

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 12 вересня 2024 р.
№ 5

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до практичних і лабораторних робіт з дисципліни «ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ ТА ОСНОВИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані технології
машинобудування»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра механічної інженерії

Рекомендовано на засіданні
кафедри механічної інженерії
10 вересня 2024 р.,
протокол № 10

Розробники: к.т.н., доц., професор кафедри механічної інженерії
ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович, старший викладач кафедри автомобілів і
транспортних технологій МОЖАРОВСЬКИЙ Микола Мар'янович

Житомир
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 2

Методичні вказівки до практичних і лабораторних робіт з дисципліни «Технологічні процеси машинобудівних виробництв та основи матеріалознавства» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані технології машинобудування» [Електронне видання]. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. – 166 с.

Розробники: к.т.н., доц., професор кафедри механічної інженерії ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович, старший викладач кафедри автомобілів і транспортних технологій МОЖАРОВСЬКИЙ Микола Мар'янович

Рецензенти:

Петро МЕЛЬНИЧУК – доктор технічних наук, професор, професор кафедри механічної інженерії

Ярослав СТЕПЧИН – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної інженерії

Рекомендовано на засіданні кафедри механічної інженерії (протокол № 10 від «10» вересня 2024 р.)

Методичні рекомендації призначені для забезпечення підготовки, виконання та захисту практичних і лабораторних з дисципліни «Технологічні процеси машинобудівних виробництв та основи матеріалознавства» студентами освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані технології машинобудування».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 3

ЗМІСТ

Практична робота № 1	4
Практична робота № 2	9
Практична робота № 3	16
Практична робота № 4	24
Практична робота № 5	35
Практична робота № 6	47
Практична робота № 7	64
Практична робота № 8	81
Лабораторна робота № 1	89
Лабораторна робота № 2	96
Лабораторна робота № 3	102
Лабораторна робота № 4.....	112
Лабораторна робота № 5.....	122
Лабораторна робота № 6.....	135
Лабораторна робота № 7.....	152
Лабораторна робота № 8.....	157

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 4

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про види дефектів в кристалах та їх вплив на міцність матеріалів.
3. Дати відповіді на питання індивідуального завдання.

Основні відомості по темі роботи

Ідеальні кристали в природі не зустрічаються. Реальні кристали, в тому числі метали, завжди мають відхилення від правильної будови, або дефекти.

Дефекти кристалічної будови класифікують за геометричним признаком – за розмірами порушень періодичності кристалічної ґратки, що викликані ними. Розрізняють точкові, лінійні, поверхневі і об'ємні дефекти.

1) *Точковими* називають дефекти, які є малими в усіх трьох просторових напрямках, тобто співрозмірні з міжатомними відповідями. Це вакансії, міжвузельні атоми, домішки заміщення і втілення.

Вакансія – це відсутність атома в вузлі кристалічної ґратки, «пусте місце». Атоми навколо вакансії наближуються, оскільки в цьому місці сили притягування між атомами перевищують сили відштовхування: $F_{пр} > F_{відшт.}$. Кристал, як мовити стискується, намагається «залікувати» дефект.

Зміщення атомів навколо вакансії спрощено показане на рис. 1.1, а.

Вакансії відіграють велику роль в процесах дифузії: вони сприяють руху атомів всередині металу.

Число їх зростає із збільшенням температури: атоми з поверхні металу можуть переходити в навколишнє середовище, отримавши додаткову енергію, а вакансії, що утворились при цьому, просуваються в глибину металу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 5

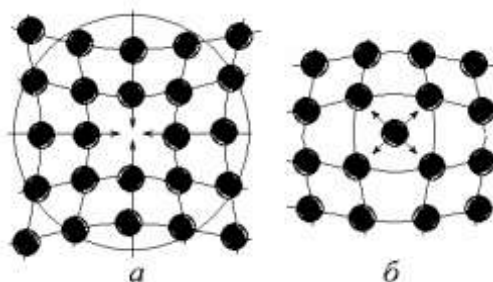


Рис. 1.1. Точкові дефекти: вакансія (а) и міжвузельний атом (б)

Міжвузельний атом – це власний, «рідний» атом металу, який вибитий з вузла. Їх завжди менше, ніж вакансій. Навколо міжвузельного атома сусіди розсуваються: тут $F_{\text{відшт}} > F_{\text{пр}}$ (див. рис. 1.1, б).

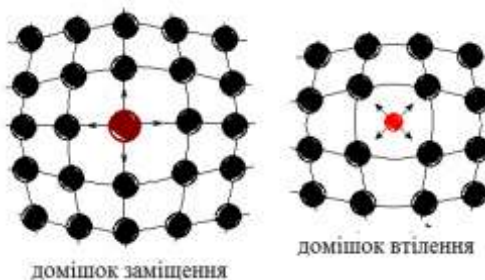


Рис. 1.2. Точкові дефекти: домішані атоми

Домішаний атом, або **домішок** – це атом іншої, «чужої» речовини, що потрапив до металу (зазвичай з руди при виплавці). Домішані атоми можуть заміщувати власні в вузлах кристалічної ґратки (**домішок заміщення**) або займати пори між ними (**домішок втілення**). Домішані атоми викривляють ґратку сильніше, ніж власні міжвузельні атоми, що спрощено на рис. 1.2.

Із всіх точкових дефектів суттєвий вплив на міцність металу здійснюють тільки домішки, особливо домішки втілення. Вони погіршують пластичну деформацію металу, тому підвищують характеристики міцності.

2) **Лінійними** називають дефекти, які є малими в двох просторових напрямках, а в третьому мають довжину в тисячі і мільйони міжатомних відстаней. Ці дефекти називають **дислокаціями**. Дислокації бувають крайові, гвинтові і змішані.

Крайова дислокація – це область під краєм незавершеної, недобудованої атомної площини в металі. (Можна сказати і «над краєм», оскільки «низ» і «верх» в тонкій структурі металу не має значення.) Недобудована площина є як би

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 6

«зайвою», що порушує ідеальну структуру металу (рис. 1.3, *a*). Її називають *екстра площиною*.

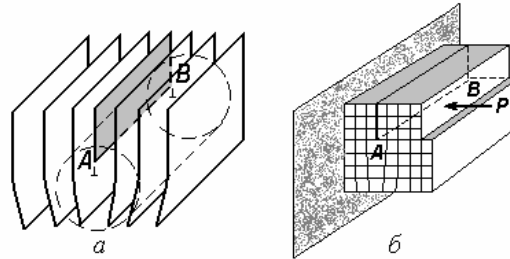


Рис. 1.3. Крайова дислокація (*a*) і виникнення дислокацій при зсуві (*б*)

Крайова дислокація може виникнути при дії сили P , що деформує кристал: в верхній частині кристалу зсув відбувся до лінії AB , а ліворуч цієї лінії кристал залишився недеформованим. Виникла екстра площина; її край AB і є лінія крайової дислокації (див. рис. 1.3, *б*).

Біля краю екстра площини створюється розрідження атомів, тому ближні до нього атоми переміщуються в сторону відсутнього ряду. Гратка тут намагається стиснутись, «закрити» дефект. Область викривлення гратки мала в двох напрямках, а в третьому може проходити через весь кристал. Можна уявити крайову дислокацію як трубку діаметром в 2-3 міжатомних відстаней, але дуже великої довжини. В цю розріджену область повинні намагатись рухатись атоми домішок, оскільки це є енергетично вигідним.

Гвинтова дислокація подібна гвинтовій драбині; це атомна площина, закручена в спіраль і яка перетворилась в гвинтову поверхню.

Умовно можна уявити, що гвинтова дислокація виникає, до деякої прямої AB , а потім зсунути одну надрізану половинку вниз відносно іншої на одну міжатомну відстань. В області надрізу утворюється сходинка на кожній атомній площині. В результаті отримуємо, що весь кристал являє собою гвинтову поверхню, «закручену» навколо лінії AB (рис. 1.4).

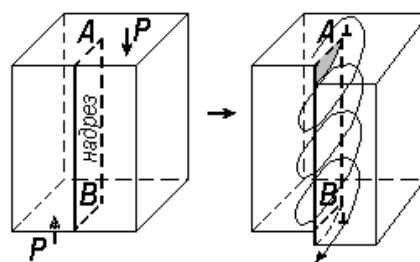


Рис. 1.4. Гвинтова дислокація

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 7

Найчастіше за все зустрічаються **змішані дислокації**: крайова і гвинтова переходять одна в іншу. На рис. 1.5 *AB* – лінія змішаної дислокації.

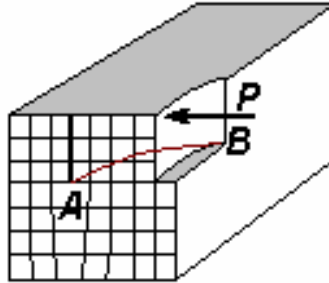


Рис. 1.5. Змішана дислокація

Кількість дислокацій в металі характеризують їх щільністю.

Щільність дислокацій ρ – це сумарна їх довжина в одиниці об'єму:

$$\rho = \frac{\sum l}{V} [\text{см}^{-2}]$$

Дислокації виникають при зародженні і рості кристалів, а також при деформації.

Дислокації грають важливу роль в теорії міцності, пластичності і руйнування металів. Вплив їх на міцність неоднозначне: з появою дислокацій міцність ідеального кристалу різко знижується, але при дуже великій їх щільності знову починає зростати (см. рис. 1.6).

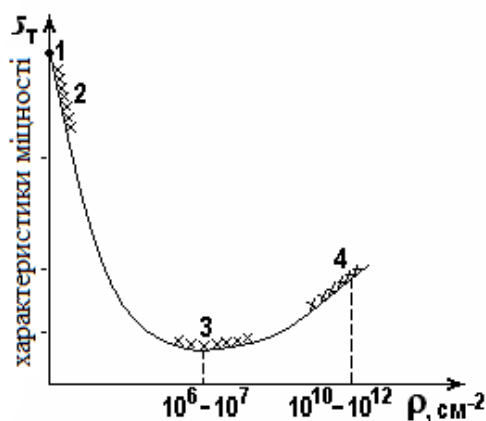


Рис. 1.6. Вплив щільності дислокацій на міцність: 1 – ідеальний кристал; 2 – «вуси», кристали з мінімальною щільністю дефектів; 3 – відпалені метали; 4 – сильно деформовані метали з високою щільністю дислокацій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 8

Поверхневими називають дефекти, які є малими в одному напрямку, а в двох інших – набагато більші за міжатомні відстані. Це **границі зерен** в полікристалах, **границі субзерен** і **двійників** (рис. 1.7). Зовнішні поверхні металевих виробів також є поверхневими дефектами з особливою будовою.

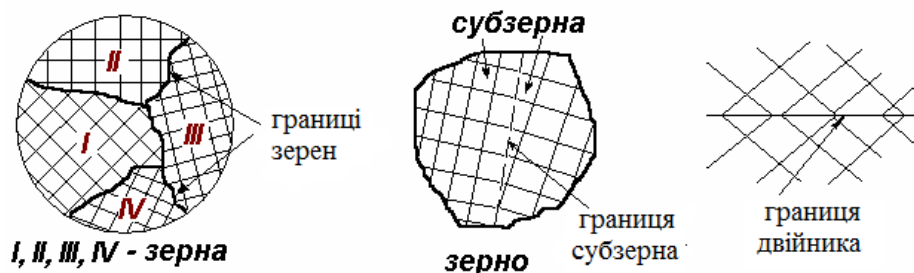


Рис. 1.7. Поверхневі дефекти: границі зерен, субзерен і двійників

Кут розорієнтації між двома сусідніми зернами може бути будь-яким, а між двома субзернами в зерні – не більше 67° .

Дуже важливо добре уявляти, що межа зерна не є «стіною» між сусідніми зернами і не є пустотою між ними. Це область, де порушується суворо упорядкована будова металу: атомні площини в одному зерні не мають продовження в сусідньому, там атомні площини розташовуються в іншому напрямку.

Належить також пам'ятати, що границі зерен - не лінії, хоча іменно так ми їх бачимо на відполірованій і протравленій поверхні металу. Це поверхні розділу між зернами, що являють собою неправильні багатогранники. Кожне зерно ніби то «обгорнуте» в свою межу.

Вплив поверхневих дефектів на міцність металу великий: границі зерен і субзерен являються перепонами для розвитку деформації, а значить – зміцнюють метал. Чим більша поверхня границь в одиниці об'єму, тим міцніший метал.

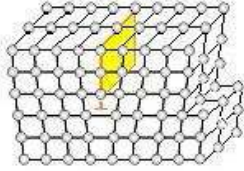
4) *Об'ємні* дефекти в усіх трьох вимірах є набагато більшими міжатомної відстані. Це «раковини», пори, зародки тріщин, неметалічні включення. Всі об'ємні дефекти є причинами можливого руйнування, тобто впливають на міцність негативно. По суті, ці дефекти – брак ливарного виробництва та інших видів обробки.

Завдання для практичної роботи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 9

1. За якими признаками класифікують дефекти кристалічної будови?

2. Який це дефект? Опишіть його умови утворення.



3. Як дислокації впливають на міцність металу?

4. Об'ємні дефекти кристалічної будови – це ...

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про стандартні механічні характеристики і деякі експлуатаційні властивості металів.
3. Відповісти на питання індивідуального завдання.

Основні відомості по темі роботи

Механічні властивості визначають поведінку металу під навантаженням. Характеристики механічних властивостей отримують при *механічних випробуваннях*. Для цього зразок із заданого матеріалу піддають зовнішнім навантаженням на спеціальному обладнанні і заміряють реакцію матеріалу.

Під дією різних зовнішніх сил метал деформується і руйнується. Але величиною прикладеного навантаження неможливо охарактеризувати умови навантаження. Важливо знати, на яку площу поперечного перерізу це навантаження діє.

За характеристику навантаження приймають *напруження* – відношення сили до площі перерізу, на яку вона діє:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 10

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

Напруження, що діє на будь – яку довільно взяту площадку, можна розкласти на нормальну складову σ , перпендикулярну до площадки, і дотичну τ (рис. 2.1, а).

При однаковому навантаженні P деформація стержнів (рис. 2.1, б) буде різною: другий подовжиться більше, оскільки площа його поперечного перерізу є меншою.

$\sigma_1 = \frac{P}{F_1}$; $\sigma_2 = \frac{P}{F_2}$; $\sigma_1 < \sigma_2$, оскільки $F_1 > F_2$. Напруження в другому стержні буде більшим, а тому він отримає більшу деформацію.

Напруження, яке витримує метал, є його основною механічною характеристикою, яка не залежить від розмірів виробу.

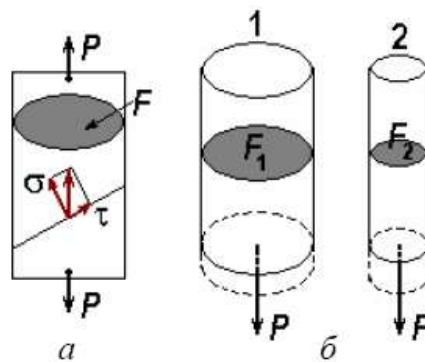


Рис. 2.1. Нормальне і дотичне напруження (а); деформація стержнів при однаковому навантаженні (б)

Міцність

Міцність – це здібність металу чинити опір деформації і руйнуванню під дією зовнішніх сил і внутрішніх напружень.

Стандартами передбачено отримання характеристик міцності при випробуваннях на розтяг, стиск, згин, кручення. Все це – *статичні випробування*, з поступовим, плавним зростанням зовнішнього навантаження.

Найбільш інформативним є випробування на розтяг на розривній машині; його і проводять в більшості випадків для отримання стандартних характеристик міцності (рис. 2.2, а).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 11

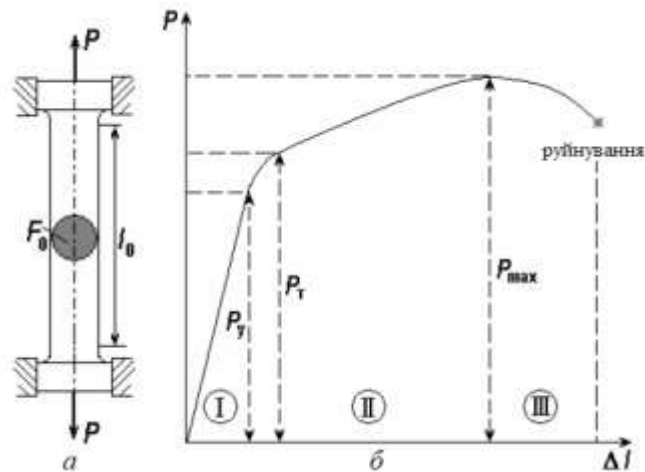


Рис. 2.2. Зразок для випробувань на розтяг і схема випробувань на разривній машині (а); діаграма розтягу пластичного металу (б)

Розривна машина обладнана пристроєм для запису так званої *діаграми розтягу* – графіка залежності між прикладеним навантаженням P і видовженням зразка Δl (рис. 2.2, б). Сучасні машини мають вихід на компютер, який не тільки записує діаграму, але і розраховує характеристики міцності.

При зростанні навантаження P довжина зразка l змінюється нелінійно.

На кривій розтягу можна виділити три ділянки: I – область пружної деформації, II – область пластичної деформації, III – область розвитку тріщин. Величина пружної деформації в металах невелика: менше 1 %. Пластична деформація у чистих металів може досягати десятків процентів. Іменно в цій області відбувається активне ковзання дислокацій. При перевищенні навантаження P_{max} на зразку виникає місцеве звуження – *шийка*, і деформація стає зосередженою. Подальший розвиток деформації в шийці призводить до зародження тріщини і руйнуванню зразка.

З цього випробування отримують наступні характеристики міцності: **границя пружності** $\sigma_{Pr} = \frac{P_{Pr}}{F_0}$ [МПа] – це найбільше напруження, після якого зразок повертається до попередніх форми і розміру;

границя текучості $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$ [МПа] – це напруження пластичної течії металу без збільшення навантаження;

границя міцності $\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}$ [МПа] – це найбільше напруження, яке витримує метал не руйнуючись.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 12

Дійсну або фізичну границю текучості σ_T визначити важко: не у всіх металів утворюється «площадка текучості». Тому, частіше за все визначають **умовну границю текучості** $\sigma_{0.2}$, яка викликає залишкову деформацію 0,2 %: $\sigma_T \approx \sigma_{0.2}$.

Розрахунки на міцність найчастіше ведуть за границею текучості, оскільки значна пластична деформація більшості деталей і конструкцій недопустима. Але і границю міцності знати необхідно, оскільки вона показує при якому напруженні почнеться руйнування.

Пластичність

Пластичність – це здатність металу деформуватись без руйнування.

Характеристики пластичності визначають із того ж випробовування на розтяг. Це

$$\text{відносне видовження } \delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$\text{відносне звуження } \psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

де l_0 і l_K , мм – довжина зразка до і після випробувань;

F_0 і F_K , мм² – початкова і кінцева площа поперечного перерізу зразка (рис. 2.2, а).

Відносне видовження і відносне звуження є одночасно і критеріями надійності: матеріал, що має більші значення δ і ψ , більш надійний.

Твердість

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла.

Методи вимірювання, прилади, позначення, одиниці вимірювання твердості описані в методичних вказівках до лабораторної роботи «Визначення твердості металів і сплавів». Вивчити самостійно!

В'язкість

В'язкість – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при ударних, динамічних навантаженнях.

Характеристика в'язкості визначається при випробуванні на ударний згин. Це, на відміну від віх попередніх, динамічне випробування, при якому навантаження прикладається до зразка з дуже великою швидкістю, за тисячні долі секунди.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 13

Випробування проводять на маятниковому копрі (рис. 2.3).

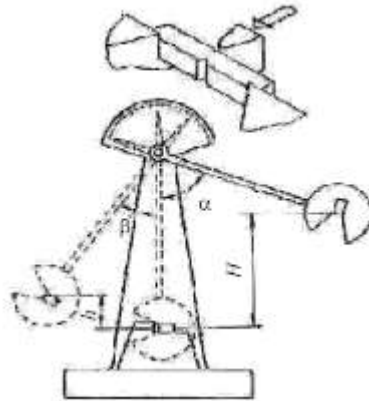


Рис. 2.3. Схема випробувань на ударний згин

Важкий маятник, піднятий на визначений кут α , відпускають. На шляху руху маятника знаходиться зразок. Удар ножа маятника руйнує його. Виконана при руйнуванні робота визначається як різниця між потенціальною енергією маятника до і після випробувань.

Ударна в'язкість – це робота руйнування зразка, віднесена до площі поперечного перерізу:

$$K_C = \frac{A_p}{F} \text{ [Дж/м}^2\text{]}, \text{ де}$$

A_p – робота руйнування, F – площа поперечного перерізу зразка.

Зразок повинен мати надріз – концентратор напруження. Позначення ударної в'язкості залежить від виду надрізу (рис. 2.4).

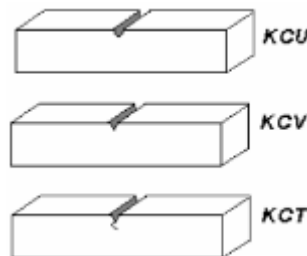


Рис. 2.4. Зразки для випробувань на ударну в'язкість

Для одного і того ж матеріалу $K_{CU} > K_{CV} > K_{CT}$, тобто чим гостріший надріз, тим легше руйнується матеріал.

Ударна в'язкість також є критерієм надійності матеріалу, гарантією, що він не буде руйнуватись крихко, несподівано.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 14

Суворо говорячи, ударна в'язкість є комплексною характеристикою, що включає питому роботу зародження тріщини a_z і питому роботу росту тріщини a_p . Для більш достовірної оцінки надійності матеріалу методом екстраполяції визначають ударну в'язкість при радіусі концентратора r , що прямує до нуля (рис. 2.5). Це і буде робота росту тріщини a_p , що дозволяє оцінити надійність (зародки тріщин в матеріалі є майже завжди, питання в тому, чи будуть вони рости).

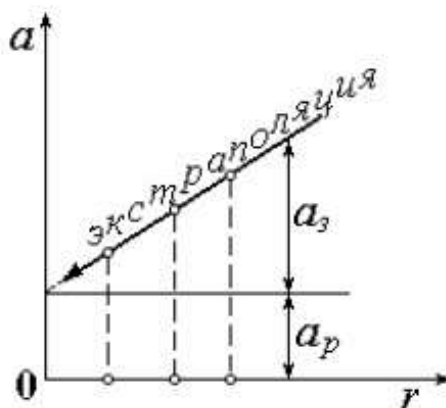


Рис. 2.5. Визначення роботи зародження тріщини

Деякі експлуатаційні властивості

В умовах експлуатації властивості матеріалів можуть не відповідати стандартним, що наводяться в довідниках, значенням. В різних агресивних середовищах, при дії високих або низьких температур матеріали проявляють значно меншу міцність і довговічність, ніж при нормальних умовах.

1) Холодноламкість

При низьких температурах (від 0 до -269 °С, температури рідкого гелію) збільшується схильність металу до крихкого руйнування. При цьому різко знижується ударна в'язкість (KCU , KCT) і змінюється будова зламу – від волокнистого, матового до кристалічного, блискучого.

Властивість металу крихко руйнуватись, втрачати в'язкість при пониженні температури називається *холодноламкістю*.

За характеристику холодноламкості приймають *температурний поріг холодноламкості* t_{50} . Це температура, при якій величина ударної в'язкості зменшується вдвічі (рис. 2.6). При цьому злам має будову наполовину в'язку, наполовину крихку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 15

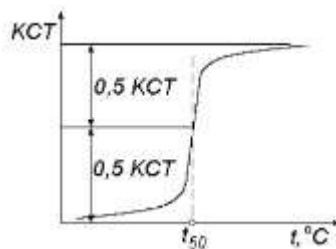


Рис. 2.6. Визначення порогу холодноламкості

2) Витривалість

Багато деталей – вали, вісі, шестерні по різному чинять опір змінним за величиною і напрямком змінним навантаженням. Під дією знакозмінних навантажень, що багатократно повторюються, в металі накопичуються пошкодження, дефекти. Це явище називають *втомою*.

В таких умовах роботи напруження, менші σ_B і навіть σ_T , можуть викликати зародження і ріст *тріщини втоми*. Зазвичай вона виникає на поверхні деталі в місцях концентраторів напружень і потім підростає з кожним циклом навантаження. Це поступово приводить до руйнування.

Витривалість – це здатність металу протистояти втомі, чинити опір руйнуванню при знакозмінних навантаженнях.

Характеристики витривалості визначають в результаті проведення випробувань на спеціальних машинах циклічної дії. Навантаження, що діють на кожну точку поперечного перерізу зразка, безперервно змінюються за величиною і напрямком (рис. 2.7).

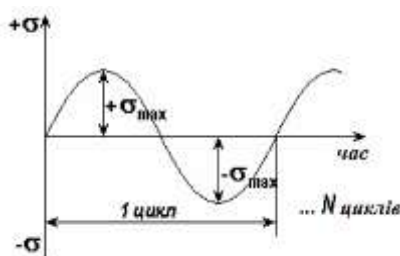


Рис. 2.7. Схема циклічного навантаження при випробуваннях на втому

Границею витривалості, або *границею втоми* σ_{-1} називається найбільше напруження, яке не викликає руйнування зразка після заданого числа циклів навантаження.

При випробуванні сталей стандартне число циклів навантаження $N = 10^7$, при випробуванні кольорових металів і сплавів $N = 10^8$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 16

Приклад завдання для практичної роботи

1. При якому напруженні деформація металу протікає без збільшення навантаження?
2. Дайте визначення характеристиці пластичності ψ .
3. Якими характеристиками оцінюють міцність металу?
4. Що таке в'язкість?
5. Що називають границею витривалості матеріалу?

Література

1. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Потітехніка», 2001. – с. 60-84.
2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 67-68.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

СПОСОБИ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про способи зміцнення металів і кількісної залежності границі текучості від параметрів структури.
3. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Значна пластична деформація деталей машин і конструкція при експлуатації недопустима. Тому підвищення міцності металів і сплавів означає, перед усім, підвищення границі текучості σ_T .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 17

Область II на діаграмі розтягу є областю боротьби за міцність (рис. 3.1). Тут відбувається пластична деформація, тобто рух дислокацій:

Щоб уповільнити переміщення дислокацій, потрібно створити перешкоди для їх руху – або позбавитись від дислокацій зовсім.

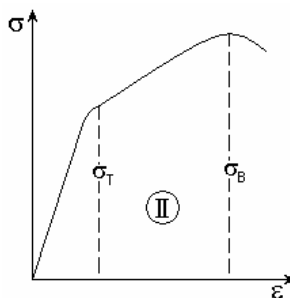


Рис. 3.1. Область пластичної деформації

Зміцнення за рахунок створення бездефектних кристалів

Бездефектні кристали удається виростити в вигляді тонких ниток, або «вусів» (їх довжина декількох міліметрів, товщина до 20 мкм). Їх міцність дійсно близька до теоретично розрахованої. Кристали крупних розмірів виростити без дефектів не вдається. Не зовсім ясно, грає в міцності «вусів» головну роль відсутність дефектів або поверхневий натяг. Вироби, що містять такі кристали, високою міцністю не володіють.

Можна сказати, що поки цей шлях створення високоміцних матеріалів не реалізований.

Зміцнення за рахунок гальмування рухомих дислокацій

1) Зміцнення самими дислокаціями

В ході пластичної деформації створюється така висока щільність дислокацій, що вони самі починають взаємно гальмувати ковзання одна іншою. Виникає так званий «ліс дислокацій».

При повторному випробуванні вже продеформованого зразка границя текучості виявляється більшою: $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$ (рис. 3.2).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 19

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2},$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; k – постійна стала для даного металу, d – діаметр зерна.

Приклади: модифікування сплавів при виплаці і литті, рекристалізація сильно наклепаного металу, подрібнення зерна при фазових перетвореннях.

3) Зміцнення розчиненими атомами домішок

Викривлення ґратки, що викликані атомами домішок, заважають дислокаціям вільно ковзатись (рис. 3.4).

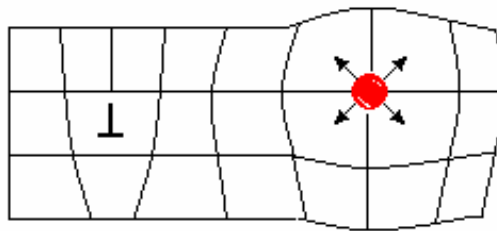


Рис. 3.4. Зміцнення твердим розчином

В першому наближенні зміцнення при утворенні твердого розчину можна визначити за формулою Мотта-Набарро в залежності від кількості домішок:

$$\sigma_T = G \cdot \varepsilon^2 \cdot C,$$

де G – модуль зсуву, ε – параметр, що залежить від різниці розмірів атомів розчиненого компоненту r і розчинника r_0 , C – атомна концентрація розчиненого компоненту. Можна прийняти параметр $\varepsilon = (r - r_0)/r_0$.

Прикладами використання такого механізму зміцнення є практично всі сплави в сучасній техніці. Всі вони є твердими розчинами. При гартуванні сплавів створюють перенасичені тверді розчини, добиваючись значного зміцнення.

4) Зміцнення дисперсними частинками іншої фази

Дисперсні, тобто дуже дрібні, частинки мають розміри порядку 100 нм. Більш крупні частинки не є такими ефективними перешкодами для дислокацій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 20

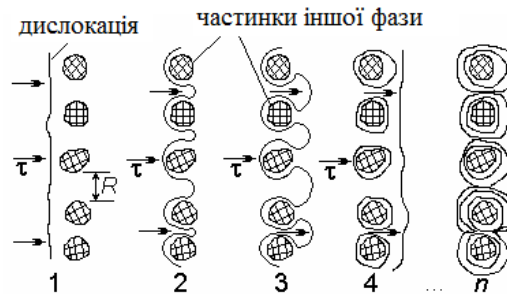


Рис. 3.5. Зміцнення дисперсними частинками іншої фази

Огинаючи дрібні частинки (рис. 3.5, 2), дислокації замикаються навколо них (3), при цьому виникають дислокаційні петлі (4), або кільця. Проходження великої кількості дислокацій приводить до утворення так званих кілець Орована (n). Подальше ковзання дислокацій на цій ділянці є затрудненим.

Якщо частинки іншої фази не округлі, а гольчасті, то дислокації «намотуються» на них, як нитки на веретено.

Зміцнення дисперсними частинками залежить від відстані між ними L :

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; G – модуль зсуву; b – вектор Бюргерса (дорівнює відстані між сусідніми атомними площинами).

За таким механізмом зміцнюються дуже багато сплавів: дюралюміній, бронзи, сплави титану, деякі сталі.

В більшості сучасних високоміцних матеріалів використовується декілька способів зміцнення одночасно: твердий розчин і дрібні частинки хімічного з'єднання, твердий розчин з високою щільністю дислокацій і т. п.

Завдання для практичної роботи

1) Поясніть наступні явища на основі уявлень про дислокації:

- а) холодна механічна обробка підвищує твердість алюмінію;
- б) сплав, що складається з 20 % цинку і 80 % міді, твердіший чистої міді;
- в) твердість нікелю зростає при введенні в нього частинок оксиду торія.

2) Необхідно отримати сплав:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 21

а) з великим опором деформації, твердістю, міцністю, що має високу довговічність і роботоздатність при роботі в умовах зношення і значних механічних навантажень;

б) з високою пластичністю, низькими значеннями твердості і опору деформації, що має добру оброблюваність різанням і тиском. Опишіть структуру сплава, який забезпечує потрібні властивості в обох випадках.

3) Визначити границю текучості і величину зміцнення металу після холодної пластичної деформації, в результаті якої щільність дислокацій збільшилась до 10^{10} см^{-2} .

Метал	σ_0 , МПа	b , нм	α	G , ГПа
алюміній	40	0.404	0.3	27
залізо	130	0.286	0.2	77

Зв'язок між границею текучості і щільністю дислокацій описується рівнянням:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; α – коефіцієнт, що залежить від природи металу; G – модуль зсуву; b – вектор Бюргерса (що дорівнює відстані між сусідніми атомними площинами).

4) Сплав заліза з 0,8 % вуглецю має структуру твердого розчину з дисперсними частинками карбиду заліза Fe_3C , дуже твердими і міцними. Визначити границю текучості сплаву якщо відстань між частинками Fe_3C складає: а) 20 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм.

Рахувати, що дислокації проходять між частинками. Границя текучості залежить від відстані між частинками наступним чином:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; G – модуль зсуву; b – вектор Бюргерса (що дорівнює відстані між сусідніми атомними площинками).

Метал	σ_0 , МПа	b , нм	G , ГПа
залізо	130	0,286	77

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 22

Побудувати графік залежності $\sigma_T = f(L)$ і проаналізувати його.

5) Визначити границю текучості заліза з величиною зерна 100, 50, 30, 10 и 5 мкм, використовуючи відношення Холла–Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення (130 МПа для заліза);

k – постійна для даного металу (129 МПа·мм^{1/2} для заліза).

Побудувати графік залежності $\sigma_T = f(d)$ і проаналізувати його.

6) Сплав алюмінію з 4 % міді має структуру твердого розчину з дисперсними частинками інтерметалідного з'єднання CuAl_2 , що має підвищену міцність. Визначити границю текучості сплаву, якщо відстань між частинками CuAl_2 складає: а) 24 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм. Рахувати, що дислокації проходять між частинками. Границя текучості залежить від відстані між частинками наступним чином:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b)/L,$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; G – модуль зсуву; b – вектор Бюргерса (що дорівнює відстані між сусідніми атомними площинами).

Метал	σ_0 , МПа	b , нм	G , ГПа
алюміній	40	0,404	27

Побудувати графік залежності $\sigma_T = f(L)$ і проаналізувати його.

7) Визначити напруження зсуву τ , яке необхідне, щоб вигнути лінію дислокації в напівколо між дрібними твердими частинками, розташованими на відстані L одна від одної.

8) Границя текучості крупнозернистої латуні 20 МПа. При розмірах зерна 4 мкм – 120 МПа. Чим пояснюється таке збільшення і чому дорівнює коефіцієнт β для латуні? ($\sigma_T = \beta/d^{1/2}$.)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 23

9) Визначити границю текучості і величину зміцнення металу після холодної пластичної деформації, в результаті якої щільність дислокацій збільшилась 10^{10} см⁻².

Метал	σ_0 , МПа	b , нм	α	G , ГПа
титан	450	0,296	0,4	44
нікель	150	0,352	0,3	73

Зв'язок між границею текучості і щільністю дислокацій описується залежністю:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

де σ_0 – напруження зсуву до зміцнення; α – коефіцієнт, що залежить від природи металу; G – модуль зсуву; b – вектор Бюргерса (що дорівнює відстані між сусідніми атомними площинками).

10) Два зразки з одного и того ж металу були пластично деформовані зі зменшенням площі поперечного перерізу. Один зразок являє собою циліндр, а другий – прямокутний паралелепіпед; форма поперечного перерізу в процесі деформації не змінилась. Вихідні і кінцеві розміри зразків наступні:

	Циліндричний (діаметр, мм)	Призматичний (мм)
Вихідні розміри	15,2	125×175
Кінцеві розміри	11,4	75×200

Який із зразків набув найбільшу твердість після деформації? Поясніть відповідь.

