а отже, менша різниця між значеннями n_1, n_2, n_3, n_4 і краще регулювання частоти обертання шпинделя.

Ступінчасте регулювання частоти обертання і подач металорізального верстата здійснюють за допомогою коробок швидкостей, змінних зубчастих коліс і електродвигунів з кількома різними частотами обертання.

Безступінчасте регулювання здійснюють за допомогою гідравлічного приводу, механічних безступінчастих варіаторів і електричного регулювання. Це дає змогу на ходу плавно змінювати частоту обертання або кількість ходів повзуна (стола) і точно встановлювати потрібну швидкість різання і подачу, тобто обробляти заготовки на розрахованих оптимальних режимах. Проте приводи з безступінчастим регулюванням швидкостей ускладнюють конструкцію і умови експлуатації верстатів, тому їх застосовують обмежено.

5) Передачі і механізми верстатів

Передачею називають механізм, що передає рух від одного елемента до другого. Найпоширенішими передачами, які застосовують у металорізальних верстатах, є: пасова, ланцюгова, ЗЗ'бчаста, черв'ячна, рейкова, гвинтова та ін. Елемент, який передає рух, називають ведучим, а який одержує рух — веденим.

Передатне відношення передачі i показує, у скільки разів частота обертання веденого вала більша чи менша від частоти обертання ведучого вала:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{d_1}{d_2},$$

де n_1, z_1, d_1 — відповідно частота обертання за хвилину, число зубів і діаметр ведучого елемента механізму; n_2, z_2, d_2 — те саме, для веденого елемента механізму.

Для зубчастих, ланцюгових, пасових передач передатне відношення визначається відношенням числа зубів (діаметра шківів) ведучого елемента до числа зубів (діаметра шківів) веденого елемента.

Пасова передача здійснюється плоскими, клиноподібними, а іноді й круглими пасами. Клинпасова передача характеризується плавністю руху й відсутністю ударів у роботі. Її можна застосовувати при малих відстанях між валами. Пасова передача використовується найчастіше для передавання руху від електродвигуна до приймального вала коробки швидкостей верстата (рис. 7.18, а).

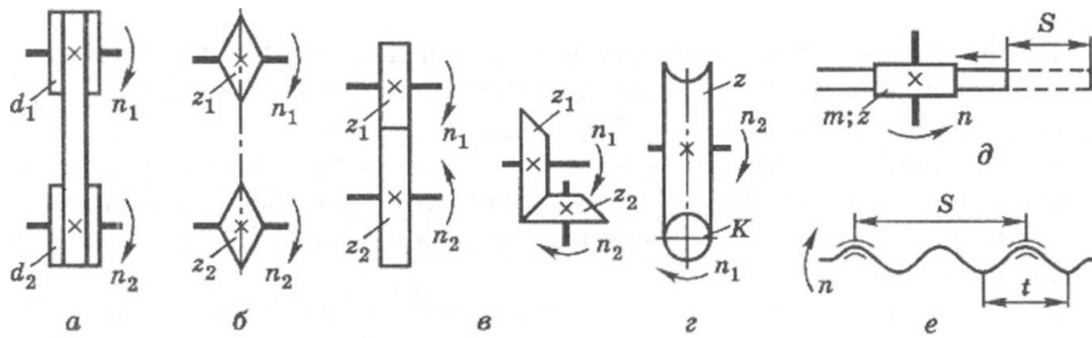


Рис. 7.18. Передачі в металорізальних верстатах

Передатне відношення пасової передачі

$$i = \frac{d_1}{d_2} \eta,$$

де $\eta = 0,96 \dots 0,99$ — коефіцієнт пробуксовування пасу. Отже, частота обертання веденого шківів — $n_2 = n_1 i \eta$

Ланцюгова передача (рис. 7.18, б) здійснюється за допомогою двох зірочок, закріплених на валах і з'єднаних гнучким ланцюгом. Передатне відношення

$$i = \frac{z_1}{z_2}.$$

Зубчаста передача (рис. 7.18, в) може бути з циліндричними або конічними колесами. Така передача дає змогу передавати значні потужності, забезпечує стале передатне відношення, має великий коефіцієнт корисної дії і широке застосування в сучасних металорізальних верстатах. Передатне відношення цієї передачі

$$i = \frac{z_1}{z_2}.$$

Черв'ячна передача (рис. 7.18, г) складається з черв'яка і черв'ячного колеса. Черв'як — це гвинт з трапецієподібним профілем різьби, однозахідний або багатозахідний.

Передачу руху здійснюють від черв'яка до черв'ячного колеса. Якщо черв'як однозахідний, то за один оберт його черв'ячне колесо повернеться на один зуб, якщо він двозахідний, — на два зуби. Передатне відношення черв'ячної передачі

$$i = \frac{k}{z},$$

де k — число заходів черв'яка; z — число зубів черв'ячного колеса.

Черв'ячна передача дає змогу одержувати малі передатні відношення.

Рейкову передачу (рис. 7.18, д) застосовують для перетворення обертального руху рейкового зубчастого колеса на поступальний рух рейки (або черв'яка і рейки). Шлях, пройдений рейкою,

$$S = tzn = \eta mzn,$$

де t — крок рейки, мм; z — число зубів рейкового зубчастого колеса; n — частота обертання колеса, хв^{-1} ; m — модуль колеса.

Гвинтова передача (рис. 7.18, е) складається з гвинта і гайки й призначена для перетворення обертального руху на поступальний.

Шлях, мм, пройдений гайкою, за n обертів гвинта з кроком P , мм, і числом заходів k , $S = nPk$.

Елементарні механізми верстатів. Для ступінчастої зміни частоти обертання шпинделя верстата або подачі широко застосовують коробки із зубчастими передачами — коробки швидкостей і коробки подач.

Змінні зубчасті колеса (рис. 7.19, а) дають змогу передавати рух від вала I до вала II . При заміні коліс або взаємній заміні місць вал II обертатиметься з іншою частотою. Кожна пара змінних коліс може мати два різних передатних

відношення: $i_1 = \frac{z_1}{z_2}$ або $i_2 = \frac{z_2}{z_1}$.

При передаванні руху за допомогою двох пар змінних коліс (рис. 7.19, б)

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{z_3}{z_4}.$$

Для введення в зачеплення різних змінних коліс палець 1 переміщують в пазу 2 гітари 3 і закріплюють у потрібному положенні. Гітара 3 може повертатися навколо осі вала II .

Пересувні блоки зубчастих коліс (рис. 7.19, в). Уздовж осі шліцьового вала I можуть переміщуватися блоки зубчастих коліс z_1 - z_3 та z_5 - z_7 - z_9 і зачіплюватися відповідно із зубчастими колесами z_2 , z_4 , z_8 , z_{10} , нерухомо закріпленими на валу II . Ця передача широко застосовується в коробках швидкостей і коробках подач металорізальних верстатів. При використанні цих двох блоків вал II одержить п'ять значень частот обертання з передатними відношеннями:

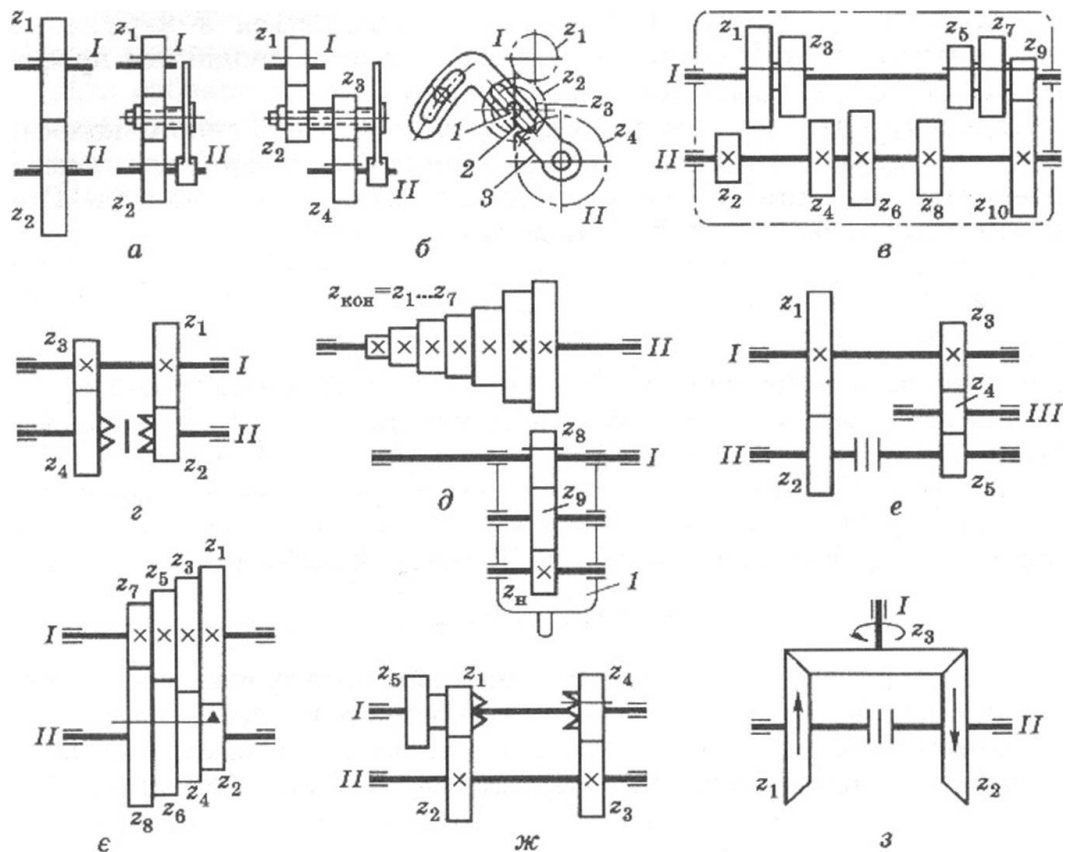


Рис. 7.19. Елементарні механізми верстатів

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; i_2 = \frac{z_3}{z_4}; i_3 = \frac{z_5}{z_6}; i_4 = \frac{z_7}{z_8}; i_5 = \frac{z_9}{z_{10}}.$$

Передача за допомогою кулачкових і фрикційних муфт (рис. 7.19, з). На валу I нерухомо закріплено зубчасті колеса z_1 і z_3 , які перебувають у постійному зачепленні із зубчастими колесами z_2 і z_4 , вільно надітими на вал II. При вмиканні кулачкової або фрикційної муфти вправо або вліво вал II набуває двох різних частот обертання. Фрикційні муфти дають змогу переключати верстат на ходу.

Передача з накидним зубчастим колесом (рис. 7.19, д) або механізм Нортон. Зубчасті колеса z_1 - z_7 закріплені на валу II за допомогою шпонки. Вздовж вала II разом із важелем 1 і зубчастими колесами z_n і z_9 може перемішуватися на ковзній шпонці зубчасте колесо z_8 . Накидне колесо z_n може з'єднуватися із будь-яким із зубчастих коліс z_1 - z_7 поворотом важеля 1 навколо осі вала II і переміщенням важеля вздовж цієї осі. При цьому можна одержати сім різних частот обертання вала II. Кожне переміщення координує спеціальний фіксатор. Такі передачі застосовують здебільшого в коробках подач.

Передача з висувною шпонкою (рис. 7.19, е). На ведучому валу I шпонкою закріплено зубчасті колеса z_1, z_3, z_5, z_7 . Вони перебувають у постійному зачепленні з зубчастими колесами z_2, z_4, z_6, z_8 які вільно сидять на валу II.

Кожне із зубчастих коліс z_2, z_4, z_6, z_8 може бути з'єднане з валом II ковзною висувною шпонкою, яка переміщується в шпонковому пазі вала II .

Механізм перебору (рис. 7.19, ж) працює так. Колесо яке має привід від z_5 , може передавати цей привід шпинделю I через перебор з передатним відношенням $(z_1/z_2)(z_3/z_4)$ або безпосередньо, якщо перемістити колесо z_4 ліворуч, ввівши в зачеплення торцеві кулачки півмуфт. Перебор призначений для різкого зменшення частоти обертання шпинделя і збільшення крутного моменту.

Реверсні ліхнізи призначені для зміни напрямку руху. На рис. 7.19, е зображено реверсний механізм з циліндричними зубчастими колесами і муфтою. Залежно від того, ввімкнена муфта вправо або вліво, рух вала I на вал II передається через зубчасті колеса (z_1/z_2) або $(z_3/z_4)(z_4/z_5)$ і напрямок обертання вала II змінюється.

На рис. 7.19, з зображено реверсний механізм з конічними зубчастими колесами. Колеса z_1 і z_2 , що вільно сидять на валу II , перебувають у постійному зачепленні з конічним колесом z_3 . Залежно від ввімкнення муфти вправо або вліво зміниться і напрямок обертання вала II при незмінному напрямку обертання ведучого вала I з колесом z_3 .

Механізми переривчастого руху. Переривчастими рухами є, наприклад, рух подачі в стругальних, довбальних і шліфувальних верстатах, повороти револьверних головок, шпиндельних блоків та інші рухи у верстатах-автоматах і напіваавтоматах. З механізмів переривчастого руху найпоширенішими є храпові, мальтійські і кулачкові.

Храповий механізм при обертанні кривошипа O_1A (рис. 7.20, а) через шатун AB коливальний рух передається важелю BO_2 , на якому шарнірно закріплена собачка C . При повертанні важеля ліворуч собачка впирається в зуб храповика Z і повертає його; при повертанні праворуч собачка вільно перескакує через зуби храповика.

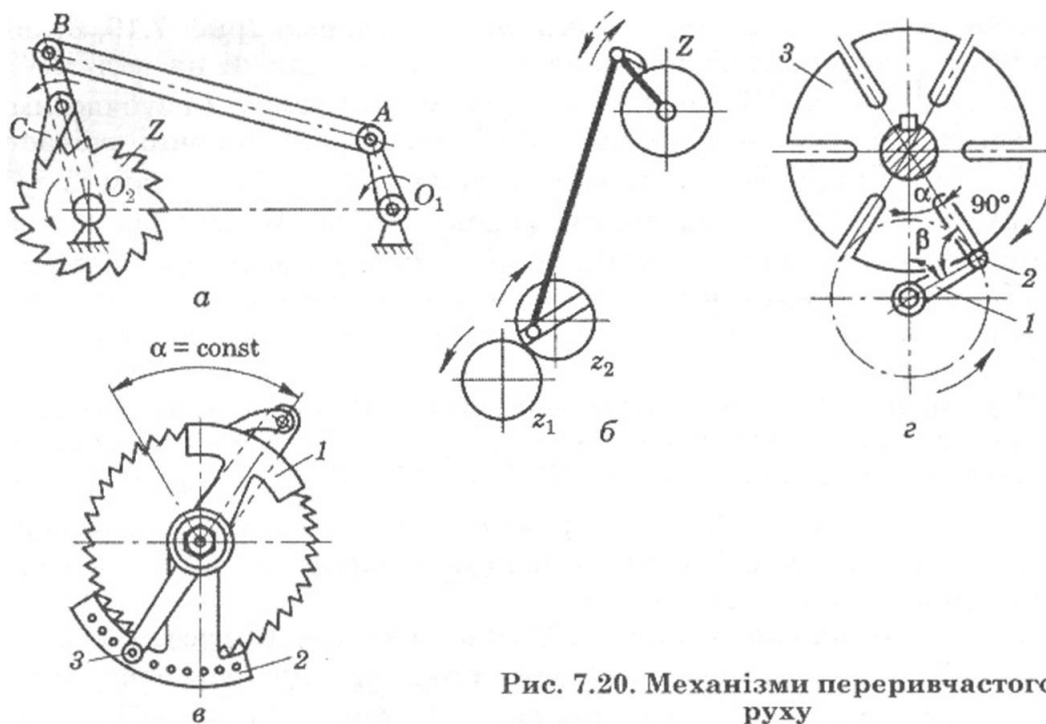


Рис. 7.20. Механізми переривчастого руху

Амплітуда руху регулюється зміною кута коливання важеля при перестановці шатуна в прорізі колеса z_2 (рис. 7.20, б) або при незмінному куті коливання важеля поворотом щитка 1 (рис. 7.20, в), що забезпечує захоплення собачкою більшої або меншої кількості зубів у середині кута α . Щиток у певному положенні утримується стопором 3, вставленим в один із отворів нерухомого сектора 2.

Мальтійський механізм (рис. 7.20, г) застосовують для повороту на постійний кут. При обертанні водила 1 палець 2 входить у паз мальтійського хреста 3 і повертає його на $1/z$, де z — кількість пазів мальтійського хреста. Щоб обертання відбувалося без ударів, треба дотримуватися рівності $\alpha + \beta = 90^\circ$.

Механізми прямолінійного руху. Для перетворення обертального руху на прямолінійний у верстатах використовують такі механізми: гвинтовий, рейковий, з хиткою кулісою, черв'ячно-рейковий.

6) Кінематична схема верстата

Кінематична схема — це умовне зображення всіх механізмів верстата, які передають рух від електродвигуна до робочих і допоміжних органів. Зображуючи кінематичні схеми металообробних верстатів, користуються умовними позначеннями механізмів, які наведено в табл. 7.2.

Кінематична схема дає наочну характеристику взаємозв'язку всіх вузлів верстата і дає змогу визначити передатне відношення, частоту обертання шпинделя, подачу і коефіцієнт корисної дії верстата, а також визначити окремі кінематичні ланцюги і дістати певні уявлення про роботу як окремих елементів, так і верстата в цілому.

У металорізальних верстатах розрізняють такі основні кінематичні ланцюги: головного руху; руху подачі; допоміжних рухів.

Рівняння кінематичного балансу. Рівняння, яке об'єднує розрахункові переміщення кінцевих ланок кінематичного ланцюга, називається рівнянням кінематичного ланцюга, або рівнянням кінематичного балансу. Передатне відношення кінематичного ланцюга дорівнює добутку передатних відношень усіх ланок, які входять у цей ланцюг:

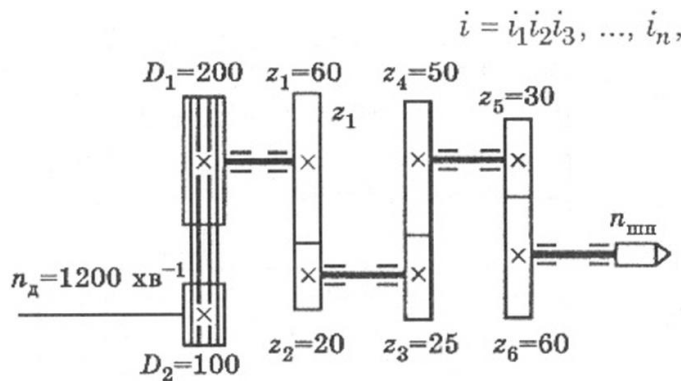


Рис. 7.21. Кінематична схема

де $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$ — передатне відношення окремих пар (передач), що входять у ланцюг.

Приклад 7.3. Визначити частоту обертання шпинделя $n_{\text{шп}}$ за схемою, наведеною на рис. 7.21.

Розв'язання. Частота обертання шпинделя, хв^{-1} :

$$n_{\text{шп}} = n_d i_1 i_2 i_3 i_4 = n_{\text{дв}}, \quad \frac{D_1}{D_2} \eta \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_3}{Z_4} \frac{Z_5}{Z_6} = 1200 \frac{100}{200} 0,98 \frac{60}{20} \frac{25}{50} \frac{30}{60} = 441,$$

де n_d — частота обертання шківа головного приводу.

Таблиця 7.2. Основні умовні позначення в кінематичних схемах

Назва механізму	Позначення	Назва механізму	Позначення
Вал, вісь		Передачі зубчасті циліндричні:	
Радіальний підшипник ковзання і кочення (без уточнення типу)		з прямими і гвинтовими зубами	
Підшипник ковзання радіальний		без уточнення типу зубів	
Підшипник кочення: радіальний			
роликовий			
радіально-упорний			
упорний			
З'єднання деталі з валом:		Передача зубчаста конічна	
вільне			
рухоме без обертання		Передача черв'ячна	
за допомогою витяжної шпонки			
глухе			
Муфти фрикційні:		Передачі рейкові з прямими, гвинтовими і шевронними зубами	
конусна			
конусна двобічна			
дискова			
Шків на валу:		Передача гвинтом і гайкою:	
робочий		нерознімною	
холостий		рознімною	
ступінчастий			
Передача клиноподібним пасом		Рукоятка	
		Маховичок	
Передача плоским пасом		Кінці шпинделів верстатів:	
		токарних	
		свердлильних	
Передача ланцюгова		фрезерних	
		шліфувальних	

7) Паспорт верстата. Монтаж і випробування верстатів

Паспорт верстата — технічний документ, який дає відповідь на всі запитання щодо верстата.

Паспорти бувають скорочені і повні. Скороченим паспортом користуються технологи і нормувальники при розробленні технологічних процесів.

Повний паспорт складається на заводі виготовнику і охоплює такі розділи: «Загальні відомості про верстати», де зазначено тип верстата, модель, завод виготовник, основні габаритні розміри, клас точності, рік випуску, масу; «Основні технічні дані», а саме: висота, міжцентрова відстань, діаметр отвору

шпинделя, номер конуса в пінолі задньої бабки; «Приводи», де зазначено привід верстата, тип приводу, потужність і частоту обертання, основні розміри привідних елементів; пристрої, які додаються до верстата (люнети, шліфувальні головки, планшайба, центри); механізм головного руху верстата, відомість про частоту обертання шпинделя і схема; механізм подачі (всі дані і схема керування).

Фундамент забезпечує рівномірний розподіл навантаження від маси верстата і деталі на ґрунт, гасить коливання. Верстати нормальної точності до 2 т встановлюють на бетонну підлогу завтовшки 150...250 мм або бетонні плити площею 4х4 м і завтовшки до 300 мм.

Верстати високої точності, а також верстати, які працюють з великими динамічними навантаженнями, встановлюють на окремі фундаменти у вигляді монолітних бетонних блоків завтовшки 500...600 мм для верстатів до 10 т і 1000...1500 мм для верстатів понад 10 т. Розміри фундаментів зазначено у паспорті верстата.

Монтаж верстатів. Від правильного встановлення верстата на фундаменті залежить точність його роботи, жорсткість і вібростійкість (частота власних коливань фундаменту має на 40 % перевищувати власні коливання верстата).

При встановленні верстата на фундаменті з точністю, яка зумовлена умовами експлуатації, застосовують регулювальні пристрої у вигляді клина, башмаків, металевих підкладок різної товщини. Змонтований верстат перевіряють рівнем у двох взаємно перпендикулярних площинах. Точність перевірки в поздовжньому напрямку має становити 0,02...0,04 мм на 1000 мм, а в поперечному 0,03...0,05 мм на 1000 мм. Потім верстат закріплюють. Кріплення верстатів на фундаментах виконують фундаментними болтами з заливанням бетоном (рис. 7.22, а), на клинові регулювальні опори (рис. 7.22, б) і пружні гумово-металеві опори (рис. 7.22, в).

Випробування верстата. Основним видом випробування нових і капітально відремонтованих верстатів є приймальне випробування, яке проводиться з метою перевірки якості виготовлення деталей і механізмів верстата, системи

мащення і охолодження, а також щоб виявити, чи можна виготовити на цьому верстаті деталі заданої точності, шорсткості, відповідної геометричної форми.