11) Недеформований метал має середній розмір зерна 40 мкм. Чи можливо добитися зменшення величини зерна до 10 мкм?

Якщо так, то поясніть, яким способом це можливо зробити і які процеси відбудуться в структурі металу. Якщо ні – поясніть чому.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 24

ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ

Мета роботи

1. Вивчити основні різновидності діаграм стану подвійних сплавів.
2. Навчитись аналізувати діаграми стану: визначати температури початку і кінця плавлення сплавів, знаходити області рівноважного існування твердих розчинів, обґрунтовувати можливість проведення зміцнюючої термічної обробки сплавів, оцінювати їх технологічні властивості.
3. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Для практичної роботи з подвійними сплавами необхідно знати їх структуру, можливості її зміни зі змінами температури і складу сплаву і, таким чином, судити про властивості сплавів і про можливості зміни властивостей в потрібному напрямку. Необхідність змінити структуру і властивості сплавів може виникнути, якщо при отриманні деталі методом відливання відбулась внутрішньо кристалічна ліквідація, якщо потрібно зміцнити сплав термічною обробкою, і в деяких інших випадках. Для визначення можливості проведення термічної обробки і призначення її температурного режиму потрібно знати закономірності зміни фазового складу в залежності від температури і хімічного складу в заданій системі. Графічна залежність, що містить цю інформацію, називається *діаграмою стану*. Діаграми стану дозволяють отримувати різнобічну інформацію про сплави. За їх допомогою можна судити про ливарні властивості сплавів і, відповідно, про можливості отримання з них вливок, про схильність сплавів до внутрішньо кристалічної ліквідації і ліквідації за питомою вагою при кристалізації, про пластичність різних сплавів і можливості їх пластичного деформування при виготовленні виробів.

Найчастіше для побудови діаграм стану металевих систем використовують термічний аналіз, який оснований на тому, що плавлення, кристалізація і всі структурні зміни сплавів в твердому стані відбуваються з тепловими ефектами (з поглинанням або виділенням тепла). Як наслідок, знімаючи криві нагріву або охолодження сплавів різного складу будь – якої системи, можна зафіксувати температури, при яких відбуваються ті чи інші зміни в структурі. Якщо потім цю інформацію представити графічно в координатах «температура - склад сплаву», то отримаємо діаграму стану системи. На діаграмі стану будуть, по крайній мірі, дві лінії: початку кристалізації (*ліквідус*) і закінчення кристалізації (*солідус*). У

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 25

багатьох сплавів, крім того, відбуваються різні перетворення в твердому стані, що також отримує відображення лініями на діаграмі.

В залежності від характеру взаємодії компонентів в сплаві, відповідності або відмінності в їх атомно – кристалічній будові можливе утворення різних фаз: твердих розчинів, механічних сумішей кристалів окремих компонентів, хімічних з'єднань та ін. Ця взаємодія описується різними видами діаграм стану з різними можливостями зміни структури і проведення термічної обробки сплавів.

Визначення складу і кількості фаз

В процесі кристалізації змінюються і концентрація фаз, і кількість кожної фази. В будь – якій точці діаграми, коли в сплаві одночасно існують дві фази, можна визначити кількість обох фаз та їх концентрацію. Для цього використовують правило відрізків і правило концентрацій.

Правило концентрацій

Для складу фаз, що знаходяться в рівновазі при будь – якій температурі, що знаходиться в двофазній області (наприклад, в точці *c*, рис 4.1), потрібно провести через цю точку пряму, паралельну осі концентрацій (лінія *acb*). Точки *a* і *b* пересікання цієї прямої з лініями діаграми, що обмежують цю область, визначають вміст фаз, що присутні в сплаві (в нашому випадку – рідина і кристали твердого розчину α). Проекція точки *a* перетину цієї лінії з ліквідусом на вісь концентрацій (точка *a'*) вказує на вміст рідкої фази, а проекція точки *b* перетину з солідусом (*b'*) – вміст твердої фази. Лінія *ab*, що з'єднує склади фаз, що знаходяться в рівновазі, називається *конодою*.

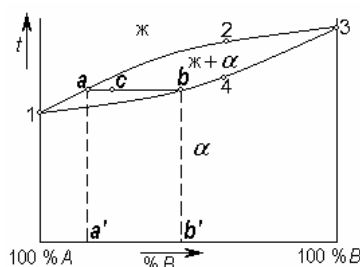


Рис. 4.1. Визначення складу і кількості фаз

Правило відрізків

Кількість твердої фази в точці *c* визначається відношенням довжини відрізка *ac*, прилягаючого до ліквідусу, до довжини всієї коноди *ab* (рис. 4.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 26

Кількість рідини – відношення довжини відрізка bc , прилягаючого до солідусу, до довжини всієї коноди:

$$Q_{\alpha} = \frac{ac}{ab} \times 100\%$$

$$Q_{\beta} = \frac{bc}{ab} \times 100$$

Це стає зрозумілим, якщо прослідкувати зміни цих відрізків при охолодженні: відрізок ac буде рости, а відрізок bc – навпаки, зменшується. Кількість твердої фази при охолодженні зростає, а кількість рідини зменшується до повного її зникнення.

Діаграма стану сплавів з необмеженою взаємною розчинністю компонентів

Якщо компоненти сплаву утворюють необмежені тверді розчини, то на діаграмі стану присутні дві лінії: лінія початку кристалізації і лінія закінчення кристалізації (рис. 4.2). Кожна з них є сукупністю критичних точок для всіх сплавів даної системи.

Лінію початку кристалізації 1-2-3 називають лінією *ліквідус* (від латинського слова *liqua* – рідина). Вище цієї лінії всі сплави системи знаходяться в рідкому стані.

Лінію закінчення кристалізації 1-4-3 називають лінією *солідус* (від латинського слова *solid* – тверде тіло). Нижче цієї лінії всі сплави системи знаходяться в твердому стані.

Всі сплави з такою діаграмою стану кристалізуються в інтервалі температур, що відрізняються від кристалізації чистих компонентів A і B . Між лініями ліквідус і солідус всі сплави знаходяться в двофазному стані: рідина і кристали твердого розчину. Після кристалізації всі сплави системи є однофазними і являють собою твердий розчин компоненту B в кристалічній ґратці компоненту A (або, навпаки, твердий розчин компоненту A в кристалічній ґратці компонента B). На діаграмі тверді розчини позначають буквами грецького алфавіту: α , β , γ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 27

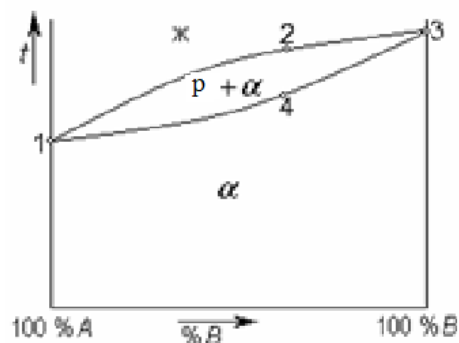


Рис. 4.2. Діаграма стану з необмеженою розчинністю

В твердому стані сплави, що мають такий вигляд діаграми стану не відчувають фазових перетворень і тому не можуть піддаватись зміцненню термічною обробкою.

Механічні і фізичні властивості сплавів, що мають таку діаграму стану, надто відрізняються від властивостей вихідних компонентів. В окреmostі твердість, міцність, опір електропровідності сплавів є вищими, ніж в чистих металів, а пластичність і магнітна проникність – нижчою.

По законах фізичної хімії, перші кристалики, що утворюються з рідини, є більше збагачені тугоплавким компонентом *B*, ніж ті, що кристалізуються останніми. Оскільки перші кристали зароджуються біля стінок ливарної форми, а останні – в серцевині виливки, то по перерізу виливка може опинитись хімічно неоднорідною. Поверхневі шари будуть багатші тугоплавким компонентом *B*, а серцевина – легкоплавким компонентом *A*. Таке явище називається *ліквацією*.

Ліквація може проявлятися і в об'ємі одного кристалу: в центрі він опиниться збагачений тугоплавким компонентом, а біля границь – легкоплавким. Це – *мікроліквація (внутрішньо кристалічна або дендритна ліквація)*.

Ліквація – явище небажане. Мікроліквація проявляється при великій швидкості охолодження, а при повільному охолодженні встигає відбутись дифузія, яка вирівнює склад сплаву в об'ємі зерна. Якщо ж мікроліквація все ж таки виникла, то для її усунення використовують дифузійний відпал: нагрівання виливки до температур, близьких до солідусу, протягом тривалого часу. Але ліквація, що виникла в усьому об'ємі заготовки (вилівки) (*зональна*) відпалом не усувається.

Приклади сплавів з повною взаємною розчинністю компонентів: Cu – Ni, Ag – Au, Mo – W, Mo – V.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 28

Діаграма стану сплавів з повною відсутністю розчинності компонентів

Якщо компоненти сплаву не розчиняються один в одному, то з рідкого розплаву утворюються або кристали чистого компоненту A (в лівій частині діаграми стану), або кристали чистого компоненту B (в правій частині діаграми). Тоді ліквідус діаграми складається з двох частин: лінія 1-2, на якій починається кристалізація компоненту A , і лінія 2-3, на якій починається кристалізація компоненту B (рис. 4.3).

Таким чином ліквідус діаграми – лінія 1-2-3. На цій лінії починається кристалізація сплавів при охолодженні (і закінчується плавлення при нагріванні). Солідус діаграми – пряма, паралельна осі концентрацій: 4-2-5. На цій лінії закінчується кристалізація сплавів при охолодженні (і починається плавлення при нагріванні).

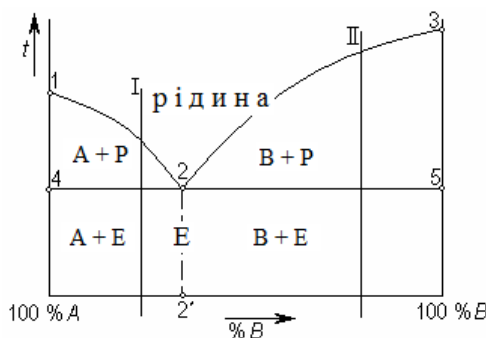


Рис. 4.3. Діаграма стану з повною відсутністю розчинності

В лівій області 1-2-4-1 із розплаву кристалізується компонент A , як наслідок, в рідині вміст компоненту A зменшується, а вміст компоненту B , навпаки, зростає. В правій області 2-3-5-2 відбувається кристалізація компоненту B ; при цьому вміст компоненту B в розплаві убуває, а вміст компоненту A , навпаки, зростає.

До моменту досягнення температури солідусу (лінії 4-2-5) в будь - якому сплаві концентрація компонентів в рідині відповідає точці 2.

Точка 2 належить обом віткам ліквідусу і обом областям кристалізації. Крім того, вона знаходиться одночасно на ліквідусі і на солідусі. Це значить, що сплав складу 2' починає і закінчує кристалізацію в одній і тій же точці (при одній температурі). В цьому сплаві при кристалізації утворюються одночасно кристали як компоненту A так і компоненту B . Вони повинні бути дуже дрібними, оскільки температура точки 2 значно нижча температур кристалізації обох компонентів і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 29

ступінь переохолодження дуже велика. Така суміш дуже дрібних кристалів обох компонентів, що кристалізуються при постійній і самій низькій для заданої системи температурі, називається **евтектикою** (від грецького слова «легкоплавка»).

Сплав складу 2' називають *евтектичним*; сплави в лівій області діаграми, до точки 2', називають *доевтектичними*, а в правій області – *заевтектичними*.

Із діаграми видно, що кристалізація всіх сплавів даної системи закінчується утворенням евтектики. Евтектика являє собою дрібнозернисту структурну складову сплава з своїми механічними властивостями. Її прийнято позначати буквою «Е» кирилиці. Склад евтектики коротко можна записати: $E = A + B$. Важно пам'ятати, що евтектика – це суміш двох фаз, а не одна фаза.

Структура сплавів складається з евтектики і кристалів чистих компонентів, які утворились із розплаву на початку кристалізації. В доевтектичних сплавах (сплав I на рис. 3) це кристали компоненту A і евтектика (рис. 4.4, а), в заевтектичних (сплав II на рис. 3) – кристали компоненту B і евтектика (рис. 4.4, б).

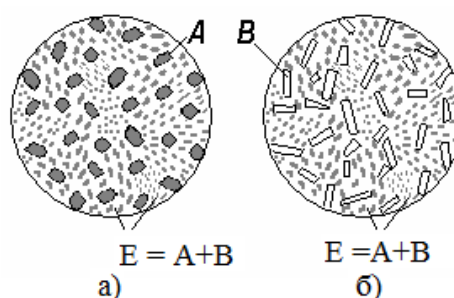


Рис. 4.4. Мікроструктура сплавів – доевтектичного; б – заевтектичного

Сплави з такою діаграмою також не мають фазових перетворень в твердому стані, вони завжди двофазні, і тому не можуть зміцненню термообробкою.

Сплави для отримання виливок повинні мати склад, близький до евтектичного, оскільки саме евтектика, що кристалізується при постійній температурі, має найкращі ливарні властивості: малу усадку і високу рідкотекучість. Із евтектичних сплавів виготовляють припої, плавкі вставки, запобіжники, їх використовують в підшипниках ковзання як антифрикційний шар.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 30

Приклади сплавів з повною взаємною нерозчинністю компонентів: Pb – Sb, Pb – Pd, Ca – Mg.

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів

Якщо компоненти сплаву утворюють тверді розчини з обмеженою концентрацією, то діаграма стану являє собою поєднання двох попередніх варіантів (рис. 4.5).

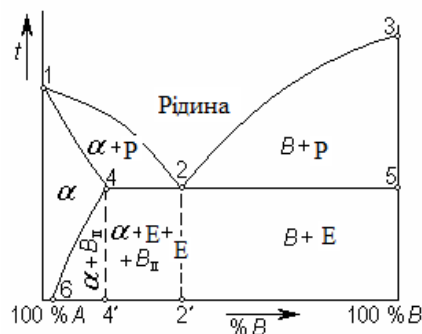


Рис. 4.5. Діаграма стану з обмеженою розчинністю

Візьмем приклад, коли компонент B обмежено розчиняється в компоненті A , але компонент A в кристалічну ґратку B не вмонтовується. Ліквідус діаграми (лінія 1-2-3), як і в попередньому випадку, має дві вітки. Під кривою 2-3 відбувається кристалізація компоненту B , але під кривою 1-2 утворюються кристали не чистого компоненту A , а твердого розчину компоненту B в кристалічній ґратці компоненту A . Позначимо його буквою α . Нехай гранична розчинність компоненту B в кристалічній ґратці A складає величину, що дорівнює відрізку $A-4'$, де $4'$ – проекція точки 4 на вісь концентрацій. В такому випадку солідус діаграми на дільниці 1-4 являє собою криву, як і на діаграмі з необмеженою розчинністю. А за границею розчинності, праворуч точки 4, солідус є прямою, паралельною осі концентрацій, як на діаграмі з повною нерозчинністю компонентів. На цій дільниці, 4-2-5, відбувається кристалізація евтектики, яка складається з дрібних кристаликів твердого розчину α і компоненту B : $E = \alpha + B$.

Нижче солідуса 1-4-2-5 всі сплави даної системи знаходяться в твердому стані, але фазові перетворення на цьому не закінчуються. Згадаємо, що всі тверді тіла при охолодженні стискаються, тобто міжатомні відстані в кристалічній ґратці зменшуються. Це означає, що «чужі» атоми компоненту B почнуть викликати все більші напруження в кристалічній ґратці розчинника. При

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 31

безкінечно повільному, рівноважному охолодженні ці атоми «виштовхуються» з кристалів твердого розчину, оскільки система намагається до мінімуму вільної енергії, а напруження від «зайвих» атомів цей запас вільної енергії підвищують. Атоми компоненту B , уходячи з твердого розчину, утворюють власні кристалики, дуже дрібні в порівнянні з первинними (що виростили із розплаву) кристалами твердого розчину α (рис. 4.6).

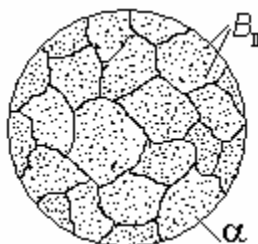


Рис. 4.6. Мікроструктура сплаву нижче кривої граничної розчинності

Таким чином, розчинність при охолодженні знижується; кожній температурі відповідає своя рівноважна концентрація розчиненого компоненту B . Ось звідки на діаграмі з'являється лінія 4-6 – лінія фазового перетворення в твердому стані. Її називають *лінією граничної розчинності компонента B* в кристалічній ґратці компонента A . Вище цієї лінії сплав є однофазним твердим розчином α , а нижче – двофазним: $\alpha + B_{II}$. Нижній індекс «II» означає в даному випадку те, що ці кристали компоненту B є вторинними, тобто появились при розпаді твердого розчину, а не з розплаву.

Якщо б компонент A також обмежено розчинявся в компоненті B , то на діаграмі праворуч також появилася би лінія граничної розчинності.

Важлива особливість сплавів з концентрацією другого компоненту від точки 6 до точки 4': їх можна піддавати *зміцненню термічною обробкою*, оскільки в них є фазові перетворення в твердому стані. Якщо прискорити охолодження сплаву, то виділення атомів B із твердого розчину може і не встигати відбутись. Тому сплави зі змінною розчинністю другого компоненту піддають *гартуванню* (це нагрів вище лінії граничної розчинності і швидке охолодження, щоб не дати можливості атомам компоненту B виділитись з твердого розчину) і *старінню* (це нагрів отриманого перенасиченого твердого розчину до температур нижче критичних, щоб утворились дрібні кристалики другої фази). Після такої термообробки сплави стають значно міцніші: відбувається зміцнення дисперсійними частинками другої фази.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 32

Сплавів з обмеженою взаємною розчинністю компонентів, що мають діаграму такого типу, є набагато більш, ніж сплавів з діаграмами перших двох видів. Приклади сплавів з обмеженою взаємною розчинністю: Al–Cu, Al–Si, Ag–Cu, Pb–Sn, Fe–C.

Діаграма стану сплавів, в яких утворюється хімічне з'єднання компонентів

Якщо компоненти сплаву A і B взаємодіють між собою з утворенням хімічної сполуки A_mB_n , то діаграма стану розглядається як дві окремі діаграми, для кожної із котрих хімічна сполука є одним із компонентів.

Хімічне з'єднання можна розглядати як нову складну речовину зі своєю власною кристалічною ґраткою, температурою плавлення та властивостями. При кристалізації сплаву хімічна сполука утворює свої кристали, які можуть змішуватись з кристалами вихідних компонентів або розчинити в своїй кристалічній ґратці деяку їх долю.

Діаграми стану таких сплавів виглядають більш складними, ніж розглянуті раніш, але якщо уявно розділити («розрізати») діаграму по лінії, що відповідає складу хімічного з'єднання, то ліва і права частини опиняться уже відомими простими діаграмами.

На рис. 4.7 ліва частина діаграми (до хімічного з'єднання A_mB_n) являє собою вже відому діаграму з обмеженою розчинністю компонентів, а права – діаграму з повною відсутністю розчинності. Евтектика E_1 складається з кристалів твердого розчину α і хімічного з'єднання A_mB_n . Твердий розчин α – це розчин компоненту B в кристалічній ґратці компоненту A (або хімічного з'єднання A_mB_n в кристалічній ґратці компонента A). Під кривою граничної розчинності з твердого розчину виділяються кристали хімічного з'єднання. В правій частині діаграми евтектика E_2 будується з кристалів компоненту B і хімічного з'єднання A_mB_n .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 33

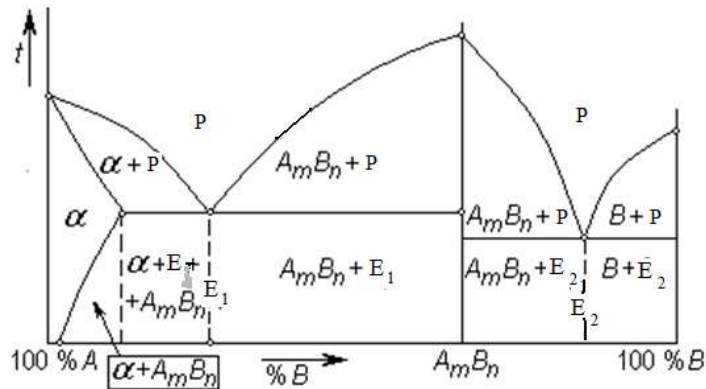
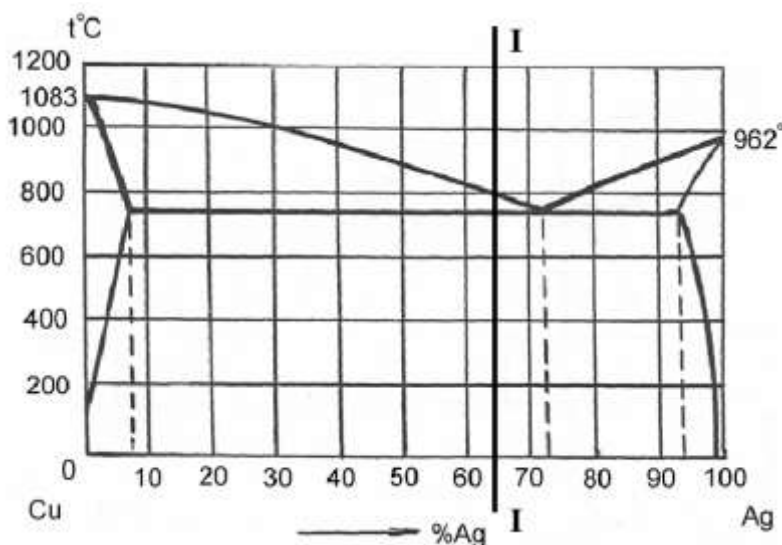


Рис. 4.7. Діаграма стану з хімічним з'єднанням

Таким чином, при аналізі діаграм стану можуть бути отримані відомості про структуру і властивості сплавів. Так, при сплавлуванні компонентів в залежності від їх природи в сплавах можуть утворюватися різні кристалічні (тверді) фази – наприклад, тверді розчини і (або) хімічні з'єднання. Причому сплави одних і тих же компонентів, але різного складу (з різним процентним вмістом компонентів) можуть бути однофазними або двофазними. В сплавах, що складаються з одних і тих же двох фаз, їх кристали можуть комбінуватись в різні структурні складові, що відрізняються розмірами, формою та взаємним розташуванням зерен. І всі ці структурні фактори впливають на властивості сплавів.

Приклади завдань для практичної роботи

1. ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ МІДЬ – СРІБЛО

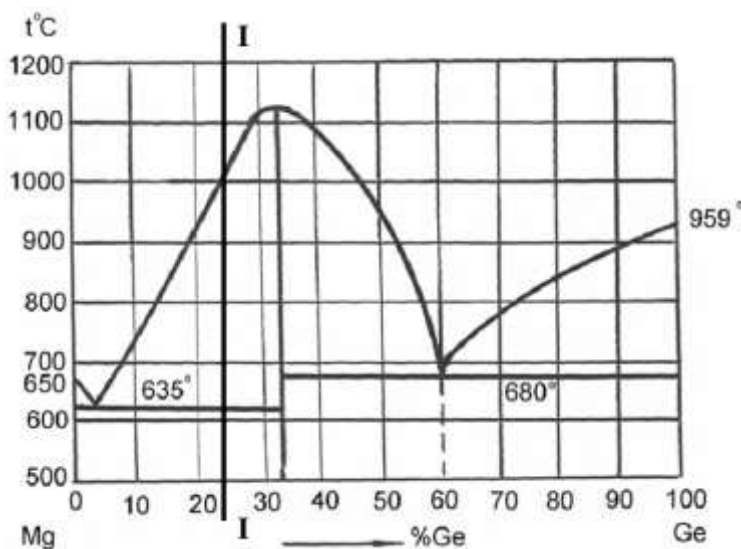


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 34

Замалювати, дотримуючись масштабу, діаграму стану і виконати наступні завдання:

1. Встановити *тип* діаграми стану.
2. Яка фізична суть температур 1083 і 962 °С?
3. Вкажіть лінії *ліквідус* і *солідус* і поясніть їх фізичну суть.
4. Заповніть всі області на діаграмі стану *буквеними позначеннями*. Дайте визначення сплавам, що відповідають цим позначенням.
5. Вкажіть хімічний склад сплаву, що має мінімальну температуру плавлення. Яка ця температура? Як називається такий сплав?
6. Визначте хімічний склад сплаву по заданій на діаграмі лінії *I-I* і охарактеризуйте його структуру при кімнатній температурі.
7. Визначте, скориставшись *правилом важеля (відрізків)*, для сплаву, що містить 30 % Ag, концентрацію Ag в рідкій фазі при 900 °С і відношення мас рідкої і твердої фаз.
8. Дайте заключення про можливість використання діаграм стану для практичної роботи з сплавами.

2. ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ МАГНІЙ-ГЕРМАНІЙ



Замалювати, дотримуючись масштабу, діаграму стану і виконати наступні завдання:

1. Встановити *тип* діаграми стану.
2. Яка фізична суть температур 650, 1110 і 959 °С?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 35

3. Вкажіть лінії *ліквідус* і *солідус* і поясніть їх фізичну суть.
4. Заповніть всі області на діаграмі стану *буквеними позначеннями*. Дайте визначення сплавам, що відповідають цим позначенням.
5. Вкажіть хімічний склад сплаву, що має мінімальну температуру плавлення. Яка ця температура? Як називається такий сплав?
6. Визначте хімічний склад сплаву по заданій на діаграмі лінії *I-I* і охарактеризуйте його структуру при кімнатній температурі.
7. Визначте, скориставшись *правилом важеля (відрізків)*, для сплаву, що містить 80 % Ge, концентрацію Ge в рідкій фазі при 800 °C і відношення мас рідкої і твердої фаз.
8. Дайте заключення про можливість використання діаграм стану для практичної роботи з сплавами.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про вуглецеві сталі, як про самий поширений конструкційний матеріал. Вивчити взаємозв'язок між складом, структурою і механічними властивостями вуглецевих сталей. Засвоїти маркування сталей.
3. Навчитись вибирати сталь з необхідними властивостями для конкретного призначення.
4. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Сталь – один з найважливіших матеріалів сучасної техніки. Унікальне поєднання міцності, твердості і пластичності обумовлене особливостями будови цього сплаву: наявністю в структурі відпаленої сталі перліту, в якому пластинки м'якого, в'язкого фериту чергуються з твердими і міцними пластинками цементиту. Можливість значного зміцнення в результаті гартування і легування, технологічність і не дефіцитність вихідної сировини роблять сталь незамінним матеріалом для виготовлення багатьох деталей і конструкцій. Об'єм виплавки сталі в світі безперервно зростає; кількість марок сталі перевищує 2000.

Приблизно 80 % від всього об'єму сталі, що виплавляється, складають вуглецеві сталі, які містять тільки залізо, вуглець і невелику долю компонентів, що обов'язково попадають в сталь із сировини при виплавці: кремній, марганець, сірка і фосфор.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 36

Вплив вуглецю на властивості сталі

Вуглець є не випадковою домішкою, а одним з найважливіших компонентів вуглецевої сталі, який створює її властивості.

Машинобудівельні заводи отримують сталь з металургійних комбінатів в відпаленому або в гарячекатаному стані. Структура конструкційних сталей (доевтектоїдних) складається з фериту і перліту, інструментальних – із перліту і цементиту.

Зі збільшенням вмісту вуглецю в структурі сталі збільшується кількість цементиту – дуже твердої і крихкої фази. Твердість цементиту перевищує твердість фериту приблизно в 10 разів (800 *HV* і 80 *HV* відповідно). Тому міцність і твердість сталі ростуть з підвищенням вмісту вуглецю, а пластичність і в'язкість, навпаки – понижуються (рис. 5.1).

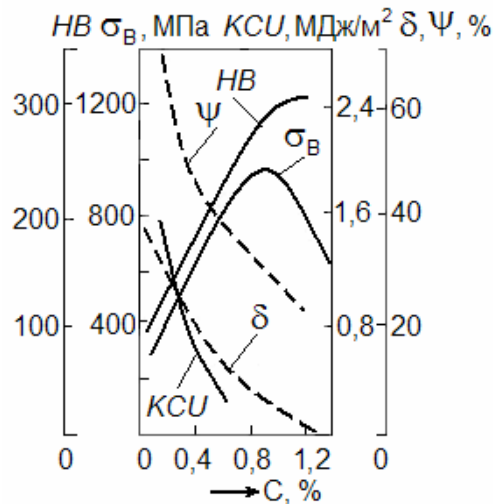


Рис. 5.1. Вплив вуглецю на механічні властивості сталі

При підвищенні вмісту вуглецю до 0,8 % збільшується доля перліту в структурі (від 0 до 100 %), тому ростуть і твердість, і міцність. Але при подальшому рості вмісту вуглецю появляється вторинний цементит по границях перлітних зерен. Твердість при цьому майже не збільшується, а міцність знижується із-за підвищеної крихкості цементитної сітки.

Крім того, збільшення вмісту вуглецю призводить до підвищення порогу холодноламкості: кожна десята доля відсотка підвищує t_{50} приблизно на 20⁰. Це значить, що уже сталь з 0,4 % C переходить в крихкий стан приблизно при 0⁰С, тобто, менш надійна в експлуатації.

Впливає вміст вуглецю і на всі технологічні властивості сталі: чим більше в сталі вуглецю, тим вона важче оброблюється різанням, гірше деформується (особливо в холодному стані) і гірше піддається зварюванню.

Вплив постійних домішок на властивості сталі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 37

Корисні домішки, марганець і кремній, попадають в сталь із вихідного матеріалу – чавуну, а також при розкисленні.

Марганець, що міститься в вуглецевій сталі в кількості 0,3-0,8 %, підвищує границю міцності, дещо понижує в'язкість. Він зв'язує сірку в сульфід MnS, в цьому і полягає його головна користь.

Вміст *кремнію* в вуглецевій сталі не повинен перевищувати 0,4 %. Розчиняючись у фериті, кремній значно підвищує границю текучості. При цьому погіршується штампуємість сталі: листовая сталь може давати надриви при глибокій витяжці. Сталь, що призначається для отримання деталей холодною листовою штамповкою, кремнієм (феросиліцієм) не розкислюють.

Сірка – шкідливий домішок. Вона викликає *червоноламкість* сталі: крихкість при обробці тиском. В сталь вона попадає, в основному, із доменного палива – коксу. Сірка із залізом утворює сульфід FeS, а FeS з залізом, в свою чергу, утворює легкоплавку евтектику з температурою плавлення 988 °С. Під кування і прокатування стальні виливки нагрівають до 1200 °С. Тому при підвищеному вмісті сірки в металі границі зерен можуть ослаблюватись, і заготовка руйнується.

Марганець більш активно, ніж залізо, взаємодіє з сіркою і зв'язує її в сульфід MnS, який евтектики не утворює. Але сульфід, як будь-які неметалічні включення, є концентраторами напружень, понижують пластичність і в'язкість. Тому вміст сірки в сталі повинен бути обмеженим.

Фосфор, навпаки, викликає холодноламкість сталі, зсуваючи поріг холодноламкості в область більш високих температур. Кожна сота доля проценту фосфора підвищує t_{50} приблизно на 25⁰! Це означає, що фосфор ще більш небезпечніший ніж сірка. Його вміст ще більш обмежений. Для пониження вмісту фосфору в сталі потрібно підвищувати якість шихти, використовувати флюси, що видаляють фосфор.

При виплавці в сталь попадають *гази* (азот, кисень, водень). Це також шкідливі домішки. Вони понижують пластичність, збільшують схильність до крихкого руйнування. Оксиди утворюють місця зародження тріщин. Азот робить сталь непригідною для холодної штамповки. Водень викликає крихкість загартованої сталі. Він відновлює метали із оксидів з утворенням води, а вода випаровується при нагріві і викликає внутрішні надриви в металі – флокени. Вміст газів в сталі обмежується тисячними долями проценту.

Класифікація вуглецевих сталей

Сталі можна підрозділяти на групи за різними класифікаційними признаками.

1) *За хімічним складом* сталі ділять на вуглецеві і леговані. В свою чергу, вуглецеві сталі можна підрозділити на низьковуглецеві (до 0,3 % С), середньовуглецеві (від 0,3 до 0,6 % С) і високовуглецеві (понад 0,6 % С).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 38

2) По структурі сталі класифікують на доевтектоїдні, евтектоїдні і заевтектоїдні, про що вже говорилось при вивченні діаграми залізо – вуглець.

3) По степені розкислення сталі поділяють на спокійні, напівспокійні і киплячі.

Розкисленням називають останній етап виплавки сталі, коли в розплав додають елементи, більш активні, ніж залізо, щоб відновити його із оксиду FeO. Марганець і кремній вводяться в рідку сталь в вигляді феросплавів – феромарганцю і феросиліцію, алюміній – в вигляді металу технічної чистоти. Недостатньо розкислена сталь в виливниці «кипить»: із неї виділяються бульбашки CO, оскільки відбувається процес відновлення заліза вуглецем, тому її називають киплячою.

Спокійна сталь – це добре розкислена сталь. При виплавці спокійної сталі в кінці процесу послідовно здійснюється її розкислення марганцем, кремнієм і алюмінієм.

Напівспокійна сталь розкислюється тільки марганцем і алюмінієм. Тому з неї в меншій степені видалений кисень.

Кипляча сталь – це погано розкислена сталь. Розкислення в цьому випадку здійснюється тільки марганцем. В сталі до моменту розливання залишається кисень, що утворює з вуглецем газоподібний оксид CO. Бульбашки CO піднімаються в рідкій сталі до поверхні, створюючи видимість «кипіння» розплаву в виливниці. Вони зберігаються в виливці сталі при кристалізації, погіршуючи механічні властивості.

4) Класифікація сталей по якості лежить в основі маркування вуглецевих сталей. Якість сталі – це металургійне поняття. Воно визначається вмістом шкідливих домішок: сірки, фосфору і газів. Чим цих домішок менше тим вища якість сталі. Подальша обробка, механічна або термічна, не здатна змінити якість сталі, що склалась в процесі виплавки. Виділяють чотири групи сталей по якості (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Класифікація сталей по якості

Група	Сталі звичайної якості	Якісні сталі	Високоякісні сталі	Особливо високоякісні сталі
Номер ДСТУ	ДСТУ 380-94	ДСТУ 1050-88		
Вміст шкідливих домішок	< 0,05 % S; < 0,04 % P	< 0,04 % S < 0,035 % P	< 0,025 % S і P	< 0,015% S і P

Маркування вуглецевих сталей

Сталі звичайної якості виготовляють наступних марок:

Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 і Ст3Г, Ст5Г з підвищеним вмістом марганцю. Букви Ст позначають «сталь», цифри – умовний номер марки в залежності від хімічного складу. Зі збільшенням номеру марки збільшується вміст вуглецю і марганцю в сталі (табл. 5.2). Наприклад, в сталі марки Ст1 міститься 0,06-0,12 % С і 0,25-0,5 % Мп; в сталі марки Ст6 – 0,38-0,49 % і 0,5-0,8 % Мп. Сталі Ст3Г і Ст5Г містять близько 1 % Мп. Чим більший номер марки, тим вищі властивості міцності і нижча пластичність сталі (табл. 5.3). Наприклад, сталь марки Ст1 має $\sigma_B = 320-400$ МПа і $\delta > 33$ %, а сталь марки Ст6 – $\sigma_B = 600-720$ МПа і $\delta = 11-16$ %.