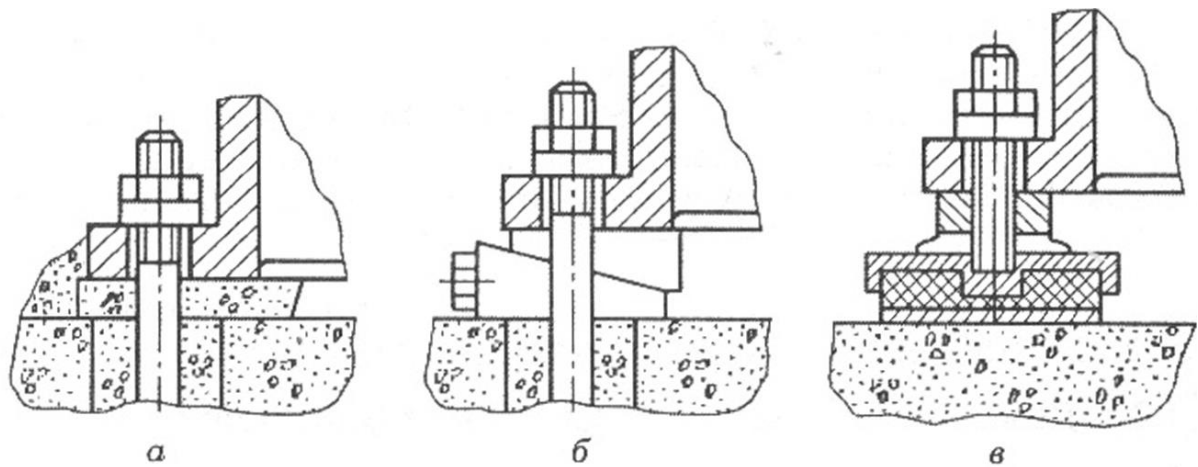


Рис. 7.22. Кріплення верстатів

Для перевірки роботи всіх механізмів і паспортних даних верстата спочатку випробовують на холостому ходу, а потім в роботі під навантаженням при обробці зразків, при навантаженні верстата до номінальної потужності і при короткочасному перевантаженні на 25 %, а також на продуктивність. Після цього верстат перевіряють на геометричну точність, на шорсткість поверхні і точність обробленої деталі. Крім цього, верстати випробовують на жорсткість і вібростійкість. Перед випробуванням верстат встановлюють на опори фундаменту з вивіркою за рівнем у поздовжньому і поперечному напрямках, але болти бетоном ще не заливають.

Питання для самоконтролю

- 1.Класифікація металорізальних верстатів?
- 2.Клас точності верстата?
- 3.Розшифрувати марку верстата 2Н135;16к20?
- 4.Паспорт верстата?
- 5.Передачі і механізми верстатів?
- 6.Передаточне відношення?

Література.

- 1)В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 360-374;
- 2)В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 94-116.

ЛЕКЦІЯ 22 ОБРОБКА НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

План

- 1) Призначення токарних верстатів та їх основні типи.
- 2) Токарно-гвинторізний верстат 16K20.
- 3) Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата 16K20.
- 4) Токарні різці та їх застосування.
- 5) Пристрої до токарних верстатів.
- 6) Основні роботи, які виконують на токарних верстатах.

1) Призначення токарних верстатів та їх основні типи

Токарні верстати одержали широке застосування після винаходу Андрієм Нартовим (1680 - 1756) механічного супорта.

У колишньому СРСР у 1932 р. було освоєно виробництво токарних + верстатів з коробкою швидкостей. Верстат називався ДПП («Догнать и перегнать СИЛА»). На заміну ДППу прийшов верстат 1А62, а з 1957 р. московський завод «Красный пролетарий» почав випускати верстати 1К62, безперервно вдосконалюючи його конструкцію.

З 1972 р. завод серійно виготовляє верстати 16K20. За потужністю і швидкохідністю, точністю обробки та зручністю обслуговування верстат 16K20 належить до кращих верстатів світового класу і є базовою моделлю для виготовлення інших марок верстатів. В Україні перші верстатобудівні заводи були побудовані в Києві (1935 р., завод верстатів-автоматів) і Харкові.

Застосування токарних верстатів. На токарних верстатах обробляють різні поверхні тіл обертання: циліндричні, конічні й фасонні, як зовнішні, так і внутрішні, а також площини, перпендикулярні до осі обертання заготовки. Крім того, на токарно-гвинторізних верстатах можна нарізувати різцем (мітчиком, плашкою) різьби на циліндричних і конічних поверхнях, а також спіральні канавки на торцевих площинах заготовок. Головним рухом у токарних верстатах є обертання заготовки, закріпленої в шпинделі; інструмент закріплений у супорті, здійснює прямолінійний, поздовжній або поперечний рух подачі. Залежно від технологічних можливостей, конструктивного компонування, ступеня автоматизації та деяких інших чинників випускаються різні типи токарних верстатів (див. табл. 7.1).

Основні типи токарних верстатів. З усіх типів токарних верстатів на машинобудівних заводах, ремонтних майстернях і господарствах найчастіше використовують верстати шостої групи, тобто токарно-гвинторізні (рис. 7.23). Залежно від висоти центрів H над станиною їх поділяють на малі ($H < 150$ мм), середні ($H = 150...300$ мм) і великі ($H > 300$ мм). Найпоширенішими є середні, типовий представник яких — верстат 16K20 застосовують в індивідуальному і малосерійному виробництві. На його базі випускають кілька модифікацій: 16K20Г — з виїмкою у станині для обточування заготовок діаметром до 600 мм; 16K20П — підвищеного класу точності; 16K20Т1 — з числовим програмним керуванням. На моделі 16K20Т1 програма вводиться

відразу з пульта керування верстатом, програму складають за кілька хвилин. Це дає змогу використовувати такі верстати на невеликих підприємствах з малосерійним та індивідуальним виробництвом, а також на ремонтних заводах і в майстернях.

Точність верстата значною мірою залежить від жорсткості системи ВПД (верстат, пристрої, інструмент, деталь), а також від супорта. Наприклад, супорт, який виготовив слюсар А.М. Іванов, мав вигляд важільного механізму зі спарених пантиграфів, підвищує точність верстата у 30 разів.

Токарно-гвинторізні верстати мають однотипне компонування, яке розглянемо на прикладі моделі 1К62 (рис. 7.23), де зображено основні вузли верстата.

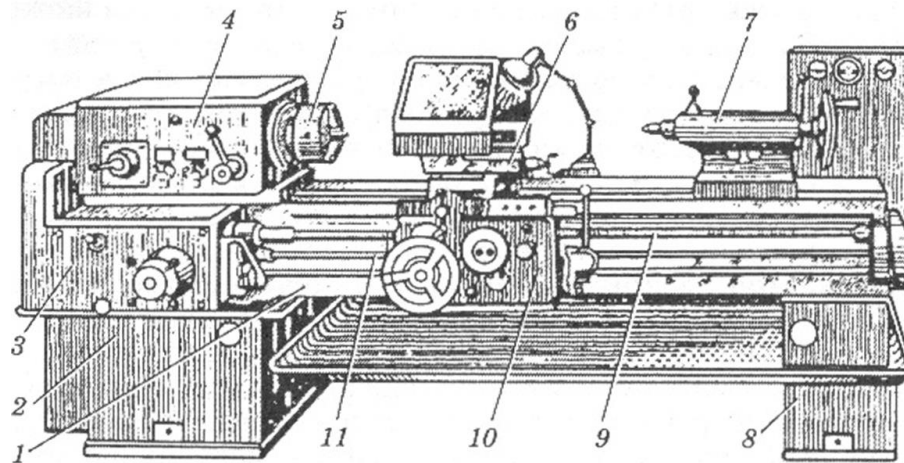


Рис. 7.23. Токарно-гвинторізний верстат 1К62

Станина 1, яку встановлено на передній 2 і задній 8 тумбах, несе на собі всі основні вузли верстата. Зліва на станині розміщено передню бабку 4. В ній знаходиться коробка швидкостей зі шпинделем. На передньому кінці шпинделя закріплено патрон 5. Справа на станині встановлено задню бабку 7. Її можна пересувати вздовж напрямних станини і закріплювати залежно від довжини деталі на потрібній відстані від передньої бабки. Різальний інструмент закріплюють у різцетримачі 6 або в пінолі задньої бабки. Поздовжня і поперечна подача супорта здійснюється за допомогою ходового вала 11, через механізм фартуха 10, а при нарізуванні різьби (метричної, модульної, пітчевої, однозахідної, багатозахідної, правої, лівої) — ходовим гвинтом 9. Подачу супорта встановлюють налагодженням коробки подач 3.

У нижній частині станини є піддон, куди збирається стружка і стікає мастильно-охолодна рідина.

Токарно-револьверні верстати належать до спеціалізованих і застосовуються у серійному виробництві для обробки деталей складної конфігурації, коли використовують велику кількість різних інструментів. Зовнішні поверхні обробляють різцями різних типів, а внутрішні — різцями, свердлами, зенкерами, мітчиками та ін. Інструмент завчасно виставляють на розмір і встановлюють у гніздах обертової шестигранної поворотної револьверної головки 1 (рис. 7.24, а), яку розміщено на поздовжньому супорті 2. При повороті головки інструмент послідовно включається в роботу, залежно від виду операції автоматично змінюється частота обертання шпинделя 3 і подача. Інструмент для обробки зовнішніх поверхонь кріпиться у різцетримачі супорта 4, який може одержувати поздовжнє і поперечне переміщення. Вертикальне розміщення шестипозиційної револьверної головки мають верстати 1Е365Б, 1П326.

Верстати з горизонтальною віссю револьверної головки (рис. 7.24, б) менш поширені. Універсальним верстатом з горизонтальним розміщенням револьверної головки є верстат моделі 1Г340.

Токарно-револьверні верстати набагато продуктивніші від звичайних токарних, оскільки у них істотно зменшується як допоміжний (за рахунок автоматичної зміни інструменту, швидкості і подачі), так і основний (машинний) час.

Лоботокарні і карусельні верстати призначені для обробки деталей порівняно великого діаметра і малої довжини. У лоботокарних верстатах немає задньої бабки, а заготовка встановлюється на планшайбі великого діаметра.

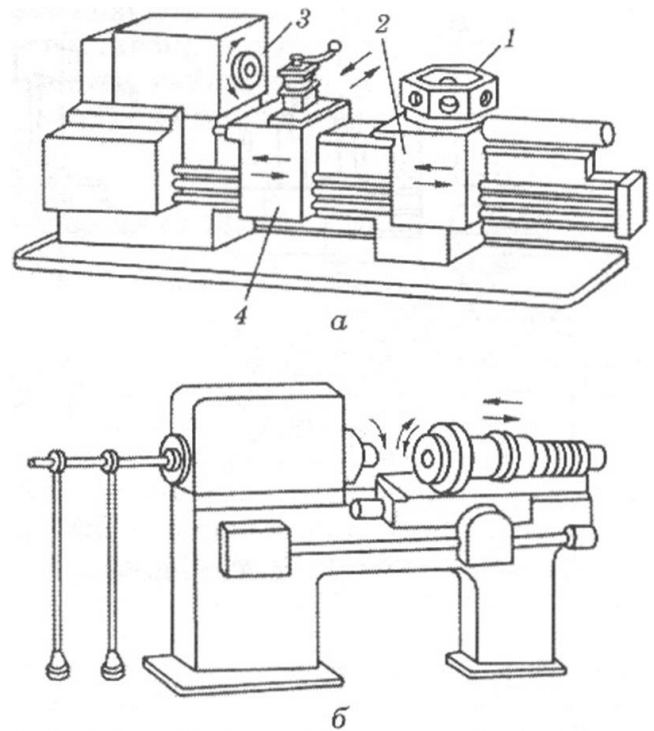


Рис. 7.24. Токарно-револьверні верстати з вертикальним (а) і горизонтальним (б) розміщенням револьверної головки

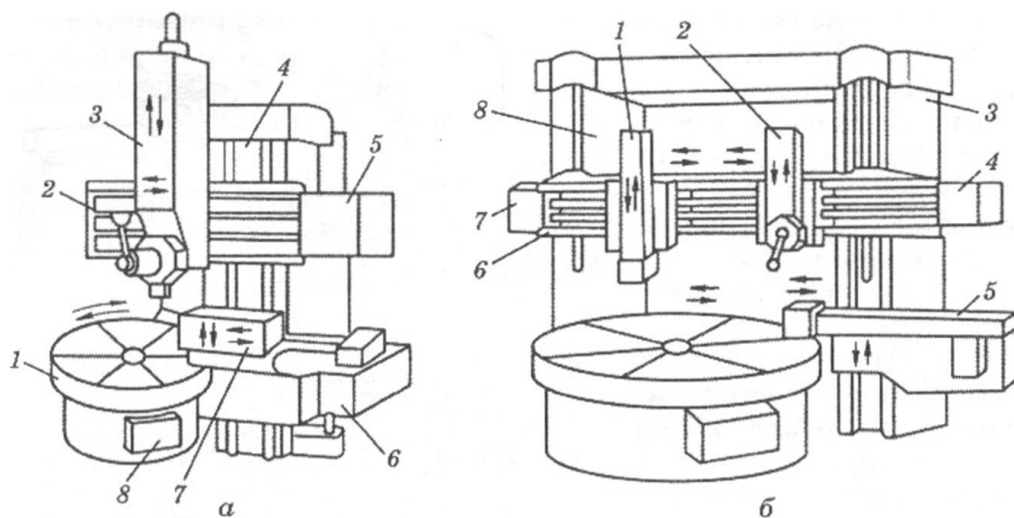


Рис. 7.25. Токарно-карусельні верстати:
а — одностоякові; б — двостоякові

В одностоякових токарно-карусельних верстатах (рис. 7.25, а) деталь встановлюють на планшайбі 1, яка одержує обертовий рух від коробки швидкостей 8. По вертикальних напрямних стояка 4 рухається траверса 2 з горизонтальними напрямними. По них від коробки подач 5 рухається супорт 3 з різцетримачем револьверного типу. Крім цього верстат має ще й боковий супорт 7, який отримує рух від коробки подач 6.

Двостоякові карусельні верстати (рис. 7.25, б) призначені для обробки великих за розміром заготовок (діаметр планшайби до 25 м) і відзначаються високою жорсткістю за рахунок рамкового компонування. Вертикальні супорти 1 і 2 переміщуються по напрямних поперечини 6, яку встановлюють під час налагодження по висоті за рахунок переміщення по напрямних стояків 3 і 8. Верстати можуть оснащуватись одним або двома боковими супортами 5. Коробки подач 4 і 7 призначені для переміщення вертикальних супортів.

Токарні напівавтомати та автомати дедалі більше застосовуються в машинобудуванні. Напівавтомати — верстати, в яких усі робочі рухи автоматизовані, а вручну виконують тільки пуск і зупинення верстата, встановлення заготовки і зняття деталі. Автоматами називають такі верстати, на яких після їх налагодження всі операції виконуються автоматично, без участі працівника, який лише періодично завантажує заготовки, прутки.

Токарні напівавтомати застосовують для обробки в основному штучних заготовок (поковок, відливок), а на автоматах з прутків прокату виготовляють болти, гвинти, гайки, втулки та ін.

Токарні напівавтомати і автомати поділяють на одношпиндельні і багатошпиндельні

2)Токарно-гвинторізний верстат 16K20

Призначення основних частин верстата (рис. 7.27).

Станина 1 призначена для закріплення на ній нерухомих і переміщення по ній рухомих частин верстата. Її виготовляють у вигляді жорсткої чавунної балки коробчастої форми із загартованими шліфованими напрямними, по яких переміщується супорт і задня бабка.

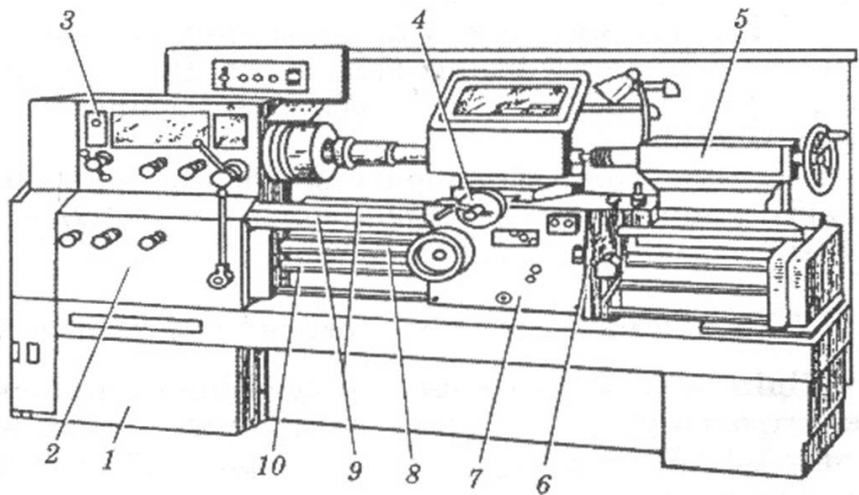
Передня бабка 3 закріплена на лівому боці станини. В її корпусі розміщена коробка швидкостей, механізми якої змінюють частоту обертання шпиндельного вала. Шпиндельний вал призначений для закріплення заготовки і надання їй головного (обертального) руху. Шпиндель має наскрізний поздовжній отвір, крізь який можна пропускати заготовку у вигляді прутка діаметром до 50 мм. Зовні на передній частині шпинделя є різьба, яка призначена для закріплення кулачкового або повідкового патрона.

Задня бабка 5 розміщена на станині з правого боку і призначена для підтримання за допомогою центра другого кінця довгої заготовки, а також для закріплення в конічному отворі пінолю свердла, зенкера або розвертки при обробці отворів. Задню бабку можна вручну переміщувати вздовж напрямних станини і швидко закріплювати на ній поворотом рукоятки.

Корпус задньої бабки за допомогою двох гвинтів можна зміщувати відносно плити в поперечному напрямку на будь-яку величину в межах ± 15 мм. Таке зміщення проводять при настроюванні верстата на точіння довгих конічних зовнішніх поверхонь.

Рис. 7.27. Токарно-гвинторізний верстат 16K20:

- 1 — станина; 2 — коробка подач; 3 — передня бабка; 4 — поперечний супорт з різцетримачем; 5 — задня бабка; 6 — каретка; 7 — фартух; 8 — ходовий гвинт; 9 — напрямні станини; 10 — ходовий вал



У корпусі бабки розміщується піноль, у конусний отвір якого вставляють центр або інструмент для обробки отворів. Піноль із закріпленим інструментом можна переміщувати в поздовжньому напрямку обертанням маховичка, а для механізованої подачі у задній бабці є пристрій зачеплення з супортом.

Коробка подач 2 призначена для одержання потрібної подачі і кроку різьби. Вона розміщена спереду на станині верстата, нижче від передньої бабки. Коробки подач сучасних токарно-гвинторізних верстатів дають змогу

одержувати поздовжні й поперечні подачі в широкому діапазоні і зручні в експлуатації.

Супорт 4 призначений для переміщення різця, закріпленого у різцетримачі. Нижня частина супорта, яку називають поздовжніми полозками, або кареткою, переміщується при поздовжній подачі ($5_{\text{позд}}$) по напрямних станини. Каретка має напрямні, по яких при поперечній подачі ($5_{\text{поп}}$) рухається поперечна каретка (поперечні полозки). На поперечній каретці встановлений поворотний круг, який дає змогу повертати верхню каретку під будь-яким кутом і закріплювати її в цьому положенні. Поворотний круг має напрямні для переміщення верхньої каретки при обробці конічних поверхонь. На верхній каретці встановлений чотирипозиційний різцетримач.

Фартух 7 прикріплений до нижньої площини поздовжніх полозків супорта. В ньому розміщений механізм, який перетворює обертальний рух, що передається ходовому валу або ходовому гвинту від коробки подач, на поздовжній (поперечний) рух супорта, а також механізми ручної подачі.

При нарізуванні різьби вмикають розсувну гайку і тоді подача здійснюється за допомогою ходового гвинта. Рукоятки вмикання приводу від ходового гвинта і вала заблоковано так, що увімкнути подачу супорта можна тільки тоді, коли розсувна гайка вимкнена, а ввімкнути розсувну гайку можна лише тоді, коли подача супорта від ходового вала вимкнена.

У фартуху змонтовано також механізми для прискореного переміщення супорта у різних напрямках. Прискорене переміщення застосовують тільки при холостих переміщеннях супорта або поперечних полозків.

Ходовий гвинт 8 використовують для переміщення супорта при нарізуванні різьби, а *ходовий вал 10* — у всіх інших випадках для механізованого переміщення супорта.

3) Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата 16K20

Здійснення головного руху. Шпиндель дістає обертання від електродвигуна ($N = 10$ кВт, $n = 1450$ хв⁻¹) через клинопасову передачу 148/268 і коробку швидкостей (рис. 7.28). Муфта M_1 призначена для вмикання, вимикання; змінює напрямок обертання шпинделя.

Рух від електродвигуна на шпиндель може передаватися двома кінематичними ланцюгами:

- ♦ коротким (без перебору), що дає 12 вищих ступенів частот обертання шпинделя:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{56}{51} \frac{29}{38} \frac{21}{38} \frac{55}{47} \frac{30}{60} \frac{60}{48};$$

- ♦ довгим (з перебором), що дає ще 12 частот обертання:

- ♦ довгим (з перебором), що дає ще 12 частот обертання:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{56}{51} \frac{34}{39} \frac{29}{38} \frac{47}{38} \frac{15}{45} \frac{60}{45} \frac{18}{22} \frac{30}{60}.$$

Отже, шпindel верстата одержує 24 значення частот обертання. Практично, шпindel має 22 частоти обертання, оскільки значення частот $n = 500 \text{ хв}^{-1}$ і $n = 630 \text{ хв}^{-1}$ повторюються двічі.

Пересуванням муфти M_u по валу I праворуч і з'єднанням її з зубчастим колесом $z = 50$ здійснюють реверсування обертання шпинделя. Тоді обертання з вала I на вал II передається через зубчасті колеса $50/24$, $36/38$, і він одержує зворотне обертання, яке передається на шпindel. Усього може бути 12 варіантів частот зворотного обертання шпинделя.

Частоту обертання шпинделя $n_{\text{шп}}$ визначають за рівнянням кінематичного

$$n_{\text{шп}} = n_e \eta_{i_{\text{ш.п}}} i_1 i_2 i_3 i_4 i_5,$$

балансу:

де n_e — частота обертання якоря електродвигуна; $i_{n,n}$ — передатне відношення пасової передачі; η — коефіцієнт ковзання пасової передачі; $i_1, i_2, \dots, i_5$ — передатне відношення зубчастих коліс, через які передається рух шпинделя.

Верстат налагоджують на частоту обертання шпинделя згідно з розрахованими і вибраними режимами різання. Згідно з паспортними даними верстат 16K20 має такі частоти обертання шпинделя, хв^{-1} : 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Найбільша частота обертання шпинделя буде тоді, коли передача руху здійснюватиметься без перебору, при вмиканні в зачеплення зубчастих коліс, передатне відношення яких має найбільше значення:

$$n_{\text{max}} = 1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{56}{34} \frac{38}{38} \frac{60}{48} = 1600 \text{ хв}^{-1}.$$

Найменшу частоту обертання шпиндель одержить при передаванні руху через перебір, коли в зачепленні ввімкнені зубчасті колеса з найменшими передатними відношеннями (таке вмикання на схемі):

$$n_{\text{min}} = 1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{51}{39} \frac{21}{55} \frac{15}{60} \frac{18}{72} \frac{30}{60} = 12,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Привід подач складається із ланки збільшення кроку, механізму реверса, гітари змінних коліс, коробки подач і механізму передач фартуха. Розрізняють три види подач супорта: 1 — поздовжня подача при точінні; 2 — поперечна подача при точінні і 3 — поздовжня подача при нарізуванні різьби. Відповідно до цих трьох подач у верстаті 16K20 є три кінематичні ланцюги подач. На валу $VIII$ коробки швидкостей розміщений рухомий блок $B5$. При зачепленні зубчастого колеса 60 цього блоку з зубчастим колесом 60, закріпленим на шпинделі вал $VIII$ матиме частоту обертання таку саму, як і шпindel. У цьому разі ланка збільшення кроку не ввімкнена і така передача застосовується при

поздовжньому і поперечному точінні, а також при нарізуванні різьби з кроком до 12 мм.