Таблиця 5.2

Масова доля елементів (%) в вуглецевих сталях звичайної якості качества

Сталь	С:	Мп	Si в сталі			S	P
			кп	пс	сп		
Ст0	<0.23	-	-	-	-	0.06	0,07
Ст1	0.06-0.12	0.25-0.5	0.05	0.05-0.17	0,12-0.3	0.05	0.04
Ст2	0.09-0.15	0.25-0.5	0,05	0.05-0.17	0,12-0,3	0,05	0.04
Ст3	0.14-0.22	0.3-0.65	0.07	0.05-0.17	0,12-0.3	0.05	0.04
Ст4	0.18-0.27	0.4—0.7	0,07	0.05-0.17	0,12-0,3	0,05	0.04
Ст5	0.28-0.37	0.5-0.8	-	0.05-0.17	0.15-0.35	0,05	0.04
Ст6	0.38-0.49	0.5-0.8	-	0.05-0.17	0.15-0.35	0.05	0.04

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 40

Таблиця 5.3

Механічні властивості вуглецевих сталей звичайної якості

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
		Не менше	
Ст0	>310		20
Ст1	320-420		31
Ст2	340-440	200	29
Ст3	380-490	210	23
Ст4	420-540	240	21
Ст5	500-640	260	17
Ст6	600	300	12

Примітка. Механічні властивості наведені для спокійних і напівспокійних сталей. В сталях Ст1кп - Ст4кп значення σ_B на 10-20 МПа і σ_T на 10 МПа менші, а значення δ на 1 % більші, ніж в спокійних і напівспокійних сталях того ж номера.

В кінці марки проставляють букви «кп», «пс» або «сп», які вказують на ступінь розкислення сталі при виплавці. Вони значать відповідно «кипляча», «напівспокійна» і «спокійна». Наприклад, Ст3кп, Ст4пс, Ст5Гсп.

Вміст кремнію в сталі визначається ступеню розкислення. Кипляча сталь майже не містить кремнію (не більше 0,05 %). В напівспокійній сталі доля кремнію складає 0,05-0,15 %, в спокійній – 0,15-0,3 %.

Ступінь розкислення впливає на властивості сталі і її вартість. Киплячі сталі самі дешеві, але в спокійних більш високі механічні властивості, менша схильність до холодноламкості. Зате киплячі сталі можна використовувати для отримання деталей листовою штамповкою з глибокою витяжкою. У спокійних сталей з підвищеним вмістом кремнію опір деформуванню зростає, сталь дуже зміцнюється, і можлива поява надривів при штамповці.

Сталі звичайної якості поставляються в гарячекатаному стані. Їх структура і властивості задані при отриманні виробів на металургійному заводі. Тому при виготовленні деталей на підприємствах-споживачах металу без використання гарячої обробки механічні властивості сталі будуть відповідати рівню, гарантованому Державним Стандартом (ДСТУ 380-94) для заданої марки.

Якщо з цих сталей отримують вироби з використанням гарячої обробки (кування, штампування), то структура і, як наслідок, властивості сталі змінюються. Для покращання структури і властивостей після виготовлення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 41

вироби гарячої обробки тиском можуть піддаватись термічній обробці – відпалу або нормалізації.

Металургійні заводи випускають сталі звичайної якості в вигляді прокату самого різного профілю і розмірів. Це можуть бути прутки круглого, квадратного, шестигранного перерізу; кутники, швелери, листи, труби, балки и т. п.

Сталі звичайної якості, особливо сталі марок Ст2, Ст3, використовуються для виготовлення зварних конструкцій (ферми, рами). В сільськогосподарському машинобудуванні із сталей Ст3, Ст4 виготовляють валики, осі, важілі, що отримують холодною штамповкою, цементуємі шестерні, черв'яки, поршневі кільця.

Середньовуглецеві сталі Ст5 і Ст6 використовують для більш навантажених виробів: рейок, валів, залізнодорожніх коліс.

Якісні сталі. ДСТУ 1050-88 регламентує хімічний склад і механічні властивості якісних сталей, що поставляються в вигляді прокату і нормалізованих поковок (табл. 5.4).

Марки *конструкційних* якісних сталей позначаються вмістом вуглецю в сотих долях проценту: 05, 08, 10, 15, 20, ... 45, 50, ... 85.

В марках спокійних якісних сталей степінь розкислення не вказується. Киплячими (що майже не містять кремнію) можуть бути сталі марок 05, 08, 10, 15, 20; напівспокійними (близько 0,17 % Si) – сталі 08, 10, 15, 20.

Приклади марок якісних сталей: 35, 70, 08кп, 10пс.

Марки *інструментальних* якісних сталей позначають буквою «У» і вмістом вуглецю в десятих долях проценту: У7, У8, У9, ... У14.

Високоякісні сталі містять понижену кількість шкідливих домішок, завдяки чому вони менш схильні до крихкого руйнування, більш надійні при експлуатації. Позначення марок аналогічне якісним сталям, але в кінці марки ставиться буква «А»: 45А, У10А.

Особливо високоякісні сталі містять ще менше шкідливих домішок і неметалічних включень. Цього досягають тільки за рахунок подвійної переплавки. Спосіб переплавки вказують в кінці марки через дефіс: «-Ш» – електрошлаковий, «-ВД» – вакуумно-дуговий, «-ШД» – електрошлаковий і вакуумно дуговий и т. п. Власне це позначення говорить про особливо високу якість сталі. Але вуглецеві сталі з таким рівнем якості не виплавляють, оскільки сталь стає невиправдано дорогою. Тільки леговані сталі для особливо відповідальних призначень піддають подвійному переплаву: 30ХГС-Ш, 5ХНТ-ВД, ШХ15-Ш.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 42

Таблиця 5.4

Властивості вуглецевих якісних сталей (ДСТУ 1050-88)

Сталь	C, ‰	Властивості після нормалізації*					НВ після відпалу	КСУ, МДж/м ² **
		σ_B	σ_{02}	δ	ψ	НВ		
		МПа		о/о				
08	0.05-0.12	320	200	33	60	131	—	—
10	0.07-0.14	340	210	31	55	143	-	-
15	0.12-0.19	380	230	27	55	149	—	—
20	0.17-0.24	420	250	25	55	163	-	-
25	0.22-0.3	460	280	23	50	170	—	0.9
30	0.27-0.35	500	300	21	50	179	-	0.8
35	0.32-0.4	540	320	20	45	207	—	0.7
40	0.37-0,45	580	340	19	45	217	187	0.6
45	0.42-0,5	610	360	16	40	229	197	0.5
50	0.47-0.55	640	380	14	40	241	207	0.4
55	0.52-0,6	660	390	13	35	255	217	-
60	0.57-0.65	690	410	12	35	255	229	-
65	0.62-0,7	710	420	10	30	255	229	-
70	0.67-0.75	730	430	9	30	269	229	-
75	0,72-0,8	1100	900	7	30	285	241	-
80	0.77-0.85	1100	950	6	30	285	241	-
85	0.82-0.9	1150	1000	6	30	302	255	-
60Г	0.57-0.65	710	420	11	35	269	229	—
65Г	0.62-0,7	750	440	9	-	285	229	-
70Г	0.67-0.75	800	460	8	-	285	229	-

* Механічні властивості для сталей 75, 80, 85 гарантуються після гартування і середнього відпуску при температурі 480 °С.

** Ударна в'язкість сталей 25 – 50 визначається після покращання – гартування і високого відпуску при температурі 600 °С.

5) За призначенням можна виділити багато різних груп. Основні групи – це будівельні сталі, конструкційні сталі, інструментальні сталі. В свою чергу, конструкційні сталі поділяють на цементуючі сталі, покращуючі сталі, ресорно-пружинні сталі і т. д.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 43

Будівельні сталі містять не більше 0,22 % С. Низький вміст вуглецю необхідний для доброго зварювання, оскільки більшість будівельних металевих конструкцій з'єднуються різними способами зварювання.

По вмісту шкідливих домішок це можуть бути сталі як звичайної якості так і якісні. Сталі поставляються в вигляді листів і сортового фасонного прокату, іноді в нормалізованому стані.

В багато марок будівельних сталей додають невелику кількість недефіцитних легуючих елементів: Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, Ti. Такі сталі є міцнішими за вуглецеві. Мають низький поріг холодноламкості. Їх використання дозволяє економити метал в будівельних конструкціях.

Нікель і мідь додають тому, що вони понижують поріг холодноламкості і збільшують корозійну стійкість.

Конструкційні сталі

Дана група сталей використовується для виготовлення деталей машин (вали, втулки, шестерні, важелі, кулачки и т. п.).

За вмістом шкідливих домішок це якісні сталі.

Серед матеріалів цієї групи є низьковуглецеві сталі, наприклад: 08кп, 10, 15 (що містять відповідно 0,08; 0,1; 0,15 % С) і середньовуглецеві, прикладами яких можуть бути марки 40, 45, 50, 60 (в яких відповідно 0,4; 0,45; 0,5; 0,6 % С).

Низьковуглецеві сталі, внаслідок їх доброї пластичності, широко застосовуються для виготовлення виробів холодною пластичною деформацією (наприклад, штампуванням). В цьому випадку необхідно, щоб метал витримував великі деформації без руйнування. Прикладами подібних виробів можуть бути деталі кузова легкових автомобілів, корпуси або кожухи складного профілю для різних виробів і т. п.

Сталі марок 05, 08, 10 призначені для отримання деталей з листа холодним листовим штампуванням, в тому числі глибокою витяжкою.

Сталі 15, 20, 25 використовують для виготовлення дрібних деталей, що працюють в нормалізованому стані (деталі кріплення, втулки, труби, змійовики), а також для цементуючих деталей (кулачки, мало навантажені шестерні).

Середньовуглецеві конструкційні сталі використовують для виготовлення деталей, що зміцнюються термічною обробкою. Найчастіше їх піддають гартуванню і відпуску на твердість *HRC* 40–50.

Сталі 30, 35, 40, 45, 50, 55 – сталі, що покращуються. Їх зміцнюють гартуванням з високим відпуском. Деталі працюють в умовах втомного зношення (шатуни, вісі, маховики, зубчасті колеса, колінчасті вали).

Сталі марок 50, 55 і 60 можуть піддаватись нормалізації і поверхневому гартуванню ТВЧ. Так зміцнюють шийки колінчастих валів, кулачки розподільних валів, зубці шестерень, довгі вали і ходові гвинти.

Сталі марок 60–85 і близькі до вуглецевих сталі 60Г, 65Г, 70Г використовують в якості ресорно-пружинних.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 44

Серед конструкційних вуглецевих сталей є так звані *автоматні сталі*. Це сталі, які за рахунок підвищеного вмісту сірки і фосфору мають добру оброблюваність різанням. Їх використовують при масовому виробництві деталей на верстатах-автоматах, автоматичних лініях, тобто там, де вимагається висока продуктивність обробки при достаньо добрій стійкості ріжучого інструменту.

При позначенні автоматних сталей на початку марки ставиться буква «А», наприклад: А12, А20. Цифри показують вміст вуглецю (0,12 і 0,20 %).

Ці сталі мають понижену в'язкість і пластичність, більш низьку корозійну стійкість, що пов'язується з особливістю їх складу. Широке використання вони знаходять при виготовленні деталей кріплення типу гайок, болтів, шпильок.

Інструментальні сталі

Ця група сталей призначена для виготовлення різного виду інструментів: ріжучого, вимірювального, штампового. Приклади інструменту з вуглецевих інструментальних сталей: напилки, зубила, мітчики, ножівкові полотна, дрібні штампи для холодного деформування металу, шабери, вимірювальні лінійки і т. п.

Інструмент повинен мати високу міцність, твердість і зносостійкість, тому інструментальні сталі зміцнюють гартуванням на мартенсит з послідуочим низькотемпературним відпуском. Вони мають містити велику кількість вуглецю: 0,7–1,3 % С. Термічна обробка інструменту формує мартенситну структуру з деякою кількістю надлишкових карбідів (в заевтектоїдних сталях), що відповідає твердості 60–63 *HRC*.

Для інструменту, що зазнає при роботі значних динамічних навантажень, може проводитись відпуск при більш високій температурі (270–350 °С). При цьому виробу забезпечується більш високий запас в'язкості і висока роботоздатність. Твердість отримується на рівні 48–52 *HRC*.

При позначенні марок вуглецевих інструментальних сталей на початку марки ставиться буква У («углеродистая»), а потім цифра, що показує вміст вуглецю в десятих долях проценту, наприклад: У8, У12. В цих сталях міститься відповідно 0,8 і 1,2 % С.

Виплавляються сталі даної групи частіше за все як якісні. Але іноді інструментальні сталі можуть бути і високоякісними. В цьому випадку в кінці марки ставиться буква А. Наприклад: У10А, У11А.

Належить прийняти до відому, що з вуглецевих інструментальних сталей виготовляють дрібний інструмент. Це пов'язано з їх низькою прогартованістю. Крім того, такий інструмент повинен працювати з невеликим розігрівом ріжучої кромки, не вище 200–250 °С, оскільки при більш високих температурах вуглецеві сталі швидко втрачають міцність.

Для розуміння поділу конструкційних матеріалів на групи за різними ознаками і визначення їх практичного призначення може бути корисною загальна класифікація металічних сплавів, що наведена в табл. 5.5.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 45

Таблиця 5.5

Класифікація сплавів

Опорний признак	Найменування виду сплава
Число компонентів	Подвійний
	Потрійний і ін.
Число фаз	Однофазний (фаза: твердий розчин, інтерметалід)
	Багатофазний (фази: чистий компонент, твердий розчин, хімічне з'єднання)
Основа	Залізний
	Алюмінієвий
	Мідний
	Нікелевий і ін.
Основновни й легуючий елемент	Хромиста сталь
	Берилієва бронза і ін.
Призначенн я	Конструкційний
	Інструментальний
	Спеціальний
Основна експлуатаці йна властивість	Антифрикційний
	Жароміцний
	Жаростійкий
	Зносостійкий
	З особливими фізичними властивостями (теповими, магнітними, електричними)
Технологія виготовленн я виробу-	Ливарний
	Деформуємий
	Спечений
Технологія зміцнення	Термічно зміцнюємі
	Термічно незміцнюємі
	Хіміко-термічно зміцнюємі
	Деформаційно зміцнюємі
	Інші види зміцнення

Завдання для практичної роботи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 46

1) Поясніть, чим відрізняються одна від одної сталі марки Ст1 і Ст6. Яка з цих марок сталей підійде для виготовлення зварних будівельних конструкцій? Обґрунтуйте відповідь.

2) Валики і кронштейни із сталі звичайної якості отримують штампуванням в холодному стані. Для продуктивного штампування заготовок без дефектів матеріал повинен мати границю текучості не більше 200-220 МПа і відносне видовження не менше 20 %. Призначте марку сталі, приведіть її механічні характеристики, опишіть структуру сталі.

3) Поясніть, чим відрізняються одна від одної сталі марки СтЗкп і СтЗсп. Чи підійдуть ці марки сталі для виготовлення відповідальних зварних будівельних конструкцій, що працюють при низьких температурах? Обґрунтуйте відповідь.

4) Поясніть, чим відрізняються одна від одної сталі марки Ст3 і 30. Яку з цих сталей можна зміцнювати термічною обробкою? Обґрунтуйте відповідь

5) Призначте марку сталі для виготовлення колінчастого валу, який зміцнюється нормалізацією; шийка вала (місце опори на підшипники) піддається гартуванню ТВЧ. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру.

6) Зубчасті колеса редуктора працюють в умовах зношення втому. Призначте марку вуглецевої якісної сталі для цих деталей. Приведіть її хімічний склад і механічні характеристики, опишіть структуру сталі.

7) Які марки якісної сталі підійдуть для виготовлення деталей методом холодного листового штампування? Обґрунтуйте відповідь. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру.

8) Для яких виробів раціонально використовувати вуглецеву якісну сталь марки 65? Обґрунтуйте відповідь. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру.

9) Для виготовлення напилків потрібно підібрати марку вуглецевої високоякісної сталі. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру. Вкажіть, чи потрібна термічна обробка для цих виробів, і яка власне.

10) Для виготовлення пружин потрібно підібрати марку вуглецевої високоякісної сталі. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру. Вкажіть, чи потрібна термічна обробка для цих виробів, і яка власне.

11) Із яких сталей виготовляють гарячекатані профілі: балки, кутники і т. п.? Приведіть приклад марки, укажіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру.

12) Із яких сталей виготовляють рейки? Приведіть приклад марки, укажіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру.

13) Поясніть, чим відрізняються одна від одної сталі марки 70 і У7. Для яких виробів використовують ці сталі? Обґрунтуйте відповідь.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 47

14) Для виготовлення ріжучого інструменту (свердла, фрези) підберіть марку вуглецевої інструментальної сталі. Приведіть хімічний склад і механічні характеристики сталі, опишіть її структуру. Вкажіть, чи потрібна термічна обробка для цих виробів, і яка власне.

15) Якій сталі належить віддати перевагу для виготовлення деталей методом листового штампування з глибокою витяжкою: Ст2сп чи Ст2кп? Обґрунтуйте відповідь.

16) Деталі (важелі, штоки) з якісної сталі повинні мати границю міцності не менше 600 МПа і ударну в'язкість не менше 0,4 МДж/м². Призначте марку сталі і вкажіть необхідну обробку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про операції термічної обробки, при зміцненні та інших змінах властивостей вуглецевої сталі. Вивчити взаємозв'язок між вмістом вуглецю в сталі, структурою і механічними властивостями сталі після термічної обробки.
3. Навчитись вибирати режим термічної обробки сталі для отримання необхідних експлуатаційних властивостей її.
4. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Термічна обробка – сукупність операцій нагріву і охолоджень з метою змінити структуру і властивості сплаву в потрібному напрямку.

Будь – яку операцію термічної обробки можна представити графічно в вигляді графіку в координатах «температура – час», що включає ділянки нагріву, витримки і охолодження. Головні параметри, що визначають результат термічної обробки, - **температура нагріву t_H , час витримки τ_B і швидкість охолодження $V_{охл}$** (рис. 6.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 48

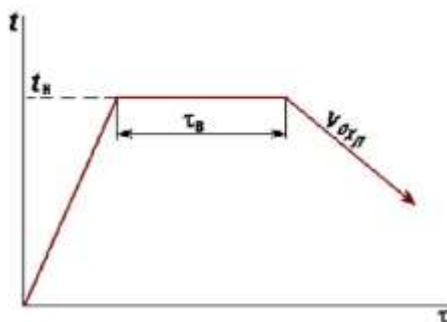


Рис. 6.1. Графічне зображення режиму термічної обробки

Розрізняють **зміцнюючу** термічну обробку, при якій підвищуються твердість, міцність і зносостійкість, і термічну обробку, що понижує показники міцності і підвищує пластичні властивості та в'язкість.

Для сталей широко застосовують обидва варіанти термічної обробки.

Термічна обробка сталі базується на фазових перетвореннях, що відбуваються при її нагріванні вище критичних температур і послідовному охолодженні з різними швидкостями. Завдяки рвзній розчинності вуглецю в залізі з ОЦК і ГЦК граткою, існує можливість значного зміцнення сталі в результаті її гартування. Перенасичений твердий розчин вуглецю в α – залізі, що отримується при гартуванні, можна піддавати відпуску для отримання більш рівноважних структур. При цьому, в залежності від режиму відпуску, можна отримати широкий спектр механічних характеристик сталі, що обумовлює її використання для деталей і конструкцій, що працюють в різних умовах навантажень.

Перетворення при нагріванні сталі

Температури перетворень, або критичні точки, при нагріві сталі прийнято позначати (рис. 6.2):

- початок перетворення фериту в аустеніт ($Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$) - Ac_1 (ці точки розташовані на лінії **PSK**);
- завершення перетворень фериту в аустеніт ($Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$) - Ac_3 (ці точки розташовані на лінії **GS**);
- закінчення розчинення цементиту в аустеніті - Ac_{cm} (ці точки розташовані на лінії **SE**).

Точки A_2 відносяться до магнітного, а не до фазового перетворення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 49

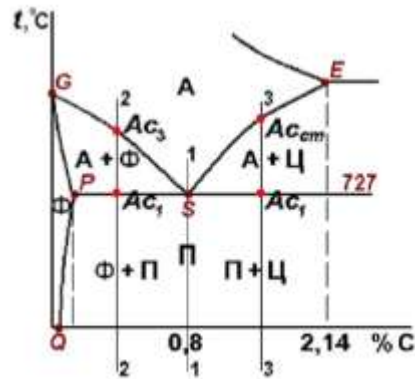


Рис. 6.2. Критичні точки при нагріві сталі

Належить звернути увагу на те, що точки Ac_3 і Ac_{cm} – є індивідуальні для кожної марки сталі, а точка Ac_1 – єдиною спільною для всіх вуглецевих сталей: 727 °С.

Основні види термообробки сталі – *відпал, нормалізація, гартування і відпуск*.

Відпал

Відпал є операцією термічної обробки, що зменшує міцність сталі і надає структурі рівноважного стану.

Відпалом I роду називають нагрів сталі з нерівноважною, в результаті попередньої обробки, структурою до (або нижче) температури фазового перетворення.

Зазвичай причиною появи нерівноважної структури є холодна обробка тиском або швидке охолодження після гарячої обробки. Температурний режим відпалу I роду не пов'язаний з фазовими перетвореннями в сталі.

Мета: Перевести структуру сталі в більш стійкий, рівноважний стан.

Приклад: рекристалізаційний відпал для зняття явища наклепу; низький відпал для покращання оброблюваності різанням.

Відпалом II роду називають нагрів сталі вище температури фазового перетворення з послідуєчим повільним охолодженням (разом з піччю).

Мета: Отримати стійкий рівноважний стан (такий як показано на діаграмі).

Різновиди:

1.) **Повний відпал** доєвтектоїдних (конструкційних) сталей виконується з метою повної фазової перекристалізації.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 50

Для цього сталь нагрівають на $30 - 50^\circ$ вище критичної точки A_{c3} (тобто лінії GS) і після невеликої витримки повільно охолоджують. Практично деталі охолоджуються разом з піччю з швидкістю $30 - 100^\circ\text{C}/\text{год}$ (рис. 6.3).

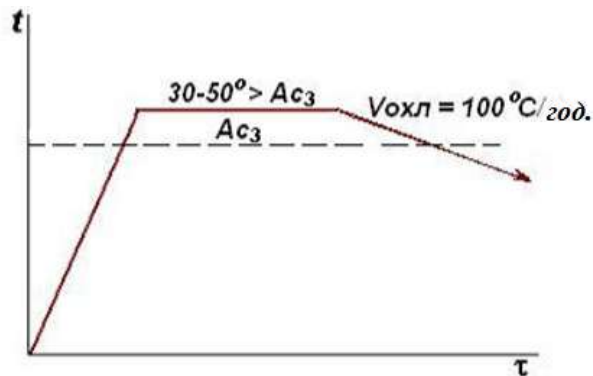


Рис. 6.3. Режим повного відпалу

При нагріванні ферит і перліт доєвтектоїдної сталі перетворюються в аустеніт. Потім, при повільному охолодженні, розпад аустеніту відбувається в верхній частині $C -$ подібної діаграми з утворенням нових зерен фериту і перліту. Таким чином, якщо структура була дефектною (крупні зерна, зерна викривленої форми і т.п.), то при повному відпалі вона виправляється, стає однорідною і дрібнозернистою. Сталь після відпалу має добрі пластичні властивості і низьку твердість. Це забезпечує добру оброблюваність сталі різанням і тиском.

Цей відпал повністю знімає залишкові напруження.

2) *Неповний відпал* заєвтектоїдних (інструментальних) сталей виконується з метою отримання структури зернистого перліту. Для цього сталь нагрівають на $30 - 50^\circ$ вище критичної точки A_{c1} (тобто лінії PSK). Використовують декілька різних режимів (рис. 6.4).

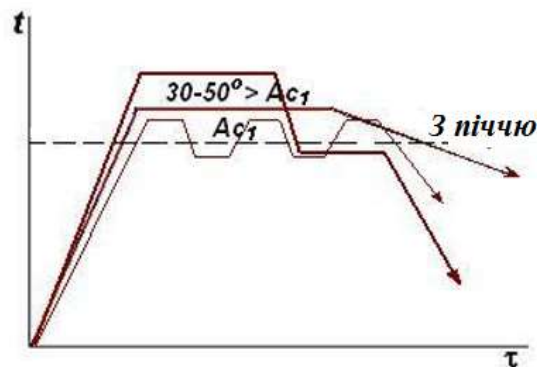


Рис. 6.4. Режим неповного відпалу

В результаті відпалу цементитні пластинки розчиняються не повністю, і при охолодженні отримуються сферичні, а не пластинчасті кристали цементиту. Тому такий відпал називають ще *сфероїдизуючим*. Інструментальні сталі з структурою зернистого перліту є м'якшими і більш пластичними, ніж з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 51

пластинчастим перлітом. Цей спосіб відпалу підвищує оброблюваність сталі і покращує її структуру перед гартуванням.

При неповному відпалі доєвтектоїдної сталі феритна складова структури не змінюється, оскільки ферит зберігається при нагріві. Тому повного виправлення структури не відбувається.

3) *Дифузійний відпал* сталевих виливок і поковок виконують з метою усунення неоднорідності ливарної або деформованої структури. Усунення мікроліквації досягається за рахунок дифузійних процесів. Тому, щоб забезпечити високу швидкість дифузії, сталь нагрівають до високих температур в аустенітній області (близьких до солідусу). Для сталей це зазвичай температури 1000 – 1200 °С. При цих температурах виконується тривала витримка (8 – 15 годин) і потім повільне охолодження. Вирівнювання структури сталі покращує механічні властивості, особливо пластичність.

Температурні інтервали нагріву сталі при відпалі показані на рис.6.5.

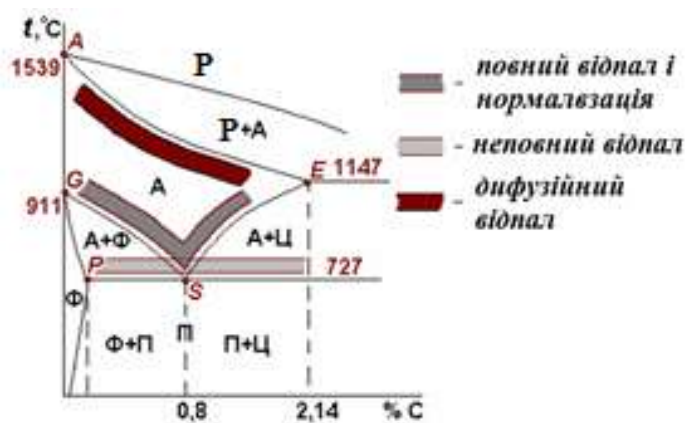


Рис. 6.5. Температурні інтервали нагріву сталі при відпалі

Нормалізація

Нормалізація є різновидом відпалу II роду з прискореним охолодженням.

Нормалізація полягає в нагріві сталі до температур на 50 – 70° вище лінії *GSE* (рис. 6.5) і в охолодженні на повітрі після невеликої витримки. В цьому випадку розпад аустеніту відбувається в верхній частині C – подібної діаграми, але при дещо менших температурах, ніж при відпалі. Це пов'язане з більш швидким охолодженням.

Тому при нормалізації отримується більш дрібна перлітна структура, ніж при повному відпалі. Може навіть утворюватися структура *сорбіт* – більш дрібна, ніж перліт, феритно – цементитна суміш.

Для доєвтектоїдних сталей нормалізація часто замінює повний відпал як більш ефективна і економічна операція.

Після нормалізації сталь стає твердішою і міцнішою, ніж після повного відпалу. Мікроструктура також відрізняється від рівноважної: ферит утворює

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 52

сітку навколо ділянок перліту. (Видається, що в сталі більше вуглецю, ніж є в самому ділі.)

Гартування

Гартування – це операція термічної обробки, яка змінює структуру сталі таким чином, щоб максимально підвищити твердість і міцність.

Гартування полягає в нагріві сталі вище температури фазового перетворення з послідуочим достатньо швидким охолодженням (з швидкістю більшою за критичну).

Мета: отримання нерівноважної структури – перенасиченого твердого розчину вуглецю в α – залізі – **мартенситу**. Практична мета – отримання максимально можливої твердості для заданої марки сталі.

Швидке охолодження при гартуванні необхідне, щоб вуглець не встиг виділитись з твердого розчину – аустеніту – і залишився б в кристалічній ґратці заліза після охолодження (рис. 6.6).

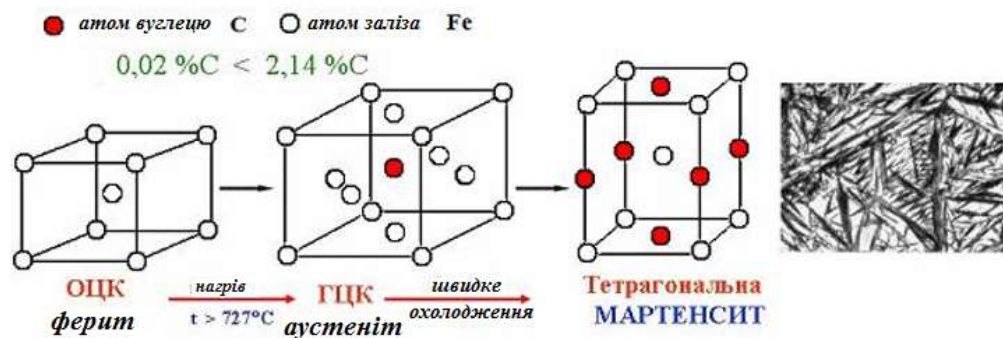


Рис. 6.6. Схема утворення структури загартованої сталі – **мартенсит**

Щоб загартувати сталь, необхідно правильно вибрати температуру нагріву і швидкість охолодження. Ці два параметри є визначними при проведенні гартування. При виборі температури нагріву діє наступне правило: доевтектоїдні сталі нагрівають під гартування на $30 - 50^{\circ}$ вище критичної точки A_{c3} , а заевтектоїдні – $30 - 50^{\circ}$ вище точки A_{c1} (рис. 6.7). невеликі перевищення критичної точки необхідне, оскільки в печах для термообробки не уникнути деяких коливань температури відносно заданого значення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 53

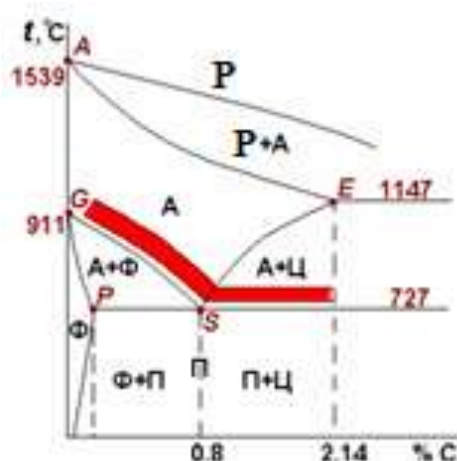


Рис. 6.7. Температурний інтервал нагріву сталі під гартування

Чому температуру під гартування вибирають по-різному для доєвтектоїдних і заєвтектоїдних сталей?

В структурі доєвтектоїдних сталей нижче лінії GS присутній ферит. Якщо гартувати сталь з цієї температурної області, то аустеніт перетвориться в твердий і міцний мартенсит, а ферит не зміниться, оскільки він є рівноважною фазою. Оскільки ферит дуже м'який, то його присутність в загартованій сталі понижує її твердість і мета гартування не буде досягнута. Тому є необхідним нагрів до більш високих температур (вище лінії GS), де ферит уже не існує.

Гартування з однофазної (аустенітної) області, з температур вище A_{c3} , називається **повною**. Так гартують доєвтектоїдні (конструкційні) сталі.

Для заєвтектоїдних сталей такий високий нагрів не потрібний, оскільки вище точки A_{c1} , але нижче лінії SE структура складається із аустеніту і цементиту. При гартуванні з цієї області аустеніт перетворюється в мартенсит, а цементит зберігається, оскільки він є рівноважною фазою. Наявність в загартованій сталі такої твердої складової є корисним явищем тому, що тверді дрібні частинки цементиту є додатковими перепонами для руху дислокацій і підвищують твердість та зносостійкість.

Гартування з двофазної області, де є присутніми аустеніт і цементит, або аустеніт і ферит, називається **неповним**. Такому гартуванню піддаються заєвтектоїдні (інструментальні) сталі.

Для визначення, до якої групи сталей відноситься матеріал, можна скористатись даними табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Класифікація залізовуглецевих сплавів за структурою

Вміст С, %	Назва сплаву	Структура при кімнатній температурі	Використання сплавів
0,006-0,02	Технічне залізо	Ф+Ц_{III}	Сердечники трансформаторів
0,02-0,8	Доевтектоїдна сталь	Ф+П	Деталі машин і конструкцій
0,8	Евтектоїдна сталь	П	Різальний і вимірювальний інструмент
0,8-2,14	Заевтектоїдна сталь	П+Ц_{II}	
2,14-4,3	Доевтектичний чавун	П+Ц+Л	Деталі машин, що отримують литтям
4,3	Евтектичний чавун		
4,3-6,67	Заевтектичний чавун	Л+Ц_I	Технічного використання не мають

Примітка:

- В сплавах системи Fe-C розрізняють три види цементиту: **Ц_I**, **Ц_{II}**, **Ц_{III}** (цементит первинний, вторинний, третинний). **Ц_I** кристалізується із рідкої фази в вигляді кристалів гольчастої форми; спостерігається в структурі заевтектичних чавунів. **Ц_{II}** і **Ц_{III}** утворюються при вторинній кристалізації в вигляді сітки по границях зерен аустеніту (**Ц_{II}**) і фериту (**Ц_{III}**).
- Структура доевтектичних конструкційних чавунів складається з металевої матриці (**Ф**, **Ф+П**, **П**) і графітних включень різної форми (пластинчастої, пластівчастої і кулястої). Наявність в структурі вілоного графіту визначає багато експлуатаційних властивостей чавунів (антифрикційність та ін.).

Критична швидкість охолодження при гартуванні вуглецевих сталей складає не менше 400 °C/с. така швидкість досягається при охолодженні в воді або в водних розчинах солей (NaCl) і лугів (NaOH), що збільшують охолоджуючу здатність води. При цьому деталь необхідно енергійно переміщувати в охолоджуючій рідині, щоб видаляти з поверхні металу пухирі водяної пари, яка уповільнює охолодження. Критична швидкість зхлздження легованих сталей набагато нижча, тому використовують більш м'якші охолоджуючі середовища – мінеральні масла або розчини полімерів.

Гартування є найбільш «жорсткою» з усіх операцій термообробки, оскільки сталь піддається різкому зниженню температури. При цьому в деталях виникають великі внутрішні напруження. Вони складаються із термічних

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 55

напружень, що виникають із-за різниці температур на поверхні і в серцевині деталі при швидкому охолодженні, і структурних напружень, що виникають за рахунок об'ємних змін при мартенситному перетворенні.