Перемішують блок 60 - 45 на валу VIII так, щоб його зубчасте колесо 45 вступило у зачеплення із зубчастим колесом 45, закріпленим на валу III. Ланка збільшеного кроку має три передатні відношення:

$$i_1 = \frac{60}{30} \frac{45}{45} = 2; \quad i_2 = \frac{60}{30} \frac{72}{18} \frac{45}{45} \frac{45}{45} = 8; \quad i_3 = \frac{60}{30} \frac{72}{18} \frac{60}{15} \frac{45}{45} = 32.$$

Тому частота обертання вала VIII буде у 2, 8, 32 рази більшою від частоти обертання шпинделя і подачі супорта збільшаться в стільки ж разів порівняно з тими подачами, які є при передачі валу VIII руху від зубчастого колеса 60, закріпленого на шпинделі VI. Переміщення блока Б₅ праворуч називають вмиканням ланки збільшення кроку. Таке вмикання здійснюють при нарізуванні різьби з кроком 8... 192 мм.



Коробка подач має дві основні кінематичні схеми. Одна призначена для нарізування дюймових різьб (16 варіантів):

$$\frac{28}{28} \frac{38}{34} \frac{\frac{25}{30} \frac{30}{42}}{\frac{35}{28}} \frac{30}{33} \frac{\frac{18}{45} \frac{15}{48}}{\frac{28}{35}} \frac{15}{35} \frac{48}{28} \cdot \frac{28}{28}$$

Друга кінематична схема призначена для нарізування метричних різьб (16 варіантів):

$$\frac{28}{28} \frac{42}{28} \frac{\frac{30}{25} \frac{30}{42}}{\frac{35}{28}} \frac{18}{28} \frac{\frac{18}{45} \frac{15}{48}}{\frac{35}{28}} \frac{15}{35} \frac{48}{28} \cdot \frac{28}{28}$$

У першому випадку ходовий гвинт одержує рух, коли муфти M_2, M_3 і M_4 увімкнені, а M_5 вимкнена. В другому випадку муфта M_2 вимкнена, а муфти M_3-M_5 увімкнені. Другу схему використовують також для одержання поздовжньої і поперечних подач, при цьому обертання з вала XVIII на ходовий вал передається через зубчасті колеса (23/40) (24/39) (28/35). Муфта M_5 вимкнена. *Механізм фартуха.* При точінні поздовжнє і поперечне переміщення супорт одержує від ходового вала XXII. Через зубчасті колеса (30/32) (32/32) (32/30), запобіжну муфту M_n і черв'ячну пару 4/21 приводиться у рух зубчасте колесо $z = 36$. Від цього зубчастого колеса рух на рейкове колесо $z = 10$ при ввімкненій муфті M_8 передається через передачі (36/41) (17/66), буде ввімкнена права подача, а при ввімкненій муфті M_7 через передачу (36/41)(17/61) — ліва подача. Поперечна подача (правий або лівий хід) вмикається муфтами M_9 або M_{10} . При цьому рух гвинта поперечної подачі передається через передачу (36/36)(34/55)(55/29)(29/16) (увімкнена муфта M_9) або (36/36) (36/36) (34/55) (55/29) (29/16) (увімкнена муфта M_{10}). Наявність у коробці подач муфти обгону M_6 дає змогу надавати супорту прискореного руху від вмонтованого електродвигуна M_2 через клинопасову передачу (127/85).

Кінематичний ланцюг подачі, який зв'язує шпindel з ходовим валом, має забезпечувати за один оберт шпинделя переміщення супорта на величину подачі 5. Відповідно рівняння кінематичного балансу для цього ланцюга має вигляд, мм/об,

$$i_{\text{об.шп}} i_{\text{пост}} i_{\text{рев}} i_{\text{гит}} i_{\text{к.п}} i_{\text{ф}} \pi m z = S,$$

де $i_{\text{пост}}$, $i_{\text{рев}}$, $i_{\text{гит}}$, $i_{\text{к.п}}$, $i_{\text{ф}}$ — передатне відношення відповідно постійної передачі, реверсивного механізму, гітари змінних коліс, коробки подач і механізму фартуха; m — модуль рейкового колеса; z — число зубів рейкового колеса.

Загальне рівняння кінематичного ланцюга прямих поздовжніх подач при положенні блока зубчастих коліс B_5 таке:

$$i_{\text{об.шп}} \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{40}{86} \frac{86}{64} \frac{28}{28} \frac{\frac{30}{25} \frac{42}{30}}{\frac{25}{35} \frac{28}{28}} \frac{18}{28} \frac{15}{35} \frac{48}{28} \times \\ \times \frac{23}{40} \frac{24}{39} \frac{28}{35} \frac{30}{32} \frac{32}{32} \frac{4}{30} \frac{36}{21} \frac{17}{41} \frac{1}{66} \pi 10 \cdot 3 = S \text{ мм/об.}$$

Нарізування різьби. Рівняння кінематичного ланцюга від шпинделя до ходового гвинта при нарізуванні різьби складається з умови, щоб за один оберт шпинделя супорт з різцем перемістився вздовж осі заготовки на крок P нарізуваної різьби (при однозахідній різьбі).

Для нарізування метричної різьби зі стандартним кроком P рівняння кінематичного ланцюга має такий вигляд:

$$i_{\text{об.шп}} \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{40}{86} \frac{86}{64} \frac{28}{28} \frac{\frac{30}{25} \frac{42}{30}}{\frac{28}{35} \frac{28}{28}} \frac{18}{28} \frac{15}{35} \frac{48}{28} 12 = P.$$

Для нарізування дюймової різьби з кроком P , м (для дюймової різьби $P = 25,4/K$, де K — кількість ниток на 1") рівняння ланцюга має вигляд

$$i_{\text{об.шп}} \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{40}{86} \frac{86}{64} \frac{28}{34} \frac{\frac{30}{25} \frac{42}{30}}{\frac{35}{28} \frac{33}{28}} \frac{18}{28} \frac{15}{35} \frac{48}{28} 12 = P.$$

При нарізуванні різьби з підвищеною точністю рух на ходовий гвинт передається напрямку, тобто коробка подач вимкнена, а муфти M_2 і M_5 увімкнені. Тоді рівняння матиме вигляд

$$i_{\text{об.шп}} \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{K}{L} \frac{L}{N} 12 = P, \text{ звідки } \frac{K}{L} \frac{M}{N} = \frac{P}{8}.$$

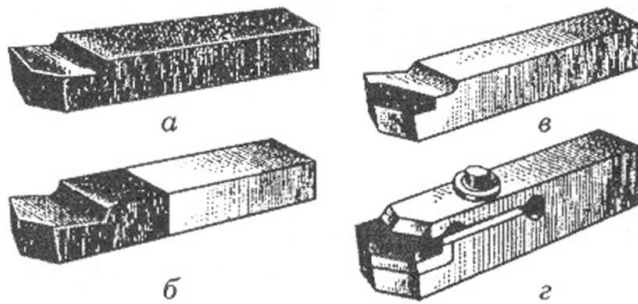


Рис. 7.30. Способи кріплення різальної частини різців:

a — суцільний; *б* — зварений; *в* — з напаяною пластиною; *г* — з механічним кріпленням пластини

На шпиндельній бабці верстата розміщено таблицю частот обертання шпинделя, подач і кроків нарізуваних різьб та положення важелів механізмів вмикання для одержання відповідних параметрів: частоти, подачі, кроку.

4)Токарні різці та їх застосування

Класифікація токарних різців. Для обробки заготовок на токарних верстатах застосовують різноманітні різці, які класифікують за такими ознаками.

За розміщенням головної різальної кромки різці поділяють на праві і ліві. Правим називають різець 2 (рис. 7.29), у якого головна різальна кромка міститься з боку великого пальця правої руки, покладеної долонею на різець так, щоб пальці були спрямовані до вершини різця. Під час точіння такими різцями (9 або 11) стружка із заготовки зрізується справа наліво. Лівим називають різець 1, у якого головна різальна кромка міститься з боку великого пальця лівої руки, покладеної на різець так, щоб пальці були спрямовані до вершини різця. На верстаті ліві різці 1 і 4 працюють при подачі зліва направо.

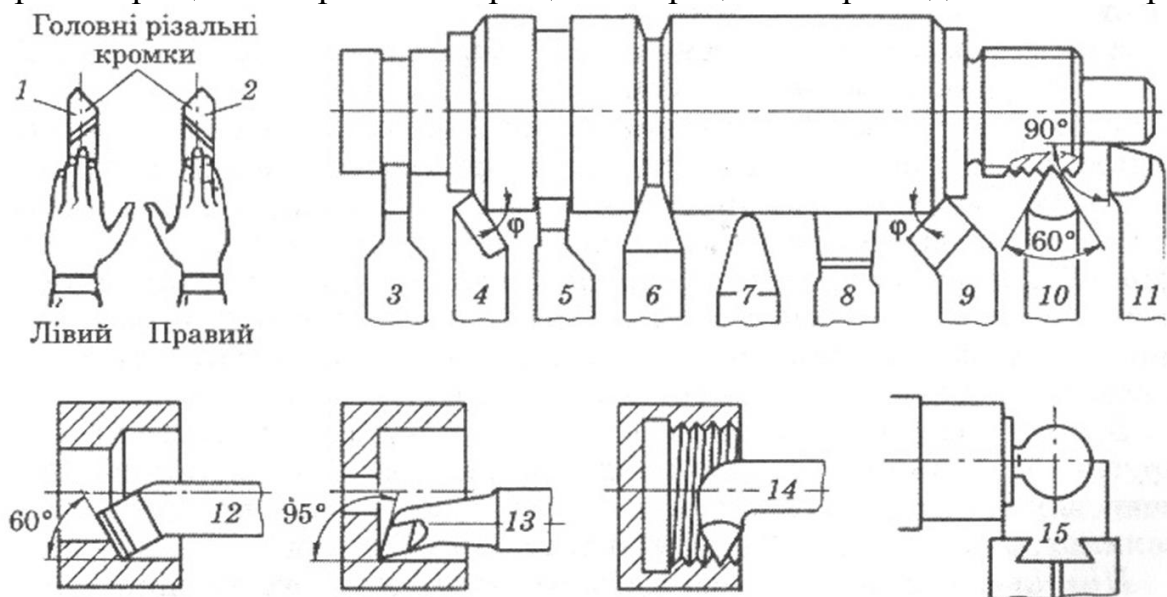


Рис. 7.29. Типи токарних різців

За розміщенням осі головки різця в плані відносно його тіла розрізняють різці прямі 1-8, 10, 11, 15 і відігнуті 9, 12, 13, 14.

За матеріалом різальної частини розрізняють різці зі швидкорізальної сталі, твердосплавні, мінералокерамічні і алмазні.

За конструкцією різці поділяють на суцільні і складені. Суцільний різець виготовляють з одного шматка інструментальної сталі, а в складеного різальну частину виконують у вигляді пластини з відповідного матеріалу (рис. 7.30). Пластину з'єднують механічно, зварюванням або паянням з державкою різця, яку виготовляють з конструкційної вуглецевої сталі (найчастіше сталі 40). Пластинки роблять різної форми залежно від призначення (трикутні, чотирикутні, шестикутні, круглі).

За призначенням (за видом обробки) токарні різці поділяють на прохідні, підрізні, відрізні, розточні, різьбові, фасонні, канавкові.

За характером обробки розрізняють обдирні (чорнові) і чисто в і різці.

Застосування токарних різців. *Прохідні різці* призначені для обточування зовнішніх поверхонь. Прохідні прямі різці з головним кутом у плані ($\phi = 90^\circ$) при незмінному їх положенні в супорті застосовують для обробки зовнішніх, наприклад циліндричних (див. рис. 7.29, різець 11), або торцевих поверхонь. Прохідний відігнутий різець більш універсальний, оскільки ним можна обробляти циліндричну поверхню (різець 9) і підрізувати торець. Прохідні упорні різці 11 часто застосовують для обробки ступінчастих валиків або інших деталей, у яких обробка циліндричної поверхні має бути закінчена підрізанням невеликого уступу.

Для чистової обробки застосовують різці двох типів: різці 7 із закругленою вершиною і широкі чистові різці 8 з прямолінійною головною різальною кромкою. Перші застосовують для порівняно невеликих, а другі — для великих поверхонь заготовок.

Підрізні різці призначені для обробки торцевих площин (див. рис. 7.35, е).

Відрізні різці 3 (див. рис. 7.29) застосовують для розрізування металу. Довжина головки цих різців має бути дещо більшою за радіус розрізуваної заготовки. Товщину головки роблять такою, що зменшується в напрямку до тіла різця, щоб зменшити тертя між допоміжними різальними кромками різця і торцевими площинами, які утворюються при розрізуванні металу.

Розточувальні різці призначені для розточування наскрізних і глухих отворів. Для розточування наскрізних отворів застосовують різці 12 з кутом $\phi = 60^\circ$, а для розточування глухих отворів — різці 13 з кутом $\phi = 95^\circ$.

Різьбові різці 10 і 14 застосовують для нарізування на заготовках відповідно зовнішніх і внутрішніх різьб. Форма різальної частини різця має відповідати формі профілю нарізуваної різьби. Наприклад, головні різальні кромки різця 10 для нарізування метричної трикутної різьби заточують під кутом 60° .

Фасонними різцями 15 обробляють фасонні поверхні. Профіль різальної кромки фасонного різця має відповідати профілю оброблюваної поверхні. Фасонні різці заточують тільки по передній поверхні, тому профіль різальної кромки після заточування залишається незмінним.

Канавкові різці застосовують для нарізування канавок різного профілю: прямокутних (різець 5), трапецієподібних (різець 6) та ін.

Надтверді композиційні матеріали для виготовлення різального інструменту. Залежно від вихідної сировини надтверді матеріали поділяють на три основні групи. До першої групи належать полікристали на основі алмазу — АРВ, АРК, АРС, дісміт, СКМ та ін., до другої — на основі кубічного нітриду бору — ельбор-Р, ПТНБ, ісміт, белбор, гексаніт-Р та ін. Третю групу становлять матеріали, які містять як алмаз, так і нітриди бору, карбіди, тугоплавкі сполуки — це діамет, алмет, компакс.

Композит 01 (ельбор-Р) випускають у вигляді циліндра діаметром 3,5...4,2 мм і заввишки 4 мм. Застосовують для різців і фрез при обробці загартованих конструкційних, легованих і швидкорізальних сталей з твердістю 48...62 НКС і високоміцних чавунів. При обробці ельбором-Р якість обробленої поверхні забезпечується краще, ніж при шліфуванні, оскільки зменшуються мікротріщини і припали.

Композит 10 (гексаніт-Р) випускають у формі циліндрів діаметром 6,5 і заввишки 6 мм. Різці і збірні фрези з гексаніту-Р призначені для обробки сталей У8, ШХ15 і чавунів з 46...48 НКС.

Алмет випускають у вигляді заготовок діаметром 12,5 і заввишки 4 мм, які призначені для виготовлення різальних інструментів.

Синтетичні і природні алмази застосовують для обробки кольорових металів, їхніх сплавів та кераміки. АРВ — синтетичний полікристалічний алмаз типу «баллас»; АРК — типу «карбонадо». При обробці вуглецевих сталей алмазні інструменти менш ефективні через дифузію вуглецю.

ПТНБ — полікристали твердого нітриду бору — ефективніші при обробці незагартованих сталей, ніж ельбор-Р, але непридатні для обробки сталей, які містять силіцій, ванадій, хром і нікель через підвищену їх в'язкість.

Пластинки різної форми із надтвердих матеріалів закріплюють в оправках на державках різців і каркасах фрез механічним способом, паянням або склеюванням. Для склеювання застосовують клей холодного тверднення марки КХТ-2 або гарячого тверднення ВК-13М. Недолік склеювання — це обмеження робочої температури експлуатації до 600 °С. Високі різальні властивості надтвердих композиційних матеріалів зумовлені тим, що вони мають твердість 400...465 МПа, тобто у 2...4 рази вищу, ніж у твердих сплавів; високу теплостійкість (1100... 1300 °С); хімічно-інертні до більшості сплавів залізо — вуглець; здатністю різальної кромки до само загострення.

Сили різання при обробці заготовок інструментом значно нижчі (в 10 разів), ніж при різанні інструментом з інших матеріалів. Тому особливо ефективно застосовувати різці з композитів при різанні важкооброблюваних сталей і сплавів (загартованих швидкорізальних, неіржавних, жаростійких), а також чавуну.

5) Пристрої до токарних верстатів

Для закріплення оброблюваних заготовок на токарних верстатах і надання їм обертального руху застосовують різні пристрої. Найчастіше застосовують кулачкові патрони, планшайби, центри, лонети.

Патрони і планшайби. Найпоширеніші *трикулачкові самоцентрувальні патрони* (рис. 7.31, *а*). Такий патрон складається з порожнистого корпусу 1, всередині якого є диск 2. На одному боці диска нарізано зуби конічного зубчастого колеса, а на другому — плоску спіраль 3 Архімеда з прямокутним перерізом канавки. З конічним зубчастим колесом диска 2 у постійному зачепленні перебувають три невеликих конічних зубчастих колеса 5. Кожне з цих коліс можна повертати за допомогою торцевого ключа, який вставляють у квадратне заглиблення, що є в хвостовику колеса. В корпусі патрона прорізано три радіальних пази, де розміщені кулачки. На кожному кулачку нарізано спіральну рейку, виступи якої входять у канавки спіралі диска 2. Якщо обертати будь-яке зубчасте колесо 5, обертається диск 2 і розміщена на його торці спіраль залежно від напрямку її обертання одночасно переміщує всі три кулачки до осі патрона або від неї. При такому русі кулачків відбувається центрування і закріплення заготовки одночасно. В корпусі патрона можна встановлювати прямі 6 або зворотні 4 кулачки. Прямі кулачки 6 застосовують для закріплення заготовок за зовнішні або внутрішні циліндричні або багатогранні поверхні з кількістю граней, кратною трьом. Зворотні кулачки 4 застосовують для закріплення за зовнішню циліндричну або багатогранну поверхню деталей типу диска, у яких товщина значно менша за діаметр.

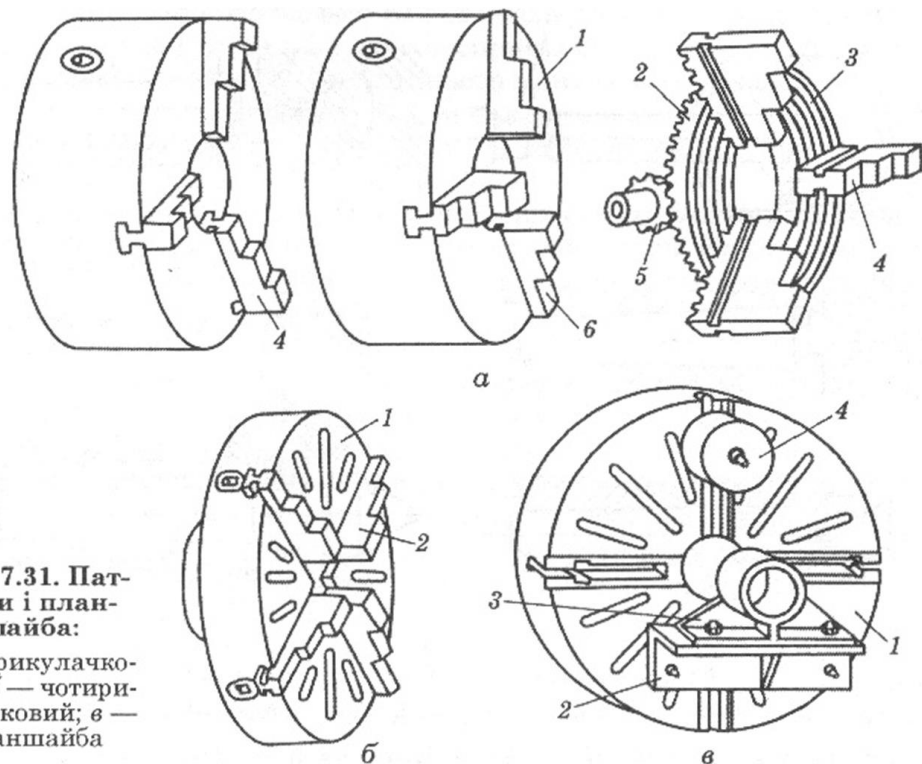


Рис. 7.31. Патрони і планшайба:

а — трикулачковий; *б* — чотирикулачковий; *в* — планшайба

Чотирикулачковий несамоцентрувальний патрон (рис. 7.31, б) складається з масивного корпусу 1 з чотирма радіальними пазами, в кожному з яких встановлено кулачок 2. Кулачки можна перемішувати в радіальному напрямку незалежно один від одного, тому в такому патроні можна закріплювати заготовки будь-якої форми.

Планишайба (рис. 7.31, в) — це масивний диск 1, який нагвинчують на шпindel верстата. У диску зроблено наскрізні пази, крізь які можна пропустити болти для закріплення заготовок або спеціальних пристроїв. На рис. 7.31, в показано планишайбу з прикріпленим до неї пристроєм — кутником 2, на якому закріплено заготовку підшипника 3. Для зрівноваження планишайби з пристроєм і заготовкою до неї прикріплюють вантаж-противагу 4.

Повідковий патрон (рис. 7.32, а). Для передачі обертання закріпленій у центрах заготовці на одному її кінці за допомогою болта в закріплюють хомутик 4. На шпindel верстата нагвинчують повідковий патрон 1, у диску якого закріплено палець 2. Повідковий патрон має запобіжний кожух 3. При обертанні повідкового патрона разом зі шпинделем палець 2 упирається в хомутик 4 і передає через нього обертання заготовці.

Центри (див. рис. 7.32) застосовують для закріплення довгих заготовок, наприклад валів. Один центр 7 (передній) вставляють у конічний отвір шпинделя, а другий 5 (задній) — у конічний отвір пінолю задньої бабки. В торцях заготовки попередньо свердлять центрові заглиблення, кут опорного конуса яких дорівнює куту опорної частини конуса центра. Для заготовок невеликої маси ці кути становлять 60° (рис. 7.32, б).

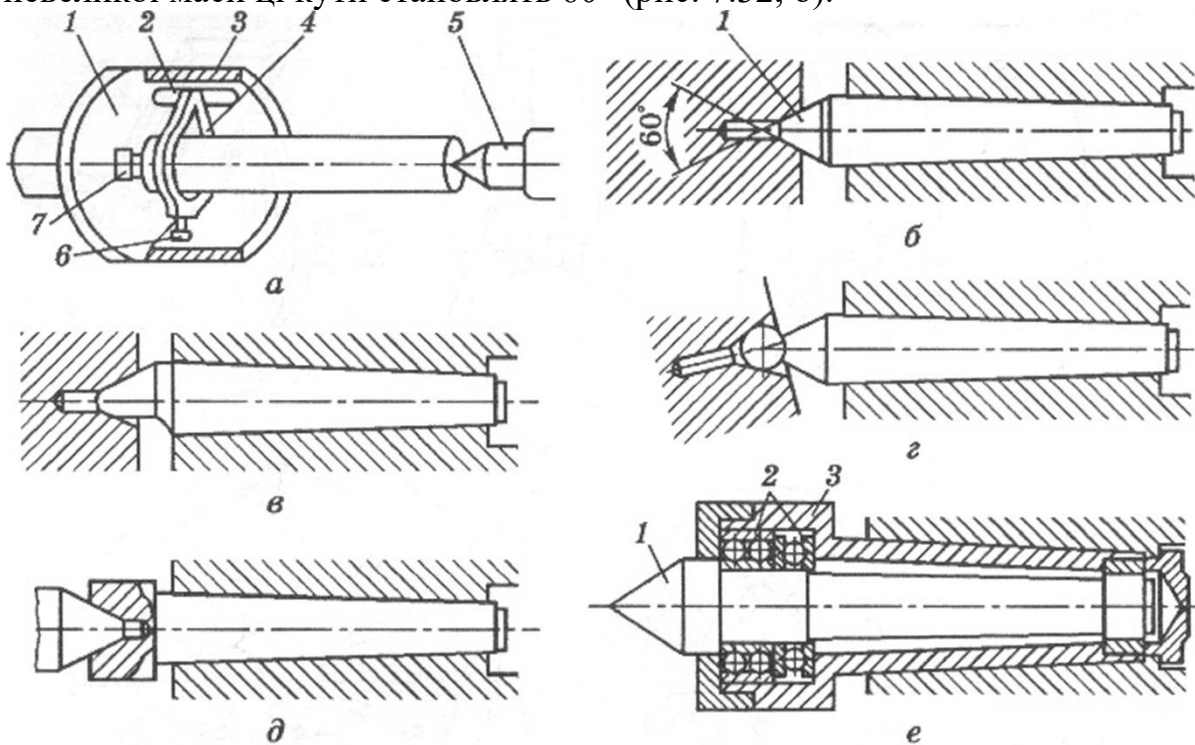


Рис. 7.32. Повідковий патрон (а) і центри:

б — простий; в — зрізаний; г — кульовий; д — зворотний; е — обертовий

Залежно від виконуваної роботи застосовують різноманітні центри: *прості* (див. рис. 7.32, б) — для обробки зовнішніх поверхонь заготовок і неповного підрізування торця; *зрізані* (рис. 7.32, в) — для повного підрізування торцевої площини; *кульові* (рис. 7.32, г) — для обробки конічних поверхонь зміщенням задньої бабки; *зворотні* (рис. 7.32, д) — для обробки заготовок малого діаметра, в яких не можна зробити центрові заглиблення (в цьому разі кінці заготовок роблять конічними); *обертові* (рис. 7.32, е) — для обробки заготовок з великою частотою обертання.