Ці напруження можуть призвести до деформації деталі і навіть до появи тріщин. Особливо це є небезпечним у відношенні до деталей складної форми, що мають концентратори напружень у вигляді проточок, отворів, кутів, галтелей і т.п. Для зменшення гартувальних напружень потрібно зменшити перепад температур в процесі охолодження при гартуванні.

По способу охолодження розрізняють:

1) *Безперервне гартування (гартування в одному середовищі)* (рис. 6.8, крива 1). Це найбільш простий спосіб, але при цьому в деталі появляються великі внутрішні напруження.

2) *Гартування в двох середовищах*, або переривчасте гартування (рис. 6.8, крива 2). При цьому спосібі сталь швидко охолоджується в інтервалі температур 750-400⁰С, а потім деталь переносять в інше, більш м'яке охолоджуюче середовище, і в мартенситному інтервалі охолодження відбувається уповільнено. Це призводить до зменшення внутрішніх напружень і понижує ймовірність появи тріщин. Прикладом такого гартування може бути процес з охолодженням спочатку у воді, а потім у маслі.

3) *Ступінчасте гартування* (рис. 6.8, крива 3), при якому при якому нагріту деталь занурюють в рідке середовище з температурою на 20-30⁰ вище точки М_Н. при цьому забезпечується швидке охолодження сталі в верхній області температур, а потім робиться витримка, під час якої температура по перерізу деталі вирівнюється, і термічні напруження зменшуються. Потім деталі забираються із гартувальної ванни, і подальше їх охолодження відбувається в іншому середовищі, частіш за все на повітрі або в маслі. В цьому випадку мартенситне перетворення відбувається при повільному охолодженні, в умовах менших внутрішніх напружень. В якості рідких середовищ для ступінчастого гартування використовують розплави лугів, селітри, легкоплавких металів.

4) *Ізотермічне гартування* (рис. 6.8, крива 4). Воно суттєво відрізняється від інших способів. Тут витримка в охолоджуючому середовищі при температурі бейнітного перетворення продовжується до повного розпаду аустеніту. У всіх попередніх випадках при гартуванні відбувається утворення мартенситної структури, а в цьому випадку – бейніту.

При ізотермічному гартуванні напруження в деталі мінімальні, виключається утворення тріщин, деформації значно менші. У деяких легованих сталей (пружинних, штампових) цей спосіб гартування дозволяє отримати оптимальне поєднання міцності та пластичності.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 56

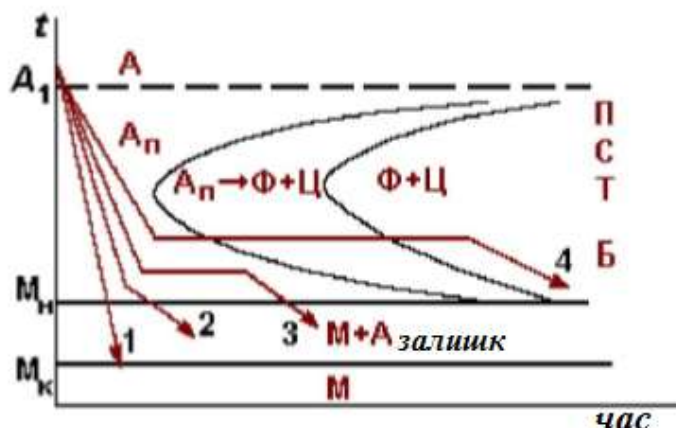


Рис. 6.8. Різновиди гартування за способом охолодження

Таким чином, ступінчасте і переривчасте гартування зменшують гартувальні напруження, оскільки різниця температур на поверхні і в центрі деталі зменшується. Але із-за маленького періоду існування переохолодженого аустеніту у вуглецевих сталях, ступінчасте і ізотермічне гартування частіш за все використовують для легованих сталей.

Можливі **дефекти гартування**:

а) **перегрів** – крупне зерно;
б) **перепал** – окислення границь зерен, дуже крупне зерно;
в) **недогрів** – у доєвтектоїдних сталей гартування з інтервалу $A_{c1} - A_{c3}$ приводить до двофазної структури (мартенсит + ферит) і низьким механічним властивостям;

г) **жолоблення і тріщини** – викликаються внутрішніми напруженнями. Питомий об'єм мартенситу більший за питомий об'єм аустеніту, що викликає напруження в структурі сталі. Особливо це є небезпечним для деталей складної форми і при поєднанні структурних напружень з термічними, що виникають із-за різниці температур на поверхні і в центрі деталі.

Щоб уникнути жолоблення, тонкі вироби – пили, ножівкові полотна, бритви – охолоджують заневоленими в спеціальних гартувальних пресах.

З технологією гартування тісно пов'язані два важливих поняття.

Загартованість – це здатність сталі отримувати високу твердість при гартуванні. Вона залежить від вмісту вуглецю в сталі і характеризується максимально можливою твердістю (HRC) для заданої марки.

Прогартовуваність – це здатність сталі отримувати загартований шар визначеної глибини. Швидкість охолодження зменшується від поверхні деталі до центру, тому при великій товщині може трапитись, що в її серцевині швидкість охолодження є меншою за критичну (рис. 6.9). В цьому випадку на мартенсит загартується тільки поверхневий шар деталі, а серцевина буде незагартована, з м'якою феритно-перлітною структурою.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 57

Для характеристики прогартуваності сталі в довідниках наводять величину критичного діаметру. *Критичний діаметр* – це максимальний діаметр циліндричного прутка, який прогартується наскрізь в конкретному середовищі охолодження.

Чим більша прогартуваність сталі, тим краще. Вуглецева сталь при охолодженні в воді має критичний діаметр всього 10-15 мм. Прогартуваність сталі залежить від вмісту легуючих елементів, які затrudняють дифузійний розпад аустеніту, зменшуючи тим самим критичну швидкість охолодження при гартуванні. Чим більше легуючих елементів в сталі, тим вища її прогартуваність.

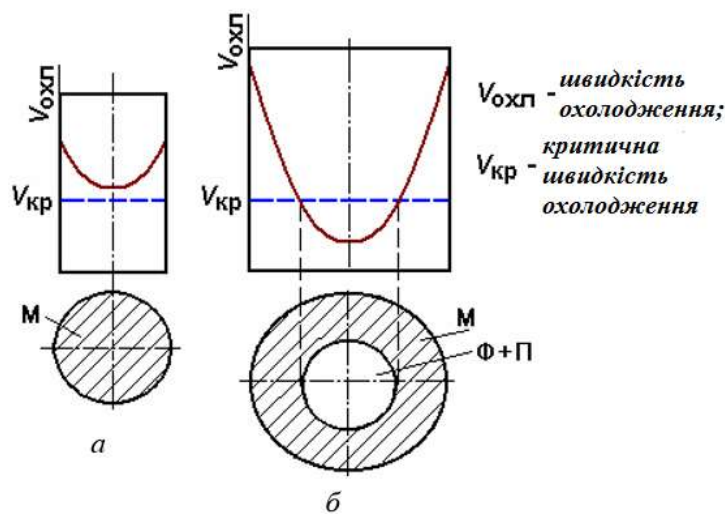


Рис. 6.9. Зміна швидкості охолодження по перерізу деталей:
а – малого діаметру; б – великого діаметру

Відпуск

Загартована сталь дуже тверда, але вона також і крихка, у неї низька пластичність і великі внутрішні напруження. В такому стані деталь є не дієздатною. Тому для зменшення внутрішніх напружень і підвищення пластичності після гартування завжди слідує ще одна операція термічної обробки, яка називається *відпуск*.

Відпуск – це нагрів загартованої сталі до температур нижче критичних з послідуочим охолодженням, зазвичай на повітрі.

Мета відпуску – створення потрібного комплексу експлуатаційних властивостей сталі, отримання більш стійкої, ніж після гартування, структури, шляхом зменшення внутрішніх напружень.

Відпуск – остання операція в технологічному ланцюгу термообробки сталі, тому отримана при відпуску структура повинна забезпечувати властивості, необхідні при роботі деталі.

В процесі відпуску відбувається розпад мартенситу за рахунок виділення з нього вуглецю, тим більш повний, чим більша температура і час витримки. Тому

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 58

зменшуються внутрішні напруження і щільність дислокацій. Залишковий аустеніт при відпуску перетворюється в мартенсит.

По температурі нагріву відпуск підрозділяється на 3 види: низький, середній і високий (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Види відпуску вуглецевих сталей

Вид відпуску	$t, ^\circ\text{C}$	Структура	HRC	Мета	Використання
Низький	150-300	Мартенсит відпуску	55-65	Забезпечення високої твердості і зносостійкості	Різальний і вимірвальний інструмент, сталі з 0,7—1,3 % С
Середній	300-500	Троостит відпуску	30-45	Забезпечення високої границі текучості	Пружини, ресори і конструкційні сталі з 0,5- 0,7 %С
Високий	500-650	Сорбіт відпуску	25-35	Забезпечення оптимального поєднання міцності, ударної в'язкості і пластичності	Деталі машин із конструкційних сталей з 0,3- 0,5 %С

При *низькому відпуску* (150-300 $^\circ\text{C}$) із мартенситу виділяється частина надлишкового вуглецю з утворенням дрібних карбідних частинок. Але оскільки швидкість дифузії тут ще мала, деяка частина вуглецю в мартенситі залишається.

Така структура являє собою маловуглецевий мартенсит і дуже дрібні карбідні частинки. Її називають *відпущений мартенсит*.

В результаті низького відпуску зменшуються внутрішні напруження, дещо збільшуються в'язкість і пластичність, твердість майже не знижується. Деталі можуть працювати в умовах, де необхідна висока твердість і зносостійкість.

Низький відпуск використовують для різального інструменту, деталі підшипників кочення.

Середній відпуск проводиться при більш високих температурах (300-450 $^\circ\text{C}$). При цьому із мартенситу уже виділяється весь надлишковий вуглець з утворенням цементитних частинок. Тетрагональні викривлення кристалічної ґратки заліза знімаються, вона стає кубічною. Мартенсит перетворюється в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 59

феритно-цементитну суміш з дуже дрібними, в вигляді голок, частинками цементиту, яка називається **трооститом відпуску**.

Середній відпуск ще більш зменшує внутрішні напруження, збільшує в'язкість, при цьому міцність залишається високою, а границя текучості і границя витривалості досягають максимуму. Такому відпуску піддають ресори, пружини та інші елементи, а також штамповий інструмент.

В інтервалі температур 500-650 °С швидкість дифузійних процесів дещо зростає, що при розпаді мартенситу утворюється феритно-цементитна суміш з більш крупними, сферичними формами, зернами цементиту. Такий відпуск називають **високим**; структура, що отримується – **сорбіт відпуску**.

В результаті високого відпуску дуже зростають в'язкість і пластичність сталі, внутрішні знімаються майже повністю, твердість і міцність знижуються, але все ж залишаються достатньо високими.

Гартування з високим відпуском називається **термічним покращанням** сталі. Такий обробці піддають деталі машин, що працюють в умовах знакозмінних і ударних навантажень: вали, важелі, шестерні і т.п.

Час витримки при низькому відпуску складає від 1 до 12-15 годин, оскільки при таких низьких температурах дифузія вуглецю відбувається повільно. Для середнього і високого зазвичай достатньо 1-2 години.

Зміна механічних характеристик вуглецевої сталі при відпуску показано на рис. 6.10 і в табл. 6.3.

Таким чином, з підвищенням температури і довготривалості відпуску зростають пластичні властивості сталі, але знижуються її твердість і міцність. В практиці термічної обробки сталі режим відпуску призначають у відповідності необхідними властивостями, які визначаються умовами роботи деталі.

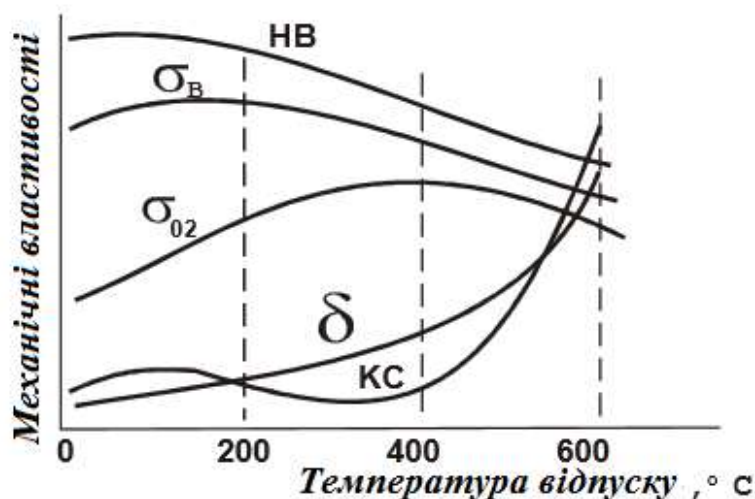


Рис. 6.9. Залежність механічних характеристик сталі від температури відпуску: *НВ* – твердість по Бринеллю; σ_B – границя міцності; σ_T – границя текучості; δ – відносне видовження; *КС* – ударна в'язкість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 60

Таблиця 6.3

Вплив термічної обробки на механічні властивості сталі з 0,45%С

Термічна обробка	σ_B	σ_{02}	δ	ψ	$KCU, \text{МДж/м}^2$	HV
	МПа		%			
Вілпал	650	450	20	65	0,6	187
Нормалізація	730	470	21	60	0,8	198
Гартування і відпуск при 500 °С	970	850	8	55	1,0	280
Гартування і відпуск при 550 °С	950	800	10	60	1,1	269
Гартування і відпуск при 600 °С	870	700	13	65	1,3	255

Поверхнєве зміцнення

Для деяких деталей при експлуатації необхідна висока твердість і зносостійкість поверхні в поєднанні з високою в'язкістю в серцевині. Це стосується деталей, що працюють в умовах зношення з одночасною дією динамічних навантажень (наприклад, шестерні, пальці, ланки траків гусеничних машин).

В таких випадках піддають зміцненню не всю деталь, а тільки тонкий (декілька мм) поверхневий шар.

Поверхнєве гартування – це нагрів до гартувальних температур тільки поверхневого шару деталі з послідуєчим швидким охолодженням і утворенням мартенситної структури тільки в цьому шарі.

Здійснюють таке гартування швидким нагрівом поверхні, при якому серцевина не встигне прогрітись за рахунок теплопровідності. При такому нагріванні температура по перерізу деталі різко падає від поверхні до центру.

Після охолодження в перерізі деталі утворюються три характерні зони з різною структурою і властивостями (див. рис. 6.11).

В зоні I після гартування отримується мартенситна структура з максимальною твердістю, оскільки ця зона нагрілась вище критичної точки A_{c3} .

В зоні II після гартування в структурі, крім мартенситу, буде присутній і ферит. Як наслідок, твердість там буде нижча.

В зоні III нагрів і охолодження не приводять до будь – яких змін в структурі. Значить, тут зберігається вихідна ферито-перлітна структура з низькою твердістю, але з високими пластичними властивостями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 61

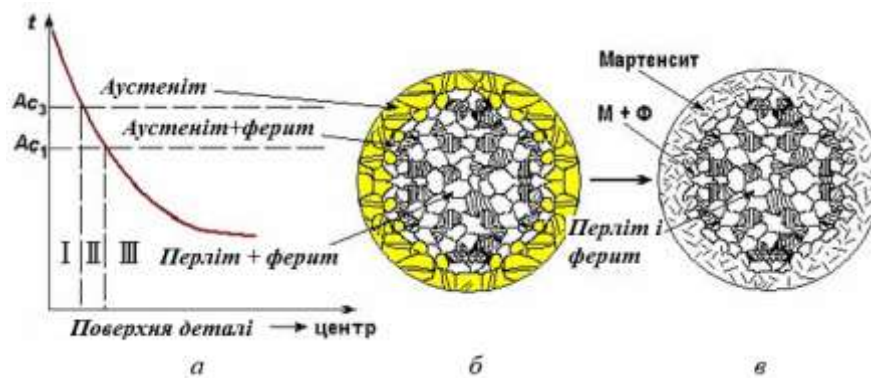


Рис. 6.11. Поверхнєве гартування сталі: *a* – розподіл температур по перерізу; *б* – структура при поверхневому нагріві; *в* – структура після гартування

Після поверхневого гартування деталей може чинити опір динамічним навантаженням за рахунок в'язкої серцевини і добре працює в умовах зношення завдяки твердій поверхні.

Швидкий нагрів поверхні, що необхідний при такій технології, зазвичай виконується індукційним способом (гартування струмами високої частоти). Деталь поміщається в індуктор, що підключається до генератора високої частоти. Змінне магнітне поле високої частоти наводить в тонкому поверхневому шарі вихрові струми, і нагрів здійснюється за рахунок опору металу протіканню цих струмів. Швидко, після нагріву, який протікає секунди, деталь поміщають в спреєр для охолодження.

Поверхнєве гартування повинно супроводжуватись низьким відпуском.

Чим вища частота зовнішнього змінного магнітного поля, тим тонший шар, в якому зосереджені вихрові струми. Тому глибина загартованого шару може легко регулюватись і складає від десятих долей міліметра до 3-5 мм. Цю операцію можна повністю автоматизувати. Спосіб дуже продуктивний; жолоблення і окислення поверхні деталі при цьому є мінімальним.

Іноді для поверхневого гартування використовують і інші способи нагріву: газополумєневий, лазерний, в розплавах солей, в електролітах.

Для такого способу термообробки спеціально створені сталі пониженої прогартуваності, наприклад, 55ПП (0,55%С і не більше 0,5% домішок)

Завдання для практичної роботи

1) Використовуючи діаграму стану Fe-C, визначити температуру повного і неповного гартування для сталі 40.

Опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду термічної обробки.

2) Що називають операцією «відпал»? Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, призначте температуру відпалу для сталей 35 і У10.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 62

Опишіть перетворення, що відбуваються в сталях при вибраному режимі обробки і яку структуру і властивості вона при цьому набуває.

3) Різальний інструмент із сталі У12 був перегрітий при гартуванні. Чим шкідливий перегрів, і як можна виправити цей дефект?

Призначте режими термічної обробки для виправлення структури, що забезпечує нормальну роботу інструменту.

Опишіть структуру і властивості сталі після правильної термообробки.

4) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і графік залежності твердості від температури відпуску, призначте режим термічної обробки (температуру гартування, середовище охолодження і температуру відпуску) втулок із сталі 45, які повинні мати твердість *HRC28-30*.

Опишіть перетворення, що відбуваються на всіх етапах термічної обробки, і структуру, яку набуде сталь при цьому.

5) За допомогою діаграми залізо – цементит визначте температуру нормалізації, відпалу і гартування для сталі 30.

Охарактеризуйте ці режими термічної обробки і опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду обробки.

6) Після гартування вуглецевої сталі була отримана структура, що складається з фериту і мартенситу.

Проведіть на діаграмі стану залізо – цементит приблизну ординату, що відповідає складу заданої сталі, вкажіть прийняту в даному випадку температуру нагріву під гартування.

Як називається така обробка? Які перетворення відбуваються при нагріві і охолодженні?

7) Сталь 40 гартується від температур 760 і 840 °С. Укажіть на діаграмі стану залізо – цементит вибрані температури нагріву і опишіть перетворення, що відбуваються при обох режимах гартування.

Якому режиму належить віддати перевагу і чому?

8) Вуглецеві сталі 45 і У8 після гартування і відпуску мають структуру мартенсит відпуску. Твердість першої *HRC 50*, другої – *HRC60*.

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і враховуючи перетворення, що відбуваються в цих сталях при відпуску, вкажіть температуру гартування і температуру відпуску для кожної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в цих сталях в процесі гартування і відпуску, і поясніть, чому сталь У8 має більшу твердість, ніж сталь 45.

9) Виріб із сталі 50 потрібно піддати покращанню.

Призначте режим термічної обробки, опишіть суть перетворень, що відбуваються при цьому, також структуру і властивості сталі після обробки.

10) Що називають термічною операцією «нормалізація»?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 63

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, призначте температуру нормалізації будь – якої доевтектоїдної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в сталі при вибраному режимі обробки, а також структуру і властивості, які вона набуває при цьому.

11) На виробках із сталі 20 потрібно отримати поверхневий шар високої твердості. Виберіть спосіб хіміко-термічної обробки і обґрунтуйте вибір.

Яка структура буде на поверхні сталі і в серцевині після кінцевої термообробки?

12) Необхідно провести поверхнєве зміцнення виробів із сталі 15.

Призначте вид обробки, опишіть технологію, перетворення, що відбуваються в сталі, структуру і властивості поверхні і серцевини виробу.

13) Валики із сталі 40 загартовані: один від температури 760 °С, а другий – від температури 840 °С.

Нанесіть вибрані температури нагріву на діаграму стану залізо – цементит і поясніть, який з цих валиків має більш високу твердість та кращі експлуатаційні властивості і чому.

14) В структурі вуглецевої сталі 30 після гартування залишковий аустеніт не виявлений, а в структурі сталі У12 виявлено 3% залишкового аустеніту. Поясніть причину цього явища. Як можна усунути залишковий аустеніт?

15) Як можна усунути крупнозернисту структуру в кований сталі 30?

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, обґрунтуйте вибір режиму термічної обробки для виправлення структури. Опишіть структурні перетворення і зміну властивостей сталі.

16) Шестерні із сталі 45 загартовані: перша – від температури 750 °С, а друга – від 850 °С.

Нанесіть вибрані температури на діаграму стану залізо – цементит, і поясніть, яка з цих шестерень має більш високу твердість і кращі експлуатаційні властивості і чому.

17) В чому переваги і недоліки поверхневого зміцнення сталевих виробів при нагріві струмами високої частоти в порівняння зі зміцненням методом цементації? Назвіть марки сталі, що використовують для цих видів обробки.

18) Для яких сталей використовують відпал на зернистий перліт? Поясніть вибір режиму і мету цього виду обробки.

19) Накресліть діаграму ізотермічного перетворення аустеніту для сталі У8. Нанесіть на неї криву режиму ізотермічної обробки, що забезпечує твердість *HV 150*. Вкажіть, як цей режим називається, і яка структура отримується в даному випадку.

20) Після термообробки вуглецевої сталі отримана структура цементит в мартенсит відпуску. Нанесіть на діаграму стану залізо – цементит приблизну ординату заданої сталі і обґрунтуйте вибір температури нагріву цієї сталі під

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 64

гартування. Укажіть температуру відпуску і опишіть перетворення, які відбудуться при термообробці.

21) При безперервному охолодженні сталі У8 отримана структура троостит. Нанесіть на діаграму ізотермічного перетворення аустеніту криву охолодження, що забезпечує отримання заданої структури. Укажіть температурний інтервал перетворень і опишіть його характер.

22) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, визначте температури нормалізації, відпалу та гартування для сталі 50. Охарактеризуйте ці режими термообробки і опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду обробки.

23) Вуглецеві сталі 35 і У8 після гартування і відпуску мають структуру мартенсит відпуску. Твердість першої *HRC 45*, другої – *HRC60*.

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і враховуючи перетворення, що відбуваються в цих сталях при відпуску, вкажіть температуру гартування і температуру відпуску для кожної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в цих сталях в процесі гартування і відпуску, і поясніть, чому сталь У8 має більшу твердість, ніж сталь 35.

24) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит визначте температуру повного та неповного відпалу і нормалізації для сталі 20. Охарактеризуйте ці режими термічної обробки і опишіть структуру і властивості сталі в кожному випадку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про сплави на основі алюмінію, міді, титану та інших кольорових металів. Ознайомитись з можливостями термічної обробки кольорових металів. Засвоїти маркування сплавів.
3. Освоїти основи вибору сплавів з необхідними властивостями для конкретних умов експлуатації.
4. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Сталь – майже ідеальний металічний матеріал, але вона має суттєвий недолік: деталі і конструкції, виконані навіть з високоміцної сталі, є важкими. В багатьох галузях техніки, особливо в літакобудуванні, необхідні такі ж міцні, але більш легкі матеріали. Легкими прийнято вважати всі метали і сплави, щільність

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 65

яких складає менше половин щільності заліза, тобто не перевищує $3,5 \text{ г/см}^3$. До них відносяться алюміній Al ($\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$), магній Mg ($\gamma = 1,74 \text{ г/см}^3$), берилій Be ($\gamma = 1,82 \text{ г/см}^3$). Найбільше використання з цих металів в якості конструкційного матеріалу має алюміній.

Алюміній і його сплави

Алюміній – срібно-білий метал з матовим відтінком. Кристалічна ґратка алюмінію – гранецентрований куб з періодом $a = 0,4041 \text{ нм}$. Поліморфних перетворень алюміній не має. Температура плавлення – $660 \text{ }^\circ\text{C}$. Чистий відпалений алюміній має низьку міцність: $\sigma_{\text{в}} = 50\text{--}60 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 15\text{--}20 \text{ МПа}$, твердість $20\text{--}25 \text{ НВ}$, але пластичність у нього висока: видовження при руйнуванні складає $30\text{--}50 \%$, відносне звуження – $80\text{--}95 \%$.

Чистий алюміній використовують в електротехніці для виготовлення провідників струму, його електропровідність $37,6 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$. Він поступається тільки сріблу з провідністю $63,0 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$ і міді – $60,1 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$. Всі домішки, що присутні в алюмінії (постійними є Fe і Si), погіршують його тепло- і електропровідність. Алюміній є стійким до корозії на повітрі, а також в середовищі багатьох газів і рідин завдяки захисній дії щільної плівки оксиду Al_2O_3 . Чим чистіший метал, тим вища його корозійна стійкість.

Алюміній допускає глибоку витяжку, добре зварюється газовим і контактним зварюванням, погано оброблюється різанням, має низькі ливарні властивості.

Із алюмінію високої чистоти отримують фольгу для електричних конденсаторів. Струмопровідні деталі виготовляють з алюмінію технічної чистоти.

Основна маса алюмінію витрачається на виробництво алюмінієвих сплавів. Границя міцності алюмінієвих сплавів досягає $500\text{--}700 \text{ МПа}$ при щільності не більше $2,85 \text{ г/см}^3$. По питомій міцності деякі алюмінієві сплави відповідають високоміцним сталям: $\sigma_{\text{в}}/(\rho \cdot g) = 23$.

В залежності від способу виготовлення деталей і виробів сплави алюмінію поділяють на деформовані і ливарні.

Деформовані сплави легко піддаються обробці тиском і призначені для прокатування, кування, пресування. Ливарні сплави відрізняються рідкотекучістю, добре заповнюють форму, малочутливі до ливарних тріщин; їх використовують для виготовлення фасонних виливок за допомогою лиття в земляні або металічні форми.

Деформовані сплави, в залежності від хімічного складу, поділяють на сплави з природною твердістю, тобто ті, що не піддаються зміцненню термічною обробкою, і такі, що термічно зміцнюються. Сплави, що термічно не

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 66

зміцнюються, містять мало легуючих елементів і використовуються замість чистого алюмінію в тих випадках, коли його міцність недостатня. Вони леговані магнієм в кількості 0,5–5 %, а також марганцем (до 1,2 %). Їх міцність можна підвищити шляхом холодної обробки тиском (явище наклепу). Наприклад, деформований алюмінієвий сплав АМг3 (≈ 3 % Mg) в відпаленому стані має міцність на розтяг 180 МПа і видовження 15 %, при невеликому наклепі – 230 МПа і 8 %, після сильного наклепу – 260 МПа і 3%. Як показують ці дані, в результаті холодної деформації міцність сплаву зростає, а пластичність знижується.

Ці сплави призначені для роботи в корозійних середовищах, оскільки як і марганець, і магній збільшують корозійну стійкість алюмінієвих сплавів.

Використовують сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, для виготовлення віконних рам вагонів, кузовів автомобілів, трубопроводів для бензину і масла, зварних баків и т. п.

Велика частина деформованих алюмінієвих сплавів – це сплави, що термічно зміцнюються. Міцність їх зростає в результаті дисперсійного твердіння, або старіння, після гартування. Це багатокомпонентні сплави, в які входять різні елементи для підвищення міцності (Cu, Mg, Zn), жароміцності (Fe), антикорозійних властивостей (Mn, Mg). Хімічний склад деяких алюмінієвих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, наводяться в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Хімічний склад алюмінієвих сплавів, що термічно зміцнюються (ДСТУ 4784 – 97)

Сплав	Марка	Хімічний склад, %							
		Cu	Mg	Si	Zn	Fe	Mn	Ni	Cr
Дюралюміні	Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	<0,7	<0,3	<0,7	0,4-0,8	<0,1	-
	Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	<0,5	<0,3	<0,5	0,3-0,9	0,1	-
	Д18	2,2-3	0,2-0,5	0,8	0,25	0,7	0,2	-	0,1
Авіаль	АВ	0,2-0,6	0,45-0,9	0,5-1,2	<0,2	<0,5	0,15-0,3	-	-
Кувальні	АК6 (АК8)	1,8-2,6	0,4-0,8	0,7-1,2	<0,3	<0,7	0,4-0,8	<0,1	-
Жароміцні	АК2 (АК4)	3,5-4,5	0,4-0,8	0,5-1	<0,3	0,5-1,0	<0,2	1,8-2,3	-
Високоміцні	В95	1,4-2,0	1,8-2,8	-	5-7	-	0,2-0,6	-	0,1-0,25

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 67

Типовим представником цих сплавів є дуралюміни, в яких основний легуючий елемент – мідь. Діаграма стану – алюміній – мідь наведена на рис.7.1.

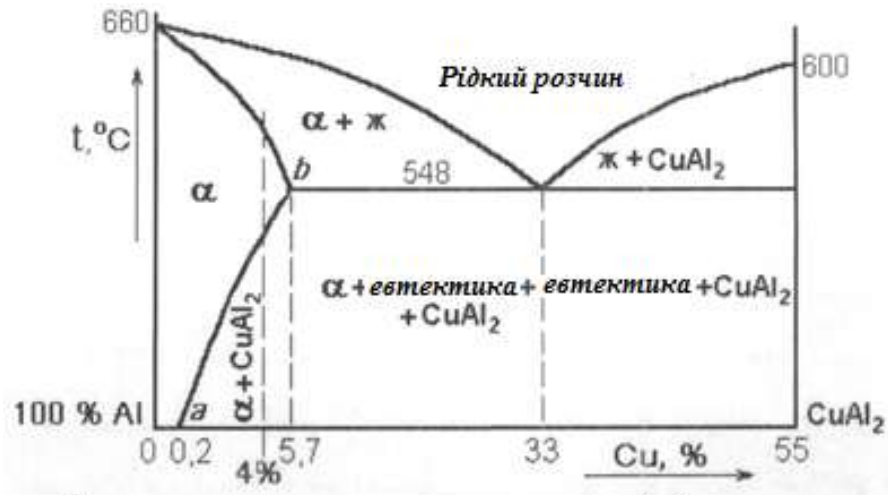


Рис. 7.1. Діаграма стану алюміній – мідь

На діаграмі видно, що алюміній в твердому стані здатний розчинити в собі певну кількість міді, причому її розчинність максимальна при 548 °С. Твердий розчин при цій температурі містить 5,7 % Cu. З пониженням температури розчинність міді швидко зменшується: при кімнатній температурі вона складає 0,2 %. Структура алюмінієвого сплаву з 4 % Cu в рівноважних умовах складається з кристалів твердого розчину, містить дуже мало міді, і кристалів інтерметаліду CuAl₂. Міцність такого сплаву невелика (≈140 МПа).

Термічне зміцнення здійснюється в два етапи.

На першому етапі сплав нагрівають під гартування до такої температури, при якій досягається максимальна розчинність міді: вище лінії граничної розчинності *ab*, але нижче солідуса. При цьому хімічне з'єднання розчиняється, і утворює однорідний твердий розчин *α* з концентрацією міді 4 %. Швидке охолодження, зазвичай у воді, попереджує виділення CuAl₂, тобто в результаті гартування фіксується структурний стан сплаву, досягнутий при високій температурі. Атоми міді залишаються в перенасиченому (переохоложеному) твердому розчині. Цей пересичений твердий розчин при кімнатній температурі є нестійкою фазою, з підвищеним запасом вільної енергії, пов'язаної з викривленнями с кристалічної ґратки алюмінію атомами міді. Вся мідь понад рівноважної концентрації 0,2 % буде намагатись виділитись із твердого розчину.

Другий етап термічного зміцнення полягає в тому, що з отриманого при гартуванні твердого розчину поступово, з часом, виділяється мідь, утворюючи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 68

дисперсні частинки хімічного з'єднання CuAl_2 . В цьому і полягає старіння сплаву.

Старінням сплавів називають процеси розпаду твердого розчину, що відбуваються самовільно в попередньо загартованому сплаві і які приводять до зміни структури і властивостей протягом певного часу. Природне старіння відбувається при кімнатній температурі протягом декількох діб (від 4 до 7). Штучне старіння (при підвищених температурах) відбувається значно швидше, протягом декількох годин і навіть хвилин, і дає найвищі результати. Дисперсні частинки, що виникають в твердому розчині в процесі витримки після гартування, перешкоджають ковзанню дислокацій при деформуванні, тому міцність і твердість сплаву зростають. Міцність дуралюміну після природного старіння складає близько 400 МПа, тобто майже вдвічі більше ніж у відпаленого. Штучне старіння проводять при температурах 150–170 °С.

Все інші алюмінієві сплави, представлені в табл. 7.1, зміцнюються такою ж термічною обробкою – гартуванням і старінням. Відмінність полягає тільки в виборі режиму. Механічні характеристики зміцнених алюмінієвих сплавів наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Механічні властивості деформованих алюмінієвих сплавів

Сплав	Вид напівфабрикату	Механічні властивості				
		σ_b	σ_{02}	σ_{-1} ($5 \cdot 10^6$ циклів)	$\delta, \%$	НВ
		МПа				
Д1*	Листи Пресовані прутки	400	240	105	20	95
		480	320	125	14	-
Д16*	Листи Пресовані прутки	440	330	115	18	105
		530	400	140	11	-
Д18*	Дріт	300	170	95	24	70
В95**	Листи Пресовані прутки	540	470	150	10	150
		600	560	150	8	150
АК6**	Поковки	400	299	125	12	100
АК8*	Поковки	480	380	130	9	135

* Механічні властивості після гартування і природного старіння

** Механічні властивості після гартування і штучного старіння

Ливарні алюмінієві сплави повинні чати вузький температурний інтервал кристалізації для отримання щільного вилівка, тобто ці сплави, близькі за

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 69

складом до евтектики або евтектичні. На практиці широкого використання набули ливарні сплави систем Al–Cu, Al–Zn, Al–Si. Найкращі ливарні властивості мають сплави системи алюміній – кремній, які за складом близькі до евтектичних. Ці сплави називаються **силуміном**. Маркуються ливарні алюмінієві сплави буквами АЛ (алюмінієвий ливарний) і кодовою цифрою, що визначає хімічний склад сплаву, наприклад: АЛ2, АЛ4.