Передній центр обертається разом із заготовкою і спрацьовується повільно; нерухомий задній центр спрацьовується досить швидко. Для зменшення спрацювання заднього центра його робочу частину 1 (див. рис. 7.32, б) армують твердим сплавом або роблять його обертовим. Обертовий центр 1 (рис. 7.32, е) спирається на підшипники кочення 2, які встановлені в корпусі 3. Люнети — це додаткові опори, які застосовуються для зменшення прогинання довгих заготовок від власної ваги і сили різання. Довгими заготовками називаються такі, в яких відношення довжини заготовки до її діаметра становить більше ніж 12. Люнети бувають рухомі й нерухомі.

Рухомий люнет 4 (рис. 7.33, о) кріплять двома болтами 1 і 5 до супорта 2, тому під час обробки заготовки люнет переміщується разом із ним. Рухомий люнет має два кулачки 6, які за допомогою гвинтів 5 можна переміщувати в радіальному напрямку до стикання торцевої поверхні кожного кулачка з оброблюваною заготовкою 7. Різець у різцетримачі закріплюють попереду кулачків, щоб кулачки люнета ковзали по обробленій поверхні.

Нерухомий люнет (рис. 7.33, б) кріплять до станини за допомогою планки, болта і гайки 1. Він має три кулачки 3, кожен з яких за допомогою гвинтів 2 можна переміщувати незалежно один від одного в радіальному напрямку. Верхній кулачок разом із кришкою 5 люнета 7 можна повертати навколо горизонтальної осі 8 на 180° , що полегшує встановлення заготовки 6 на верстаті. Після встановлення заготовки кришку люнета повертають у робоче положення і скріплюють з корпусом люнета за допомогою болта і гайки 4. Поверхня заготовки 6, по якій ковзають кулачки нерухомого люнета, має бути попередньо оброблена.

Суцільні і розтискні оправки застосовують для закріплення заготовок типу втулок, кілець і стаканів, у яких оброблена внутрішня поверхня, і коли потрібно витримати співвідношення зовнішньої і внутрішньої поверхонь. На суцільних конічних оправках заготовка від провертання утримується за рахунок тертя спряжених поверхонь. На суцільній циліндричній оправці заготовка від провертання кріпиться гайкою. Заготовки, в яких різниця діаметрів отворів коливається в межах 0,5...1,5 мм, а також тонкостінні деталі закріплюються на розтискних оправках.

Центрозміщувачі застосовують у ремонтних майстернях для встановлення колінчастих валів і ексцентриків.

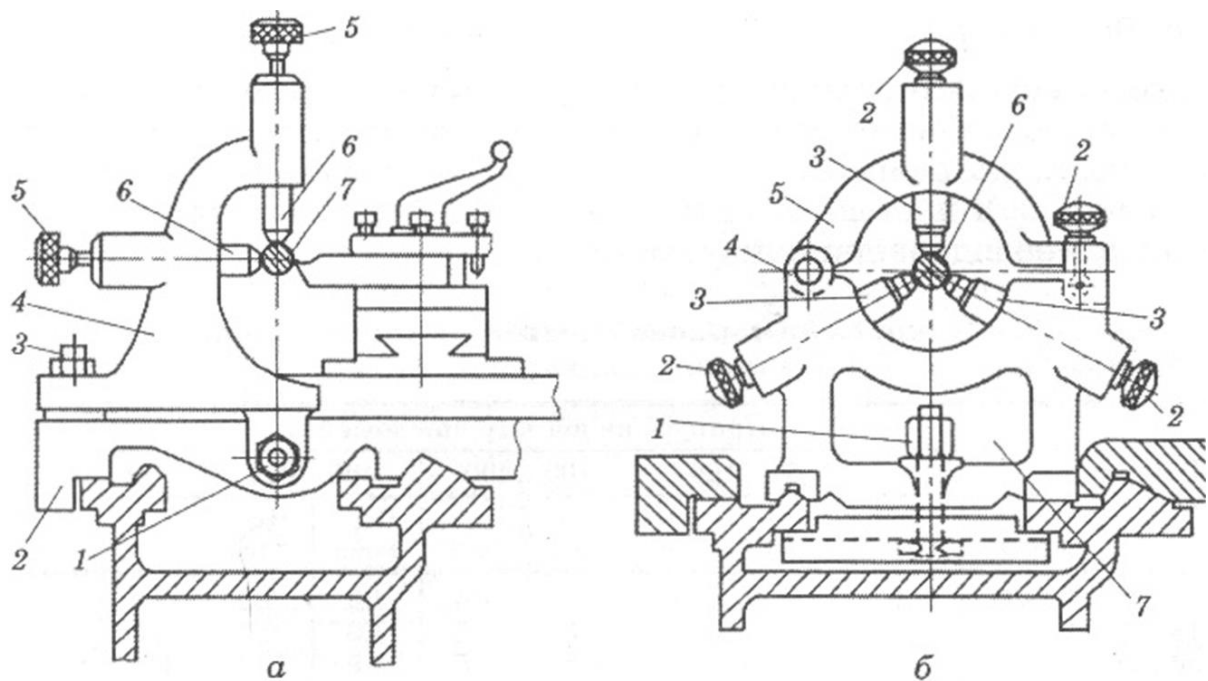


Рис. 7.33. Люнети:
а — рухомі; б — нерухомі

б) Основні роботи, які виконують на токарних верстатах

Обробка циліндричних поверхонь. Циліндричні поверхні обробляють при поздовжньому переміщенні супорта або різцевих полозків. Пристрої для закріплення заготовок вибирають залежно від їх форми і розмірів. Заготовки типу валів залежно від відношення їх

довжини до діаметра рекомендують кріпити так: при $\frac{l}{d} \leq 4$ — у пат-

роні; при $4 \leq \frac{l}{d} \leq 10$ — у центрах; при $\frac{l}{d} \geq 10$ — у центрах з додат-

ковою опорою заготовки на кулачки рухомого або нерухомого люнета.

Залежно від вимог, що ставляться до поверхні деталі, її точності і шорсткості, розрізняють такі види обробок: чорнове обточування, напівчистове і чистове, а також тонке (алмазне) точіння, для яких встановлено відповідні припуски (табл. 7.3).

Таблиця 7.3. Припуск на чорнове і чистове обточування валів з прокату, мм

Діаметр деталі	Припуск на діаметр при довжині									
	до 50		50...100		100...400		400...800		800...1000	
	Чор- нове	Чис- тове	Чор- нове	Чис- тове	Чор- нове	Чис- тове	Чор- нове	Чис- тове	Чор- нове	Чис- тове
8...18	2,0	1,0	3,0	1,2	3,5	1,5	4,0	1,5	—	—
18...30	2,5	1,0	3,5	1,5	3,5	1,5	4,0	2,0	4,5	2,0
30...50	3,0	1,2	4,0	1,5	4,5	1,5	5,0	2,0	6,0	2,5
80...120	4,5	1,5	5,5	2,0	6,0	2,0	7,0	2,5	7,5	2,5
120...200	5,0	1,5	6,0	2,0	7,0	2,5	7,5	2,5	8,5	3,0

Чорнове обточування застосовують для попередньої обробки і весь припуск знімають за один прохід. Точність обробки при цьому не перевищує 12 - 13-го квалітету і шорсткість обробленої поверхні $Ra = 20...80$ мкм.

Чистове обточування забезпечує точність розмірів до 6-го квалітету, а $Ra = 2,5...5,0$ мкм. Подача при чистовому обточуванні різцями із заокругленою різальною кромкою має бути невеликою ($S < 0,2$ мм/об), а при обточуванні широкими різцями може бути більшою ($S = 3...30$ мм/об, див. рис. 7.35, *д, е*).

Тонке (алмазне) обточування виконують після чистової обробки за таких режимів різання: глибина різання $t = 0,05...0,01$ мм, подача $S = 0,10...0,02$ мм/об, швидкість різання $80...300$ м/хв. Така обробка забезпечує точність до 5-го квалітету і $Ra = 0,63...2,50$ мкм.

Установлення різців на верстаті. Від способу установлення різців у різцетримачі залежить точність обробки, якість оброблюваної поверхні і продуктивність обробки. Для забезпечення жорсткості виступна частина різця (рис. 7.34, *а*) має бути якомога коротшою і не виступати з різцетримача більш як на 1,5 висоти H державки різця.

При чистовому обточуванні різець установлюють по центру оброблюваної заготовки або трохи нижче від центра. Величина, на яку опускають вершину різця відносно лінії центрів, не повинна перевищувати 0,01 діаметра оброблюваної заготовки. Для збігу різця з віссю центрів використовують прокладки (рис. 7.34, *б*).

Обробку площин, прорізування канавок і відрізування проводять, надаючи різцям поперечної подачі (рис. 7.35, *є, ж*). Площини обробляють прохідними відігнутими або підрізними різцями (рис. 7.35, *з, є*). Канавки проточують канавковими різцями, форма різальної кромки яких відповідає формі канавки. Відрізування здійснюють відрізними різцями, ширина різальної кромки яких 3...6 мм. При відрізуванні глибина різання t відповідає ширині різця, а подача залежить від діаметра заготовки ($S = 0,08...0,30$ мм/об).

Обробка отворів. Свердління, зенкерування і розвертання отворів виконують відповідними

інструментами, які встановлюють в пінолі задньої бабки або закріплюють у різцетримачі.

Розточують наскрізні (рис. 7.35, *в*) і глухі циліндричні отвори.

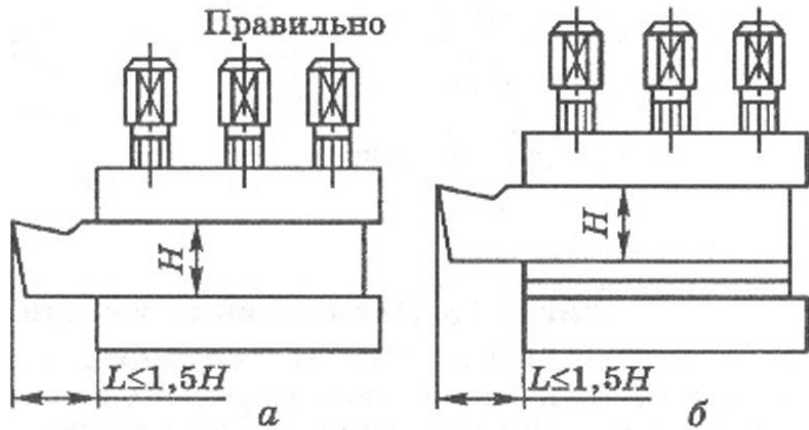


Рис. 7.34. Схема устанoвлення різця в різцетримачі

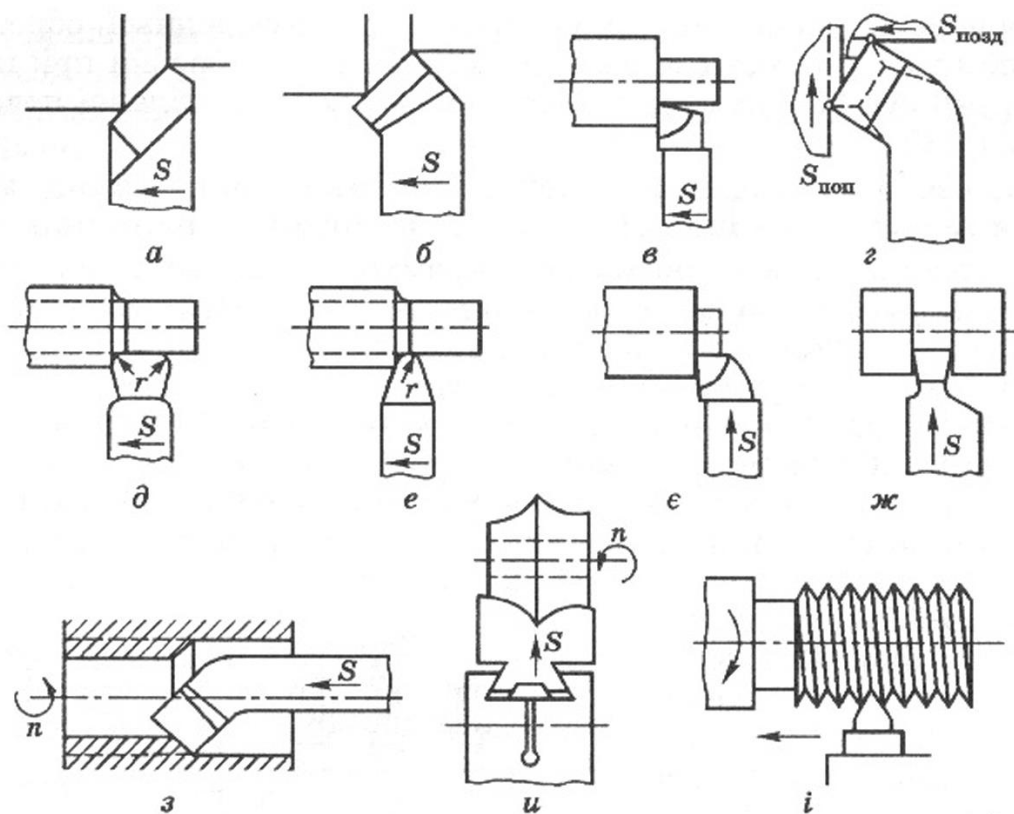


Рис. 7.35. Основні види токарних робіт і типи різців:

а — поздовжнє обточування прохідним різцем; *б* — поздовжнє обточування відігнутим різцем; *в* — поздовжнє обточування упорним різцем; *г* — поздовжнє і поперечне обточування відігнутим різцем; *д* — чистове поздовжнє обточування широким різцем; *е* — чистове обточування заокругленим різцем; *є* — відрізування (поперечне обточування) підрізним різцем; *ж* — виточування канавок і відрізування відрізним різцем; *з* — розточування отвору розточувальним різцем; *и* — фасонне обточування призматичним фасонним різцем; *і* — нарізування різьби різьбовим різцем

Обробку конічних поверхонь залежно від кута конусності і довжини твірної можна виконувати одним з таких методів: широким різцем; поворотом верхньої частини супорта; зміщенням задньої бабки; за допомогою копіювальної лінійки.

Широким різцем (рис. 7.36, *а*) обробляють зовнішні і внутрішні конічні поверхні, довжина яких не перевищує 25...30 мм.

Поворотом верхньої частини супорта, тобто різцевих полозків з різцетримачем (рис. 7.36, *б*) обробляють зовнішні і внутрішні поверхні, довжина яких не перевищує довжини ходу різцевих полозків. Напрямні різцевих полозків установлюють, користуючись градусною шкалою поворотного круга, під кутом α до осі обертання заготовки, який дорівнює половині кута при вершині оброблюваного колеса;

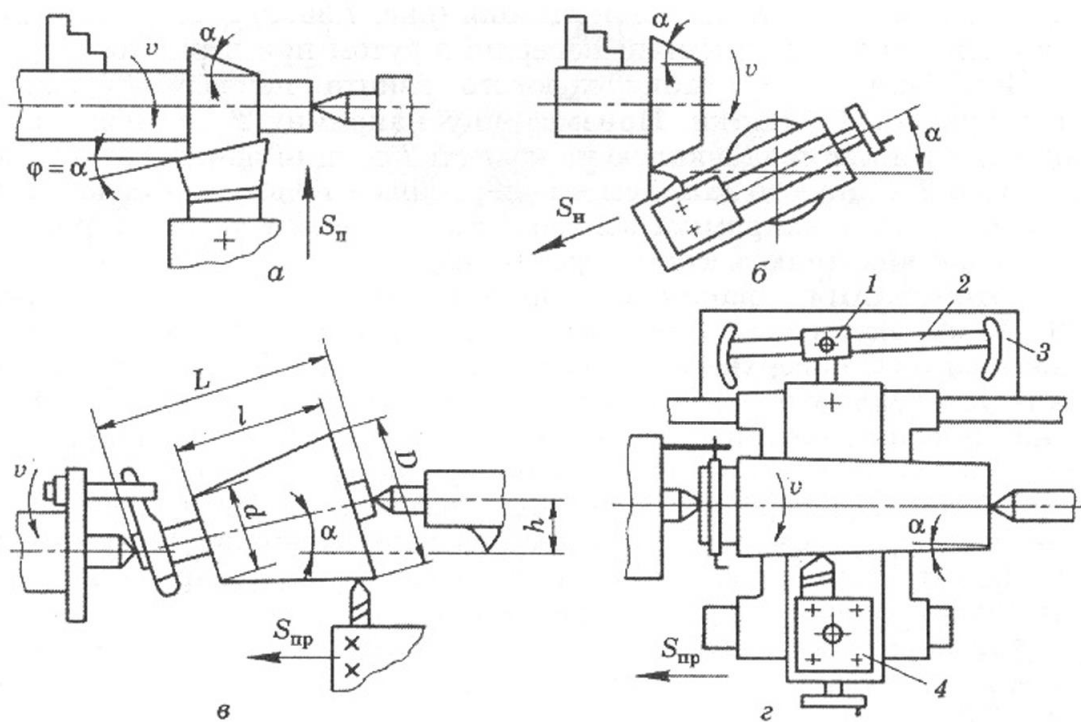


Рис. 7.36. Схеми обробки конічних поверхонь на токарних верстатах

$$\alpha = \arctg \frac{D-d}{2l},$$

де D — більший діаметр конуса, мм; d — менший діаметр конуса, мм; l — довжина конуса, мм.

Подачу різця здійснюють вручну, обертаючи за рукоятку гвинт різцевих полозків. Глибину різання встановлюють гвинтом поперечної подачі.

Методом зміщення задньої бабки (рис. 7.36, в) обробляють тільки зовнішні конічні поверхні, в яких довжина твірної порівняно велика, а кут при вершині конуса не перевищує 10... 12°. Заготовку закріплюють у центрах з кульовими наконечниками, а корпус задньої бабки зміщують у поперечному напрямку на величину

$$h = \frac{L(D-d)}{2l}, \text{ мм (тут } L \text{ — довжина всієї заготовки, мм; } l \text{ — довжина конуса, мм).}$$

При такому встановленні заготовки твірна конуса, що обробляється, паралельна напрямним станини, тому обробку ведуть з механічною поздовжньою подачею супорта.

За допомогою копіювальної лінійки (рис. 7.36, г) обточують довгі зовнішні і внутрішні конічні поверхні з кутом при вершині конуса до 40°. При цьому гайку ходового гвинта поперечної подачі від'єднують від каретки. Призматичну напрямну 2 встановлюють під заданим кутом за шкалою на

корпусі 3 до лінії центрів верстата, а повзун 1 з'єднують важелем з поперечними полозками супорта 4. Кут повороту а напрямної конусної лінійки визначають за формулою, якою визначають кут повороту супорта.

Обточування фасонних поверхонь деталей завдовжки 30...40 мм виконують з поперечною подачею фасонними різцями. Довгі фасонні поверхні обробляють за допомогою фасонного копіра, який установлюють замість супорта. При поздовжній подачі по фасонному копіру переміщується повзун, жорстко зв'язаний з поперечними полозками і переміщує їх у поперечному напрямку (гайка ходового гвинта поперечної подачі від'єднана від каретки). При поєднанні цих рухів різець точно копіює фасонну поверхню. У серійному виробництві для обробки фасонних поверхонь на токарних верстатах використовують гідрокопіювальний супорт.

Нарізування різьби на токарно-гвинторізних верстатах виконують мітчиками, плашками, різбовими різцями та гребінками (рис. 7.37).

Нарізування різьби гребінками у 2...3 рази продуктивніше, ніж нарізування різцями. Різець, форма різальної частини якого відповідає профілю нарізуваної різьби, встановлюють у різцетримач так, щоб вершина його була на рівні лінії центрів верстата, різальні кромки були б правильно орієнтовані відносно заготовки. Правильність положення різця перевіряють за допомогою шаблона.

На рис. 7.38, а зображено перевірку положення різців для нарізування зовнішньої (різець 1) і внутрішньої (різець 3) циліндричної різьби з трикутним профілем за допомогою шаблона 2. Якщо різець установлено правильно, то бісектриса кута є при його вершині в плані розміщується перпендикулярно до осі обертання заготовки.

Нарізувані різьби поділяють на кратні і некрлатні. Кратними різьбами вважають такі, для яких одне з відношень $P_{х.г}/P_{н.р}$ або $P_{н.р}/P_{х.г}$ становить ціле число ($P_{х.г}$ — крок ходового гвинта, мм; $P_{н.р}$ — крок нарізуваної різьби, мм).

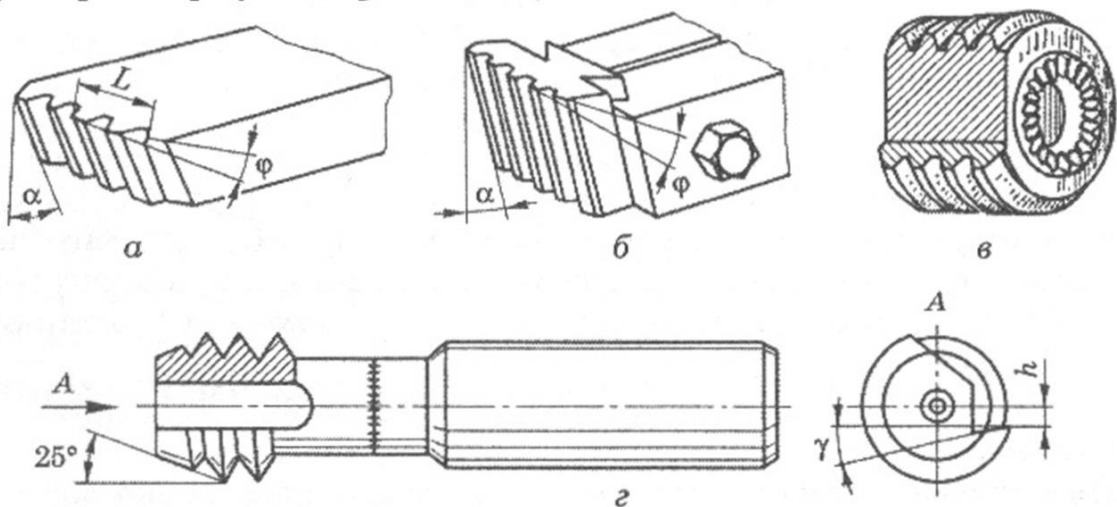


Рис. 7.37. Різьбові гребінки:
а — плоска (стрижнева); б — призматична; в, г — круглі

Оскільки різьбу нарізують за кілька проходів, то після кожного з них різець відводять від заготовки і супорт повертають у вихідне положення. Коли нарізують кратні різьби, у кінці проходу після відведення різця від заготовки можна вимкнути розсувну гайку і швидко вручну, не зупиняючи верстата, повернути супорт у вихідне положення. Тоді, при наступному вмиканні розсувної гайки для виконання чергового проходу, різець потрапляє в прорізану раніше канавку різьби. Під час нарізування некратних різьб розсувну гайку з ходовим гвинтом роз'єднувати не можна, бо після наступного вмикання гайки різець не потрапляє в раніше нарізану гвинтову канавку. Нарізаючи некратні різьби, різець у кінці проходу відводять від заготовки і разом із супортом повертають у вихідне положення вмиканням зворотного обертання шпинделя.

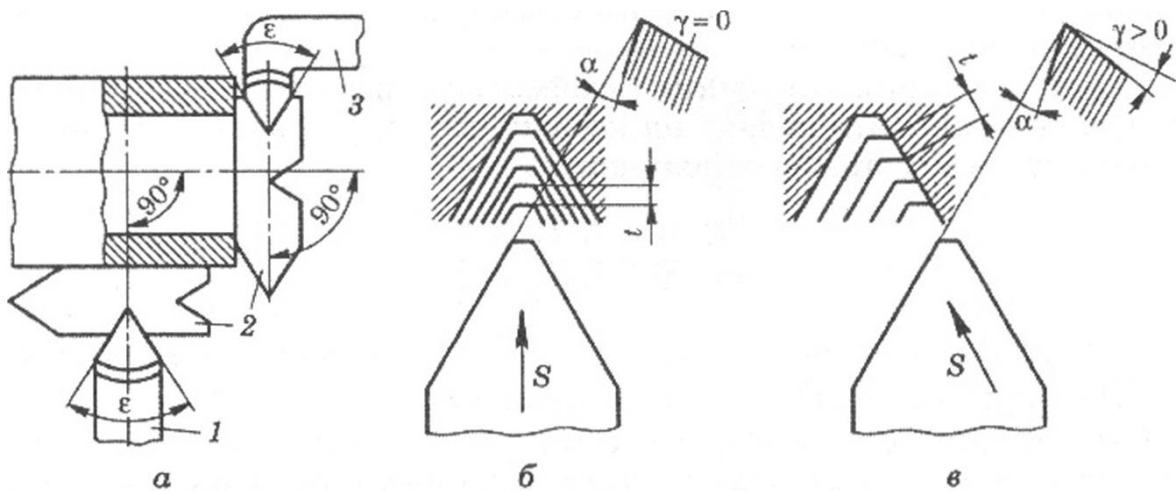


Рис. 7.38. Схеми нарізування різьби різцями на токарному верстаті

Переміщують різець для встановлення його на потрібну глибину різання двома способами: переміщенням перпендикулярно до осі деталі і паралельно його різальній кромці.

Переміщення різця на глибину різання 0,02...0,05 мм перпендикулярно до осі оброблюваної деталі (рис. 7.38, б) дає змогу одержати чисту поверхню різьби. Цей спосіб застосовують при нарізуванні різьби з кроком до 2 мм.

Переміщення різця на глибину 0,1...0,2 мм паралельно лівому профілю різьби (рис. 7.38, в) застосовують при нарізуванні різьби з кроком більше ніж 2 мм. За цього способу різцеві полوزки встановлюють під кутом $\epsilon/2$.

Для нарізування метричних і дюймових різьб з кроком, для яких не можна встановити подачу на коробці подач, розраховують змінні зубчасті колеса гітари за співвідношенням

$$\frac{K M}{L N} = \frac{5 P_{\text{н.р}}}{8 P_{\text{табл}}},$$

де K, L, M, N — змінні зубчасті колеса; $P_{\text{табл}}$ — крок за таблицею, найближчий за значенням до нарізуваного кроку $P_{\text{н.р}}$, мм.

Багатозахідні різьби нарізують так, як і однозахідну, тільки після одержання однієї гвинтової канавки з кроком, що дорівнює кроку різьби $P_h = P_z$. Деталь повертають за допомогою ділильного пристрою на $1/z$ оберту (це z — кількість заходів). Після чого нарізають другий захід різьби і так далі.

Простішим і швидшим способом поділу при нарізуванні багатозахідних різьб є поділ за кроком. Для нарізування другого заходу різець перемішують у поздовжньому напрямку на величину P_h/z гвинтом верхніх полозків супорта. При цьому відрахування поздовжнього переміщення різця здійснюють по лімбу гвинта верхніх полозків.

Іноді багатозахідні різьби нарізають при використанні спеціальних державок кількох різців. Різці встановлюють на відстані кроку Родин від одного.

Питання для самоконтролю

- 1. Основні типи токарних різців, їх призначення?*
- 2. Будова токарно-гвинторізного верстату?*
- 3. Роботи які виконують на токарних верстатах?*
- 4. Призначення люнет?*
- 5. Пристрої до токарних верстатів?*

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 374-401;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 117-137.

ЛЕКЦІЯ 23

ОБРОБКА НА СВЕРДЛИЛЬНИХ І РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

План

- 1) Процес свердління й особливості процесу стружкоутворення при свердлінні.*
- 2) Елементи режиму різання при свердлінні, зенкеруванні і розвірчуванні.*
- 3) Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні.*
- 4) Розточувальні верстати.*
- 5) Роботи, які виконують на свердильних верстатах.*

- 1) Процес свердління й особливості процесу стружкоутворення при свердлінні
Як відомо, головним рухом свердла є обертальний. Тому швидкістю різання при свердлінні називається колова швидкість свердла відносно стінки отвору.

Максимальне значення ця швидкість має на периферії свердла і зменшується в міру наближення до його центра, де вона дорівнює нулю. Кути різання вздовж головних різальних кромки (лез) теж змінні, все це негативно впливає на процес стружкоутворення. Процес різання при свердлінні відбувається в складніших умовах, ніж при точінні: складніше відведення стружки і підведення охолодної рідини; значне тертя стружки по поверхні канавок свердла і самого свердла по обробленій поверхні; зрізуваний шар деформується і зрізується з різною швидкістю внаслідок зміни швидкості вздовж різальної кромки і зміни кута γ ; поперечна кромка працює з від'ємним кутом різання, в результаті чого відбувається не різання металу, а зминання.

При свердлінні процес стружкоутворення підлягає тим самим законам і явищам, що й при точінні: пружні і пластичні деформації, тепловиділення, наростоутворення, зміцнення, спрацювання інструменту, а на температуру різання при свердлінні швидкість різання впливає більше, ніж подача.

2) Елементи режиму різання при свердлінні, зенкеруванні і розвірчуванні

Глибина різання і подача. При свердлінні глибина різання t (рис. 7.40, а) дорівнює половині діаметра отвору, мм:

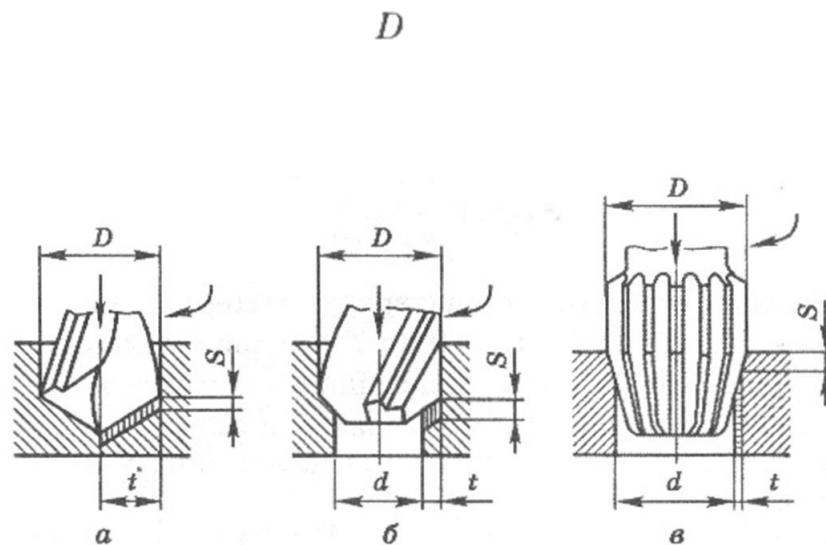


Рис. 7.40. Елементи режиму різання при:
а — свердлінні; б — зенкеруванні, в — розвірчуванні

При свердлінні, зенкеруванні і розвірчуванні глибина різання визначається припуском на обробку і технологічними вимогами. При чорновій обробці отворів глибину різання беруть такою, що дорівнює припуску, який знімають за один прохід. При тонкій обробці отвору весь припуск доцільно зняти за два або кілька проходів. Глибина різання при кожному наступному проході має бути меншою.

Подача S — величина переміщення різального інструменту вздовж осі за один оберт. Подачу при свердлінні вибирають за довідниками залежно від оброблюваного матеріалу, матеріалу інструменту, виду і умов обробки. подача за один оберт шпинделя при свердлінні становить приблизно 0,02...0,03 діаметра свердла. Подачу при зенкеруванні беруть у 2,0...2,2 рази більшою, а при розвірчуванні — в 2,5...3,0 рази більшою, ніж подачу при свердлінні.

Подача чистового розвірчування точних отворів не повинна перевищувати 1,0... 1,5 мм/об.

Швидкість різання при свердлінні, зенкеруванні розвірчуванні визначають за формулою, м/хв,

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

де D — діаметр різального інструменту, мм; n — частота обертання, хв⁻¹.

Швидкість різання, м/хв, яку допускають різальні властивості інструменту, визначають за такими емпіричними формулами:

♦ при свердлінні отворів

$$v_d = \frac{C_v D^g K_v}{T^m S^{Y_v}};$$

♦ при свердлінні, зенкеруванні і розвірчуванні отворів

$$v_d = \frac{C_v D^g K_v}{T^{m_t} X_v^{X_v} S^{Y_v}},$$

де C_v — коефіцієнт, який характеризує матеріал і умови обробки (для сталі з $\sigma_b = 750$ МПа, $C_v = 9,8$); T — період стійкості інструменту, хв; $m = 0,125...0,45$ — показник відносної стійкості; K_v — загальний поправний коефіцієнт, який враховує змінені умови різання. Значення C_v , T , m , g , X_v , Y_v беруть із довідників, у яких наведено режими різання.

Наприклад, для свердління отвору $D = 28$ мм у заготовці зі сталі 40Х ($\sigma_b = 700$ МПа, свердлом зі сталі Р18 при $S = 0,4$ мм/об, $T = 50$ хв) допустима швидкість різання

$$v_d = \frac{C_v D^g K_v}{T^m S^{Y_v}} = \frac{9,8 \cdot 28^{0,4} \cdot 0,905}{50^{0,2} \cdot 0,4^{0,5}} = \frac{9,8 \cdot 3,08 \cdot 0,905}{2,19 \cdot 0,63} = 24,43 \text{ м/хв.}$$

Тоді частота обертання шпинделя

$$n_d = \frac{1000 v_d}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 24,23}{3,14 \cdot 28} = 278 \text{ хв}^{-1}.$$

Коригуємо частоту обертання за паспортними даними верстата і встановлюємо фактичну частоту обертання (за умовою $n \leq n_d$)
 $n = 250 \text{ хв}^{-1}$.

Дійсна швидкість різання

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28 \cdot 250}{1000} = 21,98 \text{ м/хв.}$$

3) Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні

Сили різання. Під час свердління отворів оброблюваний матеріал чинить опір різанню, внаслідок чого на свердло діє кілька сил. Якщо рівнодійну сил, що діють на кожну кромку свердла, прикладену в точці A (рис. 7.41), розкладемо по трьох взаємно перпендикулярних напрямках, дістанемо складові P_x , P_y , P_z .

Сили P_y , як однакові за значенням і протилежні за напрямком, взаємно зрівноважуються.

Сили P_x разом із силою P , що діє на поперечну кромку свердла, становитимуть у сумі силу, направлену вздовж осі свердла. Ця сила при свердлінні зрівноважується осьовою силою, або силою подачі P_0 , яка діє вздовж осі свердла у протилежному напрямку.

Значення сили P_0 , Н, визначають за емпіричною формулою

$$P_0 = C_p D^{X_p} S^{Y_p} K_p,$$

де C_p — коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу і умов обробки (для сталі з $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$, $C_p = 68 \cdot 9,81$).

Значення коефіцієнтів X_p , Y_p , K_p беруть із довідників.

Наприклад, при свердлінні отвору $D = 28 \text{ мм}$ (верстат 2Н135) у заготовці зі сталі 40Х при встановленій подачі $S = 0,4 \text{ мм/об}$ осьова сила становитиме

$$P_0 = C_p D^{X_p} S^{Y_p} K_p = 9,81 \cdot 68 \cdot 28 \cdot 0,4^{0,7} \cdot 0,95 = 9404 \text{ Н.}$$

Необхідно виконати умову $P_0 \leq P_{\max}$. За паспортними даними верстата 2Н135 $P_{\max} = 15\,000 \text{ Н}$. Умова забезпечена, оскільки $9404 < 15\,000$. Отже, встановлена подача $0,4 \text{ мм/об}$ допустима.

Крутний момент. При свердлінні отворів сили P_z (див. рис. 7.41), сили тертя стрічок напрямної частини свердла об стінки отвору і момент, що створюється

на поперечній кромці свердла, в сумі створюють крутний момент $M_{кр}$, який має бути меншим за крутний момент механізму головного руху верстата. Значення цього моменту, Н·м, визначають за формулою

$$M_{кр} = C_m D^{X_m} S^{Y_m} K_p,$$

де C_m — коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу і умов обробки (для сталі з $\sigma_B = 750$ МПа, $C_m = 9,81 \cdot 0,0345$). Його значення, як і значення X_m , Y_m , K_p , беруть із довідників.

Наприклад, для свердління отвору $D = 28$ мм у сталі 40Х при подачі $S = 0,4$ мм/об і $n = 250$ хв⁻¹

$$\begin{aligned} M_{кр} &= 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 28^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,95 = \\ &= 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 784 \cdot 0,48 \cdot 0,45 = 120,99 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Потужність різання, кВт, при свердлінні, або ефективна потужність,

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9554},$$

де n — частота обертання свердла, хв⁻¹.

На фундаментній плиті розміщено стіл 7 для закріплення і обробки на ньому деталей невеликого розміру. Якщо деталь великого розміру, то її закріплюють безпосередньо на плиті. В деяких моделях радіально-свердильних верстатів з метою розширення технологічних можливостей шпиндельну бабку виготовляють поворотною, що дає змогу обробляти отвори, які розміщені під кутом. Випускають радіально-свердильні верстати 2М53, 2М55, 2М57, 2М58, які забезпечують найбільший діаметр свердління — відповідно 35, 50, 70, 100 мм.

Питання для самоконтролю

1. *Зенкерування?*
2. *Елементи режиму різання при свердлінні, зенкеруванні і розвірчуванні?*
3. *Роботи, які виконують на свердильних верстатах?*

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 402-416;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 138-153.

ЛЕКЦІЯ 24

ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СТРУГАЛЬНИХ, ДОВБАЛЬНИХ І ПРОТЯЖНИХ ВЕРСТАТАХ

План

- 1) Особливості процесу різання при струганні, довбанні і протягуванні.
- 2) Поперечно-стругальні верстати.
- 3) Особливості конструкції поздовжньо-стругального і довбального верстатів.
- 4) Операції, які виконують на стругальних верстатах.
- 5) Обробка заготовок на протяжних верстатах.

1) Особливості процесу різання при струганні, довбанні і протягуванні

Стругання — це процес обробки поверхонь різцями при прямолінійному зворотно-поступальному головному русі, що здійснюється різцем або заготовкою в горизонтальній площині.

Довбання — відрізняється від стругання тим, що головний рух — зворотно-поступальне переміщення різця — відбувається у вертикальній площині.

Як при струганні, так і при довбанні різець зрізує стружку тільки під час робочого ходу. Рухаючись у зворотному напрямку (холостий хід), різець ніякої роботи не виконує і встигає охолонути.

Швидкість різання на стругальних верстатах (рис. 7.53) не перевищує 70...80 м/хв, оскільки при більших швидкостях виникають великі інерційні сили через зворотно-поступальні рухи повзуна (або стола верстата). Конструкцією верстата передбачено, що швидкість холостого ходу у 1,5...3 рази більша за робочу.

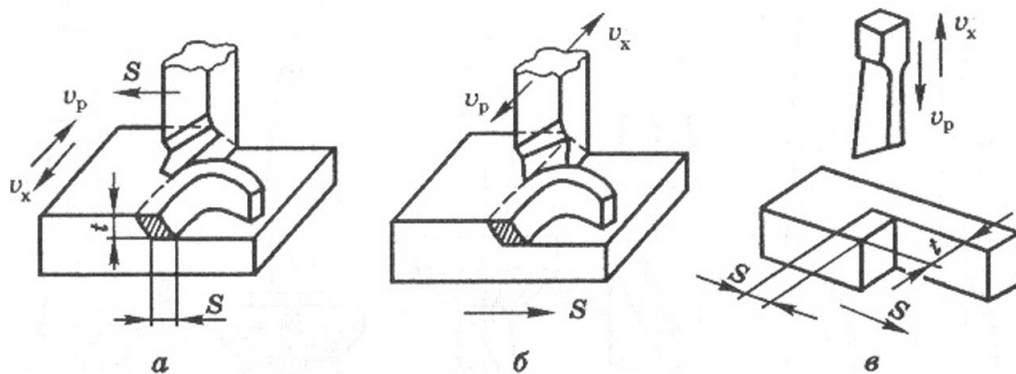


Рис. 7.53. Схеми обробки заготовок на стругальних (а, б) і довбальних (в) верстатах

Стругальні верстати поділяють на два основних типи: поздовжньо-стругальні, на яких обробляють переважно середні за розміром і великі деталі; поперечно-стругальні, призначені для обробки деталей з довжиною стругання до 1 м.

Протягування — високопродуктивний метод обробки різанням наскрізних отворів і зовнішніх лінійних поверхонь, яке здійснюють

протяжками або прошивками. Протяжка працює на розтяг, а прошивка — на стиск. Конструкція робочих частин цих інструментів однакова.

2) Поперечно-стругальні верстати

У поперечно-стругальних верстатах головним рухом є зворотно-поступальне переміщення різця, а рухом подачі при обробці горизонтальних площин — періодичне переміщення стола в напрямку, перпендикулярному до руху різця. При обробці вертикальних або похилих поверхонь періодичний рух подачі дістає супорт верстата із закріпленням на ньому різцем.

Поперечно-стругальні верстати застосовують для обробки невеликих заготовок у ремонтних майстернях і цехах, на машинобудівних заводах з малосерійним виробництвом та інструментальних цехах. Поперечно-стругальні верстати всіх розмірів виготовляють із механічним приводом головного руху або з гідравлічним приводом. Характерною особливістю роботи поперечно-стругальних верстатів є змінна швидкість різання по довжині ходу повзуна, яка змінюється від нуля до максимуму і потім знову до нуля. Загальний вигляд поперечно-стругального верстата зображено на рис. 7.55. У верхніх напрямних станини 1 змонтовано повзун 2, який одержує зворотнопоступальний рух (головний рух) від кулісного механізму.

Кінематична схема верстата 7E35 (рис. 7.56). Головний рух — прямолінійне зворотно-поступальне переміщення повзуна з різцем здійснюється від електродвигуна М ($N = 5,5$ кВт; $n = 1450$ хв⁻¹) через клинопасову передачу 140/355, циліндричну пару коліс 84/36, восьмиступеневу коробку швидкостей. Подальше обертання передається колесу $z = 102$ куліси, в напрямних 1 якої розміщується палець 2 з кулісним каменем 10. При обертанні колеса куліса одержує коливальний рух, який передається через гвинт 4 повзуну 5. Довжину ходу повзуна регулюють гвинтом 6, змінюючи радіус положення пальця 2. Це робиться вручну через вал XV, зубчасту передачу 16/18 і конічну пару коліс 17/17.

Рух подачі — перервний горизонтальний і вертикальний рух стола. Цей рух передається від зубчастого колеса $z = 102$ кулачку 7 і храповому механізму $z = 60$, $z = 30$, $z = 96$. Змінюючи амплітуду коливання собачки, змінюють число зубів храпового колеса $z = 96$, які захоплюються собачкою, а отже, і подачу. Потім рух передається валами XI, XIII, XIV, а далі через циліндричну передачу 30/30 на гвинт 8 вертикальної подачі або через колеса 30/42 і конічну пару 18/82 на гвинт 9 горизонтальної подачі.

Кінематична схема поперечно-стругального верстата з гідроприводом (рис. 7.57). Гідропривід дає можливість здійснювати безступінчасту зміну швидкості головного руху і швидкості подачі. Електродвигун потужністю 9,1 кВт з частотою обертання ротора 1450 хв⁻¹ приводить у рух два роторних насоси H_1 і H_2 продуктивністю 100 і 50 л/хв. У гідросистемі є п'ять регульованих золотників.

Питання для самоконтролю

1. Операції, які виконують на стругальних верстатах?
2. Стругальні і довбальні різці, їх класифікація?
3. Особливості конструкції поздовжньо-стругального і довбального верстатів?
4. Протягування?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 417-427;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 168-182.

ЛЕКЦІЯ 25

ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

План

- 1) *Суть процесу і елементи різання при фрезеруванні.*
- 2) *Сили, крутний момент і потужність при фрезеруванні.*
- 3) *Основні типи фрез, їх призначення та геометричні параметри.*
- 4) *Фрезерні верстати.*
- 5) *Роботи, які виконують на фрезерних верстатах.*
- 6) *Зубонарізування.*
- 7) *Ділильні головки.*
- 8) *Методи поділу на УДГ.*

1) Суть процесу і елементи різання при фрезеруванні

Схеми фрезерування. Фрезерування — один із високопродуктивних і поширених способів обробки металів багатолезовими різальними інструментами (фрезами). Це процес, при якому фреза виконує обертальний (головний) рух, а заготовка, що обробляється, — поступальний чи обертальний рух подачі.

При фрезеруванні колений зуб працює періодично. Це істотна особливість, яка вигідно відрізняє фрезерування від точіння і свердління, де різальні частини інструменту навантажені в процесі різання безперервно.

Зуб фрези знімає стружку у вигляді коми, що має змінну товщину. Тому площа зрізу при фрезеруванні циліндричною прямозубою фрезою теж величина змінна, внаслідок чого сила, момент і потужність різання періодично змінюються і в процесі обробки можуть виникнути вібрації. Фрези з гвинтовими зубами забезпечують більш плавну роботу, оскільки врізування зубів і вихід їх із контакту відбуваються не одночасно по всій ширині, а поступово. Тому і застосовують ці фрези частіше від інших.

Рівномірне фрезерування (з постійною площею поперечного перерізу) можна одержати, лише працюючи циліндричними фрезами з гвинтовими зубами за умови, що ширина фрезерування B дорівнює або кратна осьовому кроку, тобто

$$B = kt_0,$$

де k — ціле число (2, 3); t_0 — осьовий крок фрези — відстань між двома сусідніми зубами фрези вздовж осі.

На рис. 7.64, а, б зображено дві основні схеми обробки площин відповідно циліндричною і торцевою фрезами.

Залежно від напрямку обертання фрези і напрямку подачі розрізняють зустрічне (проти подачі), коли оброблювана заготовка подається назустріч обертанню фрези (рис. 7.64, б, в), і попутне (по подачі), коли напрямок обертання фрези і напрямок подачі збігаються (рис. 7.64, а, г).

При *зустрічному фрезеруванні* товщина шару металу, що зрізується зубом фрези, знімається від нуля до найбільшого значення $a_{\max}$ (див. рис. 7.64, в). Поступове збільшення товщини зрізуваного шару сприяє плавній роботі фрези, оскільки навантаження на зуб зростає поступово від нуля до максимуму. Кожний зуб при цьому працює «з-під кірки», викидаючи її із зони різання, що дуже важливо при обробці заготовок, які мають ливарну кірку або окалину. Однак перш ніж врізатися в оброблюваний метал, зуб фрези деякий час ковзає по поверхні різання, зміцненій унаслідок пластичних деформацій при різанні попереднім зубом. Це призводить до значного спрацювання зубів фрези, оброблена поверхня зміцнюється (утворюється наклеп) і зростає шорсткість. Недоліком є й те, що сила, яка діє на заготовку, намагається відірвати її від стола, це спричинює вібрацію, збільшення шорсткості і потребує більш жорсткого закріплення заготовки на столі.