Звичайний силумін АЛ2 є заевтектичним сплавом, що містить 12–13 % Si (рис. 7.2). Після кристалізації структура цього сплаву являє собою крупні світлі включення надлишкового кремнію і грубогольчасту евтектику. Сплав з такою структурою має низькі механічні властивості: міцність складає 100 – 120 МПа, а відносне видовження при розтягу – 3 – 5 %. Тільки шляхом модифікування натрієм або сумішшю NaF і NaCl вдається отримати дрібнозернисту евтектику зі значно більш дрібними кристалами кремнію. Це приводить до значного підвищення механічних властивостей: $\sigma_B = 180 - 200$ МПа і $\delta = 6 - 8\%$.

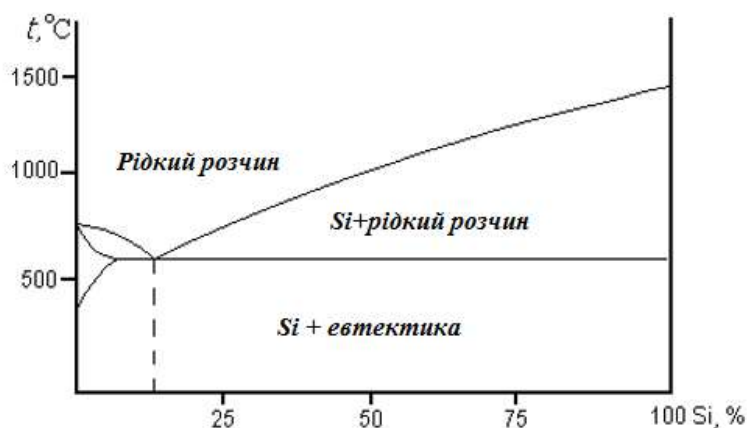


Рис. 7.2. Діаграма стану алюміній – кремній

Подвійні алюмінієво-кремнієві сплави мають дуже високу рідкотекучість, тому із них виготовляють фасонні виливки складної форми, які не потребують високих механічних властивостей. Для підвищення експлуатаційних і механічних властивостей (виливки для навантажених авіаційних двигунів, литі деталі, які призначені для роботи при температурах 250–300 °С і т. п.) сплави легують магнієм, міддю, марганцем, нікелем або піддають термічній обробці – гартуванню в воду і штучному старінню. При цьому границя міцності може досягати 240–260 МПа при відносному видовженні 20–18 %.

Леговані силуміни можуть бути використаними для виготовлення корпусів компресорів, картерів, головок циліндрів (АЛ9), деталей, що працюють в умовах високої вологості, в судно- і літакобудуванні (АЛ8, АЛ27).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 70

Мідь і її сплави

Мідь – дійсно «кольоровий» метал: її колір може змінюватись від світло-розового до червоного. Мідь має гранецентровану кубічну гратку з параметром $a = 0,361$ нм. Поліморфних перетворень у міді нема; температура плавлення 1083 °С. Мідь має високу технологічність: добре паяється, зварюється, легко оброблюється тиском. В відпаленому стані границя міцності невелика і складає 200–250 МПа при відносному видовженні близько 40–50 %.

Головними відмінними характеристиками міді є висока теплопровідність і електропровідність, пластичність і корозійна стійкість. Але також, як і у алюмінію, домішки негативно впливають на властивості міді. В залежності від вмісту домішок розрізняють наступні марки міді (ГОСТ 859–78): М00 (99,99 % Cu), М0 (99,97 % Cu), М2 (99,7 % Cu). Завдяки високій електропровідності мідь знайшла широке застосування в електротехніці. З міді виготовляють шини, стрічки, кабелі, рубильники, обмотки електродвигунів і т. п. Домішки понижують електропровідність, особливо ті, що утворюють з міддю тверді розчини: фосфор, миш'як, алюміній, олово. Друга основна властивість міді – висока теплопровідність. Тому мідь використовують в металургії в ливарному виробництві для водоохолодження тиглів, кристалізаторів, піддонів і виливниць.

Шкідливими домішками міді також є вісмут і свинець. Вони практично не розчиняються в міді, а утворюють легкоплавкі евтектики (з температурою плавлення 326 °С і 270 °С відповідно) і створюють червоноламкість при гарячому прокатуванні міді.

На механічні властивості міді домішки впливають незначно; в більшій мірі властивості залежать від стану (литий, деформований і т. п.). Для підвищення міцності мідь легують цинком, алюмінієм, оловом, нікелем, залізом або піддають холодній пластичній деформації. При цьому її міцність може зростати до 380–450 МПа при зменшенні електропровідності на 3–5 %.

Мідні сплави, також як і сплави більшості кольорових металів, за технологічними властивостями поділяються на деформовані (які використовуються при виробництві напівфабрикатів: листів, стрічок, дроту і інших профілів) і ливарні (які використовуються для виробів, що отримують шляхом відливання за різними технологіями). За здатністю зміцнюватись за допомогою термічної обробки мідні сплави діляться на ті, що зміцнюються і на ті, що не зміцнюються термічною обробкою. За хімічним складом мідні сплави поділяються на дві основні групи: латуні і бронзи.

Сплави міді з цинком носять назву латуней. Спеціальні (багатокомпонентні) латуні містять і інші легуючі елементи, такі як алюміній, нікель, марганець. Маркуються подвійні латуні наступним чином: на початку ставиться буква Л («латунь»), а потім цифра, що показує вміст міді в процентах. В спеціальних

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 71

латунях після букви Л ідуть букви українського алфавіту, що позначають легуючий елемент: А – Al, Н – Ni, К – Si, С – Pb, О – Sn, Ж – Fe, Мц – Mn, Ф – P, Б – Be. Після букв ставляться цифри, що показують середній вміст міді і легуючих елементів в процентах (см. табл. 7.3).

Введення тих чи інших легуючих елементів підвищує механічні і антикорозійні властивості латуні.

Мідь з цинком утворює багато твердих розчинів, що є очевидним із діаграми стану Cu–Zn (рис. 7.3).

Таблиця 7.3

Хімічний склад і механічні властивості деформованих латуней після відпалу (ДСТУ 15527 – 70)

Марка латуні	Мідь % (мас.)	Інші елементи	σ_{ϵ}	σ_{02}	δ	ψ	КСУ, МДж/м ²	НВ
			МПа		%			
Л90	88-91	-	260	120	45	80	1,76	53
Л68	67-70	-	320	90	55	70	1,68	55
Л60	59-62	-	380	160	25	62	0,78	77
ЛАН59-3-2	57-60	2,5-3,5 Al 2-3 Ni	380	300	50	-	0,5	75
ЛЖМц59-1-І	57-60	0,1-0,4 Al 0,6- 1,2 Fe 0,5-0,8 Mn 0,3- 0,7 Sn	450	170	50	58	1,18	88
ЛО70-І	69-71	1-1,5 Sn	350	100	60	70	0,6	60
ЛК80-3	79-81	2,5-4 Si	310	200	58	55	0,4	100

На практиці використовують сплави з вмістом цинку не більше 42 %, які мають добрі механічні властивості (див. рис. 7.4).

В техніці можуть використовуватись однофазні або двофазні латуні. Однофазні латуні мають структуру α – твердого розчину, і оскільки в цій області відсутні фазові перетворення, то в α – латунях неможливо отримати нерівноважний стан, - як наслідок, її неможливо загартувати.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 72

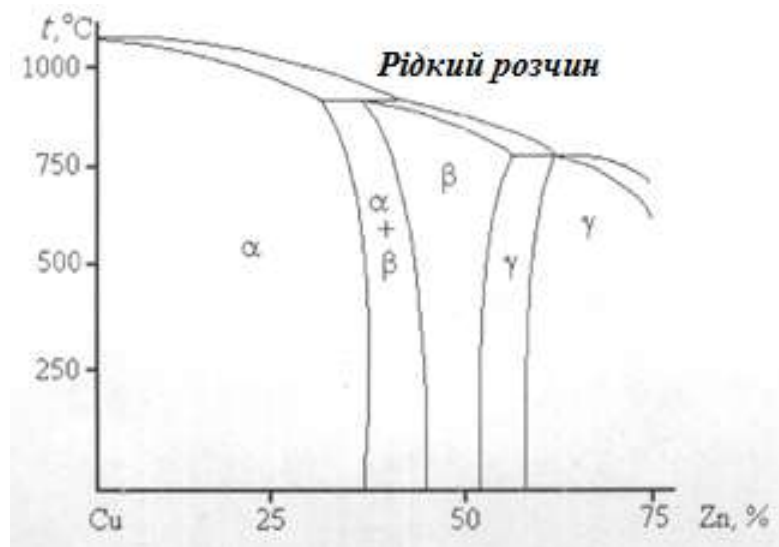


Рис. 7.3. Діаграма стану мідь – цинк

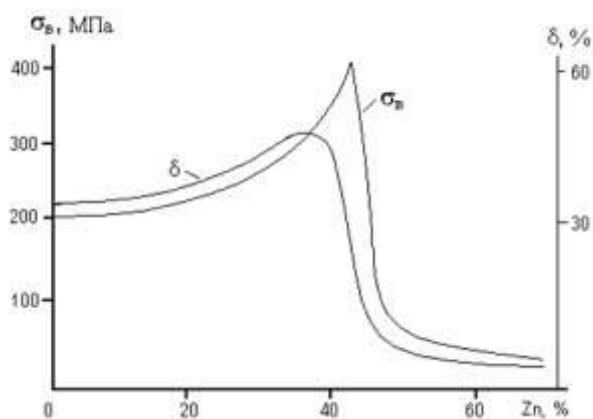


Рис. 7.4. Вплив цинку на механічні властивості міді

Однофазна латунь являє собою матеріал відносно невисокої твердості і міцності, що має значну пластичність. При переході за границю насичення (39 % Zn) появляється друга фаза β – електронне з'єднання CuZn , що супроводжується різким зниженням пластичності і підвищенням міцності і твердості. Це пояснюється тим, що β -фаза є твердою і крихкою, тому при збільшенні її кількості спостерігається підвищення твердості і крихкості сплаву. Використання знаходять або однофазні латуні, або двофазні, в яких відсутнє домінування крихкої фази (тобто ті, що містять 41–42 % Zn).

Однофазні латуні завдяки високій пластичності добре деформуються в холодному стані, при цьому збільшуються як міцність так і твердість латуні. Двофазні латуні піддають прокатці і пресуванню в гарячому стані. Латунь дуже добре піддається обробці різанням, особливо якщо вона легована свинцем. При

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 73

різанні свинцевистих латуней утворюється коротка ломка стружка, що полегшує обробку виробів. Для підвищення міцності і твердості латунь легують алюмінієм ($\approx 4\%$). Латунь використовують як конструкційний матеріал там, де потрібна висока міцність і корозійна стійкість: в трубопровідній арматурі, в хімічному машинобудуванні і особливо в суднобудуванні. Виготовляють з латуней листи, стрічки, дрiт, а потім з цього прокату – радіаторні трубки, снарядні гільзи, трубопроводи, шайби, гайки, втулки, ущільнюючі кільця, струмопровідні деталі електрообладнання.

Бронзи – це сплави міді з усіма іншими елементами, крім цинку. В їх назві використовують прикметники, що вказують на другий компонент. В залежності від складу і структурного стану після обробки міцність бронзи може бути підвищена з 200 до 750 МПа. Бронзи поділяються на алюмінієві, олов'яністі, кремнієві, берилієві і т. п. Бронзи маркують буквами «Бр» (бронза), за якими слідує букви і цифри, що вказують на назву і вміст в % легуючих елементів. Наприклад, БрОФ10-1: 10 % Sn, 1 % P, остальне мідь.

Олов'яністі бронзи відомі з глибокої давнини; іменно цей чудовий матеріал дав назву бронзовому віку. Вони, як і інші сплави, поділяються на деформовані ($< 10\%$ Sn) і ливарні ($> 10\%$ Sn). Колись бронзи отримували назву в залежності від їх призначення: монетна (4–10 % Sn), гарматна (8–18 % Sn), дзвонна (20–30 % Sn), дзеркальна (30–35 % Sn). Олов'яністі бронзи відрізняються хорошими ливарними властивостями, наприклад, малою усадкою при кристалізації, тому можна відливати складні по конфігурації вироби. З метою економії дорогого олова в бронзи додають цинк в такій кількості, щоб він повністю розчинявся в міді, утворюючи твердий розчин, тим самим підвищуючи механічні властивості. Для підвищення антифрикційних властивостей і кращої оброблюваності різнанням в олов'яністі бронзи додають свинець. Ливарні олов'яністі бронзи використовуються для пароводяної арматури, оскільки вони мають високу корозійну стійкість у воді і на повітрі.

Деформовані бронзи мають однофазну структуру твердого розчину. Після холодної обробки тиском бронзи піддають відпалу при 600–700 °С. Вони більш пластичні і міцніші за ливарні. Крім того, деформовані олов'яністі бронзи мають високі пружні властивості, тому їх використовують для отримання пружин і мембран в електротехніці та інших областях.

Алюмінієві бронзи зазвичай містять від 5 до 10 % алюмінію. Механічні і корозійні властивості цієї бронзи вищі, ніж олов'янистих. По мірі зміни складу, аналогічно латуням і олов'янистим бронзам, змінюються і властивості: твердість $HВ$, міцність σ_b і пластичність δ швидко ростуть, потім пластичність і міцність

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 74

понижуються із-за утворення другої крихкої фази. Тому на практиці використовують двофазні бронзи, що містять не більше 11 % Al. Двофазні бронзи відрізняються високою міцністю – до 600 МПа і твердістю більше 100 НВ. Оскільки алюмінієві бронзи відчувають евтектоїдні перетворення, то їх можна піддавати гартуванню і старінню. Однофазні алюмінієві бронзи (БрА7) більш пластичні, ніж двофазні, і відносяться до деформованих. Вони мають високу міцність і пластичність ($\sigma_b = 400\text{--}450$ МПа, $\delta = 60\%$).

Легують алюмінієві бронзи звільзом, нікелем, марганцем для усунення ливарних недоліків і підвищення механічних властивостей після зміцнення термічною обробкою (гартування і послідуєчого старіння). Наприклад, у бронзи БрАЖН 10-4-4 твердість зростає від 140–160 НВ до 400 НВ. Тому із алюмінієво-залізонікелевої бронзи виготовляють деталі, що працюють в умовах зношення: сидла клапанів, направні втулки, частини насосів і турбін, шестерні та ін.

Кремністі бронзи містять до 3 % Si і є заміниками олов'янистих бронз. Вони пластичні, корозійно-стійкі в деяких агресивних середовищах, добре зварюються і паяються. Для підвищення твердості і міцності кремністих бронз їх легують марганцем і нікелем з послідуєчою термічною обробкою. Ці бронзи використовують замість більш дорогих олов'янистих при виготовленні антифрикційних деталей, а також для заміни берилієвих бронз при виробництві пружин.

Свинцевисті бронзи (БрС30) мають високі антифрикційні властивості, високу теплопровідність (до 300 °С). Міцність таких бронз невелика, але вони дуже пластичні, добре чинять опір ударним навантаженням. Тому із цих бронз виготовляють вкладиші підшипників, що працюють при великих тисках і швидкостях.

Берилієві бронзи (БрБ2) містять не більше 2–2,5 % берилію. Оскільки берилій утворює з міддю твердий розчин змінної розчинності, то цю бронзу використовують тільки після її зміцнення термічною обробкою (гартуванням від 780 °С і старінням при 320 °С). При цьому підвищуються як міцність, так і пружні властивості: $\sigma_b = 1300\text{--}1500$ МПа, $\sigma_{пр} = 600\text{--}740$ МПа. Крім того, берилієві бронзи володіють високою електропровідністю, тому їх використовують у вигляді пружин в електроапаратурі, в якості пружних контактів и т. п. Але висока вартість не дозволяє широко використовувати цю бронзу. Замінюють її більш дешевою – титановою або титановохромовою бронзою. Після термічної обробки вона має майже такі ж властивості міцності, але вона більш пластична і має високу релаксаційну стійкість при температурі до 400 °С. Тому пружні елементи з такої бронзи можуть працювати при більш високій температурі, ніж із

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 75

берилієвої. Склад і механічні характеристики деяких ливарних і деформованих бронз приведені в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Хімічний склад і механічні властивості бронз

Бронза	Вміст елементів, %				σ_s	σ_{02}	δ , %	НВ
	Sn	Pb	Zn	Інші	МПа			
Деформуючі бронзи								
БрОЦС4-4-2,5	3-5	1,5-3,5	3-5	-	350	130	40	60
БрОФ6,5-0,4	6-7	-	-	0,26-0,4 P 0,1-0,2 Ni	400	250	60-70	80
БрАЖНІ 0-4-4 (гартування і старіння)	-	-	-	9,5-11 Al 3,5-5,5 Fe 3,5-5,5 Ni	750-830	-	9-15	180-220
БрБНТ1,9 (гартування і старіння)	-	-	-	1,85-2,1 Be 0,2-0,4 Ni 0,1-0,25 Ti	1200	-	4	370
Ливарні бронзи								
Бр05Ц5С5	4-6	4-6	4-6	-	180	100	4	60
БрС30	-	27-31	-	-	60	-	4	25

Антифрикційні сплави

Антифрикційні матеріали призначені для виготовлення підшипників (опор) ковзання, які широко використовуються в сучасних машинах і приладах із-за їх стійкості до вібрацій, безшумності роботи, малих габаритів. Антифрикційність – це здатність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання і тим самим низькі втрати на тертя і малу швидкість зношування деталі, що спрягається – сталюого чи чавунного валу.

Хороший антифрикційний матеріал повинен мати високу теплопровідність, добре змочуватись мастилом, утворювати на поверхні захисні плівки м'якого металу, добре перепрацьовуватись, мати високий опір втомі.

Підшипниковий матеріал оцінюють по коефіцієнту тертя і по допустимим значенням тиску на опорі p і швидкості ковзання v . Параметр pv визначає питому потужність тертя.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 76

Металеві підшипникові матеріали призначені для роботи в режимі рідинного тертя, що поєднується в умовах експлуатації з режимом граничного мащення. Із-за перегріву можливе руйнування граничної масляної плівки, в цьому випадку важливим є те, як матеріал чинить опір зварюванню. Тому в структурі сплаву повинна бути м'яка складова.

За структурою підшипникові матеріали поділяються на два типи: 1) сплави з м'якою матрицею і твердими включеннями; 2) сплави з твердою матрицею і м'якими включеннями.

Сплави першого типу – це бабіти, а також мідні сплави, в основному, бронзи. М'яка матриця в цих сплавах забезпечує добру припрацьовуваність і особливий мікрорельєф поверхні, що покращує розподіл мастила і тепловідвід. Тверді включення, на які опирається вал, забезпечують високу зносостійкість.

Бабіти – м'які (30 НВ) антифрикційні сплави на олов'яній чи свинцевій основі. В відповідності з ГОСТ 1320–74 до сплавів на олов'яній основі відносяться бабіти Б83 (83 % Sn, 11 % Sb, 6 % Cu) і Б88, на свинцевій основі – Б16 (16 % Sn, 16 % Sb, 2 % Cu), БС6 и БН. Особливу групу утворюють більш дешеві свинцево-кальцієві бабіти: БКА и БК2 (ГОСТ 1209-90).

За антифрикційними властивостями бабіти переважають всі інші сплави, але значно поступаються їм за опором втомі. В зв'язку з цим бабіти використовують тільки для тонкого (менше 1 мм) покриття робочої поверхні опори ковзання. Найкращими властивостями володіють олов'янисті бабіти, в яких $p_v = (500–700) \cdot 10^5$ Па·м/с. Із-за високого вмісту дорогого олова їх використовують для підшипників відповідального призначення (дизелів, парових турбін і т. п.), що працюють при великих швидкостях і навантаженнях (табл. 7.5). Їх структура (див. рис. 7.5) складається з твердого розчину сурми в олові (мя'ка фаза, темний фон) і твердих включень β (SnSb) і Cu_3Sn .

Таблиця 7.5

Характеристики антифрикційних матеріалів

Матеріал	НВ	Коефіцієнт тертя по сталі		Допустимий режим роботи		
		Без мастильного матеріалу	З мастильним матеріалом	P МПа	v м/с	Pv МПа·м/с
Бабіти:						
Б83	30	0,07-0,12	0,004-0,006	15	50	75
Б16	30			10	30	3
БК2	32			15	15	6
Бронзи:						
БрО10Ф1	100	0,1-0,2	0,004-0,009	15	10	15
Бр05Ц5С5	60			8	3	12
БрС3О	25			25	12	30
Латуні:						
ЛЦ16К4	100	0,15-0,24	0,009-0,016	12	2	10
ЛЦ38Мц2С2	80			10,6	1	10
Алюмінієвий сплав						
А09-2	31	0,1-0,15	0,008	25	20	100

Бронзи відносяться до кращих антифрикційних матеріалів. Особливе місце серед них займають олов'янисті і олов'янисто-цинковосвинцевисті бронзи. До перших відносяться бронзи БрО10Ф1, БрО10Ц2, до других — Бр05Ц5С5, Бр06Ц6С3 (ГОСТ 613–79). Бронзи використовують для багатолітних підшипників ковзання турбін, електродвигунів, компресорів, що працюють при значних тисках і середніх швидкостях ковзання (табл. 7.2).

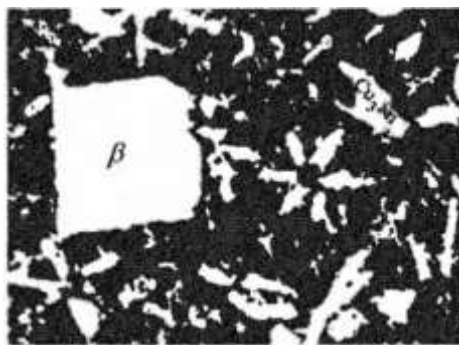


Рис. 7.5. Мікроструктура бабіту Б83. $\times 400$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 78

В останній час бронзи широко використовуються як компоненти порошкових антифрикційних матеріалів або тонкостінних пористих покриттів, змочених твердими мастильними матеріалами.

Латуні використовують в якості заміників бронзи для опор тертя. Але за антифрикційними властивостями вони поступаються бронзі. Двофазні латуні ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и т.д. (ДСТУ 17711–93) використовують при малих швидкостях ковзання (< 2 м/с) і невисоких навантаженнях. Їх часто використовують для опор тертя приладів.

До сплавів другого типу відносяться свинцевиста бронза БрС30 с 30 % Рb (ДСТУ 493–79), і алювієві сплави з оловом, наприклад, сплав А09–2 (9 % Sn, 2 % Cu). Функцію м'якої складової в цих сплавах виконують включення свинцю або олова. При граничному терті на поверхню валу переноситься тонка плівка цих м'яких легкоплавких металів, захищаючи шийку сталюого валу від пошкодження.

Антифрикційні властивості сплавів достатньо високі, особливо в алюмінієвих сплавах. Із-за хорошої теплопровідності граничний шар мастильного матеріалу на цих сплавах зберігається при великих швидкостях ковзання і високому тиску (см. табл. 7.2).

Алюмінієвий сплав А09–2 використовують для відливання монометалевих вкладишів, бронзу – для наплавлення на сталюну стрічку.

На даний час найбільше поширення отримали багатошарові підшипники, в склад яких входять багато із розглянутих вище сплавів. Сплави або чисті метали в них укладені шарами, кожен із яких має визначене призначення.

Будову підшипника із чотирьох шарів, що використовуюється в сучасному автомобільному двигуні, показано на рис. 7.6.

Він складається з сталюї основи, шару (250 мкм) свинцевистої бронзи (БрС30), тонкого (≈ 10 мкм) шару нікелю чи латуні і шару свинцево-олов'янистого сплаву товщиною 25 мкм. Сталюна основа забезпечує міцність і жорсткість підшипника; верхній м'який шар покращує пропрацьованість деталей підшипника. Коли він зноситься, робочим шаром стає свинцевиста бронза. Шар бронзи, що має невисоку твердість, також забезпечує добре прилягання шийки валу, високу теплопровідність і опір втомі. Шар нікелю служить бар'єром, що не допускає дифузію олова із верхнього шару в свинець бронзи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 79

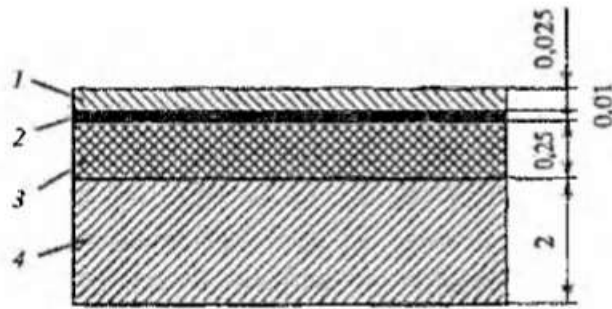


Рис. 7.6. Будова металевого підшипника ковзання: 1 – сплав свинцю і олова; 2 – нікель; 3 – свинцевиста бронза; 4 – сталь

Завдання для практичної роботи

- 1) Якій термічній обробці піддають сплав дюралюміній? Для обґрунтування відповіді наведіть діаграму стану алюміній – мідь. Який механізм зміцнення дюралюмінію?
- 2) Який матеріал використовують для годинникових і приладових пружин? Опишіть його склад і структуру, приведіть механічні характеристики.
- 3) Призначте марку латуні, стійкої до корозії в морській воді. Розшифруйте її склад і опишіть структуру, використовуючи діаграму стану мідь – цинк. Вкажіть спосіб зміцнення і основні властивості латуні.
- 4) З чого виготовляють вкладиші підшипників ковзання? Опишіть склад і структуру сплавів, назвіть марки.
- 5) Для виготовлення відповідальних деталей (втулки, клапани, зубчаті колеса) вбрано сплав БрАЖН10-4-4. Розшифруйте склад, вкажіть режим термічної обробки, механічні властивості і опишіть структуру, використовуючи діаграму стану мідь – алюміній.
- 6) Для виготовлення мембран і інших пружних елементів використовують бронзу БрБНТ1,9. Укажіть склад, режими термічної обробки і механічні властивості матеріалу. Які процеси протікають при термічній обробці? Поясніть природу зміцнення в зв'язку з діаграмою стану мідь – берилій.
- 7) Приведіть марки і опишіть структуру ливарних алюмінієвих сплавів. Яким образом підвищують їх експлуатаційні властивості? Укажіть області використання виливків із алюмінієвих сплавів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 80

8) Для виготовлення деталей в авіабудуванні використовується сплав Д18. Розшифруйте склад сплаву, вкажіть спосіб виготовлення деталей із нього і приведіть характеристики механічних властивостей.

9) Для виготовлення деталей в авіабудуванні використовується сплав АК6. Розшифруйте склад сплаву, вкажіть спосіб виготовлення деталей із нього і приведіть характеристики механічних властивостей. Якій термообробці піддають цей сплав для зміцнення?

10) Для деталей ущільнення використовують бронзу БрОФ6,5-0,4. Розшифруйте склад сплаву, опишіть структуру і термічну обробку бронзи, приведіть характеристики механічні властивості.

11) Для деталей пароводяної арматури вибрана бронза БрО5Ц5С5. Розшифруйте склад сплаву, опишіть структуру і поясніть призначення легуючих елементів. Приведіть характеристики механічних властивостей.

12) Для виготовлення деталей способом глибокої витяжки використовують латунь Л68. Укажіть склад і опишіть структуру сплаву. Призначте режим термічної обробки, що використовують між окремими операціями витяжки, і обґрунтуйте його вибір. Приведіть характеристики механічних властивостей цього сплаву.

13) Зразок із сплаву Д16 повільно охолодили від 550 °С до кімнатної температури. Твердість складала 65 НВ. Другий зразок загартували з тієї ж температури в воді, а потім піддали нагріву на 150 °С в протязом 100 годин. Твердість сплаву стала рівною 120 НВ. Поясніть різницю значень твердості.

14) Зразки загартованого сплаву Д16 нагрівали на 150 °С протязом різного часу. Вимірювання твердості дали наступні результати:

Час відпалу, годин – 0; 10; 100; 200; 1000. Твердість, НВ – 65; 95; 120; 115; 100.

Побудуйте графічну залежність твердості від часу відпалу. Поясніть таку поведінку сплаву.

15) Який сплав належить вибрати для виготовлення підшипників ковзання турбіни? Поясніть структуру сплаву і її вплив на антифрикційні властивості.

16) Запропонуйте сплав з високою питомою міцністю для виготовлення високонавантажених деталей літаків (обшивка, шпангоути, лонжерони). Опишіть його структуру і спосіб зміцнення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 81

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

БУДІВЕЛЬНІ КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про структуру і властивості будівельних керамічних матеріалів: цегли, цементу, бетону. Ознайомитись з технологією отримання бетону і процесами твердіння неорганічних в'язучих речовин. Засвоїти класифікацію цементів і бетонів.
3. Освоїти основи вибору бетонів з необхідними властивостями для конкретних умов експлуатації, а також вибору матеріалів для отримання бетонів необхідної марки.
4. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Будівельні керамічні матеріали – це цегла, цемент, бетон і природний камінь.

Цегла і керамічні плитки виготовляють із глини, яку формують у вологому пластичному стані, а потім висушують і обпалюють. Глина складається з водних алюмосилікатів типу $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ з різними домішками. Після обпалу вироби складаються з кристалічних силікатів, які зв'язуються аморфною фазою на основі SiO_2 . Аморфна фаза утворюється і плавиться при обпалі, розтікаючись по поверхні кристалів і зв'язуючи їх в єдине. Цій технології уже більш 5000 років, хоч на сучасному підприємстві процеси, на відміну від давніх часів, механізовані і автоматизовані.

Цемент являє собою суміш вапняку CaO , діоксиду кремнію SiO_2 і оксиду алюмінію Al_2O_3 , яка твердіє при змішуванні з водою. Цемент твердіє внаслідок хімічної реакції, а не із-за висихання, тому важливо зберігати його вологим до завершення хімічних реакцій. Це швидкопротікаючі реакції схоплювання, що відбуваються за перші 4 години, і більш повільні реакції твердіння, для завершення, яких потрібно приблизно 100 діб. Реакції гідратації протікають з виділенням тепла. В крупномасштабних конструкціях, таких як греблі, це може викликати проблеми. Тоді в бетон закладають охолоджуючі труби, які потім стають додатковою арматурою.

Бетон – це композитний матеріал, що складається з піску і щебню, зв'язаних затвердівшим цементом. Наповнювачі мають високу твердість і міцність, слабкою фазою в бетоні є затверділа цементна маса, що визначає її міцність. Для ущільнення наповнювачів використовують суміш піску і гравія в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 82

відношенні 60:40. Щільноупаковані частинки заповнюють пори, які понижують міцність і сприяють проникненню в бетонну конструкцію води. Замерзання води може викликати розтріскуванню бетону. Цементна маса при твердінні дає усадку, що приводить до виникнення дрібних усадочних тріщин. Насичення бетону дрібними бульбашками повітря до його заливки гальмує поширення таких тріщин.

Марки цементу

Важливою характеристикою цементу служить його марка (табл. 8.1). Марку цементу визначають за границями міцності при стиску і згині зразків балочок розміром 4×4×16 см в віці 28 діб стандартного зберігання в вологих умовах.

Таблиця 8.1

Механічні властивості цементу різних марок

Границя міцності, МПа	M400	M500	M550	M600
При згині	5,5	6,0	6,2	6,5
При стиску	40	50	55	60

Взаємодія неорганічних в'язучих речовин з рідким середовищем і процеси твердіння

Неорганічні в'язучі речовини при змішуванні з рідким середовищем (водою, водними розчинами солей, лугів) утворюють пластичне тісто; при цьому мінерали чи інші хімічні з'єднання (CaO, MgO), що входять в склад в'язучої речовини, вступають в хімічні реакції з рідким середовищем. При твердінні різних цементів, гіпсових в'язучих, магнезіальних і інших речовин відбуваються в основному реакції гідратації, тобто утворюються нові з'єднання, що містять хімічно зв'язану воду. Потім тісто швидко чи поступово втрачає пластичність і починає набувати міцність, яка з часом зростає. Використовуючи цю властивість неорганічних в'язучих речовин, на їх основі виготовляють різні ШБК (штучні будівельні конгломерати): бетони, розчини, силікатні і силікатобетонні вироби, азбестоцементні, теплоізоляційні та інші матеріали.

Затвердіння відбувається в дві стадії.

Перша стадія починається при змішуванні неорганічної в'язучої речовини з рідким середовищем, при цьому утворюється суспензія або тісто певної в'язкості, тобто утворюється гетерогенна система.

Друга стадія затвердіння неорганічних в'язучих речовин полягає в упорядкуванні системи, яка була зруйнована на першій стадії, і переходом її з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 83

рідкого або пластичного стану в більш стійкий (стабільний) стан. Це здійснюється за рахунок утворення асоціацій (скупчень) нових стійких молекул, кристалізації новоутворень і других процесів. В результаті іонних реакцій можуть утворюватися розчинні в воді солі або основи, з часом їх стає більше і розчин стає насиченим, а потім перенасиченим: з нього випадають кристалогідрати. Спочатку вони являють собою найдрібніші зародки і кристали, які потім укрупнюються. Кристалізація з перенасичених розчинів пришвидшується при випаруванні води із системи в присутності добавок, що понижують розчинність новоутворень, пониженню температури і т. п. З часом кристалів в системі стає більше, утворюються кристалічні відростки, які зміцнюють систему.

Наповнювачі неорганічні

Найбільше використання при виробництві ШБК получили неорганічні наповнювачі. Наповнювачі можуть займати в ШБК до 95 % по об'єму, тому їх вибору приділяється велика увага. Із неорганічних наповнювачів належить назвати природні: пісок, щебінь, гравій, а також штучні, що отримуються подрібненням гірських порід з виходом щебня, висівок, піску. Для легких бетонів широко застосовують керамзит, аглопорит і інші паристі наповнювачі, які отримуються в основному із глин, використовують також подрібнені металургійні шлаки. В залежності від розміру частин наповнювачі поділяють на дрібні (пісок), діаметр частин яких не більше 5 мм, і крупні – з діаметром частин більше 5 мм (щебінь, гравій). Найбільший діаметр щебню і гравія може бути 70–80 мм. Але при бетонуванні масивних споруд по можуть допускатись і більші розміри частин наповнювачів (до 150 мм). Щебінь має частини з гострою кутовою формою з шорсткою поверхнею, у гравія частини закруглені з гладенькою поверхнею. Зчеплення з в'язучою речовиною є більшим у щебня, за рахунок чого і міцність ШБК більша, тому при виготовленні бетонів (особливо конструкційних) частіше використовують щебінь.

Бетони. Загальні відомості

Бетонами на основі неорганічних в'язучих речовин називають штучні кам'яні матеріали, що отримуються в результаті затвердіння раціонально підбраної, ретельно перемішаної і ущільненої суміші, яка складається із мінеральної в'язучої речовини, води, наповнювачів. При необхідності в бетонні суміші вводяться спеціальні добавки. Бетони є матеріалами, які найбільш широко використовуються в сучасному будівництві, особливо в поєднанні із сталлюю арматурою (залізобетон). Бетони мають високу міцність, достатню довговічність в спорудах різного призначення; на їх виготовлення витрачається

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 84

до 85 % наповнювачів (частіш за все в вигляді щебня і піску), які є зазвичай місцевими недорогими матеріалами.