При *попутному фрезеруванні* (див. рис. 7.64, г) зуб фрези працює з ударом, одержуючи максимальне навантаження, оскільки товщина зрізуваного шару змінюється від $a_{\max}$ до нуля. Крім цього, зуби фрези, стикаючись із кіркою оброблюваної поверхні, сильно спрацьовуються, що знижує стійкість фрези. Зменшення товщини зрізуваного шару і те, що сили різання намагаються притиснути оброблювану заготовку до стола верстата, сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні. До того ж, при попутному фрезеруванні на 10... 12% зменшується потужність, яка витрачається на різання.

Тому попутне фрезерування доцільніше застосовувати при чистовій обробці, коли вже знято кірку, а зустрічне фрезерування вигідніше при чорновій обробці заготовки.

Елементи режиму різання при фрезеруванні. *Глибина різання I* — товщина шару металу, що знімається фрезою за один прохід, виміряна перпендикулярно до обробленої поверхні, мм.

Подача — переміщення заготовки відносно осі фрези. При фрезеруванні розрізняють три види подач: подача на один зуб фрези S_z — це переміщення заготовки при повороті фрези на кут між двома сусідніми зубами, мм/зуб;

подача на один оберт S_0 — переміщення заготовки за один оберт фрези, мм/об: $S_0 = S_z z$, де z — число зубів фрези; — подача фрези за хвилину, мм/хв. Між цими видами подач існує така залежність:

$$S_{\text{хв}} = S_0 n = S_z z n,$$

де n — частота обертання фрези, хв^{-1} .

Швидкість різання v — колова швидкість найвіддаленішої від осі обертання точки різальної кромки фрези, м/хв,

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

де D — зовнішній діаметр фрези, мм.

Ширина фрезерування B — довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямку, перпендикулярному до напрямку подачі.

Призначення режимів різання при фрезеруванні. Глибину різання вибирають залежно від припуску на обробку. Чорнове і напівчистове фрезерування бажано виконувати за один прохід, якщо це дозволяє потужність верстата і жорсткість системи ВПД. Якщо припуск на обробку становить більше ніж 5 мм, то фрезерування виконують за два і більше проходів, залишаючи на останній прохід припуск 1,0... 1,5 мм. Подачу вибирають максимально допустиму. Її величина може обмежуватися шорсткістю оброблюваної поверхні, міцністю зуба фрези, міцністю механізму подач, жорсткістю системи ВПД.

При чорновому фрезеруванні сталевих заготовок циліндричними фрезами зі швидкорізальної сталі беруть подачу на зуб $S_z = 0,06...0,60$ мм/зуб, при обробці чавуну $S_z = 0,1...0,6$ і при чорновому торцевому фрезеруванні — $S_z = 0,04...0,60$ мм/зуб.

Швидкість різання визначають за емпіричною формулою з урахуванням прийнятої глибини різання, подачі, характеристики фрези (діаметра, числа зубів, матеріалу), оброблюваного матеріалу, м/хв,

$$v = \frac{C_v D^{g_v} k}{T^m t^{X_v} S_z^{Y_v} B^{P_v} z^{n_v}},$$

де C_v — коефіцієнт, який характеризує матеріал заготовки і умови різання; T — період стійкості фрези, хв; t — глибина різання, мм; S_z — подача, мм/зуб; B — ширина фрезерування, мм; z — число зубів фрези; $g_v, m, X_v, Y_v, P_v, n_v$ — показники степеня; k — загальний поправний коефіцієнт на зміну умов обробки.

Значення коефіцієнтів і показників степеня наведено в довідниках, у яких розглянуто режими обробки різанням.

Наприклад, при фрезеруванні конструкційної сталі середньої твердості циліндричною фрезою зі швидкорізальної сталі Р6М5, у разі роботи з охолодженням, при $S_z > 0,1$ мм/зуб

$$v = \frac{C_v D^{g_v} k}{T^m t^{X_v} S_z^{Y_v} B^{P_v} z^{n_v}} = \frac{35,4 B^{0,45} \cdot 1}{T^{0,33} t^{0,3} S_z^{0,4} B^{0,1} z^{0,1}}.$$

Період стійкості T залежить від типу і розмірів фрези і становить 40...400 хв. Так, під час роботи кінцевими фрезами $T=60\ldots90$ хв, циліндричними — $T=180\ldots240$, торцевими — $T=180\ldots400$ хв. Чим складніша конструкція фрези і більші її розміри, тим більшим треба брати період стійкості. За розрахунковою швидкістю різання визначають частоту обертання фрези і за паспортом верстата вибирають найближчу (меншу) частоту обертання шпинделя. За фактичною частотою обертання фрези визначають дійсну швидкість різання. Вибраний режим перевіряють за потужністю і крутним моментом шпинделя верстата, а також за допустимою силою подачі.

Основний (технологічний) час при фрезеруванні визначають за формулою, хв,

$$T_o = \frac{Li}{S_{xv}},$$

де L — розрахункова довжина фрезерування, мм; i — кількість проходів фрези; S_{xv} — подача фрези за хвилину, мм/хв.

Розрахункова довжина фрезерування L складається з довжини оброблюваної деталі I , шляху врізування фрези і величини її перебігу l_2 .

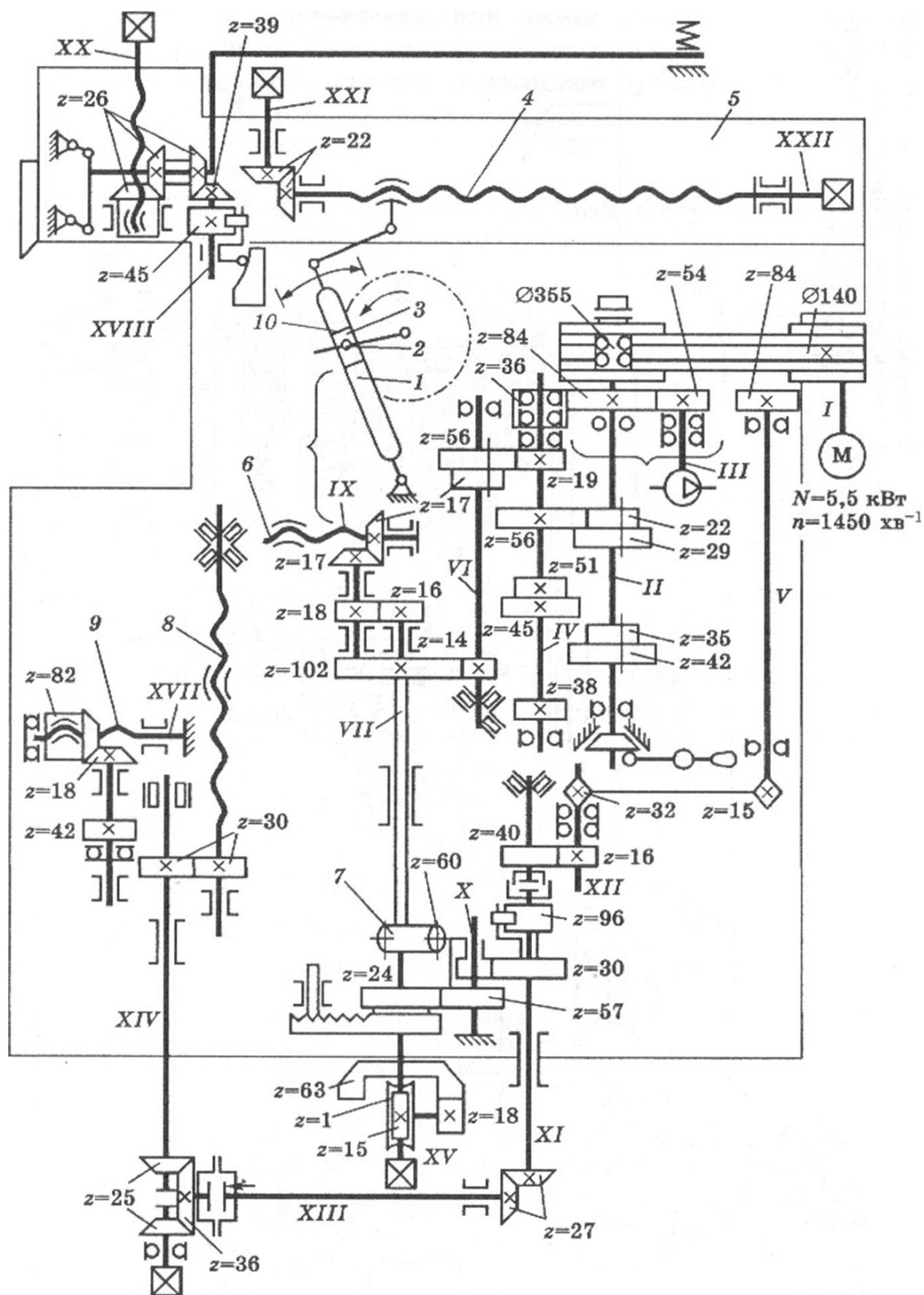


Рис. 7.56. Кінематична схема поперечно-стругального верстата 7Е35

Питання для самоконтролю

1. Елементи режиму різання при фрезеруванні?
2. Види фрез, їх призначення?
3. Роботи, які виконують на фрезерних верстатах?
4. Методи поділу на УДГ?
5. Будова фрезерного верстата?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 428-447;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 154-167.

ЛЕКЦІЯ 26

ОБРОБКА НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

План

- 1) *Особливості процесу різання при шліфуванні.*
- 2) *Абразивні інструменти та їхня характеристика.*
- 3) *Вибір, балансування, випробування, кріплення і правка шліфувальних кругів.*
- 4) *Схеми шліфування і класифікація шліфувальних верстатів.*
- 5) *Процес різання при шліфуванні.*
- 6) *Основні типи шліфувальних верстатів та пристрої до них.*
- 7) *Мастильно-охолодні рідини та способи підвищення продуктивності обробки при шліфуванні.*
- 8) *Тонка обробка поверхонь.*

1) Особливості процесу різання при шліфуванні

Шліфування — процес різання матеріалів за допомогою абразивного інструменту, різальним елементом якого є зерна абразивних матеріалів. Суть шліфування розглядається як процес сумарного мікрорізання і стирання матеріалу абразивними зернами інструменту. При відносному русі інструменту і оброблюваної деталі під певним тиском на початку контакту кожного зерна відбувається стирання, а коли тиск перевищить силу зчеплення часточок металу, починається різання з відокремленням матеріалу у вигляді стружки малої товщини (кілька мікрометрів).

Унаслідок малого зрізу і великої швидкості різання шліфування забезпечує високу продуктивність, точність (6 - 7-й квалітет) і шорсткість обробленої поверхні $Ra = 0,04...1,25$ мкм.

2) Абразивні інструменти та їхня характеристика

Абразивний інструмент складається із зерен абразивного матеріалу, зв'язаних між собою спеціальною зв'язкою. Різальні властивості абразивного

інструменту визначаються не тільки властивостями матеріалу шліфувальних зерен, а й якістю зв'язки та структури.

Абразивні інструменти виготовляють із зв'язаними зернами (шліфувальні круги, головки, сегменти, шкурки), а шліфувальні матеріали можна застосовувати й у вигляді незв'язаних зерен — вільних зерен (пасти, суспензії, порошків).

Абразивні матеріали мають високу твердість і міцність, зносостійкість, теплостійкість до 2000 °С. їх поділяють на природні і штучні. До природних абразивних матеріалів належать алмаз, корунд (містить 80...95 % Al_2O_3), наждак (20...60 % Al_2O_3) і кварц (складається із зерен кварцу $8\text{Ю}2$, зв'язаних глинистими речовинами). З природних матеріалів найбільше практичне значення зберіг тільки технічний алмаз, який застосовують для правки шліфувальних кругів, оснащення різців для точіння кольорових металів та пластмас, виготовлення волоки, свердел, бурових коронок.

Алмази марок А1, А2, А3 застосовують для виготовлення інструментів на металічній зв'язці для шліфування скла, кераміки, каменю, а марок АМ, АМ5 і АН — для інструментів, паст і суспензій, які використовують для доведення, полірування твердих і надтвердих важкооброблюваних матеріалів.

Застосування інших абразивних матеріалів природного походження обмежена через нестабільність їх фізико-механічних характеристик. Із них виготовляють наждачний папір, порошки для полірування.

Абразивні інструменти виготовляють із матеріалів штучного походження, до яких належать: електрокорунд, карбід силіцію (карборунд), карбід бору, нітрид бору (ельбор), синтетичні алмази.

Електрокорунд — кристалічний оксид алюмінію Al_2O_3 , який одержують плавленням в електропечах з бокситів. Залежно від вмісту Al_2O_3 і домішок електрокорунд має різні колір, структуру і властивості. Застосовують такі різновиди електрокорунду: нормальний, білий, хромистий, титанистий, цирконієвий, монокорунд.

Електрокорунд нормальний містить 92...95% Al_2O_3 (решта домішки) і виробляється таких марок 12А, 13А, 14А, 15А, 16А. Перша цифра позначення означає номер групи шліфувальних матеріалів, а друга — підгрупу (залежно від хімічного складу матеріалу — наявності домішок і їхнього вмісту). З нормального електрокорунду виготовляють основну кількість абразивного інструменту для чорнової обробки сталі і чавуну.

Електрокорунд білий 2А містить менше домішок (до 99 % Al_2O_3), має вищі різальні властивості, ніж електрокорунд нормальний, і випускається марок 22А, 23А, 24А, 25А. Застосовують його переважно для чистового шліфування.

Спеціальні електрокорунди. Електрокорунд хромистий містить додатково до 0,3 % оксиду хрому Cr_2O_3 , який додають у шихту перед плавленням, виготовляють таких марок 32А, 33А, 34А. Електрокорунд титанистий 37А має добавки оксиду титану TiO_2 , електрокорунд цирконієвий марки 38А — вони мають підвищені різальні властивості.

Монокорунд марок 43А, 44А, 45А має форму правильних кристалів, підвищену міцність і зносостійкість.

Шліфувальні круги на основі спеціальних електрокорундів і монокорунду застосовують для обробки загартованих, цементованих і азотованих сталей, а також високолегованих сталей з низькою теплопровідністю і теплоємністю.

Карбід силіцію (карборунд) SiC одержують в електропечах спіканням вугілля з кварцовим піском за температури 1900...2000 °С. Зерна карбиду силіцію мають добрі різальні властивості, але менш міцні, ніж зерна корунду, тому їх застосовують для обробки таких крихких матеріалів, як чавун і металокерамічних матеріалів. Його випускають двох видів: чорний (марок 52С — 55С) і зелений (марок 62С, 63С, 64С). Зелений карбід силіцію застосовують при загостренні твердосплавного інструменту, чорний — при обробці чавуну, твердої бронзи, алюмінієвих сплавів.

Карбід бору (В₄С) містить до 94 % кристалічного карбиду бору. Його застосовують у вигляді порошків для доведення і притирання. Карбід бору твердий, але крихкий.

Кубічний нітрид бору (ельбор, кубоніт) складається з 44 % бору і 56 % азоту. Твердість кристалів ельбору близька до твердості алмазів, а теплостійкість досягає 1500 °С, тоді як алмаз має теплостійкість 850 °С. Випускають нітрид бору марок ЛО, ЛП, ЛКВ, ЛД, КО, КП, КТ. Ельборові круги ефективні при чистовому шліфуванні, заточуванні і доведенні різальних інструментів, обробці деталей із важкооброблюваних матеріалів.

Синтетичні алмази (АС) виготовляють із графіту у спеціальних камерах при високому тиску (10 000 МПа) і температурі 2000...2500 °С. Синтетичні алмази одержують у вигляді дрібних кристалів. Залежно від розмірів зерен, методу одержання їх поділяють на дві групи: шліфпорошки зернистістю 630...50 мкм і мікропорошки — 40...3 мкм.

Застосовують також алмаз синтетичний подрібнений «баллас» АРВ-1, «карбонадо» АРК-4, «спеки» АРС-3.

Мікропорошки виготовляють двох марок: САМ — нормальної абразивної здатності для обробки твердих сплавів, сталі, чавуну; АСН — підвищеної абразивної здатності для обробки алмазів, корундів та інших надтвердих матеріалів.

Зернистість абразивних матеріалів характеризується розмірами зерен. Залежно від розміру абразивні зерна поділяють на три групи: шліфзерна, шліфпорошки і мікропорошки.

Шліфзерна позначені номерами зернистості 200...16, мають розміри зерен 2000...160 мкм; шліфпорошки позначені номерами 12...3 з розмірами зерен 125...30 мкм; мікропорошки — М63...М5 з розмірами зерен 63...5 мкм.

Номер зернистості означає розмір сита, на якому затримується основна фракція, у сотих частках міліметра вічка сита. Наприклад, основна фракція шліфзерна 100 затримується ситом з розмірами вічка 1 мм. Розміри зерен мікропорошків визначають лінійним вимірюванням у мікрометрах.

Позначення зернистості алмазних інструментів аналогічне позначенню зернистості інших абразивних, тільки попереду ставлять літеру А (А16).

Від розміру зерен абразивного матеріалу залежить продуктивність і якість обробки. Інструменти, виготовлені з абразиву крупнішої зернистості, використовують для чорнового, грубого шліфування, середньої зернистості — для звичайного шліфування, дрібної зернистості — для чистового шліфування, і дуже дрібної — для особливо тонких робіт.

Наприклад, щоб одержати шорсткість обробленої поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм потрібно брати круг зернистістю № 25, № 20, № 16. Шорсткість обробленої поверхні $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм одержують при чистовому і тонкому шліфуванні кругами зернистістю № 12, 10, 8, 6. Доведення особливо точних деталей, хонінгування і суперфінішування здійснюють інструментами з зернистістю М40 — М5 і одержують шорсткість поверхні $Ra = 0,16 \dots 0,02$ мкм.

Зв'язкою називають речовини, які застосовуються для закріплення і утримування зерен шліфувальних матеріалів і наповнювачів в абразивних інструментах.

Наповнювачі добавляють для утворення пор в абразивному інструменті. Вони бувають двох типів: одні (дерев'яне борошно, пластмаси, нафталін та ін.) розчиняються або згорають, утворюючи пори; інші (вапняк, мармур) утворюють пори при шліфуванні внаслідок викришування. Від зв'язки залежить геометрія рельєфу і спрацювання робочої поверхні абразивного інструменту та шорсткість обробленої поверхні. Застосовують зв'язки трьох видів: неорганічні, органічні і металічні.

Неорганічні зв'язки бувають керамічні, магнезіальні і силікатні. Найпоширеніші керамічні зв'язки (К1, К2 — К10), які складаються із суміші вогнетривкої глини, польового шпату, борного скла, тальку, крейди, кварцу, рідкого скла.

Інструменти, виготовлені на керамічній зв'язці, — міцні, теплостійкі, хімічно стійкі, не бояться вологи (що дає змогу працювати із застосуванням охолодної рідини), але мають відносно велику крихкість і чутливі до ударів. На керамічних зв'язках виготовляють близько 90 % абразивних інструментів.

Магнезіальна і силікатна зв'язки дають м'який абразивний інструмент, маломіцний і малопродуктивний і застосовуються рідко.

Органічними зв'язками є бакелітова (Б), гліфталева (Г) і вулканітова (В). Найбільше застосовують бакелітові зв'язки на основі фенолформальдегідної смоли. Інструмент на бакелітовій зв'язці міцний, еластичний, допускає високу швидкість різання (до 75 м/с), але хімічна і теплова стійкість невисока — до 180 °С. Недоліком кругів на бакелітовій зв'язці є те, що вони руйнуються під дією лужної охолодної рідини (коли вміст лугу перевищує 1,5 %). Шліфувальні круги на вулканітовій зв'язці використовують при відрізуванні, прорізуванні і безцентровому шліфуванні.

Вулканітову зв'язку виготовляють на основі каучуку і сірки (до 30 %) з наступною вулканізацією. Залежно від компонентів вулканітові зв'язки виготовляють трьох марок — В1, В2 і В3. Круги на вулканітовій зв'язці мають

високу міцність, еластичність, але низьку теплостійкість (180 °С). Ця зв'язка дає змогу виготовляти тонкі круги, які використовують для відрізних і прорізних операцій.

Металічні зв'язки — порошкові і гальванічні. Порошкові металічні зв'язки одержують спіканням порошків із мідних і алюмінієвих сплавів. Гальванічні зв'язки виготовляють на нікелевій основі методом гальванічного закріплення зерен на металічному корпусі. На металічній зв'язці виготовляють тільки алмазні та ельборові круги, зерна яких мають високу зносостійкість. Для шліфування деталей та інструментів, хонінгування застосовують такі марки металічних зв'язок: М1, М5, М10, МП2, ТМ2, МС1 та ін.

Найбільш міцними, зносостійкими і алмазоутримувальними є зв'язки МЖ, МТЛ, МОЗ. Вони забезпечують високу роботоздатність інструменту з міцних алмазів АС15, АС32 в умовах високоабразивного середовища при обробці бетону, граніту і зовсім непридатні для обробки металевих матеріалів, оскільки не оголюються зерна абразиву, інструмент засалюється і втрачає різальні властивості.

В Інституті надтвердих матеріалів АН України розроблено адгезійно активні пористі зв'язки МП1-МП5 з підвищеним алмазотриманням. Вони призначені для виготовлення алмазних хонінгувальних брусків для обробки моторних гільз із сірих і загартованих чавунів.

Твердість абразивного інструменту. Під твердістю абразивного інструменту розуміють опір зв'язки викиду абразивних зерен із поверхні під дією зовнішніх сил. Встановлено шкалу, в якій є категорії твердості, кожна з яких, у свою чергу, поділяється на кілька ступенів. Усього є 17 ступенів твердості. Цифри 1, 2, 3, які стоять від літери справа, характеризують твердість у порядку її зростання (табл. 7.5). Абразивні інструменти на керамічній зв'язці мають всі категорії твердості, інструменти на бакелітовій зв'язці — від СМ1 до Т1. Твердість інструментів на вулканітовій зв'язці не фіксується.

Таблиця 7.5. Позначення твердості абразивного інструменту

Категорія твердості	Позначення	Позначення з урахуванням зміни твердості
Дуже м'який	ВМ	ВМ1, ВМ2
М'який	М	М1, М2, М3
Середньом'який	СМ	СМ1, СМ2
Середній	С	С1, С2
Середньотвердий	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердий	Т	Т1, Т2
Дуже твердий	ВТ	ВТ1, ВТ2
Надзвичайно твердий	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2

У процесі різання із затупленням зерен зростають сили різання. При правильному виборі твердості шліфувального круга зі зростанням сили різання відбувається викришування зерен із зв'язки. При рівномірному викришуванні зерен по всій поверхні круга на місце зерен, що викришилися в процесі різання, вступають нові гострі зерна і, отже, відбувається

самозаточування абразивного інструменту. Якщо твердість круга вибрано завищеною, то в процесі різання зерна, які затупилися, продовжують утримуватися, сила різання не може вирвати зерно із зв'язки, і в такому разі відбувається «засалювання» круга, що призводить до різкого погіршення якості обробленої поверхні деталі (припикання, зростає шорсткість).

У крузі пониженої твердості зерна, які ще не втратили своєї гостроти, передчасно вириваються, що призводить до надмірного його спрацювання.

Шліфувальні круги за твердістю вибирають із таких міркувань. При обробці твердих матеріалів абразивні зерна спрацьовуються інтенсивніше і, щоб уникнути «засалювання» круга, його слід вибирати більш м'яким. При обробці м'яких матеріалів, коли абразивні зерна спрацьовуються повільніше, для уникнення зайвого спрацювання круга зв'язку вибирають більш твердою. Отже, чим м'якший оброблюваний матеріал, тим твердішим вибирають круг, і навпаки, тобто має відбуватися самозаточування круга. Виняток з цього загального правила роблять для дуже м'яких і пластичних матеріалів (мідь, алюміній, латунь), які швидко «засалюють» круг, для них потрібно брати м'які круги (М і СМ).