Бетонна суміш технологічна, із неї можна виготовляти конструкції різних розмірів і конфігурацій, починаючи з армоцементних конструкцій товщиною в декілька сантиметрів до масивних бетонних і залізобетонних, що використовується в збірному, збірно-монолітному і монолітному будівництві різних об'єктів. Виробництво бетонної суміші і залізобетонних конструкцій механізовано і автоматизовано.

За деякими зарубіжними даними виготовлення бетонних матеріалів пов'язане з меншими витратами енергії (приведеної до єдиного еквіваленту) в порівнянні з виробництвом скла, цегли, пластмас і інших матеріалів. Бетони є такими матеріалами, що не горять, але при дії високих температур вони розтріскуються. Недоліком бетонів є їх низька міцність при деформаціях на згин і розтяг (в 7–15 раз менше, ніж при стиску). Цей недолік усувається в залізобетоні, в якому розтяг і згин сприймаються арматурою.

Вибираючи різні в'язучі речовини, наповнювачі, добавки, можна отримати бетони з різноманітними властивостями (з різними міцністю, морозостійкістю, щільністю, хімічною стійкістю, жаростійкістю, водонепроникністю и т. п.). Будь – який бетон може бути отриманий з найкращими будівельно – експлуатаційними властивостями, якщо розрахувати його оптимальний склад. До затвердіння суміш цих матеріалів називається бетонною сумішшю. В якості рідкого середовища зазвичай використовують чисту воду (водопровідну, річну, озерну). Неможна використовувати стічні води, болотні, що містять більше 5 г солей в літрі води, цукор, нафтопродукти і кислоти. Вказані шкідливі домішки в воді перешкоджають схватуванню і затвердінню в'язучої речовини.

Неорганічна в'язуча речовина і вода є головними активними компонентами бетонної суміші, вони вступають в хімічні реакції один з одним і пластичне тісто, яке утворюється при цьому, обгортає тонким шаром частинки заповнювачів і наповнювачів, потім таке тісто твердіє і зв'язує зерна в моноліт. Таким образом, бетонна суміш перетворюється в штучний кам'яний матеріал – бетон. Затвердівши в'язуче в бетоні (мікро конгломерат) служить матрицею, в якій розташовуються зерна заповнювачів. В структурі бетону присутні пори (різних розмірів в різній кількості) і капіляри. Вони присутні в мікроконгломераті, заповнювачах, контактній зоні (на границі в'язучого з заповнювачем).

Бетони класифікують по виду в'язучої речовини, заповнювачів, по щільності і призначенню.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 85

По виду в'язучої речовини бетони поділяються на цементні, силікатні, гіпсові, змішані в'язучі, спеціальні.

По виду заповнювача бетони виготовляють на щільних, пористих, спеціальних (жаростійких, кислотостійких и т.п.) заповнювачах. Для здешевлення бетонів доцільно в якості заповнювачів використовувати побічні продукти (подроблені і гранульовані металургійні шлаки, термозит, бій керамічної промисловості и т.п.).

За середньою щільністю розрізняють наступні бетони:

Особливо важкі – з середньою щільністю більше 2500 кг/м³. Для їх виготовлення використовують особливо важкі заповнювачі: щебінь із бариту, обрізки сталі і чавуну, металевий скрап и т.п. Такі бетони використовують для захисту від радіації;

Важкі – з середньою щільністю 2200–2500 кг/м³, заповнювачами в них служать щебінь і гравій із важких гірських порід (граніту, сієніту, діабазу і інших), дрібний заповнювач – пісок; їх використовують для виготовлення несучих конструкцій;

Полегшені – з середньою щільністю 1800–2200 кг/м³, їх використовують в несучих конструкціях. Заповнювачами в них служать керамзит, щебінь із щільних вапняків і шлаків;

Легкі – з середньою щільністю 500–1800 кг/м³. Легкі бетони в свою чергу поділяються на наступні:

Легкі бетони на пористих природних або штучних заповнювачах;

Крупнопористі (безпісчані) бетони, що мають між зернами крупного заповнювача пористоти; щебінь або гравій може бути щільним або пористим, а матриця – пористою. Вони економічні з точки зору витрат в'язучої речовини, володіють добрими теплозахисними якостями, але міцність і морозостійкість їх невеликі;

Особливо легкі бетони (чарункові) мають середню щільність менше 500 кг/м³. Їх виготовляють зазвичай із в'язучого, води, тонкодисперсного кремнеземистого компоненту і утворювача пор (піноутворювача або газоутворювача). В залежності від виду в'язучої речовини, утворювача пор і кремнеземистого компоненту випускаються наступні види чарункових бетонів: газобетони, пінобетони, газосилікати, піносилікати і інші. Структура їх дрібнопориста, причому істинна пористість може досягати 85 %, використовуються вони для теплоізоляції.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 86

За призначенням бетони можуть бути:

Конструкційні, призначені для виготовлення конструкцій (бетонних і залізобетонних) в будинках і спорудах різного типу. До таких виробів відносять в основному несучі конструкції (колони, балки, ферми, плити перекриття і т. п.);

Гідротехнічні, що використовуються при будівництві гребель, шлюзів, набережних, каналів;

Дорожні, що використовуються при будівництві доріг і аеродромів;

Спеціальні – жаростійкі, кислотостійкі, декоративні, акустичні і інші.

До кожного типу бетонів ставляться відповідні умови за їх властивостями: по міцності (марки, класи В, класи С), щільності, морозостійкості, теплопровідності, водонепроникності, стійкості до зношення тертям і ударним навантаженням.

Головною характеристикою міцності бетону служить його марка по міцності на одновісний стиск. Марка бетону визначається по границі міцності при стисканні зразків – кубів розміром 15×15×15 см в віці 28 діб стандартного зберігання при температурі 22±2°C і високої відносної вологості повітря (95–100 %). Потрібно виготовити і випробувати мінімум три однакових зразки-близнюки і обчислити середньоарифметичну границю міцності при стиску $R_{ст}$, а потім по найменшій границі діючого стандарту вибирають марку. Найбільш широко використовують наступні марки цементних бетонів: М150, М200, М250, М300, М350, М400. Розмірність марок (кгс/см²) відповідають мінімальним значенням границь міцності при стисканні.

Класи бетонів, визначають за границею міцності на стиск (МПа): В1; В1,5; В2,5; В3,5; В7,5; В10; В15; В20; В25; В30; В40; В50; В55; В60. Ймовірність отримання заданої міцності по класах вища, ніж по марках; гарантія складає 95 %, такої високої гарантії у марок нема.

Клас бетону визначається також випробуванням на стиск зразків – кубів 15×15×15 см або (що рідше) зразків – циліндрів діаметром 15 см і висотою 30 см в віці 28 діб стандартного вологого зберігання. Якщо випробовують куби, то перед позначенням класу пишуть букву «В», якщо циліндри – «С»; розмірність границі міцності при стиску в МПа.

Матеріали для виготовлення бетону

При виборі цементу враховують вимоги, що ставляться до бетону (залізобетонних конструкцій), умови його експлуатації, рекомендації

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 87

нормативних документів (ГОСТів, СНіПів). Марка цементу повинна бути вище проектної марки бетону, що визначається за границею міцності при стиску (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Відповідності марок бетону і цементу

Марка бетону	150	200	250	300	350	400	450	500	600 і вище
Марка цементу	300	300, 400	400	400, 500	400, 500	500, 600	550, 600	600	600

Якщо потрібно виготовити низькомарочний бетон, а в наявності є високоміцний цемент, то з метою економії цементу в бетонну суміш вводять тонко розмелені добавки із гірських порід і відходів виробництва.

Завдання для практичної роботи

1) Якщо для конструкції необхідний бетон марки М300, то який для його виготовлення потрібний цемент? Вибір обґрунтувати.

2) Для будівельної конструкції потрібний бетон марки М200. В наявності є тільки цемент марки М600. Яким чином можна отримати бетон з потрібною міцністю без завищення ціни об'єкту? Обґрунтувати рішення.

3) Викладіть вимоги, що ставляться до гідротехнічного бетону. Чому для дамб, гребель і інших гідротехнічних споруд не можна використовувати звичайний високоміцний бетон?

4) За яким критерієм бетони відносять до високоміцним? Чим відрізняється їх склад? Як оцінюється міцність бетонів?

5) Бетон складається із 60 об. % вапнякового наповнювача і 40 об. % цементної маси. Визначте модуль пружності бетону, якщо Е вапняку і цементної маси дорівнюють 63 і 25 ГПа відповідно.

6) Чому міцність при розтягу затверділого цементу складає всього лише 4 МПа? Як можна підвищити міцність цементу удосконаленням технології? Якої максимальної міцності можна досягнути завдяки такому удосконаленню?

7) Опишіть механізм руйнування бетону при стисканні. Проілюструйте відповідь.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 88

8) Бетон складається із 50 об. % вапнякового і 50 об. % цементної маси. Визначте модуль пружності бетону, якщо E вапняку і цементної маси дорівнюють 63 і 25 ГПа відповідно. Чи є такий склад оптимальним для найбільшого модуля пружності? Обґрунтуйте відповідь.

9) Як можна повисити міцність бетону (удосконаленням технології, зміною складу)? Якої максимальної міцності можна досягнути завдяки таким удосконаленням?

10) Опишіть процес затвердіння цементу. Які при цьому протікають хімічні реакції? Скільки на цей процес потрібно часу?

11) В який період твердіння цементу тепло виділяється найбільш інтенсивно? Які проблеми це може створити в крупномасштабних конструкціях?

12) Що значить число в марці бетону (М300, М400)? Яка різниця між маркою і типом бетону?

13) Яку роль відіграє вода в виготовленні цементу і бетону? Яке співвідношення води і цементу є ідеальним для отримання високоміцного цементу? До чого приводить відхилення від цього співвідношення в ту чи іншу сторону?

14) Які заповнювачі застосовуються при виробництві штучних будівельних конгломератів? Що це за речовини? Яким повинен бути розмір частин заповнювачів?

15) Що таке бетон? Як отримують бетон? Технологічні і експлуатаційні характеристики бетону.

16) Як оцінюється міцність бетону? Яким чином визначаються марки і класи бетонів?

17) Чи є бетон щільним конструкційним матеріалом? Яку роль виконують пори в бетоні?

18) Які навантаження може витримати бетон? Які умови експлуатації для цього матеріалу недопустимі (можуть привести до руйнування)?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 89

Мета роботи - вивчити термічний, дилатометричний, електронномікроскопічний та рентгенівські методи дослідження; ознайомитися з будовою та принципом роботи приладів та установок, які використовуються при проведенні досліджень цими методами.

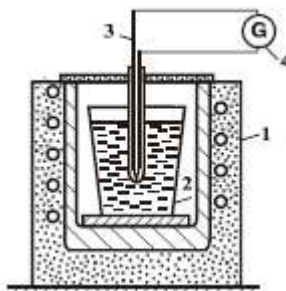
1.1 Загальні відомості

Всі методи дослідження, які застосовуються в металознавстві, поділяються на дві групи. До першої групи відносяться прямі методи дослідження, за допомогою яких вивчають структуру металів та сплавів. Деякі непрямі методи (термічний, дилатометричний і ін.) дозволяють встановити зв'язок між структурою та властивостями матеріалів.

Друга група методів дає можливість безпосередньо виявити хімічний склад матеріалу та його механічні, фізичні, магнітні або технологічні властивості. Всебічну і достатню інформацію стосовно структури та властивостей матеріалу можна отримати при використанні тільки всього комплексу методів.

1.1.1 Термічний метод

Термічний метод застосовують для визначення температур фазових перетворень в металах та побудови діаграм стану сплавів. На рис. 1.1 показано схему устаткування для проведення термічного аналізу. Термопара - це спаяні разом дроти двох різних металів або сплавів. Якщо нагріти спай термопари, то виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС), під дією якої струм відхиляє стрілку гальванометра. Від різниці між температурою гарячого та холодних кінців термопари залежить ТЕРС, абсолютне значення якої дозволяє визначити температуру сплаву. Сплав нагрівають до рідкого стану, а потім повільно охолоджують та фіксують температуру через кожні 20...30 с. Використовуючи ці дані, будують криві охолодження (або нагрівання) в координатах "температура-час" (рис. 1.2, а).



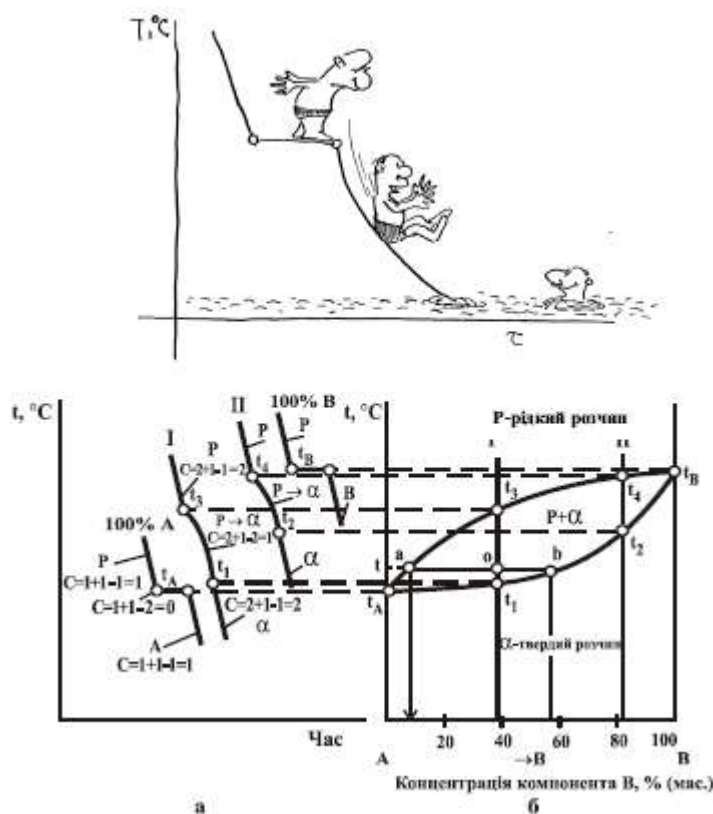
1 – електропіч; 2 - тигель із металом; 3 – термопара; 4 - гальванометр
Рисунок 1.1 - Схема установки для термічного аналізу

Фазові перетворення - плавлення (або кристалізація), зміна кристалічної ґратки, розчинення (або кристалізація) надлишкових фаз супроводжуються виділенням чи поглинанням тепла. Внаслідок цього на кривих охолодження спостерігаються температурні зупинки, коли перетворення відбувається при постійній температурі, або перегини, якщо перетворення здійснюється в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 90

інтервалі температур (рис. 1.2). Наприклад, на кривих охолодження умовний чистий метал А кристалізується при температурі t_A , а І (38%B+62%A) - в інтервалі температур $t_3...t_1$, стоп ІІ – в інтервалі $t_4...t_2$. Ці температурні точки називають критичними.

Критичні точки використовують для побудови діаграми стану сплавів у координатах “температура - хімічний склад сплавів”. Діаграма стану - це графічні зони стійкого існування фаз у залежності від хімічного складу стопів та температури. Для побудови діаграми визначають критичні точки для цілого ряду сплавів, наносять їх в зазначеній системі координат і з'єднують плавними лініями (рис. 1.2, б). Лінії відокремлюють зони із різними фазами, точки ліній характеризують хімічний склад фаз, що знаходяться в рівновазі; температури початку та кінця фазових перетворень. Діаграми стану є рівноважними і відповідні структури можна одержати лише при повільному охолодженні сплавів. Знання діаграми необхідне для визначення фазового складу сплаву, вибору режимів термічної обробки та температур технологічних процесів.



а – криві охолодження; б – діаграма стану умовних металів А та В
Рисунок 1.2 - Побудова діаграми стану за допомогою кривих охолодження

1.1.2 Дилатометричний метод

В основі цього методу - зміна об'єму матеріалу при нагріванні чи охолодженні. При ізотропному розширенні зразка фіксується його довжина. Використовують метод для визначення коефіцієнтів лінійного термічного

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 91

розширення металів та сплавів для різних температурних інтервалів, вивчення температур фазових перетворень у твердому стані.

За допомогою дилатометра записують дилатометричну криву, що показує зміну подовження зразка у залежності від температури (рис. 1.3) або в процесі ізотермічної витримки. Якщо у сплаві відсутні фазові перетворення, то довжина зразка змінюється монотонно (рис.1.3, інтервал температур 20...911°C). При температурі 911°C (точка **A3**) довжина зразка значно зменшується, оскільки ОЦК гратка **Fe α** перетворюється в більш компактну ГЦК гратку **Fe γ** .

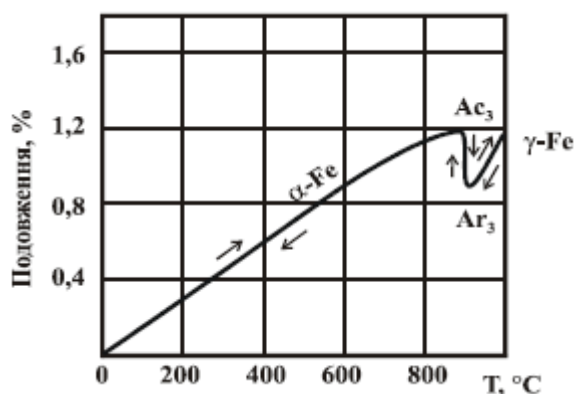


Рисунок 1.3 - Дилатометрична крива для чистого заліза

Подальше нагрівання приводить до збільшення довжини зразка зі структурою **Fe γ** внаслідок теплового розширення.

Найчастіше використовують диференційні дилатометри (рис.1.4), за допомогою яких фіксується різниця подовжень зразка та еталона (стопу з відомим коефіцієнтом лінійного термічного розширення). Зразок **1** та еталон **2** розміщують в запаяні з одного кінця кварцові трубки **3** та **4**. За допомогою кварцових стрижнів (**6** та **7**) подовження зразка та еталона передаються через металеві стрижні **8** рухомим опорам **10** та **11** трикутника, на якому розміщене дзеркало **5**; третя опора - нерухома.

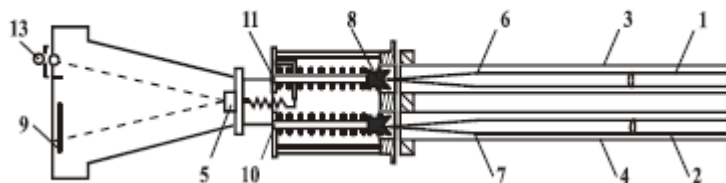


Рисунок 1.4 - Схема диференційного дилатометра

Промінь світла від джерела **13** відбивається від дзеркала **5** і фокусується на матовому склі або фотоплівці **9**. Дилатометричну криву одержують при переміщенні світлового променя внаслідок одночасного подовження зразка та еталона. Розташування кривої, а також кут її нахилу відносно горизонтальної осі визначається співвідношенням подовження зразка та еталона.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 92

1.1.3 Метод електронної мікроскопії

Метод електронної мікроскопії дозволяє вивчати тонку структуру металів та сплавів при збільшеннях до 500 тис. разів і більше та одержувати більш повні знання про механізми фазових перетворень, пластичної деформації та руйнування металів, вивчати дефекти кристалічної будови. В електронному мікроскопі використовують електронні промені та систему електромагнітних лінз. Мікроскоп складається із герметичної колони, в якій досягається високий вакуум (до $1,3 \times 10^{-5}$ Па) і розташована електронна оптика, та блоків живлення. На рис.1.5 показана схема електронного мікроскопа для просвічування. Випромінювач електронів складається з катода **1**, фокусуючого електрода **2** та анода **3**. Конденсорна лінза **4** фокусує електронні промені на об'єкті **5**. Об'єктивна лінза **6** дає збільшене проміжне зображення в площині селекторної діафрагми **7**. Проміжна лінза **8** передає центральну ділянку зображення на предметну площину проекційної лінзи **9**, яка кінцеве зображення формує на екрані або фотопластинці **10**. Об'єктивна та проекційна лінзи збільшують приблизно у сто разів кожна.

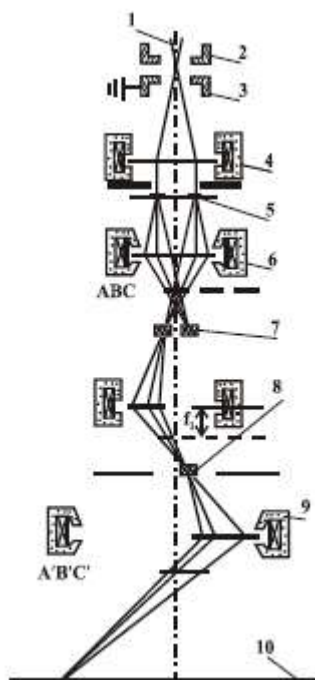


Рисунок 1.5 - Схема електронного мікроскопа

Загальне збільшення мікроскопа (приблизно до 10^6 разів) визначається фокусною відстанню електромагнітних лінз і регулюється величиною струму в їх обмотках. Прискорювальна напруга до 100 кВ, розрізнявальна здатність (найменша частинка, деталі якої можна роздивитись - 0,2 нм, товщина фольги для просвічування не більш, ніж 10-нм, (0,1...1 мкм). Таку фольгу виготовляють з більш товстої пластини при електролітичному шавленні в спеціальних розчинах. При проходженні електронів через фольгу контраст зображення виникає внаслідок розсіяння електронів на атомах, що зміщені із нормального

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 93

положення в області дефекту (границі зерен, дислокації та інші дефекти кристалічної будови).

Непрямим методом за допомогою реплік можна вивчати поверхню масивних зразків. Репліка – це плівка (лакова, вугільна, оксидна тощо), яку наносять на поверхню зразка а потім відділяють від зразка і досліджують. Репліка передає рельєф поверхні, в ній знаходяться частинки надлишкових фаз, склад котрих можна визначити. В останні роки широке розповсюдження знайшли растрові електронні мікроскопи, що дозволяють безпосередньо вивчати рельєф зламів, мікроструктуру та хімічний склад зразка без виготовлення реплік або фольг.

1.1.4 Рентгенографічні методи дослідження

В залежності від характеру використання рентгенівських променів всі методи розподіляють на рентгеноструктурний, рентгеноспектральний аналізи та рентгенівську дефектоскопію. Рентгеноструктурний аналіз заснований на дифракції, яка виникає при розсіянні променів атомами ґратки. Розшифровують дифракційні картини за допомогою рівняння Вульфа-Бреґа: $2d_{hkl}\sin\alpha = n\lambda$. Дифракційні максимуми спостерігаються тоді, коли промені довжиною λ , віддзеркалені від паралельних площин з відстанню між ними d_{hkl} під кутом α мають різницю ходу, що дорівнює цілій кількості довжин хвиль (довжина хвилі залежить від матеріалу анода рентгенівської трубки). Вимірюючи на рентгенограмах кути віддзеркалення α , визначають характеристику кристалічної ґратки (d_{hkl}). Дифракційна картина від монокристала характеризується закономірно розташованими точковими рефлексамі. Їх число, форма та інтенсивність дають можливість визначити орієнтацію монокристала, тип та розмір кристалічної ґратки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 94

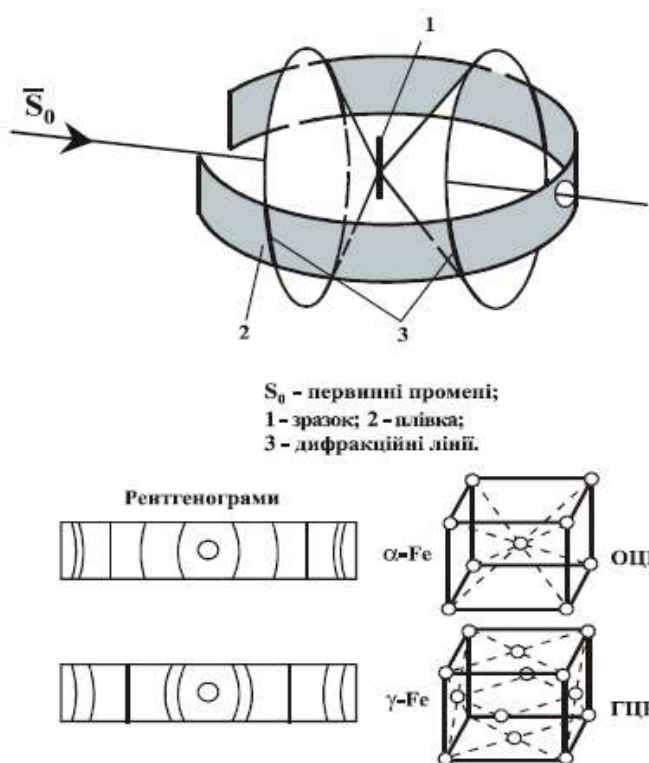


Рисунок 1.6 – Дифракційна картина від полікристала та схеми рентгенограм від ОЦК і ГЦК ґраток

Від полікристала дифракційні промені розповсюджуються у вигляді системи конічних поверхонь, тому в залежності від розташування плівки відносно первинних променів на рентгенограмі спостерігають кільця або лінії у вигляді відрізків дуг (рис. 1.6). Аналіз дифракційної картини і відповідні розрахунки дозволяють визначити: якісний та кількісний фазовий склад кристалічного зразка; тип і розмір кристалічної ґратки; внутрішні напруження; розпад пересичених твердих розчинів; орієнтацію зерен в текстурованих матеріалах тощо.

Рентгеноспектральний аналіз дозволяє визначити хімічний склад матеріалу і базується на властивості кожного елемента випромінювати характеристичні рентгенівські промені, які з'являються при опроміненні зразка електронами достатньої високої енергії. Інтенсивність променів залежить від кількості певного елемента. Використовуючи еталони, можна проводити і кількісний аналіз.

Сучасні мікроаналізатори дозволяють аналізувати у мікрооб'ємах (приблизно 3 мкм³) практично всі елементи; чутливість визначення становить 0,1...10⁻⁶ % в залежності від порядкового номера елемента та розміру електронного зонда. Ділянка для вивчення вибирається за допомогою мікроскопа, вісь якого збігається із точкою падіння електронного зонда на зразок. При переміщенні зонда можна записати зміну інтенсивності, яка

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 95

відповідає концентрації елемента уздовж цього напрямку. Рентгеноспектральний аналіз здійснюється за допомогою растрового електронного мікроскопа (РЕМ).

Рентгенівська дефектоскопія ґрунтується на різній здатності рентгенівських променів поглинатися при проходженні через матеріали різної товщини та щільності. Метод має високу чутливість та універсальність, застосовується для контролю якості виробів і дозволяє виявити раковини, пустоти, шпарини, непровари зварних швів, тріщини, вкраплення тощо. Схему просвічування показано на рис. 1.7. Дефекти на плівці виявляються у вигляді більш темних або світлих плям порівняно із фоном.

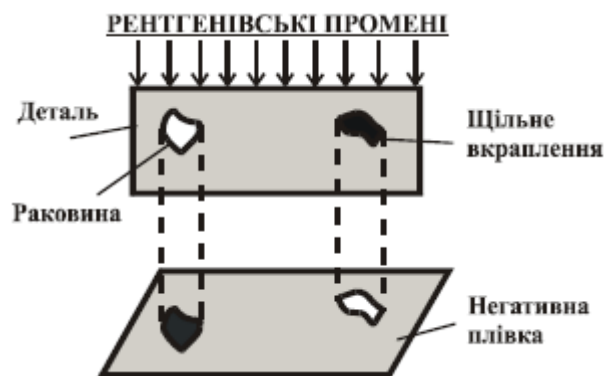


Рисунок 1.7 - Схема просвічування деталей

Щільне вкраплення поглинає промені, тому на рентгенограмі у відповідному місці буде світла пляма на загальному фоні. Там, де розташована раковина, спостерігається затемнення, тому що інтенсивність променів, що пройшли через деталь, більша.

1.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Записати сутність і призначення термічного, дилатометричного, електронномікроскопічного та рентгенівських методів дослідження. Зарисувати схеми приладів та установок, що застосовуються при використанні цих методів.

1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

- 1.3.1. Сутність та призначення термічного, дилатометричного, електроннооптичного та рентгенівських методів дослідження.
- 1.3.2. Устрій дилатометра, електронного мікроскопа.
- 1.3.3. Як за допомогою термічного метода побудувати діаграму стану?
- 1.3.4. Приготування реплік та фольг для електронномікроскопічного аналізу.
- 1.3.5. Особливості рентгеноструктурного та рентгеноспектрального методів дослідження.
- 1.3.6. Сутність методу неруйнівного контролю якості деталей за допомогою рентгенівських променів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 96

1.4 Матеріали, інструменти, прилади та обладнання

Для виконання роботи використовуються: нагрівальні печі з автоматичним регулюванням температури, диференційний дилатометр, електронний мікроскоп, рентгенівський дифрактометр ДРОН-1.

1.5 Вказівки з техніки безпеки

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

1.6 Порядок проведення лабораторної роботи

Ознайомитися з устрійом та принципом роботи дилатометра, електронного мікроскопа та рентгенівського дифрактометра ДРОН-1.

1.7 Зміст звіту

Мета роботи, загальні відомості відповідно до завдання, пункт 1.2, 1.3, 1.7.

ЛАБОРАТОРНО РОБОТА №2 МЕХАНІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про стандартні механічні характеристики і деякі експлуатаційні властивості металів.
3. Дати відповіді на запитання до роботи.

Основні відомості по темі роботи

Механічні властивості визначають поведінку металу під навантаженням. Характеристики механічних властивостей отримують при *механічних випробуваннях*. Для цього зразок із заданого матеріалу піддають зовнішнім навантаженням на спеціальному обладнанні і заміряють реакцію матеріалу.

Під дією різних зовнішніх сил метал деформується і руйнується. Але величиною прикладеного навантаження неможливо охарактеризувати умови навантаження. Важливо знати, на яку площу поперечного перерізу це навантаження діє.

За характеристику навантаження приймають *напруження* – відношення сили до площі перерізу, на яку вона діє:

$$\sigma = \frac{P}{F}.$$

Напруження, що діє на будь-яку довільно взятую площадку, можна розкласти на нормальну складову σ , перпендикулярну до площадки, і дотичну τ (рис. 2.1, а).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 97

При однаковому навантаженні P деформація стержнів (рис. 2.1, б) буде різною: другий подовжиться більше, оскільки площа його поперечного перерізу є меншою.

$\sigma_1 = \frac{P}{F_1}$; $\sigma_2 = \frac{P}{F_2}$; $\sigma_1 < \sigma_2$, оскільки $F_1 > F_2$. Напруження в другому стержні буде більшим, а тому він отримає більшу деформацію в другому стержні буде більше, тому він отримає більшу деформацію.

Напруження, яке витримує метал, є його основною механічною характеристикою, яка незалежить від розмірів виробу.

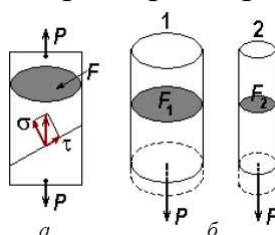


Рис. 2.1. Нормальне і дотичне напруження (а); деформація стержнів при однаковому навантаженні (б)

Міцність

Міцність – це здібність металу чинити опір деформації і руйнуванню під дією зовнішніх сил і внутрішніх напружень.

Стандартами передбачено отримання характеристик міцності при випробуваннях на розтяг, стиск, згин, кручення. Все це – *статичні випробування*, з поступовим, плавним зростанням зовнішнього навантаження.

Найбільш інформативним є випробування на розтяг на розривній машині; його і проводять в більшості випадків для отримання стандартних характеристик міцності (рис. 2.2, а).

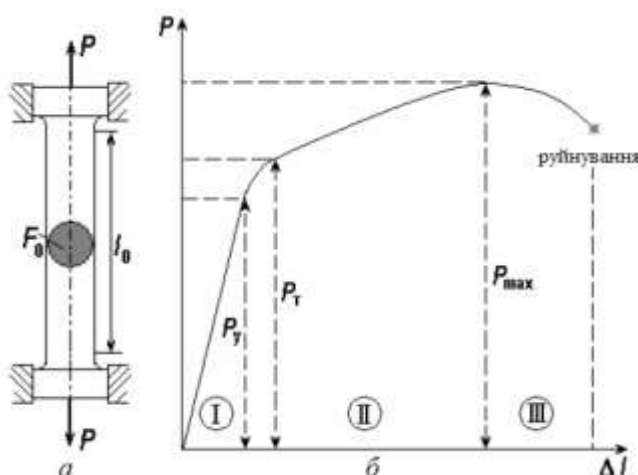


Рис. 2.2. Зразок для випробувань на розтяг і схема випробувань на розривній машині (а); діаграма растягу пластичного металу (б)

Розривна машина обладнана пристроєм для запису так званої *діаграми розтягу* – графіка залежності між прикладеним навантаженням P і видовженням

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 98

зразка Δl (рис. 2.2, б). Сучасні машини мають вихід на компютер, який не тільки записує діаграму, але і розраховує характеристики міцності.

При зростанні навантаження P довжина зразка l змінюється нелінійно.

На кривій розтягу можна виділити три ділянки: I – область ружної деформації, II – область пластичної деформації, III – область розвитку тріщин. Величина пружної деформації в металах невелика: менше 1 %. Пластична деформація у чистих металів може досягати десятків процентів. Іменно в цій області відбувається активне ковзання дислокацій. При перевищенні навантаження P_{max} на зразку виникає місцеве звуження – *шийка*, і деформація стає зосередженою. Подальший розвиток деформації в шийці призводить до зародження тріщин і руйнуванню зразка.

З цього випробування отримують наступні характеристики міцності:

границя пружності $\sigma_{Pr} = \frac{P_{Pr}}{F_0}$ [МПа] – це найбільше напруження, після якого зразок повертається до попередніх форми і розміру;

границя текучості $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$ [МПа] – це напруження пластичної течії металу без збільшення навантаження;

границя міцності $\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}$ [МПа] – це найбільше напруження, яке витримує метал не руйнуючись.

Дійсну або фізичну границю текучості σ_T визначити важко: не у всіх металах утворюється «площадка текучості». Тому, частіше за все визначають **умовну границю текучості** $\sigma_{0.2}$, яка викликає залишкову деформацію 0,2 %: $\sigma_T \approx \sigma_{0.2}$.

Розрахунки на міцність найчастіше ведуть за границею текучості, оскільки значна пластична деформація більшості деталей і конструкцій недопустима. Але і границю міцності знати необхідно, оскільки вона показує при якому напруженні почнеться руйнування.

Пластичність

Пластичність – це здатність металу деформуватись без руйнування.

Характеристики пластичності визначають із того ж випробування на розтяг. Це

$$\text{відносне видовження } \delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$\text{відносне звуження } \psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

де l_0 і l_K , мм – довжина зразка до і після випробувань;

F_0 і F_K , мм² – початкова і кінцева площа поперечного перерізу зразка (рис. 2.2, а).

Відносне видовження і відносне звуження є одночасно і критеріями надійності: матеріал, що має більші значення δ і ψ , більш надійний.

Твердість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 99

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла.

Методи вимірювання, прилади, позначення, одиниці вимірювання твердості описані в методичних вказівках до лабораторної роботи «Визначення твердості металів і сплавів». Вивчити самостійно!

В'язкість

В'язкість – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при ударних, динамічних навантаженнях.

Характеристика вязкости определяется при испытании на ударный изгиб. Это, в отличие от всех предыдущих, динамическое испытание, при котором нагрузка прилагается к образцу с очень большой скоростью, за тысячные доли секунды.

Испытание проводится на маятниковом копре (рис. 2.3).

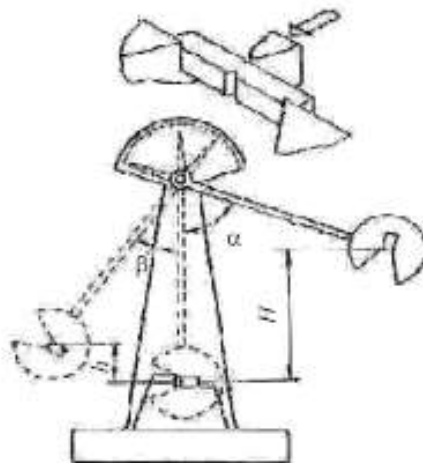


Рис. 2.3. Схема випробувань на ударний згин

Важкий маятник, піднятий на визначений кут α , відпускають. На шляху руху маятника знаходиться зразок. Удар ножа маятника руйнує його. Виконана при руйнуванні робота визначається як різниця між потенціальною енергією маятника до і після випробувань.

Ударна в'язкість – це робота руйнування зразка, віднесена до площі поперечного перерізу:

$$КС = \frac{A_p}{F} [\text{Дж}/\text{м}^2], \text{ де}$$

A_p – робота руйнування, F – площа поперечного перерізу зразка.

Зразок повинен мати надріз – концентратор напруження. Позначення ударної в'язкості залежить від виду надрізу (рис. 2.4).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 100

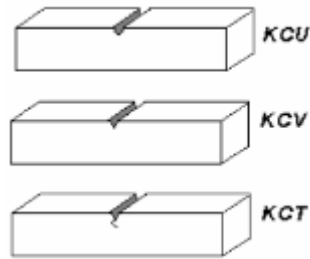


Рис. 2.4. Зразки для випробувань на ударну в'язкість

Для одного і того ж матеріалу $KCU > KCV > KCT$, тобто чим гостріший надріз, тим легше руйнується матеріал.

Ударна в'язкість також є критерієм надійності матеріалу, гарантією, що він не буде руйнуватись крихко, несподівано.

Суворо кажучи, ударна в'язкість є комплексною характеристикою, що включає питому роботу зародження тріщини a_z і питому роботу росту тріщини a_p . Для більш досвіркої оцінки надійності матеріалу методом екстраполяції визначають ударну в'язкість при радіусі концентратора r , що прямує до нуля (рис. 2.5). Це і буде робота росту тріщини a_p , що дозволяє оцінити надійність (зародки тріщин в матеріалі є майже завжди, питання в тому, чи будуть вони рости).

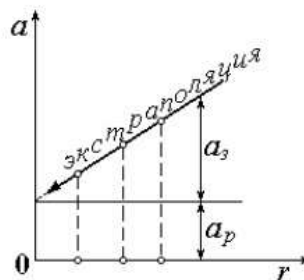


Рис. 2.5. Визначення роботи зародження тріщини

Деякі експлуатаційні властивості

В умовах експлуатації властивості матеріалів можуть не відповідати стандартним, що наводяться в довідниках, значенням. В різних агресивних середовищах, при дії високих або низьких температур матеріали проявляють значно меншу міцність і довговічність, ніж при нормальних умовах.

1) Холодноламкість

При низьких температурах (від 0 до -269 °С, температури рідкого гелію) збільшується схильність металу до крихкого руйнування. При цьому різко знижується ударна в'язкість (KCU , KCT) і змінюється будова зламу – від волокнистого, матового до кристалічного, блискучого.

Властивість металу крихко руйнуватись, втрачати в'язкість при пониженні температури називається *холодноламкістю*.

За характеристику холодноламкості приймають *температурний поріг холодноламкості* t_{50} . Це температура, при якій величина ударної в'язкості

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 101

зменшується вдвічі (рис. 2.6). При цьому злам має будову наполовину в'язку, наполовину крихку.

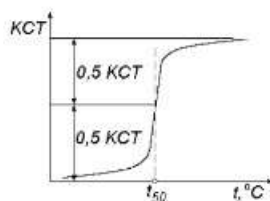


Рис. 2.6. Визначення порогу холодноломкості

2) Витривалість

Багато деталей – вали, вісі, шестерні по різному чинять опір змінним за величиною і напрямком змінним навантаженням. Під дією знакозмінних навантажень, що багатократно повторюються, в металі накопичуються пошкодження, дефекти. Це явище називають *втомою*.

В таких умовах роботи напруження, менші σ_B і навіть σ_T , можуть викликати зародження і ріст *тріщини втоми*. Зазвичай вона виникає на поверхні деталі в місцях концентраторів напружень і потім підростає з кожним циклом навантаження. Це поступово приводить до руйнування.

Витривалість – це здатність металу протистояти втомі, чинити опір руйнуванню при знакозмінних навантаженнях.

Характеристики витривалості визначають в результаті проведення випробувань на спеціальних машинах циклічної дії. Навантаження, що діють на кожен переріз зразка, безперервно змінюються за величиною і напрямком (рис. 2.7).

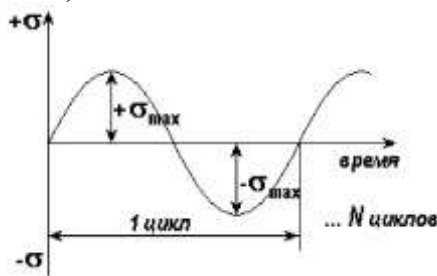


Рис. 2.7. Схема циклічного навантаження при випробуваннях на втомі

Границею витривалості, або *границею втоми* σ_{-1} називається найбільше напруження, яке не викликає руйнування зразка після заданого числа циклів навантаження.

При випробуванні сталей стандартне число циклів навантаження $N = 10^7$, при випробуванні кольорових металів і сплавів $N = 10^8$.

Завдання на підготовку і виконання лабораторно – практичної роботи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 102

Опрацювати матеріал методичної розробки до лабораторно роботи. Виконати рукописний конспект (*основні теоретичні відомості по темі роботи*). Дати письмові відповіді на поставлені запитання до роботи.

Контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Перечисліть, які основні механічні і експлуатаційні властивості металів вам відомі. Дайте їм визначення.
2. Як визначають механічні властивості металу?
3. Яка величина приймається за характеристику навантаження металу?
4. Охарактеризуйте криву розтягу пластичного металу. Дайте визначення окремим межам цієї кривої. Наведіть схему кривої розтягу.
5. Які ви знаєте характеристики пластичності металів? Запишіть формули для їх визначення.
6. Що таке твердість металу?
7. Дайте визначення в'язкості металу. Як визначають ударну в'язкість металу? Наведіть схему випробувань.
8. Як визначають роботу зародження тріщини в металі?
9. Які характеристики відносять до експлуатаційних властивостей? Дайте їм визначення.
10. Що таке температурний поріг холодноламкості?
11. Що називають границею витривалості металу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ

Мета роботи

1. Вивчити основні різновидності діаграм стану подвійних сплавів.
2. Навчитись аналізувати діаграми стану: визначати температури початку і кінця плавлення сплавів, знаходити області рівноважного існування твердих розчинів, обґрунтовувати можливість проведення зміцнюючої термічної обробки сплавів, оцінювати їх технологічні властивості.
3. Дати письмові відповіді на контрольні запитання.

Основні відомості по темі роботи

Для лабораторно-практичної роботи з подвійними сплавами необхідно знати їх структуру, можливості її зміни зі змінами температури і складу сплаву і, таким чином, судити про властивості сплавів і про можливості зміни властивостей в потрібному напрямку. Необхідність змінити структуру і властивості сплавів може виникнути, якщо при отриманні деталі методом відливання відбулась внутрішньо кристалічна ліквіація, якщо потрібно зміцнити сплав термічною обробкою, і в деяких інших випадках. Для визначення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 103

можливості проведення термічної обробки і призначення її температурного режиму потрібно знати закономірності зміни фазового складу в залежності від температури і хімічного складу в заданій системі. Графічна залежність, що містить цю інформацію, називається *діаграмою стану*. Діаграми стану дозволяють отримувати різнобічну інформацію про сплави. За їх допомогою можна судити про ливарні властивості сплавів і, відповідно, про можливість отримання з них виливок, про схильність сплавів до внутрішньо кристалічної ліквідації і ліквідації за питомою вагою при кристалізації, про пластичність різних сплавів і можливість їх пластичного деформування при виготовленні виробів.

Найчастіше для побудови діаграм стану металевих систем використовують термічний аналіз, який оснований на тому, що плавлення, кристалізація і всі структурні зміни сплавів в твердому стані відбуваються з тепловими ефектами (з поглинанням або виділенням тепла). Як наслідок, знімаючи криві нагріву або охолодження сплавів різного складу будь – якої системи, можна зафіксувати температури, при яких відбуваються ті чи інші зміни в структурі. Якщо потім цю інформацію представити графічно в координатах «температура - склад сплаву», то отримаємо діаграму стану системи. На діаграмі стану будуть, по крайній мірі, дві лінії: початку кристалізації (*ліквідус*) і закінчення кристалізації (*солідус*). У багатьох сплавах, крім того, відбуваються різні перетворення в твердому стані, що також отримує відображення лініями на діаграмі.

В залежності від характеру взаємодії компонентів в сплаві, відповідності або відмінності в їх атомно – кристалічній будові можливе утворення різних фаз: твердих розчинів, механічних сумішей кристалів окремих компонентів, хімічних з'єднань та ін. Ця взаємодія описується різними видами діаграм стану з різними можливостями зміни структури і проведення термічної обробки сплавів.

Визначення складу і кількості фаз

В процесі кристалізації змінюються і концентрація фаз, і кількість кожної фази. В будь – якій точці діаграми, коли в сплаві одночасно існують дві фази, можна визначити кількість обох фаз та їх концентрацію. Для цього використовують правило відрізків і правило конценрацій.

Правило конценрацій

Для *складу фаз*, що знаходяться в рівновазі при будь – якій температурі, що знаходиться в двофазній області (наприклад, в точці *c*, рис 3.1), потрібно провести через цю точку пряму, паралельну осі концентрацій (лінія *acb*). Точки *a* і *b* пересікання цієї прямої з лініями діаграми, що обмежують цю область, визначають вміст фаз, що присутні в сплаві (в нашому випадку – рідина і кристали твердого розчину *a*). Проекція точки *a* перетину цієї лінії з ліквідусом на вісь концентрацій (точка *a'*) вказує на вміст рідкої фази, а проекція точки *b* перетину з солідусом (*b'*) – вміст твердої фази. Лінія *ab*, що з'єднує склади фаз, що знаходяться в рівновазі, називається *конодою*.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 104

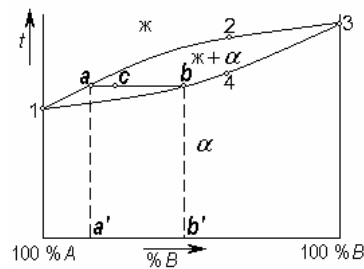


Рис. 3.1. Визначення складу і кількості фаз

Правило відрізків

Кількість твердої фази в точці *c* визначається відношенням довжини відрізка *ac*, прилягаючого до ліквідусу, до довжини всієї коноди *ab* (рис. 3.1). *Кількість рідини* – відношення довжини відрізка *bc*, прилягаючого до солідусу, до довжини всієї коноди:

$$Q_{\alpha} = \frac{ac}{ab} \times 100\%$$

$$Q_{\beta} = \frac{bc}{ab} \times 100\%$$

Це стає зрозумілим, якщо прослідкувати зміни цих відрізків при охолодженні: відрізок *ac* буде рости, а відрізок *bc* – навпаки, зменшується. Кількість твердої фази при охолодженні зростає, а кількість рідини зменшується до повного її зникнення.

Діаграма стану сплавів з необмеженою взаємною розчинністю компонентів

Якщо компоненти сплаву утворюють необмежені тверді розчини, то на діаграмі стану присутні дві лінії: лінія початку кристалізації і лінія закінчення кристалізації (рис. 3.2,б). Кожна з них є сукупністю критичних точок для всіх сплавів даної системи.

Діаграму цього типу і порядок її побудови розглянемо в загальному вигляді на прикладі сплавів, компонентами яких є чисті метали А і В.

На рис. 3.2, а наведені одержані методом термічного аналізу криві охолодження для: I — чистого металу А; II — сплаву 70% А + 30% В; III — сплаву 20% А + 80% В і IV — чистого металу В. З рисунка видно, що чисті метали мають по одній, а сплави — по дві критичні точки.

Вище точок I, 2, 4 і 6 чисті метали та їх сплави перебувають у рідкому стані, а нижче точок 1, 3, 5 і 6 — у твердому. Отже, сплави II і III на відміну від їх компонентів — чистих металів А і В — тверднуть не при сталій температурі, а в інтервалі температур, відповідно, між точками 2—3 і 4—5.

Діаграму стану подвійних сплавів будують у двох вимірах (рис. 3.2,б). На осі ординат відкладають температуру, а по осі абсцис — склад сплавів. При цьому кількість компонента А в сплаві зменшується зліва направо по осі абсцис від 100 до 0%, а компонента В — збільшується від 0 до 100%. Таким чином, крайній лівій ординаті відповідає чистий компонент А, крайній правій —

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 105

компонент B , а кожному сплаву — певна проміжна точка між цими ординатами. В цих точках при побудові діаграми ставлять вертикалі для кожного з досліджуваних сплавів (у випадку, що розглядається, II і III).

Підготувавши таким чином поле для побудови діаграми, на III ординати і вертикалі переносять ті, що відповідають їм, критичні точки з кривих охолодження. З'єднавши точки аналогічних перетворень, одержують лінії, що розмежовують зони однакових фазових перетворень, які в сукупності і являють собою діаграму стану досліджених сплавів.

У випадку, що розглядається, точками аналогічних перетворень є точки початку (2 і 4) і закінчення (3 і 5) затвердіння сплавів. Чисті компоненти A і B тверднуть при сталій температурі, тому початок і кінець затверднення у них відображається однією критичною точкою (відповідно 1 і 6).

Лінію на діаграмі стану, яка з'єднує точки початку затверднення сплавів, називають лінією *ліквідуса* (від латинського *Liquidus* рідкий). Вище лінії ліквідуса всі сплави на діаграмі перебувають у рідкому стані.

Лінію, яка з'єднує на діаграмі стану точки закінчення затвердіння сплавів, називають лінією *солідуса* (від латинського *solidus* твердий). Нижче лінії солідуса всі сплави на діаграмі перебувають у твердому стані.

Між лініями ліквідуса і солідуса сплави складаються з двох фаз: твердої і рідкої.

Розглянемо процес затвердіння сплаву II , який складається з 70% A і 30% B . При температурі вище точки 2' цей сплав перебуває в рідкому стані. В точці 2' сплав починає тверднути, виділяючи кристали твердого розчину (позначимо його буквою a), що являє собою розчин компоненту B у компоненті A . Тому нижче точки 2' сплав складається з двох фаз: кристалів твердого розчину a і рідини. При дальшому охолодженні кристали твердого розчину ростуть за рахунок рідкої фази. В точці 3' на лінії солідуса затвердіння закінчується, після чого сплав має однорідну (однофазну) структуру, яка складається із зерен твердого розчину a (рис. 3.2,в).

При нагріванні сплав II зазнаватиме перетворення у зворотному порядку. В точці 3' почнеться плавлення — утворюється рідка фаза. При дальшому підвищенні температури тверда фаза поступово розчинюватиметься у рідкій; у точці 2' розчинення її закінчиться і весь сплав перейде в однорідний рідкий стан.

Сплав III в точках 4' і 5' зазнає аналогічних перетворень.

Всі сплави з такою діаграмою стану кристалізуються в інтервалі температур, що відрізняються від кристалізації чистих компонентів A і B . Між лініями ліквідус і солідус всі сплави знаходяться в двофазному стані: рідина і кристали твердого розчину. Після кристалізації всі сплави системи є однофазними і являють собою твердий розчин компоненту B в кристалічній ґратці компоненту A (або, навпаки, твердий розчин компоненту A в кристалічній ґратці компонента B). На діаграмі тверді розчини позначають буквами грецького алфавіту: α , β , γ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 106

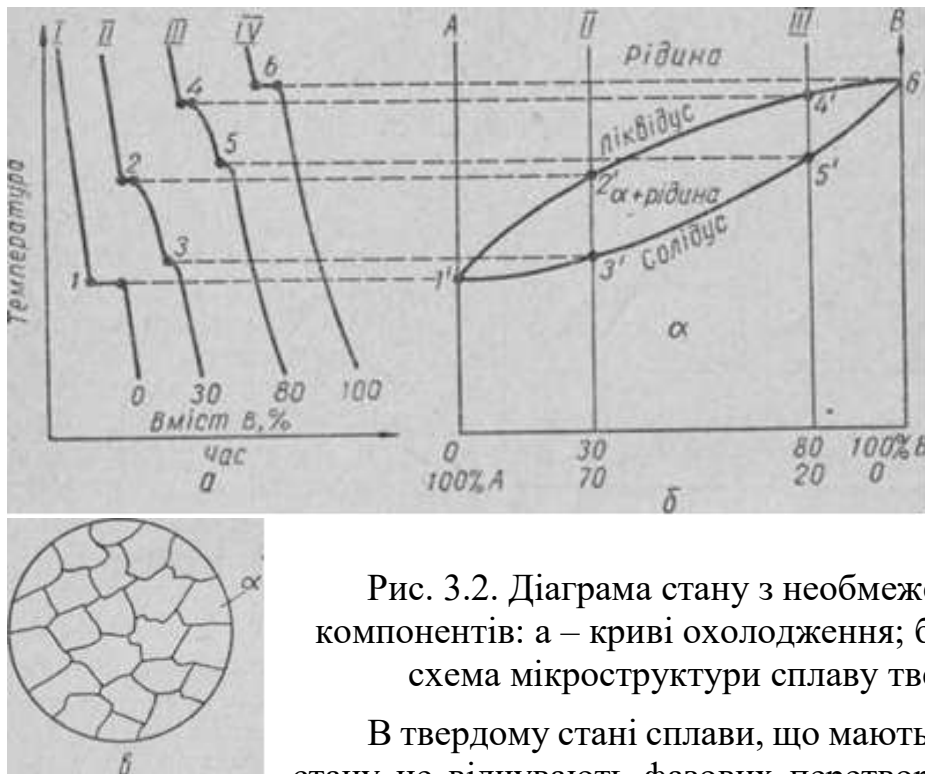


Рис. 3.2. Діаграма стану з необмеженою розчинністю компонентів: а – криві охолодження; б – діаграма стану; в – схема мікроструктури сплаву твердого розчину.

В твердому стані сплави, що мають такий вигляд діаграми стану не відчувають фазових перетворень і тому не можуть піддаватись зміцненню термічною обробкою.

Механічні і фізичні властивості сплавів, що мають таку діаграму стану, надто відрізняються від властивостей вихідних компонентів. В окремоті твердість, міцність, опір електропровідності сплавів є вищими, ніж в чистих металів, а пластичність і магнітна проникність – нижчою.

По законах фізичної хімії, перші кристалики, що утворюються з рідини, є більше збагачені тугоплавким компонентом *B*, ніж ті, що кристалізуються останніми. Оскільки перші кристали зароджуються біля стінок ливарної форми, а останні – в серцевині виливки, то по перерізу виливка може опинитись хімічно неоднорідною. Поверхневі шари будуть багатші тугоплавким компонентом *B*, а серцевина – легкоплавким компонентом *A*. Таке явище називається *ліквацією*.

Ліквація може проявлятися і в об'ємі одного кристалу: в центрі він опиниться збагачений тугоплавким компонентом, а біля границь – легкоплавким. Це – *мікроліквація* (внутрішньо кристалічна або дендритна ліквація).

Ліквація – явище небажане. Мікроліквація проявляється при великій швидкості охолодження, а при повільному охолодженні встигає відбутись дифузія, яка вирівнює склад сплаву в об'ємі зерна. Якщо ж мікроліквація все ж таки виникла, то для її усунення використовують дифузійний відпал: нагрівання виливки до температур, близьких до солідусу, протягом тривалого часу. Але ліквація, що виникла в усьому об'ємі заготовки (виливки) (*зональна*) відпалом не усувається.

Приклади сплавів з повною взаємною розчинністю компонентів: Cu – Ni, Ag – Au, Mo – W, Mo – V.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 107

Діаграма стану сплавів з повною відсутністю розчинності в твердому стані

Якщо компоненти сплаву не розчиняються один в одному в твердому стані, то з рідкого розплаву утворюються або кристали чистого компоненту A (в лівій частині діаграми стану), або кристали чистого компоненту B (в правій частині діаграми). Тоді ліквідус діаграми складається з двох частин: лінія 1-2, на якій починається кристалізація компоненту A , і лінія 2-3, на якій починається кристалізація компоненту B (рис. 3.3).

Таким чином ліквідус діаграми – лінія 1-2-3. На цій лінії починається кристалізація сплавів при охолодженні (і закінчується плавлення при нагріванні). Солідус діаграми – пряма, паралельна осі концентрацій: 4-2-5. На цій лінії закінчується кристалізація сплавів при охолодженні (і починається плавлення при нагріванні).

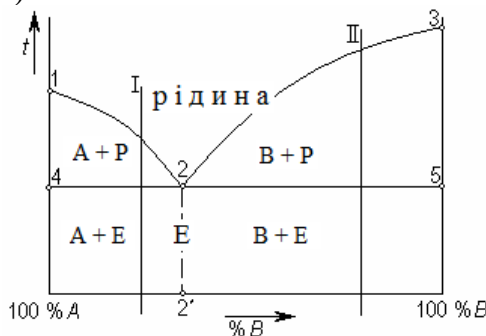


Рис. 3.3. Діаграма стану з повною відсутністю розчинності

В лівій області 1-2-4-1 із розплаву кристалізується компонент A , як наслідок, в рідині вміст компоненту A зменшується, а вміст компоненту B , навпаки, зростає. В правій області 2-3-5-2 відбувається кристалізація компоненту B ; при цьому вміст компоненту B в розплаві убуває, а вміст компоненту A , навпаки, зростає.

До моменту досягнення температури солідусу (лінії 4-2-5) в будь-якому сплаві концентрація компонентів в рідині відповідає точці 2.

Точка 2 належить обом віткам ліквідусу і обом областям кристалізації. Крім того, вона знаходиться одночасно на ліквідусі і на солідусі. Це значить, що сплав складу $2'$ починає і закінчує кристалізацію в одній і тій же точці (при одній температурі). В цьому сплаві при кристалізації утворюються одночасно кристали як компоненту A так і компоненту B . Вони повинні бути дуже дрібними, оскільки температура точки 2 значно нижча температур кристалізації обох компонентів і степінь переохолодження дуже велика. Така суміш дуже дрібних кристалів обох компонентів, що кристалізуються при постійній і самій низькій для заданої системи температурі, називається **евтектикою** (від грецького слова «легкоплавка»).

Сплав складу $2'$ називають **евтектичним**; сплави в лівій області діаграми, до точки $2'$, називають **доевтектичними**, а в правій області – **заевтектичними**.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 108

Із діаграми видно, що кристалізація всіх сплавів даної системи закінчується утворенням евтектики. Евтектика являє собою дрібнозернисту структурну складову сплаву з своїми механічними властивостями. Її прийнято позначати буквою «Е» кирилиці. Склад евтектики коротко можна записати: $E = A + B$. Важно пам'ятати, що евтектика – це суміш двох фаз, а не одна фаза.

Структура сплавів складається з евтектики і кристалів чистих компонентів, які утворились із розплаву на початку кристалізації. В доевтектичних сплавах (сплав I на рис. 3.3) це кристали компоненту A і евтектика (рис. 3.4, а), в заевтектичних (сплав II на рис. 3.3) – кристали компоненту B і евтектика (рис. 3.4, б).

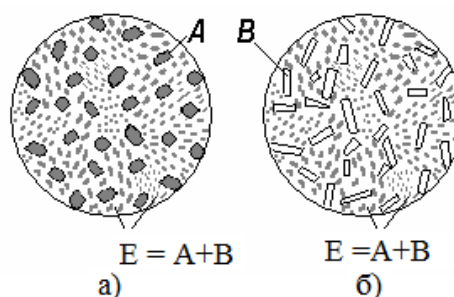


Рис. 3.4. Мікроструктура сплавів – доевтектичного; б – заевтектичного

Сплави з такою діаграмою також не мають фазових перетворень в твердому стані, вони завжди двофазні, і тому не можуть зміцненню термообробкою.

Сплави для отримання вливок повинні мати склад, близький до евтектичного, оскільки саме евтектика, що кристалізується при постійній температурі, має найкращі ливарні властивості: малу усадку і високу рідкотекучість. Із евтектичних сплавів виготовляють припої, плавкі вставки, запобіжники, їх використовують в підшипниках ковзання як антифрикційний шар.

Приклади сплавів з повною взаємною нерозчинністю компонентів: $Pb - Sb$, $Pb - Pd$, $Ca - Mg$.

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів

Розглянутий випадок повної нерозчинності компонентів сплаву в твердому стані зустрічається порівняно рідко, звичайно вони частково розчиняють один одного. Тому на діаграмі стану сплавів з обмеженою розчинністю (рис. 3.5) біля ординат, які відповідають чистим компонентам, знаходяться зони твердих розчинів: ліворуч α -твердого розчину компонента B у компоненті A і праворуч — β -твердого розчину компонента A в компоненті B . Гранична розчинність компонента B в A визначається лінією FD , а компонента A і B — лінією KE . Ці лінії називаються лініями граничної розчинності. Їх похиле положення свідчить про те, що границя взаємної розчинності даних компонентів залежить від

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 109

температури і змінюється від деякого мінімуму при нормальній температурі (точки F і K) до максимуму при підвищеній температурі (точки D і E).

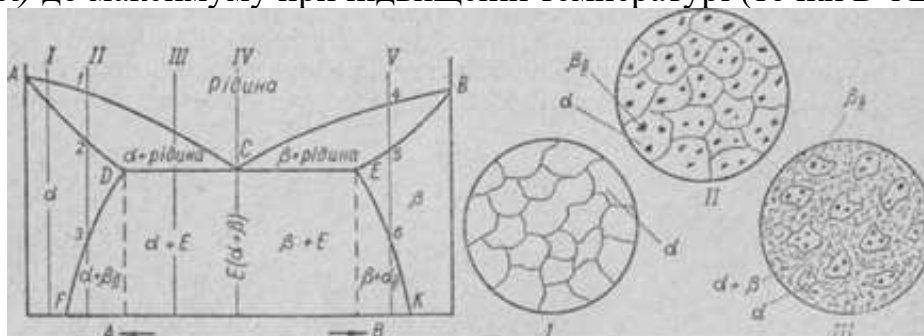


Рис. 3.5 Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів і їх мікроструктури

На діаграмі ACB — лінія ліквідуса, $ADCEB$ — лінія солідуса, DCE — лінія евтектичного перетворення, а точка C — евтектична точка.

Затвердіння сплавів з обмеженою розчинністю компонентів починається випаденням кристалів твердих розчинів. Тому між лініями ліквідуса і солідуса ліворуч від евтектичної точки вони складаються з кристалів α -твердого розчину і рідини, а праворуч — з кристалів β -твердого розчину і рідини.

Евтектичний сплав IV твердне при сталій температурі з утворенням евтектики — механічної суміші зерен твердих розчинів α і β . Відповідно, доевтектичні сплави в зоні до точки D складаються з надлишкових кристалів α -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$), а заевтектичні в зоні до точки E — з надлишкових кристалів β -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$).

Сплави, розташовані на діаграмі ліворуч від точки F після затвердіння складаються із зерен твердого розчину α , а праворуч від точки K — із зерен твердого розчину β . Процес затвердіння їх відбувається у відповідності з діаграмою стану для випадку необмеженої розчинності компонентів.

Деякі інших перетворень зазнають сплави II і V , розташовані в зонах обмеженої розчинності компонентів.

Затвердіння сплаву II починається в точці I виділенням кристалів α -твердого розчину. В точці 2 затвердіння сплаву закінчується утворенням однофазної структури із зерен твердого розчину α . Далше охолодження сплаву до точки 3 на лінії граничної розчинності FD не супроводиться ніякими перетвореннями. При температурі, що відповідає точці 3 , α -твердий розчин стає пересиченим, тому з нього виділяється надлишкова кількість компонента B у вигляді β -твердого розчину. Цей процес вторинної кристалізації триває до нормальної температури. Кристали β , що виділилися з твердого розчину α в результаті вторинної кристалізації, звичайно називають вторинними і позначають β_{II} на відміну від первісних β -кристалів (β_I), які виділяються з рідини по лінії CB діаграми стану.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 110

Процес затвердіння сплаву V відрізняється від описаного тим, що в точці 4 випадають кристали β -твердого розчину. В точці б на лінії граничної розчинності компонента A в компоненті B β -твердий розчин стає пересиченим компонентом A , тому він виділяється у вигляді α -твердого розчину (α_{II}).

Обмежена розчинність спостерігається серед великої кількості металів, а також і неметалів. Тому цей тип діаграми стану дуже поширений, а іноді входить як окремий елемент в діаграми стану багатьох сплавів.

Важлива особливість цих сплавів, що їх можна піддавати *зміцненню термічною обробкою*, оскільки в них є фазові перетворення в твердому стані. Якщо прискорити охолодження сплаву, то виділення атомів B із твердого розчину може і не встигати відбутись. Тому сплави зі змінною розчинністю другого компоненту піддають *гартуванню* (це нагрів вище лінії граничної розчинності і швидке охолодження, щоб не дати можливості атомам компоненту B виділитись з твердого розчину) і *старінню* (це нагрів отриманого перенасиченого твердого розчину до температур нижче критичних, щоб утворились дрібні кристалики другої фази). Після такої термообробки сплави стають значно міцніші: відбувається зміцнення дисперсійними частинками другої фази.

Сплавів з обмеженою взаємною розчинністю компонентів, що мають діаграму такого типу, є набагато більш, ніж сплавів з діаграмами перших двох видів. Приклади сплавів з обмеженою взаємною розчинністю: Al–Cu, Al–Si, Ag–Cu, Pb–Sn, Fe–C.

Діаграма стану сплавів, в яких утворюється хімічне з'єднання компонентів

Якщо компоненти сплаву A і B взаємодіють між собою з утворенням хімічної сполуки A_mB_n , то діаграма стану розглядається як дві окремі діаграми, для кожної із котрих хімічна сполука є одним із компонентів.

Хімічне з'єднання можна розглядати як нову складну речовину зі своєю власною кристалічною ґраткою, температурою плавлення та властивостями. При кристалізації сплаву хімічна сполука утворює свої кристали, які можуть змішуватись з кристалами вихідних компонентів або розчиняти в своїй кристалічній ґратці деяку їх долю.

Діаграми стану таких сплавів виглядають більш складними, ніж розглянуті раніш, але якщо уявно розділити («розрізати») діаграму по лінії, що відповідає складу хімічного з'єднання, то ліва і права частини опиняться уже відомими простими діаграмами.

На рис. 3.7 ліва частина діаграми (до хімічного з'єднання A_mB_n) являє собою вже відому діаграму з обмеженою розчинністю компонентів, а права – діаграму з повною відсутністю розчинності. Евтектика E_1 складається з кристалів твердого розчину α і хімічного з'єднання A_mB_n . Твердий розчин α – це розчин компоненту B в кристалічній ґратці компоненту A (або хімічного з'єднання A_mB_n в кристалічній ґратці компонента A). Під кривою граничної розчинності з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 111

твердого розчину виділяються кристали хімічного з'єднання. В правій частині діаграми евтектика E_2 будується з кристалів компоненту B і хімічного з'єднання A_mB_n .

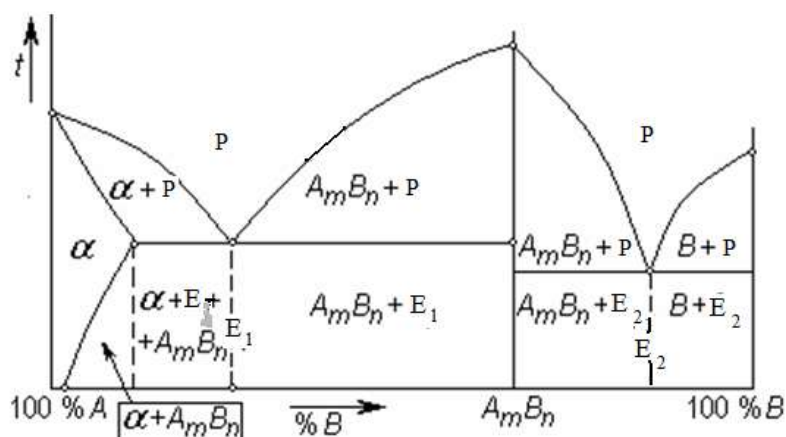


Рис. 3.7. Діаграма стану з хімічним з'єднанням

Таким чином, при аналізі діаграм стану можуть бути отримані відомості про структуру і властивості сплавів. Так, при сплавліванні компонентів в залежності від їх природи в сплавах можуть утворюватися різні кристалічні (тверді) фази – наприклад, тверді розчини і (або) хімічні з'єднання. Причому сплави одних і тих же компонентів, але різного складу (з різним процентним вмістом компонентів) можуть бути однофазними або двофазними. В сплавах, що складаються з одних і тих же двох фаз, їх кристали можуть комбінуватись в різні структурні складові, що відрізняються розмірами, формою та взаємним розташуванням зерен. І всі ці структурні фактори впливають на властивості сплавів.

Контрольні запитання до роботи

1. Що називають діаграмою стану сплавів і для чого їх використовують?
2. Який метод використовують для побудови діаграм стану подвійних сплавів? Охарактеризуйте його.
3. Що таке правило концентрацій і правило відрізків? Для чого використовують на практиці ці правила?
4. Який вигляд мають діаграми стану подвійних сплавів, компоненти яких повністю розчинні як в рідкому так і в твердому стані? Дайте назву ліній, що утворюють цю діаграму та опишіть процеси, що відбуваються в структурах сплавів при переході їх через ці лінії.
5. Який вигляд мають діаграми стану подвійних сплавів, компоненти яких повністю розчинні в рідкому і зовсім не розчинні в твердому стані? Дайте назву ліній, що утворюють цю діаграму та опишіть процеси, що відбуваються в структурах сплавів при переході їх через ці лінії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 112

6. Який вигляд мають діаграми стану подвійних сплавів, компоненти яких повністю розчинні в рідкому і обмежено розчинні в твердому стані? Дайте назву ліній, що утворюють цю діаграму та опишіть процеси, що відбуваються в структурах сплавів при переході їх через ці лінії.

7. Який вигляд мають діаграми стану подвійних сплавів, компоненти яких повністю розчинні як в рідкому і утворюють хімічне з'єднання в твердому стані? Дайте назву ліній, що утворюють цю діаграму та опишіть процеси, що відбуваються в структурах сплавів при переході їх через ці лінії.