Структура абразивного інструменту. Структура абразивного інструменту характеризується співвідношенням між абразивними зернами, зв'язкою і порами. Розрізняють чотири види структур (щільна, середня, відкрита, високопориста) з номерами від 0 до 20 залежно від об'ємного вмісту зерен в інструменті. Щільні структури мають номери 0...3 і містять абразивних зерен (за об'ємом) 62...56%. Середні структури мають номери 4...8 і містять абразивних зерен 54...46%. Відкриті структури мають номери 9...12 і містять 44...38% абразивних зерен. Високопористі структури з номерами 13...20 містять абразивних зерен 36...22 %.

Шліфувальні круги щільних структур застосовують на заключних операціях, середні — для обробки в'язких матеріалів, відкриті — для шліфування на високих режимах різання, високопористі — для шліфування гуми, пластмас, дерева, шкіри.

Типи абразивних інструментів. Абразивні інструменти можуть бути суцільними і складеними. Залежно від форми їх поділяють на чотири групи: шліфувальні круги, головки, сегменти і бруски. В кругах прямого профілю, а також у головках і брусках робочою поверхнею є периферійна, а у чашкових і тарілчастих — торцева. Дискові круги застосовують для відрізних і прорізних робіт. Основні геометричні форми шліфувальних кругів зображено на рис. 7.76.

Шліфувальні круги залежно від призначення виготовляють різної геометричної форми. Найчастіше використовують плоскі круги прямого профілю (рис. 7.76, а, з позначенням ПП). Розміри кругів змінюються в широких межах. Так, стандартом передбачено круги плоскі прямого профілю діаметром 3...1060 мм, заввишки $H = 1...250$ мм. Чашково-конічні (ЧК) і чашково-циліндричні (ЧЦ) (рис. 7.76, б) виготовляють із зовнішнім діаметром $D = 40...300$ мм і $H = 25...150$ мм. Тарілчасті круги (Т) (рис. 7.76, в) вигото-

вляють діаметром 80...350 мм і $H = 8...40$ мм. Дискові круги (Д) зображено на рис. 7.76, г.

Алмазні інструменти виготовляють у вигляді кругів, брусків, еластичних стрічок, різців. Алмазний круг складається із корпусу (сталь, алюміній, пластмаса) алмазонасінного кільця завтовшки до 3 мм. Алмазні бруски виготовляють у вигляді колодки (сталь, пластмаса) з алмазонасінним шаром.

Важливою властивістю алмазних інструментів, яка характеризує їх продуктивність і вартість, є концентрація (вміст) алмазів. За 100 % концентрацію прийнято вміст 4,39 карата алмазів у 1 см^3 алмазонасінного шару, що займає близько 25 % його об'єму. Інструмент випускають з концентрацією в межах від 25 до 200 %. Найпоширенішою є 100%-а концентрація алмазів. Як наповнювачі використовують тверді мінерали (карбід силіцію, електрокорунд).

Алмазні стрічки характеризуються матеріалом основи, маркою, зернистістю і концентрацією алмазів, видом зв'язки, а також формою і розміром стрічки.

Алмазні пасти при притиранні і поліруванні забезпечують високу якість обробленої поверхні. Алмазні пасти виготовляють нормальної (Н) і підвищеної (П) концентрації. Залежно від зернистості вміст за масою алмазів у пасті концентрації Н становить від 1 до 10 %, при концентрації П — від 2 до 20 %.

Допустима швидкість різання залежить від абразивного матеріалу і зв'язки круга, оброблюваного матеріалу, характеру обробки і обмежується насамперед міцністю круга. Якщо на ньому немає спеціальних вказівок, то для кругів на керамічній і бакелітовій зв'язках ця швидкість не повинна перевищувати 35 м/с, а для кругів на вулканітовій зв'язці — 40 м/с. Для швидкісного шліфування використовують круги на керамічній зв'язці підвищеної міцності, яка допускає швидкість обертання до 50 м/с, а на органічних — 65 м/с.

Маркування шліфувальних кругів містить основні їх характеристики: абразивний матеріал, зернистість, індекс зернистості, твердість, номер структури, зв'язку, клас круга, допустиму колову швидкість.

Клас круга характеризує допуски на його розміри. Круги бувають трьох класів: АА, А і Б. Круги класу АА найточніші, а класу Б найменш точні.

Індекс зернистості характеризує вміст основної фракції абразивного матеріалу: В (зерен основної фракції 55...60 %), П (46...55%), Н (40...45 %), Д (39...41 %).

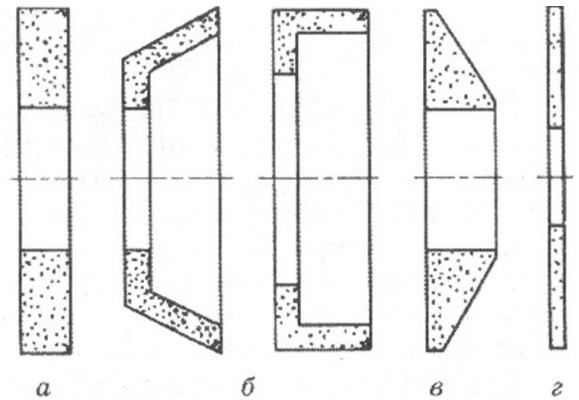


Рис. 7.76. Основні форми шліфувальних кругів

Стандартні абразивні інструменти маркуються на неробочих поверхнях. Наприклад, марка 24А40НСМ17К5А1ПП200х16х32,35 м/с означає: 24А — абразивний матеріал, електрокорунд білий; зернистість № 40 (400 мкм); індекс зернистості Н; твердість СМ1 (середньом'який) структура № 7 (середня); зв'язка керамічна п'ята; клас точності А, незрівноваженість 1; круг форми ПП (плоско-прямий); зовнішній діаметр 200 мм; товщина 16 мм; діаметр отвору 32 мм; колова швидкість не більше ніж 35 м/с.

При маркуванні алмазних та ельборових кругів зазначають марку алмазів (марка ельбору), зернистість, зв'язку і концентрацію, форму і розміри круга.

Марка алмазного круга. Наприклад, 12А2-45°АС463/50М2-01 100% 150х32х32х10х3 означає 12А2-45° — форма круга, чашковоконічна; АС4 — матеріал (алмаз синтетичний марки АС4); 63/50 — зернистість (розміри зерен основної фракції від 50 до 63 мкм); М2-01 — зв'язка металічна; 100 % — концентрація алмазів у робочому шарі; 150х32х32х10х3 — параметри круга (зовнішній діаметр, висота круга, діаметр отвору, ширина і товщина алмазного шару).

Питання для самоконтролю

1. Основні типи шліфувальних верстатів та пристрої до них?
2. Хонінгування?
3. Сили різання і потужність при шліфуванні?
4. Маркування шліфувальних кругів?
5. Абразивні інструменти та їхня характеристика?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 453-470;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 197-209.

ЛЕКЦІЯ 27

ОБРОБКА ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ БЕЗ ЗНЯТТЯ СТРУЖКИ

План

- 1) *Формоутворювальні методи.*
- 2) *Зміцнювально-калібрувальні методи.*
- 3) *Електрофізичні методи обробки.*
- 4) *Електрохімічні методи обробки.*

1) Формоутворювальні методи

Загальні відомості. Обробка поверхневим пластичним деформуванням забезпечує підвищення експлуатаційних властивостей деталей: збільшення стійкості до спрацювання, антикорозійну стійкість, міцність до втомлюваності.

Усі методи обробки пластичним деформуванням можна поділити на дві групи: формоутворювальні і зміцнювально-калібрувальні. Формоутворювальні методи призначені для надання заготовці потрібної форми і розмірів без зняття стружки, що значно знижує трудомісткість і дає значну економію металу.

Накатування різьби. При цьому методі обробки профіль різьби утворюється не вирізуванням, а витискуванням витків унаслідок заглиблення в заготовку, що обертається, профілю інструменту. Принцип утворення різьби накатуванням полягає в тому, що заготовка 2 прокатується між двома плоскими різьбовими плашками 1 і 3 (рис. 7.84, а) або між круглими плашками 4 (роликами), що обертаються (рис. 7.84, б). Заготовку 2 розміщують на спеціальній підтримці 5 між роликами 4, які зміщено один відносно одного вздовж осі на $1/2$ кроку різьби. Один із роликів здійснює рух подачі, перпендикулярний до осі заготовки. Накатування різьби виконують на різьбонакатувальних верстатах.

Виготовлення різьби накатуванням має багато переваг:

- ♦ продуктивність у 15...20 разів вища, ніж при нарізуванні різьби різальними інструментами;
- ♦ оскільки при накатуванні волокна металу не перерізуються і внаслідок пластичного деформування відбувається наклепування, то міцність різьбових деталей підвищується;
- ♦ поверхня накатаної різьби гладенька і чиста, без задирок і розривів, які часто утворюються при нарізуванні різьби;
- ♦ значна економія металу, оскільки метал не витрачається на стружку, а діаметр заготовки беруть таким, що приблизно дорівнює середньому діаметру різьби;
- ♦ накатуванням можна виготовляти різьби на заготовках із важкооброблюваних матеріалів;
- ♦ різьбонакатний інструмент має високу стійкість.

Накатування різьби широко використовують у масовому виробництві болтів, гвинтів, шурупів і шпильок.

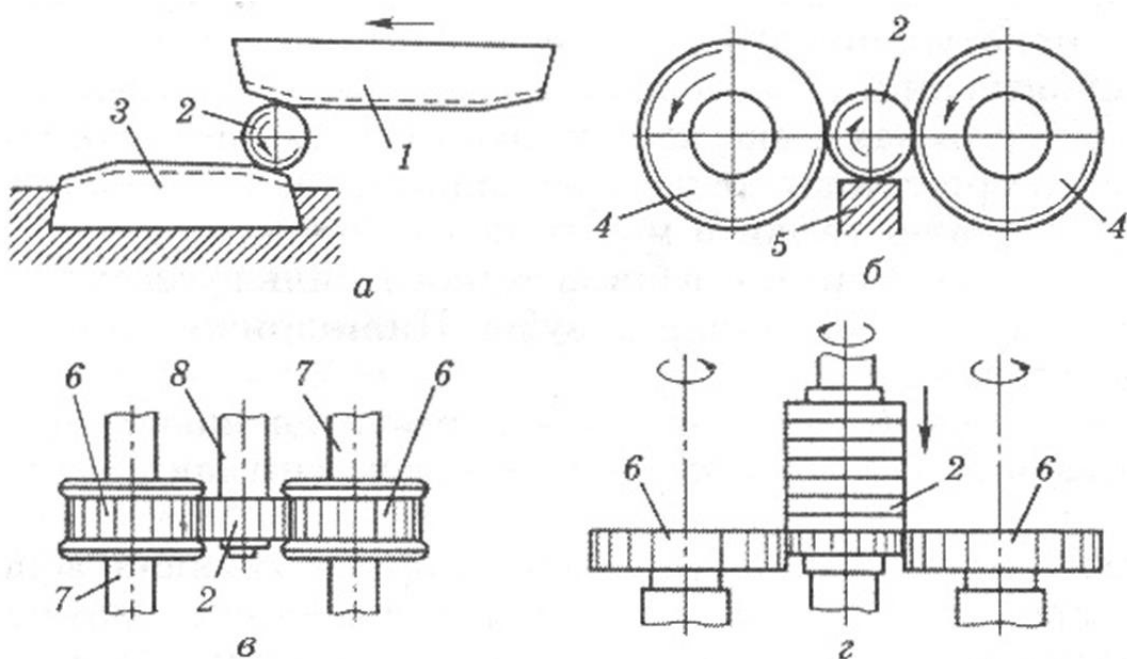


Рис. 7.84. Схеми формуютьовальних методів обробки

2) Зміцнювально-калібрувальні методи

При зміцнювально-калібрувальній обробці відбувається наклеп поверхневого шару і його зміцнення, згладжуються мікронерівності, зменшується шорсткість обробленої поверхні і таким чином поліпшується припрацювання деталей, зростає стійкість до втомлюваності.

Обкатування поверхонь роликами. Процес обробки полягає в тому, що поверхні деталі (рис. 7.85, а) обкатують притиснутими до неї одним, двома і трьома гладенькими роликами, виготовленими із загартованої сталі. Найчастіше обкатування циліндричних поверхонь проводять на токарних верстатах, а плоских — на стругальних. Обкатування часто замінює шліфування, яке складніше. Залежно від оброблюваного матеріалу і режимів процесу глибина наклепаного шару може змінюватися в межах від 0,2 до 20 мм, а твердість поверхневого шару зростає на 40...50%, границя втомлюваності зростає на 80 % і більше.

У багатьох випадках як кінцеву обробку отворів застосовують розкатування багатороликовими

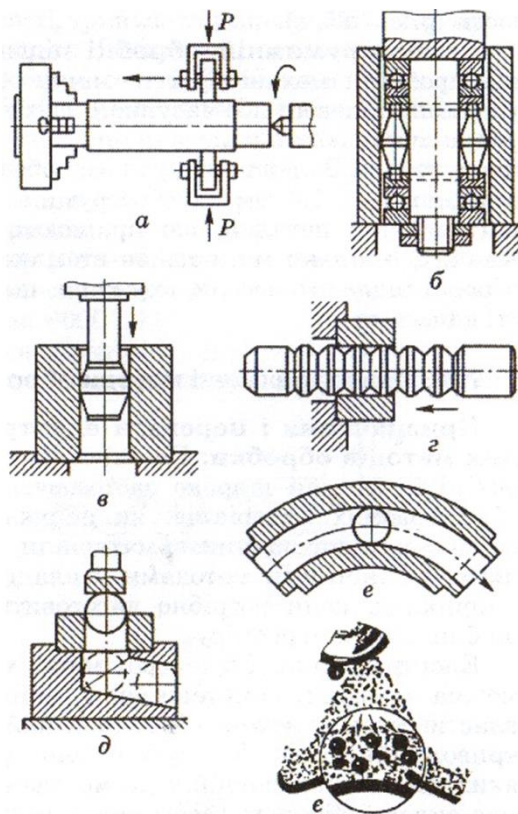


Рис. 7.85. Схеми зміцнювально-калібрувальних методів обробки

розкатками, яке часто замінює інші види обробки. Розкатування циліндрів у кілька разів продуктивніше за шліфування і хонінгування.

Для мащення при розкатуванні деталей із сталі і кольорових металів застосовують оливу або сульдафрезол, а деталей із чавуну — гас.

Після обкатування роликami шорсткість поверхні становить

$Ra = 0,32 \dots 0,05$ мкм.

Алмазне вигладжування — процес кінцевої обробки деталей, при якому алмазний інструмент притискають до обкатуваної поверхні деталі зусиллям 80...450 Н і обробку ведуть без зняття стружки (рис. 7.85, б).

Калібрування отворів. Найпоширенішими методами калібрування отворів є дорнування і калібрування їх кулькою, що виконується на протяжних верстатах і пресах.

Процес дорнування полягає в тому, що калібрувальний інструмент (дорн), який є прошивкою без різальних зубів, або протяжкою певної форми, проштовхується або протягується крізь оброблюваний отвір (рис. 7.85, в, г). За рахунок пластичних деформацій діаметр отвору при дорнуванні збільшується, а мікронерівності згладжуються. Особливо високі результати одержано в Київському інституті надтвердих матеріалів при калібруванні отворів твердосплавними дорнами, які відшліфовано алмазними кругами.

Калібрування кулькою (рис. 7.85, д) полягає в проштовхуванні крізь точно оброблений отвір сталевий загартований кульки. Цей спосіб особливо потрібний при калібруванні отворів з криволінійною віссю (рис. 7.85, е).

Дробоструминній обробці піддають деталі складної форми, які пройшли механічну і термічну обробку. Поверхні обробляють ударами сталевий або чавунний дробу із дробомету (рис. 7.85, є). Ці удари зумовлюють пластичне деформування і наклеп поверхневого шару деталі. Залежно від режиму обробки глибина його змінюється в межах 0,1...1,0 мм. Дробоструминна обробка дуже ефективна у виготовленні деталей, що працюють при знакозмінних навантаженнях, оскільки міцність до втомлюваності значно зростає. Такій обробці піддають ресори, пружини, шатуни, колінчасті вали, зубчасті колеса та ін.

3) Електрофізичні методи обробки

Призначення і переваги електрофізичних і електрохімічних методів обробки. Електрофізичні (електроерозійні) та електрохімічні методи широко застосовують при обробці таких важкооброблюваних матеріалів, як неіржавні, жароміцні сталі, тверді сплави, напівпровідникові матеріали, рубіни, алмази та ін., обробка яких механічними методами ускладнена, а інколи й неможлива, наприклад, коли потрібно виготовити отвір або фасонний проріз особливо малого розміру.

Електрофізичні і електрохімічні методи мають низку переваг: можна обробляти матеріали з найвищими фізико-механічними властивостями; можна обробляти найскладніші поверхні (отвори з криволінійною віссю, глухі отвори фасонного профілю), обробка яких неможлива звичайними методами; при

обробці практично немає силової дії інструменту на заготовку; обробку цими методами легко автоматизувати; можливість копіювання форми інструменту по всій оброблюваній поверхні.

Електрофізична обробка має чотири різновиди: електроіскрова, електроімпульсна, електроконтактна і анодно-механічна.

Електроіскрову обробку (рис. 7.86, а) ще у 1943 р. розробили вчені Лазаренки. Вона ґрунтується на явищі руйнування металу в колі постійного струму під дією іскрового розряду. Інтенсивність і тривалість іскрового розряду змінюється залежно від ємності, сили струму, напруги, складу матеріалів електродів (інструменту — катода, деталі — анода), іскрового проміжку між інструментом і деталлю, тривалістю розряду.

Ємність призначена для того, щоб накопичити енергію і миттєво віддати її у вигляді сильного іскрового розряду. Ємність, що застосовується при електроіскровому способі обробки металів, становить від 0,25 до 600 мкФ. Силу струму і напругу встановлюють залежно від виду обробки (від 0,2 до 300 А і від 10 до 220 В), тривалість розряду — 20...200 мкс. Зі зменшенням ємності, тривалості розряду, сили струму і напруги якість обробки підвищується. Електричні режими призначають залежно від характеру обробки і площі оброблюваної поверхні. При особливо м'якому режимі обробки (ємність менша ніж 10 мкФ, сила струму менша за 10 А) можна досягти точності обробки, що відповідає 5 - 6-му квалітетам, а шорсткості поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,16$ мкм.

Електроди-інструменти виготовляють із латуні, міді, алюмінію та інших струмонровідних матеріалів.

Процес відбувається у рідкому діелектричному середовищі (олива, гас), де часточки, що відірвалися від анода під час іскрового розряду, температура якого досягає 6000... 11 000 °С, охолоджуються і осідають, а також охолоджуються електроди. Оскільки обробка здійснюється без стикання заготовки з інструментом, можна обробляти струмопровідний матеріал будь-якої твердості інструментом з м'якого металу.

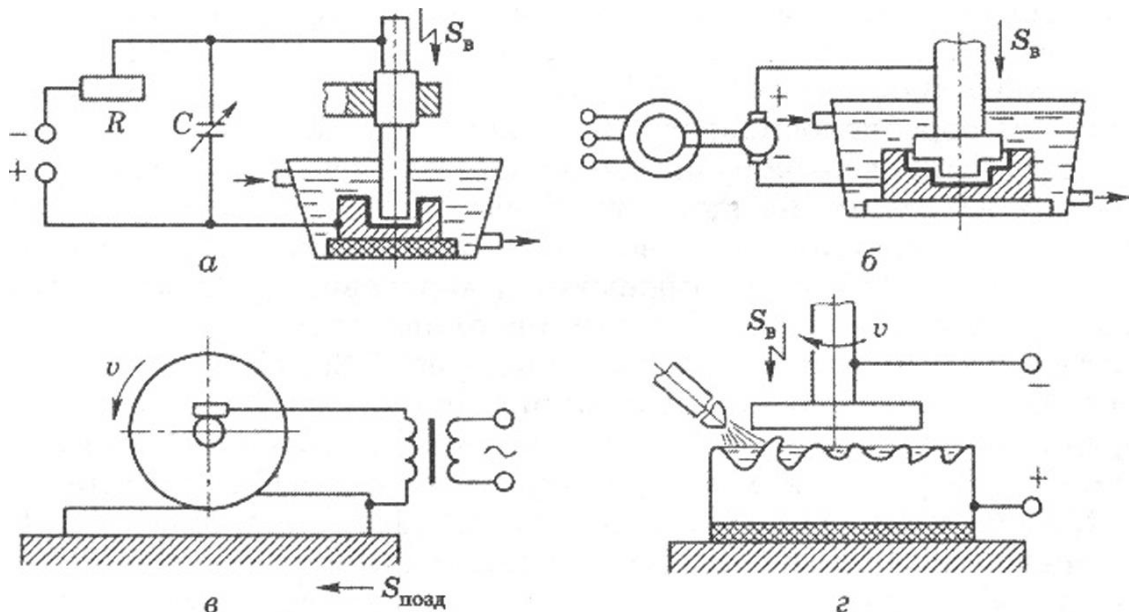


Рис. 7.86. Схеми електрофізичної обробки

Для електроіскрової обробки випускають різні верстати. Універсальним електроіскровим верстатом є верстат моделі 18М2, для виготовлення отворів до 0,15 мм — автоматичний верстат 62 та ін.

Верстати оснащені слідкуючими системами і механізмом автоматичної подачі інструменту для забезпечення постійного зазору між електродами.

Електроіскрову обробку широко використовують для виготовлення отворів у розпилювачах форсунок (діаметром до 0,15 мм), у жиклерах, обробки контурів штампів із твердих сплавів, фільер, кокілів, виймання поламаного інструменту (свердел, мітчиків), обірваних болтів. Недоліками процесу є порівняно низька продуктивність — 35... 1200 мм³/хв, значне спрацювання електродів і утворення на поверхні деталей дефектного шару завтовшки 0,05...0,50 мм, обмежена оброблювана поверхня 250... 1500 мм².

Електроімпульсна обробка металів є різновидом електроерозійної обробки (рис. 7.86, б). Порівняно з електроіскровою обробкою процес характеризується збільшенням потужності одиничних розрядів, тривалістю імпульсів від 500 до 10 000 мкс, зворотною полярністю вмикання електродів: заготовка — катод, а інструмент — анод, застосуванням знижених напруг (24... 11 В) і відносно великим значенням сили струму (500...5 А). При цьому методі обробки спрацювання інструментів-електродів значно менше, ніж при електроіскровій обробці. Великі потужності імпульсів забезпечують високу продуктивність, яка у 8... 10 разів більша, ніж при електроіскровій обробці. Цей метод дає змогу здійснювати обробку на великій площі (до 240 см²) з високою продуктивністю (до 5000 мм³/хв).

Якість обробленої поверхні залежить від режимів обробки. Чистова обробка напругою 11... 12 В, а силою струму 5...50 А забезпечує шорсткість обробленої поверхні $Ra = 6,60... 1,25$ мкм.

Електроімпульсну обробку виконують на спеціальних електроімпульсних верстатах, на яких обробляють прес-форми, штампи, лопатки турбін, прошивають отвори будь-якої конфігурації в загартованих деталях. Обробка здійснюють у середовищі рідкого діелектрика (індустріальна, трансформаторна олива, гас).

Електроконтактна обробка (див. рис. 7.86, в) ґрунтується на електромеханічному руйнуванні металу під впливом електродугових розрядів інструментом, що швидко переміщується. Зняття металу із заготовки відбувається в повітряному середовищі обертовим диском- електродом, який є робочим інструментом. Диск і заготовку з'єднано із джерелом живлення — знижувальним трансформатором.

Якщо обертати диск, до якого заготовка притискується з невеликим зусиллям, то контакти періодично розриваються і виникають електричні розряди, під впливом яких метал заготовки руйнується тим самим диском.

Електричний струм, що проходить через місце контакту з підвищеним перехідним опором, нагріває, пом'якшує і плавить метал заготовки, полегшуючи його видалення. Робочий інструмент (металевий диск) не розплавляється за рахунок швидкого переміщення (30...80 м/с) і тривалість

стикування його з заготовкою дуже мала. Такий диск викидає часточки розплавленого металу у вигляді снопа іскор. Оскільки до інструменту і заготовки можна підвести струм великої потужності, інтенсивність процесу дуже велика і в деяких випадках може набагато перевищити за продуктивністю звичайну обробку різанням.

Електроконтактна обробка не забезпечує високої точності і якості поверхні. Застосовують її для різання заготовок, обдирання відливків, плоского шліфування, прошивання отворів, очищення від окалини.

Анодно-механічна обробка ґрунтується на одночасній дії електрохімічного і електроіскрового процесів, що відбуваються в середовищі електроліту, яким є водний розчин рідкого скла. Анодом може бути заготовка, а катодом — інструмент (рис. 7.86, з). Як інструмент застосовують диски, циліндри, стрічки, дріт. Заготовці і інструменту надається рух, аналогічний руху при обробці різанням. Анодно-механічна обробка забезпечує 8-11-й квалітети і шорсткість поверхні $Ra = 6,3$ мкм, а анодно-механічне шліфування — 6 — 9-й квалітети і $Ra - 0,8$ мкм.

Пропускання постійного струму через зону обробки забезпечує анодне розчинення, характерне для електрохімічної обробки.

У моменти стикування мікронерівностей оброблюваної поверхні заготовки з інструментом виникають електродугові розряди, електроерозія, яка характерна для електроіскрової обробки, а при контакті заготовки з інструментом за рахунок короткочасних дугових розрядів відбувається розігрівання металу в окремих зонах, характерне для електроконтактної обробки.

Анодно-механічну обробку застосовують для обробки всіх струмо- провідних матеріалів.

4)Електрохімічні методи обробки

В основу електрохімічної обробки заготовок покладено принцип анодного розчинення, який застосовують при електролізі. При подачі постійного струму в місце обробки на поверхні заготовки (аноді) відбуваються хімічні реакції, які перетворюють шар металу на хімічні сполуки. Продукти електролізу переходять у розчин або видаляються механічно. До методів, які найбільше застосовують у промисловості, належать електрохімічне полірування, електрохімічна розмірна обробка, електроабразивна і електроалмазна обробка.

Електрохімічне полірування (рис. 7.87, а) проводять у ванні, заповненій електролітом, яким є розчини кислот або лугу (залежно від матеріалу оброблюваної заготовки). Катодами при обробці є металеві пластини. При подачі напруги починається процес вибіркового розчинення металу поверхні заготовки. Внаслідок великої густини струму інтенсивніше розчиняються мікровиступи. Так відбувається згладжування поверхні. Після такої обробки деталі не мають дефектного шару, тому у них підвищені корозійна стійкість, границя втомлюваності і контактна міцність. Електрохімічне полірування

здійснюють перед гальванічним покриттям для доведення різального інструменту, поверхонь деталей.

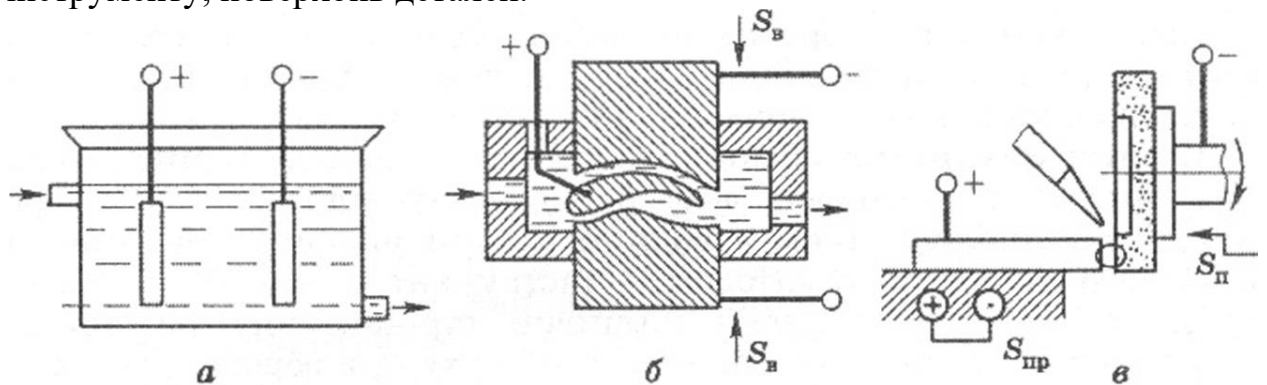


Рис. 7.87. Схеми електрохімічної обробки

Електрохімічну розмірну обробку (рис. 7.87, б) виконують з прокачуванням електроліту під тиском між заготовкою та інструментом. Увесь час свіжий електроліт сприяє кращому розчиненню металу поверхні заготовки і видаленню продуктів анодного розчинення, запобігає осаду металу на інструмент, що зберігає його форму і розміри, тобто роботоздатність. Знімання металу відбувається по всій поверхні заготовки, яка розміщена під інструментом. Ділянки заготовки, де не знімається метал, ізолюються. Зазор при обробці залишається постійним за рахунок слідкуючих систем. Електрохімічну розмірну обробку застосовують при виготовленні деталей складної форми (лопатки турбін), для прошивання отворів, обробки порожнин штампів. Електроабразивну і електроалмазну обробку (рис. 7.87, в) застосовують для підвищення продуктивності, якості і геометричної точності оброблюваних деталей із твердих, магнітних, жароміцних сплавів, а також для заточування твердосплавного і швидкорізального інструменту.

Метод ґрунтується на поєднанні електрохімічного анодного розчинення металів з механічною дією абразивних або алмазних зерен. Інструментом електролітичної алмазної обробки є струмопровідний алмазний круг на металічній зв'язці. В ланцюгу джерела постійного струму цей круг підключають як катод, оброблювану деталь — як анод. При електроалмазній обробці твердосплавних інструментів застосовують нітритонітратний електроліт. Продукти анодного розчинення алмазні зерна виносять у потік електроліту, який виходить із міжелектродного зазору. При цьому зерна одночасно знімають продукти розчину і шар металу.

Висока продуктивність досягається великою густиною струму, яка становить 80... 100 А/см².

Спрацювання алмазного шару кругів при електролітичній обробці у 2... 10 разів менше, ніж при звичайному шліфуванні, шорсткість обробленої поверхні досягає $Ra = 0,020 \dots 0,320$ мкм. Значно зменшується брак твердосплавного інструменту і деталей через відсутність перепалів і тріщин. Промисловість випускає верстати таких моделей: 3623, 362У, 3У110, 3У732.

Питання для самоконтролю

1. Принцип утворення різьби накатуванням?
2. Переваги виготовлення різьби накатуванням?
3. Зміцнювально-калібрувальні методи?

Література.

- 1) В.Ф.Ясюк, П.П.Тонкоглас, В.В.Мартинюк "Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів", ст. 473-481;
- 2) В.Попович, В.Голубець "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство", ст. 222-236.

ЛЕКЦІЯ 28 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

1. Основні напрямки проектування технологічних процесів в сучасному машинобудуванні.
2. Вимоги до технологічних процесів.
3. Види технологічних процесів.
4. Вихідні дані для проектування.
5. Основні етапи проектування.
6. Визначення маршруту технологічного процесу.

1. При проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей машин треба враховувати основні напрямки в сучасному машинобудуванні:

1. Зняття мінімальних припусків заготовок за рахунок надання заготовкам максимальної точності і наближення їх форми та шорсткості поверхонь до розмірів і якості поверхонь готових деталей. При точних заготовках не тільки економиться метал, але й скорочується обробка, знижується трудомісткість, скорочується потреба в металорізальних верстатах та інструментах, знижується собівартість всього процесу виготовлення

Отримання точних відливок досягається застосуванням прогресивних методів отримання відливок (в постійні форми, оболонкові, під тиском, за моделями, що виплавляються, які дають 4...5 клас точності. Частина таких відливок взагалі не обробляється або проходить тільки оздоблювальні операції.

Отримання точних заготовок обробленням тиском досягається штампуванням або калібруванням заготовок на потужних ковальсько-пресових та ковальських машинах, прокаткою заготовок на спеціальних станах з отриманням складних профілів, максимально наближених за формою до готових деталей (підігрів СВЧ).

2. Інтенсифікація технологічних процесів за рахунок використання високопродуктивного автоматизованого обладнання та агрегатних верстатів,

робота яких базується на принципі високої концентрації операцій з використанням металокерамічного та твердосплавного інструменту, швидкодіючих пристроїв, високопродуктивних режимів обробки, максимального скорочення допоміжного часу за рахунок механізації і автоматизації загрузки і кріплення заготовок і зняття деталей, широке використання верстатів з ЧПК.

3. Досягнення найбільш продуктивними методами високої точності розмірів і форм деталей, якості поверхонь, точності спряжень, які забезпечують високу зносостійкість, надійність, довговічність.

4. Розвиток зміцнюючих технологій.

5. Використання потужних верстатів, що викликається обробкою габаритних деталей, а також концентрації великої кількості операцій, які здійснюються одночасно великою кількістю інструменту, інтенсивними режимами обробки, механізацією і автоматизацією допоміжних робіт.

6. Використання таких технологічних процесів, при яких з стандартних вузлів можуть компонуватися високопродуктивні верстати. Раніше технологічні процеси розробляли для існуючого обладнання. Зараз в масовому виробництві в сучасних умовах за оптимальними технологічними процесами з стандартних вузлів складаються високопродуктивні автомати або напівавтомати, агрегатні верстати карусельного або барабанного типу зкомпоновані з великої кількості силових головок. Один такий верстат заміняє 4...12 універсальних верстатів. Трудомісткість операцій при цьому різко зменшується.

Слід також відзначити використання малих агрегатних напівавтоматів, які компонуються з самодіючих силових головок з електричним, пневматичним або гідроприводом, автоматичних нормалізованих поворотних столів і барабанів та інших транспортних засобів з швидкодіючими затискними пристроями і дозволяють з одного установу обробити деталі різноманітної номенклатури. Переналагодження таких верстатів не потребує багато часу.

7. Застосування переносних агрегатних верстатів для обробки габаритних деталей.

8. Автоматизація робіт.

9. Застосування електрофізичної, електрохімічної, лазерної обробки.

Принципи проектування:

- технічний – полягає у відповідності технологічного процесу вимогам креслення та технічних умов;

- економічний – полягає у виготовленні виробу з мінімальною трудомісткістю та собівартістю

- оптимальний – це технічний процес, що відповідає вимогам найвищої економічності і необхідної якості готового виробу.

2. При розробленні оптимального варіанту технологічного процесу виготовлення до нього ставляться наступні вимоги.

1. Заготовки мають бути максимально наближені за формою і розмірами до готових деталей (мінімальні припуски).

2. Використання найбільш сучасних організаційних форм виробництва (перервні, неперервні, групові, потокові лінії, предметно-замкнені дільниці).

3. Послідовність і структура операції повинні забезпечувати якісне виготовлення деталей з мінімальними затратами на обробку (використання сучасних методів обробки).

4. Вибране обладнання повинно бути потужним і високоефективним, забезпечувати можливість концентрації значної частини операцій із залученням великої кількості інструментів.

5. Технологічні пристрої повинні бути високопродуктивними із швидким затиском та зніманням заготовки.

6. Вимірювальний інструмент повинен забезпечувати точність вимірювань, але бути максимально простим.

7. Різальний інструмент повинен забезпечувати інтенсивні режими різання і бути максимально простим.

8. Припуски повинні бути раціонально поділені на чорнову, чистову і остаточну обробки.

9. Верстатне обладнання повинно бути раціонально змонтоване з мінімальними транспортними рухами.

10. Застосування раціональної організації робочого місця.

11. Норми часу повинні бути технічно обгрунтовані.

3. Вид технологічного процесу визначається кількістю назв виробів, котрі він охоплює (один виріб, група однотипних або різнотипних виробів).

Згідно ГОСТ 3.1109-82 технологічні процеси класифікують:

- за кількістю назв виробів, виготовлення яких передбачено технологічним процесом;

- за деталізацією операцій, які передбачені у технологічному процесі виготовлення виробу або виробів.

Одиничний технологічний процес використовується для виготовлення виробів однієї назви, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва.

Уніфікований технологічний процес використовується для кількох виробів. Уніфіковані технологічні процеси можуть бути типові і групові.

Типовий технологічний процес характеризується єдністю змісту та послідовністю більшості т/о і переходів для групи виробів із спільними конструктивними ознаками. Типовий технологічний процес розробляється на одну деталь – типового предстаника групи.

Груповий технологічний процес характеризується спільністю обладнання і технологічного оснащення при виконання окремих операцій або при повному виготовленні однорідних чи різнорідних деталей.

Одиничні і уніфіковані технологічні процеси розділяються на перспективні і робочі.

Перспективний технологічний процес розробляється на перспективу, як інформаційна основа для розборки робочих технологічних процесів при технічному чи організаційному переозброєнні виробництва. Він розрахований на більш продуктивні і економічно ефективні засоби технологічного оснащення і нові принципи організації виробництва.

Робочий технологічний процес використовується для виготовлення конкретного виробу згідно з вимогами техдокументації.

Робочі технологічні процеси можуть бути проектними, тимчасовими і стандартними.

Проектний технологічний процес розробляється за попереднім проектом технологічної документації.

Тимчасовий технологічний процес використовується протягом обмеженого проміжку часу при відсутності необхідного обладнання або з приводу аварії.

Стандартний технологічний процес – встановлює стандарт.

Комплексний технологічний процес – це перспективний чи робочий технологічний процес, який складається з типових технологічних рішень (операцій).

За деталізацією технологічні процеси поділяються на:

- маршрутні;
- операційні;
- маршрутно-операційні.

Маршрутний технологічний процес виконується за документацією, у котрій зміст операцій викладається без визначення переходів і режимів обробки.

Операційний технологічний процес виконується за документацією, в котрій зміст операції викладається без зазначення переходів і режимів, а для найбільш відповідальних операцій – з визначенням переходів і режимів.

4. Для проектування технологічних процесів необхідно мати наступні вихідні дані:

- а) робоче креслення деталі, за яким визначається матеріал деталі, розміри, шорсткість і відхилення від правильної геометричної форми;
- б) складальні креслення вузлів з конкретними технічними умовами;
- в) дані про тип виробництва і річні програма, а для серійного великі партії деталей;
- г) технічні і паспортні дані пара верстатів;
- д) відомості про наявність на підприємстві нормалізованої і спеціалізованої оснастки;
- е) довідникова література по розрахунку режимів та припусків.

5. Основні етапи проектування:

1. Аналіз креслення деталі, технічних умов і інших вимог до креслень.
2. Відпрацювання конструкції деталі на технологічність: форми;

розмірів;
матеріалу.

3. Визначення типу виробництва та організація форми роботи:
однопотокова;
непотокова;
групова.

4. Вибір заготовки і способу її одержання. Вартість може бути більша, якщо зменшити затрати на обробку за рахунок високоточних загальних і операційних припусків. Основний критерій – собівартість (вага відходів для прутка не більше 15% від ваги деталі).

5. Вибір баз та розрахунок точності встановлення.

6. Формування маршруту обробки (визначення послідовності та змісту технологічних операцій, застосування концентрації та диференціації операцій).

7. Вибір типу технологічного обладнання.

8. Вибір технологічного оснащення (пристроїв, різального та вимірювального інструменту).

9. Визначення організаційної форми контролю.

10. Визначення припусків (міжопераційних та загальних).

11. Вибір або розрахунок режимів різання.

12. Визначення сил різання та необхідної потужності верстатів.

13. Вибір за потужністю моделей верстатів та коректування режимів різання.

14. Нормування робіт.

15. Організація виробничої діяльності.

16. Оформлення технічної документації.

6. При визначенні маршруту технологічного процесу виділяють два етапи роботи:

I-й – проектування технологічного маршруту технологічного процесу, тобто визначення кількості і послідовності необхідних операцій, закріплення їх за цехами.

II-й – визначення оптимальної структури кожної операції.

Слід відзначити: перший етап обумовлений конфігурацією деталі та точністю, другий залежить від програми випуску.

Проектування технологічного процесу є трудомісткою роботою, яка вимагає неабиякого досвіду і знань. Яким тоді чином забезпечити якісне проектування незалежно від досвіду? Проф. Соколовський висунув ідею про типізацію технічних процесів. Суть її полягає в наступному: геометрично подібні деталі мають подібні (типові) маршрути обробки, якщо провести відповідну класифікацію деталей машин і розділити їх на певні категорії: класи, підкласи, групи, типи.

Типові – це геометрично подібні деталі, які мають подібні технологічні процеси обробки. Розробивши один раз технологічний процес, надалі його можна використовувати для деталей даного типу з певними уточненнями.

Другий шлях – теоретично обґрунтоване проектування з використанням загальних принципів і положень технології машинобудування, зокрема:

При теоретично-обґрунтованому проектуванні використовують такі основні принципи:

- принцип розділення чорнових і чистових операцій;
- принцип диференціації і концентрації;
- принцип перенесення найточніших операцій на кінець технологічного процесу.

При виконанні маршруту технологічного процесу треба визначити:

- назви технологічних операцій і їх кількість;
- встановити їх черговість.

Перша задача простіша і для цього треба знати:

- які роботи можуть виконувати основні верстати;
- на яких верстатах доцільно проводити обробку основних поверхонь типових деталей.

Друга задача є складніша і визначає знання з теорії базування, вибору чорнових і чистових баз і принципів технології машинобудування.

Вибір черговості операції починається з питань:

- чи доцільно використовувати допоміжні бази і які?;
- які (чи яку) з поверхонь слід приймати за чорнову базу?

Перша операція технологічного маршруту:

- обробка допоміжних баз, якщо вони використовуються (для валів – підрізання торців і утворення центрувальних отворів; для корпусних – обробка базової площини та двох отворів під установлювальні пальці);
- обробка тих поверхонь, що можуть бути оброблені при даній чорновій базі.

Друга операція – обробка тієї поверхні, чи поверхонь, які можна обробити при установленні на попередньо оброблені поверхні. Якщо не зберігається правило єдності баз, то намічаються операції, які можуть оброблятися на третій операції.

Останньою операцією є як правило обробка найточніших поверхонь деталі, до яких ставляться найвищі вимоги.

Інколи при проектуванні технологічних маршрутів високоточних деталей, які виготовляються із відливок (шпиндельні блоки багатошпиндельних верстатів) доводиться для попередження короблення деталі внаслідок перерозподілу внутрішніх напружень розділити операції (спочатку всі чорнові, потім всі чистові, а вже далі фінішні та викінчувальні).

Намітивши технологічний маршрут виготовлення деталі приступають до визначення режимів кожної операції технологічного процесу.

При виборі баз необхідно прагнути, щоби одні і тіж поверхні використовувались як різні за призначенням бази (конструкторська база повинна використовуватись як технологічна і вимірювальна) – принцип

суміщення баз. Першочергово необхідно обробляти ту поверхню, яка буде використовуватись як технологічна база для подальшої обробки.

Залежно від кількості і напрямку розмірів, які потрібно витримати при виконанні даної операції технологічні бази можуть складатися з однієї, двох або трьох базувальних поверхонь. При цьому деталь позбавляється трьох, п'яти або шести ступеней вільності. Наприклад: базування деталей в центрах – 5 ступеней вільності, на призмі – 4 ступеня.

При розробці схеми базування необхідно враховувати те, що чим більше опорних точок має пристрій, тим він є складніший і відповідно дорожчий. Тому деталь необхідно позбавляти тільки тих ступеней вільності, які можуть вплинути на точність:

- – якщо в деталі треба витримати тільки один координатний розмір, то деталь треба позбавити трьох ступеней вільності;
- – якщо два розміри – то п'ять ступеней вільності.
- – якщо треба витримати розміри в трьох координатних площинах, то потрібно позбавити тіло всіх шести ступеней вільності.

Запитання для самоконтролю

1. Опишіть основні напрямки проектування технологічних процесів в сучасному машинобудуванні.
2. Які вимоги ставляться до технологічних процесів?
3. Назвіть види технологічних процесів.
4. Які вихідні дані необхідно мати для проектування технологічного процесу обробки?
5. Назвіть основні етапи проектування технологічного процесу.
6. Як проектується технологічний процес обробки?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І та ін. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К.: Техніка, 2002. – с. 374.
2. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.-с.264.
3. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. Університетська книга, 2002.-с.259.
4. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В. та ін. Технологія металів і матеріалознавство (на російській мові). М: Металургія, 1987, 800 с.
5. Солнцев Ю.П., Веселов Д.А., Демянцевич В.П. та ін. Матеріалознавство і технологія металів (на російській мові). М.: Металургія, 1988, 512 с.
6. Кондратьев Е.Т. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство (на російській мові). М.: Колос, 1983.
7. Поверхневе зміцнення сталей /А. С. Опальчук, К. Г. Лопатько, О. В. Зазимко та ін. // Методичні вказівки до лабораторних робіт з розділу „Термічна обробка сталі”. Київ: Національний аграрний університет, 1998.-с. 18.
8. Технологічні процеси галузей промисловості. Навчальний посібник за ред. Д.М. Колотила, А.Т. Соколовського. Київ.: КНЕУ, 2003.- с. 380.
9. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. За редакцією Г.О.Прейса. К.: Вища школа, 1973. – с. 512.
10. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Київ: Либідь, 2002.-с.326.
11. Роговський Л.Л., Зазимко О.В., Роговський І.Л. Лабораторні роботи з дисципліни „Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство”. Київ: Національний аграрний університет, 2003.-с. 18.
12. М.І. Майський, В.М. Майський. Лабораторно-практичні роботи з технології металів і конструкційних матеріалів. Київ: 1972.-с. 152.
13. Визначення прогартовуваності сталей методом торцевого гартування/ О.О. Котречко, А.С.Опальчук, К.Г.Лопатько та ін.// Київ: Національний аграрний університет, 2002. - с. 11.
14. Мідь та сплави на основі міді. / О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько, О.М. Каспрук та ін.// Кольорові метали та їх сплави. Київ: Національний аграрний університет, 2001.-с. 1-15.
15. Вивчення мікроструктури кольорових сплавів / О.О. Котречко, А.С. Опальчук, К.Г. Лопатько та ін. // Київ: Національний аграрний університет, 2002.- с. 9.
16. Алюміній і ливарні сплави на основі алюмінію / О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько, О.М. Каспрук та ін.// Алюміній та його сплави. Київ: Національний аграрний університет, 2001.-с. 1-11.

17. Термічна обробка алюмінієвих сплавів / О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько, О.М. Каспрук та ін.// Алюміній та його сплави. Київ: Національний аграрний університет, 2001.-с. 22-28.

18. Алюмінієві сплави, що деформуються / О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько, О.М. Каспрук та ін.// Алюміній та його сплави. Київ: Національний аграрний університет, 2001.-с. 12 - 21.

19. Савченко С.М. Износ и восстановление деталей оборудования. - М.: Оборонгиз, 1948.- с.181.

20. Вплив пластичної деформації на властивості та структуру сталі /А.С.Опальчук, О.О. Котречко, О.В. Зазимко та ін.// Київ: Національний аграрний університет, 1998.-с. 12.

21. Вивчення фізико-механічних властивостей полімерів та пластмас / К.Г. Лопатько, О.В. Зазимко, О.М. Каспрук, А.В. Поліщук// Київ: Національний аграрний університет, 2000.-с. 37.

22. Неметалеві конструкційні матеріали / К.Г. Лопатько, О.В. Зазимко, О.О. Котречко, О.М. Каспрук, А.В. Поліщук// Київ: Національний аграрний університет, 2000.-с. 33.