8. Що називають ліквіацією? В яких сплавах вона може утворюватися?

9. Що таке евтектика? В яких сплавах вона утворюється. Які особливості має крива охолодження цього сплаву?

10. Які сплави називають до евтектичними і які – заевтектичними?

11. Який вигляд мають діаграми стану сплавів, що піддаються зміцненню термообробкою?

Джерела інформації

1. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Потітехніка», 2001. – с. 60-84.
2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 67-68.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: Оволодіти методикою визначення твердості металів методами Бринелля і Роквелла.

1. Завдання роботи:

- 1.1. Ознайомитися з методикою визначення твердості металів і конструкцією приладів Бринелля і Роквелла.
- 1.2. Скласти звіт.

2. Загальні положення і вказівки щодо виконання роботи

Твердістю називають здатність металу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла. Існує декілька способів визначення твердості металів, з яких найбільш поширеними є методи Бринелля і Роквелла

Метод Бринелля.

Методика визначення твердості за Бринеллем полягає в тому, що

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 113

користуючись спеціальним приладом (прес Бринелля) у випробуваній метал втискується сталеві кулька діаметром) із силою P протягом деякого часу T (рис. 1).

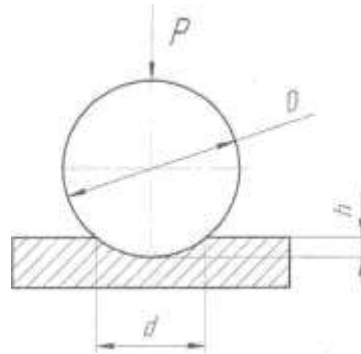


Рис. 1. Схема випробування за методом Бринелля

В результаті на поверхні металу утворюється відтиск діаметром d за величиною поверхні якого визначають значення твердості НВ. Процес вимірювання твердості складається з наступних етапів:

1. Підготовка зразків до випробування

Зразок повинен мати паралельні поверхні (випробовувану і опорну), очищені від окалини і корозії. Випробовувану поверхню необхідно обробити шліфувальною шкіркою, шліфувальним кругом чи напилком, при цьому зразок не повинен нагріватися вище $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мінімальна товщина зразка повинна бути не менше десятикратної глибини відтиску.

Прес Бринелля використовується тільки для визначення твердості незагартованих сталей і чавунів, кольорових металів і їх сплавів, тому при випробуванні матеріалів з великою твердістю кулька при втисканні буде деформуватися і отримаємо недостовірний результат.

2. Визначення діаметра кульки, величини сили навантаження і часу витримки

Для визначення твердості різних матеріалів використовують наконечники з кульками діаметром 10, 5 і 2,5 мм. Діаметр кульки вибирається у залежності від товщини випробовуваного матеріалу.

Отримане число твердості при різних рівних умовах визначається діаметром відтиску b (рис. 1). Останній тим менший, чим вища твердість і навпаки. Але при випробуванні одного і того ж матеріалу кульками різних діаметрів, порівняльні результати одержуються тільки тоді, коли використовується однакова ступінь напруження кульки, яка дорівнює відношенню сили навантаження до діаметра кульки, тобто:

$$K = \frac{P}{D^2}. \quad (1)$$

У цьому випадку витримується закон подібності між отриманими діаметрами відтисків. Для різних матеріалів встановлена наступна ступінь навантаження: для чорних металів $K = 30$; для твердих кольорових металів $K = 10$; для м'яких кольорових металів $K = 2,5$.

Таким чином, навантаження визначають у залежності від виду випробовуваного матеріалу з формули (1).

Вибір діаметра кульки A , величини навантаження P і часу витримки T виконують за табл. 1.

Таблиця 1

Матеріал	Твердість за Брінеллем	Мінімальна товщина вимірюваного матеріалу, мм	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D , мм	Діаметр кульки D , мм	Навантаження P на індентор, кН	Витримання під навантаженням, с
Чорні метали і сплави	130... 450	6...3 4...2 <2	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,960	10
	<140	>6 6...3	$P = 10D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	10
Кольорові метали і сплави	>140	>6	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	2,452	10
	140...450	6...3 4...2 <2	$P = 10D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,839	30
	35... 130	9...3 6...3	$P = 2,5D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	60

3. Підготовка твердоміра до випробувань

Схема твердоміра Брінелля приводиться на рис. 2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 115

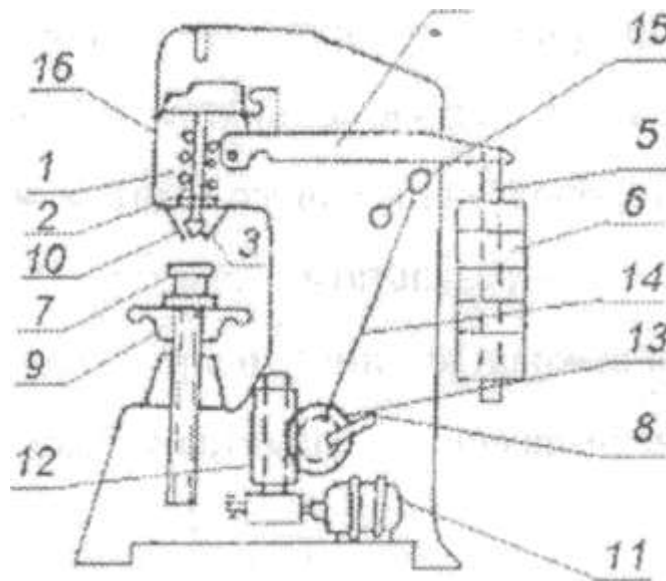


Рис. 2. Схема преса Бринелля

В тримачі 1 гвинтом 2 закріплено кульковий наконечник 3 і встановлюють необхідне навантаження P , яке створюється вагою важільної системи 4, підвісками 5 і змінними вагами 6. В залежності від форми випробовуємого зразка підбирають опорний столик 7. Вимірювання твердості плоских зразків проводять на плоскому столику, а циліндричних - на призматичному. Рухомий упор 8 встановлюють на потрібну витримку зразка під навантаженням. Потім маховиком 9 підводять зразок до кульки до упору в обмежувач 10. Центр кульки при цьому повинен знаходитись від краю зразка і від центра сусіднього відтиску на відстані не менше 2-х діаметрів кульки.

Натисканням кнопки включають електродвигун 11, який через черв'ячний редуктор 12, кривошипний вал 13 і шатун 14 відводить вниз ролик 15. При цьому дія навантаження P через систему важелів 4 передається кульковому наконечнику 3. Цей момент фіксується загоранням контрольної лампочки 16. Після відповідної витримки випробуваного зразка під навантаженням P проходить автоматичне переключення електродвигуна на зворотне обертання і ролик 15 переміщається вгору, повертаючи важелі у вихідне положення, контрольна лампочка гасне, електродвигун автоматично виключається. Столик приладу опускають маховиком 9 вниз і зразок знімають. За допомогою спеціальної лупи, на окулярі якої нанесена шкала з поділками, вимірюють діаметр відтиску в двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 3) і визначають його середнє значення.

Випробування одного зразка проводять двічі. Із двох отриманих вимірювань визначають середнє арифметичне значення діаметра відбитку, яке використовують для розрахунку твердості.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 116

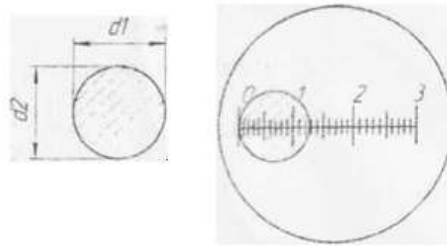


Рис. 3. Схема вимірювання діаметра відтиску за допомогою лупи
Число твердості за Бринеллем HV характеризується відношенням навантаження до площі відтиску:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ МН}/(\text{м}^2 \text{ кгс}/\text{мм}^2). \quad (2)$$

Для того, щоб уникнути довгих обчислень на практиці користуються готовою таблицею, в якій у залежності від діаметра відбитку дається вже підрахована твердість (табл. 3).

За величиною твердості можна судити про міцність металу, тобто між числом твердості HV і межею міцності при розтягуванні існує наступна залежність

Сталь з твердістю HV 120... 175 $\sigma_B = 0,34 HV$ (3)

Сталь з твердістю HV 175...450 $\sigma_B = 0,35 HV$ (4)

Сірий чавун: $\sigma_B = (HV - 40)/6$ (5)

Мідь, латунь, бронза:

- вілпалена $\sigma_R = 0,55 HV$ (6)

- наклепана $\sigma_B = 0,407/5$ (7)

Алюміній та алюмінієві сплави з твердістю HV 20...45 $\sigma_{TB} = (0,33...0,36)HV$ (8)

Дюралюміній:

- вілпалений $\sigma_B = 0,3 6HV$ (9)

- після гартування і старіння $\sigma_B = 0,35HV$ (Ю)

Метод Роквелла

Визначення твердості методом Роквелла виконується втисканням у випробовуємий зразок алмазного конуса та загартованої кульки діаметром 1,59 мм (1/16"). Алмазний конус використовують для випробування дуже твердих матеріалів, а сталева кулька - для більш м'яких.

За методом Роквелла твердість вимірюється глибиною відбитку. Схема випробування зображена на рис. 4.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 117

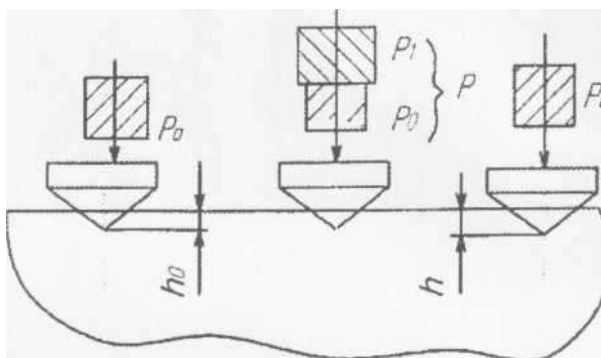


Рис. 4. Схема випробування твердості за методом Роквелла

З початку здійснюється попереднє навантаження $P_0 = 98 \text{ Н}$ (10 кгс), щоб забезпечити тійний контакт наконечника з випробуваним талом поверхня якого має нерівномірності, окисли та інші включення, порушуючи точність вимірювань. Під навантаженням P_0 наконечник заглиблюється у зразок на глибину h_0 . Потім подається повне навантаження $P = P_0 + P_1$ і глибина втискування збільшується. Після зняття основного навантаження P_1 , коли на наконечник знову діє тільки попереднє навантаження P_0 , глибина втискування визначає твердість за Роквеллом, яку позначають символом HR.. Відлік числа твердості проводять за допомогою показників індикатора, де за годинниковою стрілкою нанесенні три шкали — «С» і «А» (чорні) і «В» (червона).

За шкалами «С» і «А» визначають твердість при випробовуванні конусом, а за шкалою «В» - кулькою.

При втисканні наконечника стрілка індикатора рухається проти годинникової стрілки і відхилення на одну поділку шкали відповідає глибині занурення наконечника на 0,002 мм (2 мкм).

Тому чим більша глибина втискування - тим менше число твердості НЯ і навпаки. Твердість за шкалами «С» і «А» не має перевищувати числа поділок шкали (100 поділок), а при вимірюванні за шкалою «В» твердості м'яких матеріалів стрілка може вийти за межу 100 поділок (вимірювання проводять до числа 130).

Таким чином числа твердості за Роквеллом являють собою безрозмірну величину, пов'язану з глибиною відтисків формулами:

$$HRC = 100 - \frac{(h-h_0)}{0,002} \quad (11)$$

$$HRB = 130 - \frac{(h-h_0)}{0,002} \quad (12)$$

Процес вимірювання твердості на приладі Роквелла складається із наступних етапів:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 118

1. Підготовка зразків до випробувань.

Підготовка зразків до випробувань проводиться як і для випробувань на прикладі Бринелля. Мінімальна товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини відтиску. Відстань від центру відтиску до краю зразка або до центра іншого відтиску повинна бути не менша 1,5 мм при втисканні конуса і не менша 4 мм при втисканні кульки.

2. Визначення виду наконечника, навантаження і шкали твердості.

При вимірюванні твердості загартованих сталей і твердих сплавів використовують алмазний конусний наконечник і загальне навантаження $P = 1470$ Н (150 кгс). Відлік чисел твердості в цьому випадку проводиться за шкалою „С”, Допускається використання конусних наконечників з твердих металокерамічних сплавів (ВК) при твердості зразка НЯС до 50. При вимірюванні твердості м'яких металів (не загартованих сталей, кольорових металів їх сплавів) використовують кульковий наконечник і загальне навантаження $P = 981$ Н (100 кгс). Відлік чисел твердості в цьому випадку проводиться за шкалою „В” (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення виду наконечника, навантаження і шкали твердості

Шкала	Позначення чисел твердості	Індентор	Навантаження на індентор, кН (кгс)	Границя вимірювання в одиницях твердості	Випробувальні матеріали
A	HRA	Алмазний конус	0,59 (60)	70...85	Твердосплавні матеріали
B	HRB	Кулька $D = 1/16"$	0,98 (100)	25... 100	Сплави в знеміцненому стані
C	HRC	Алмазний конус	1,47 (150)	20... 67	Сплави в зміцненому стані

3. Підготовка твердоміра і випробування твердості.

Схема твердоміра наведена на рис. 5.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 119

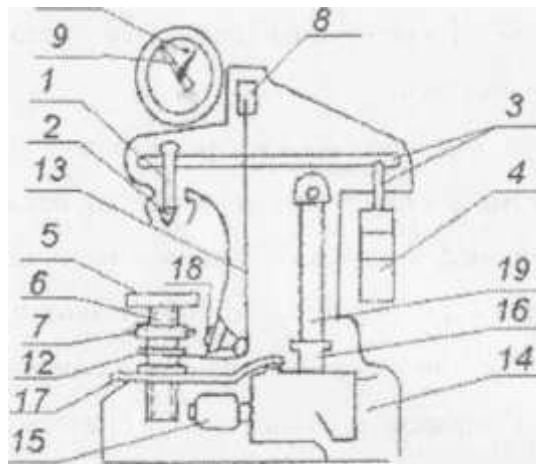


Рис. 5. Схема твердоміра Роквелла

У шпинделі 1 закріплюють наконечник 2 і встановлюють необхідне навантаження P , яке створюється важільною системою 3 і змінними вагами 4. В залежності від форми випробовуемого зразка вибирають опорний столик 5, який встановлюють на підёмному гвинті 6.

Встановивши зразок на опорному столику, обертанням маховика 7, наближають його до наконечника 2 і продовжуючи плавні обертання маховика, надають наконечнику попереднє навантаження 98 Н (10 кгс). Потрібна величина попереднього навантаження буде в той момент, коли на циферблаті індикатора 8 мала стрілка 9 встановиться проти червоної крапки 10. Потім встановлюють нуль шкали «С» навпроти великої стрілки 11, обертаючи шкалу індикатора за допомогою барабана 12 і троса 13. Весь процес випробовування здійснюється приводом 14, який працює від електродвигуна 15. Привод складається із черв'ячного редуктора і кулачка 16, профіль якого розрахований на проведення випробовування з циклом 5 секунд. Після закінчення циклу роботи приладу.

Цикл випробовування проходить наступним чином. При включеному електродвигуні натискають на клавішу 17 і включають в роботу кулачок 16. Обертаючись, кулачок через шток 19 опускає важільну систему 3. Прикладаючи тим самим навантаження до наконечника 2, при повороті кулачка на один оберт шток повертається в початкове положення і знімає з наконечника прикладене навантаження, після чого автоматично вимикається.

Цифра, напроти якої зупиняється стрілка (відлік потрібно вести за тією шкалою, яка вибрана для вимірювання твердості), показує число твердості за Роквеллом. Обертанням маховика 7 змінюють попереднє навантаження, опускають столик і беруть зразок. Випробовування потрібно проводити не менш ніж три рази на одному зразку і приймати середнє значення твердості.

Порівняння чисел твердості за Роквеллом і Бринеллем наводиться в табл. 3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	

Таблиця 3

Визначення та співвідношення значень твердості, що визначалася на різних твердомірах

Твердомір						
Брінелля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Сталева кулька D = 10 мм		Алмаз-	Кулька I) = 1/16"	Алмаз-	Алмазна піраміда	Сталелеви й бойок
		НПП ко*		нуе		
Діаметр відбит- ка, мм	Шкала					
	НВ	НРА	HRB	HRC	HV	HSh
2.20	780	89	-	72	1224	99
2,25	745	87	-	70	1116	97
2.30	712	86	-	68	1022	95
2,35	682	85	-	66	941	93
2.40	653	84	-	64	868	88
2,45	627	83	-	62	804	85
2.50	601	82	-	60	746	81
2,55	578	81	-	58	694	78
2.60	555	79	-	56	649	75
2.65	534	78	-	54	606	72
2,70	514	77	-	52	587	70
2.75	495	76	-	50	551	68
2,80	47 і	76	-	49	534	66
2.85	461	75	-	48	502	64
2,90	444	74	-	46	473	61
2.95	429	73	-	45	460	59
3.00	415	72	-	44	435	57
3.02	409	72	-	43	423	55
3.05	401	71	-	42	412	53
3.10	388	71	-	41	401	52
3,15	375	70	-	40	390	50
3.20	363	70	-	39	380	49
3,25	352	69	-	38	361	47
3.30	341	68	-	37	344	46
3,35	331	68	-	36	335	45
3.40	321	67	-	36	320	44
3,45	311	67	-	34	312	42
3.50	302	67	-	33	305	41
3,55	293	66	-	31	291	40
3.60	286	66	-	30	285	—
3,65	277	65	-	29	278	—
3,70	269	65	-	28	272	—

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 121

Продовження таблиці 3

Твердомір						
Брінелля	Роквелла			Віккерса	Шора	
Індентор						
Сталева кулька $D = 10$ мм	Алмазний конус	Кулька $D =$	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Стале- йок	
Діаметр відбит- ка, ш	Шкала					
	НВ	НРА	HRB	HRC	HV	HSh
3,76	262	64	—	27	261	—
3,80	255	64	—	26	255	—
3,85	248	63	—	25	250	—
3,90	241	63	100	24	240	—
3,95	235	62	99	23	235	—
4,00	228	62	98	22	226	—
4,05	223	61	97	21	221	—
4,10	217	61	97	20	217	—
4,15	212	60	96	19	213	—
4,20	207	60	95	18	209	—
4,25	202	59	94	16	201	—
4,30	196	58	93	15	197	—
4,35	192	58	92	15	190	—
4,40	187	57	91	■	186	—
4,45	183	56	89	—	183	—
4,50	179	56	88	—	177	—
4,55	174	55	87	—	174	—
4,60	170	—	86	—	171	—
4,65	166	—	85	—	165	—
4,70	163	—	84	—	162	—
4,75	159	—	83	—	159	—
4,80	156	—	82	—	154	—
4,85	153	—	81	—	152	—
4,90	149	—	80	—	149	—
4,95	146	—	78	—	147	—
5,00	143	—	76	—	144	—
5,05	140	—	76	—	—	—
5,10	137	—	75	—	—	—
5,15	134	—	74	—	—	—
5,20	131	—	72	—	—	—
5,25	128	—	71	—	■	—
5,35	126	—	69	—	—	—
5,30	124	—	69	—	—	—
5,40	121	—	67	—	—	—
о,4о	118	—	66	—	—	—
5,50	116	—	65	—	—	—
5>56	114	—	64	—	—	—
5,60	112	—	62	—	—	—
5.65	109	—	61	—	—	—
5,70	107	—	59	—	—	—
5,75	105	—	58	—	—	—

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1 Арк 166 / 122	

Продовження таблиці 3

Твердомір						
Брінелля		Роквелла		Віккерса	Шора	
Індентор						
Сталева кулька $D = 10$ мм		Алмазний конус	Кулька $D = 1/16$ "	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
Діаметр відбитка, мм	Шкала					
	НВ	НРА	НВВ	НRC	НV	НSh
5,80	103	—	57	—	—	—
5,85	101	—	56	—	—	—
5,90	99	—	54	—	—	—
5,95	97	—	53	—	—	—
6,00	96	—	52	—	—	—
6,10	92	—	49,5	—	—	—
6,20	88	—	47	—	—	—
6,36	84	—	43,5	—	—	—
6,48	80	—	40,5	—	—	—
6,56	78	—	38,5	—	—	—

Контрольні питання

1. Що таке твердість і які способи її визначення?
2. Поясніть будову і принцип дії преса Брінелля.
3. Як вибирають режим випробовування для визначення твердості на прикладі Брінелля?
4. Викладіть послідовність визначення твердості за Брінеллем.
5. Поясніть будову і принцип дії преса Роквелла.
6. Вкажіть призначення шкал „В” і „С” на пресі Роквелла і типи наконечників, які при цьому використовуються, а також величину загального навантаження для кожної з указаних шкал.
7. Які вимоги ставляться до виробів і зразків, які піддаються випробовуванню на пресі Роквелла?
8. В якій послідовності проводиться визначення твердості на пресі Роквелла?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

АНАЛІЗ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи - Вивчити фазовий склад залізовуглецевих сплавів; лінії, точки і області діаграми; навчитися аналізувати перетворення у сплавах залежно від вмісту вуглецю і температури; використовувати правило фаз (закон Гіббса) і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 123

правило відрізків, будувати криві нагрівання і охолодження для заданої концентрації вуглецю у сплаві з аналізом перетворень

Обладнання та матеріали: діаграма стану залізовуглецевих сплавів, кристалічні ґратки, лінійки

4.1 Загальні відомості

Серед металевих матеріалів у машинобудуванні найбільш широко використовуються сплави заліза з вуглецем - сталі та чавуни (на 90% від загальної кількості матеріалів). Визначити структури цих сплавів у стані рівноваги, температури фазових перетворень, вибрати температуру термічної обробки дозволяють метастабільна діаграма стану “залізо-цементит” ($Fe-Fe_3C$) та стабільна діаграма стану “залізо-вуглець” ($Fe-C$).

4.1.1 Компоненти, фази та структурні складові залізовуглецевих сплавів

Компоненти - хімічні елементи залізо і вуглець, що утворюють сплави даної системи.

Залізо - метал з температурою плавлення $1539^{\circ}C$ (крива охолодження чистого заліза показана на рис. 4.1). Атомний радіус 0,127 нм. Залізо поліморфне. Нижче $911^{\circ}C$ має ОЦК ґратку з параметром 0,286 нм при $20^{\circ}C$, в інтервалі $1392...1539^{\circ}C$ – 0,293 нм. Заповнення об'єму ґратки атомами на 68%. Низькотемпературна модифікація позначається Fe_{α} , високотемпературна Fe_{δ} . В інтервалі температур $911...1392^{\circ}C$ існує Fe_{γ} з ГЦК ґраткою, параметри якої 0,3645 нм, заповнення об'єму ґратки атомами на 74%. Між атомами заліза існує металевий тип зв'язку. Нижче $768^{\circ}C$ Fe_{α} феромагнітне, Fe_{γ} - парамагнітне. Чисте залізо – метал сріблястого кольору, порівняно м'який і пластичний, з густиною $\gamma = 7,86 \text{ г/см}^3$. Міцність заліза складає $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$, твердість НВ 60...80, пластичність $\delta = 45 \%$.

Залізо характеризується низькими рівнями міцності, твердості та високою пластичністю ($\sigma_B = 150...200 \text{ МПа}$; НВ 60...70; $\delta = 50...60 \%$).

Вуглець - неметал з температурою плавлення $3600^{\circ}C$, атомним радіусом - 0,077 нм. Має дві модифікації: стабільну - у вигляді графіту та метастабільну - у вигляді алмазу. У звичайних умовах він знаходиться у вигляді модифікації графіту. Вуглець розчиняється в залізі у рідкому і твердому станах, а також може знаходитися у вигляді хімічної сполуки Fe_3C – **цементиту**, а у високовуглецевих сплавах і у вигляді **графіту**.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 124

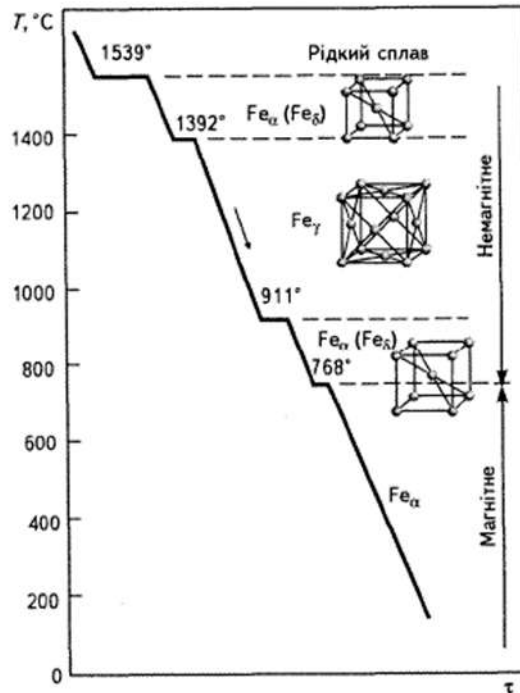


Рис. 4.1 Крива охолодження чистого заліза

В Fe -C сплавах розрізняють фази: рідкий розчин (P) , ферит (Ф) , аустеніт (А) , цементит (Ц) і графіт (Г) .

Крім зазначених фаз в сплавах системи Fe –C присутні ще дві структурні складові: ледебурит (Л) і перлит (П).

Ферит - твердий розчин втілення атомів вуглецю в ОЦК гратці заліза. Розрізняють низькотемпературний α -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,02% при 727°C та високотемпературний δ -ферит (0,1 %C при 1499°C). Низька розчинність вуглецю у фериті обумовлена малим радіусом порожнин в ОЦК гратці (0,037 нм). Механічні властивості фериту: $\sigma_B=200...250$ МПа; $\delta=40...50\%$; HB80...90.

Аустеніт - твердий розчин втілення атомів вуглецю в **Fe_γ** (ГЦК гратці), радіус міжатомних порожнин дорівнює 0,052 нм. Цим обумовлена підвищена, порівняно із феритом, розчинність вуглецю в аустеніті - 2,14 % при 1147°C. Аустеніт має наступні механічні властивості: $\delta = 50...60 \%$; HB 160...200. Фаза в'язка, парамагнітна.

Тверді розчини втілення, крім вуглецю, можуть утворювати азот і водень (атомні радіуси 0,072нм та 0,0056 нм, відповідно), частково бор, а тверді розчини заміщення – кремній, марганець, хром, нікель, молібден, вольфрам і інші метали.

Цементит - хімічна сполука **Fe₃C**, що містить 6,67%C. Гратка - складна ромбічна, характеризується металевим зв'язком між атомами заліза та ковалентним – між залізом і вуглецем. Тому цементит має високу твердість (HB³800), крихкість і практично нульову пластичність.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 125

Цементит - метастабільна фаза і у високовуглецевих сплавах (>2,14 %С) при дуже повільному охолодженні замість нього може утворюватися графіт.

Графіт - стабільна модифікація вуглецю, має складну гексагональну кристалічну ґратку. Відстань між атомами в одному шарі складає 0,1415 нм, між шарами - значно більше - 0,34 нм. У першому випадку зв'язок реалізується за рахунок ковалентних сил, у другому – за рахунок слабких Ван-дер-ваальсовських. Густина графіту 2,26 г/см³. Твердість 3...5 НВ, значна крихкість, пластичність практично відсутня.

Ферит, аустеніт, цементит можуть існувати у сплавах в структурно вільному стані або входити до складу ледебуриту чи перліту.

Ледебурит - евтектична фазова суміш цементиту та аустеніту в інтервалі температур 1147...727°C, перліту і цементиту – при температурах нижче 727°C. Середній вміст вуглецю в ледебуриті 4,3%. Ледебурит утворюється в залізовуглецевих сплавах, що містять більше 2,14 %С. Ледебурит містить 64 % цементиту, тому він твердий (НВ≥600) та крихкий.

Перліт - евтектоїдна фазова суміш фериту і цементиту, що містить 0,8%С. Властивості перліту залежать від дисперсності ферито-цементитної суміші та форми цементиту. Грубо пластинчастий перліт має властивості: $\sigma_B = 500...600$ МПа; $\delta = 8...15$ %; НВ 160...250. Більш дисперсний перліт має більшу міцність та меншу пластичність.

4.1.2 Метастабільна діаграма Fe-Fe₃C

Складність діаграми **Fe-Fe₃C** (рис. 4.2) зумовлена тим, що у залізовуглецевих сплавах, окрім первинної кристалізації (рідина→тверда фаза) відбуваються процеси вторинної кристалізації в твердому стані, які пов'язані з поліморфними перетвореннями заліза та зменшенням розчинності вуглецю у фериті та аустеніті.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідно ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 126

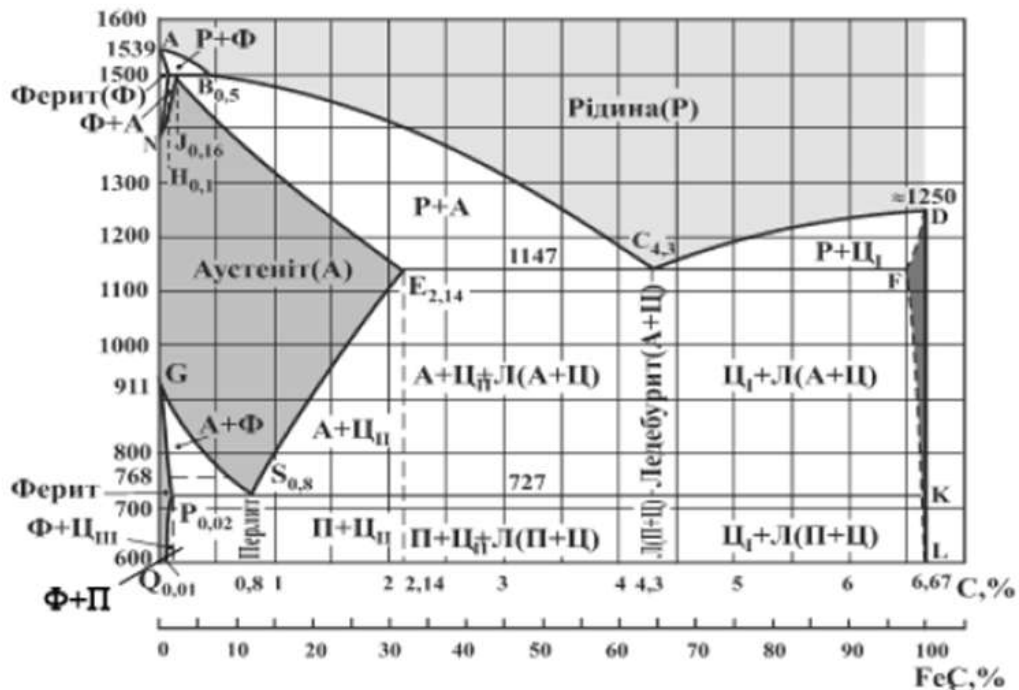
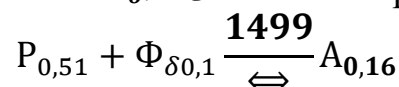


Рисунок 4.2 - Метастабільна діаграма стану $Fe-Fe_3C$

Точки та лінії діаграми. Точки на діаграмі визначаються температурою та концентрацією вуглецю. Точка **A** (1539°C, 0% C) - температура кристалізації (плавлення) заліза, точка **D** (1250°C, 6,67% C) - цементиту. Точки **N** (1392°C, 0% C) та **G** (911 °C, 0% C) – температури поліморфного перетворення в залізі. Інші точки діаграми будуть охарактеризовані при розгляді фазових та структурних перетворень у різних сплавах.

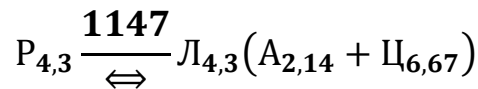
Лінії діаграми - це геометричне місце точок, що характеризують хімічний склад фаз, які знаходяться у рівновазі, температури початку та кінця фазових перетворень. З теорії кристалізації відомо, що перехід від рідкого стану в твердий відбувається не при температурі рівноваги T_0 для цих фаз, а при деякому переохолодженні ΔT . Тому далі при розгляді перетворень, що проходять в реальних умовах буде матися на увазі, що вони відбуваються при деякому переохолодженні (перегріванні) відносно температур рівноваги.

Первинна кристалізація. За лінією ліквідусу **ABCD** починається кристалізація з рідкої фази: δ -фериту Φ_δ (**AB**), аустеніту **A** (**BC**) та цементиту первинного Ц_I (**CD**). Лінія **AN** - температурна межа двофазної зони “рідина+ Φ_δ ”, нижче цієї лінії - однофазна зона Φ_δ . **НJB** – лінія перитектичного перетворення:



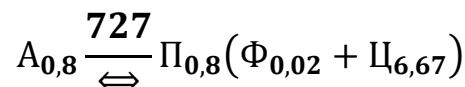
Лінія **JE** - температурна межа двофазної зони **P+A**, кінець кристалізації аустеніту; нижче цієї лінії - однофазна зона аустеніту. **ESF** - лінія евтектичної рівноваги з утворенням нижче 1147° ледебуриту:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 127



Вторинна кристалізація. Лінія **NH** та **NJ** - температури початку та кінця поліморфного перетворення δ -фериту в аустеніт у стопах до 0,16% С. У стопах із 0,16...0,51 %С це перетворення відбувається при постійній температурі 1499°C. Лінії **GS** та **GPS** - температури початку та кінця поліморфного перетворення $A \rightleftharpoons F$, яке відбувається в інтервалі температур при безперервному охолодженні в стопах із вмістом вуглецю до 0,8 %.

PSK - лінія евтектоїдного перетворення $A \rightarrow P$ при постійній температурі в сплавах із 0,02...6,67 % С за реакцією:



При переохолодженні нижче 727°C з аустеніту евтектоїдної концентрації (0,8 %С) утворюється перліт – фазова суміш F і C .

Лінії **ES** та **PQ** - лінії граничної розчинності вуглецю в аустеніті та фериті, відповідно. У зв'язку зі зменшенням (збільшенням) вмісту вуглецю в цих фазах при охолодженні (нагріванні) лінії **ES** та **PQ** відповідають початку утворення (кінцю розчинення) цементиту вторинного в аустеніті та третинного - у фериті.

Правило фаз

Загальні закономірності співіснування стійких фаз в умовах рівноваги описуються правилом фаз (законом Гіббса) у вигляді:

$$C = K - \Phi + n \quad (4.1)$$

де: C – кількість ступенів вільності (варіантність) системи;

K – кількість компонентів;

n - кількість зовнішніх факторів, що впливають на рівновагу систему- це температура й тиск ($n=2$);

Φ - кількість фаз.

При розгляді металевих систем тиск практично є сталим, то із зовнішніх факторів враховується лише температура і правило фаз матиме вигляд:

$$C = K - \Phi + 1 \quad (4.2)$$

Кількість ступенів вільності системи – це кількість зовнішніх і внутрішніх факторів (температури, тиск, концентрація), які можна змінювати, не порушуючи фазової рівноваги системи, тобто кількості фаз. Якщо $C = 0$ - система *нваріантна*, то не можна змінити жодного фактора, не порушуючи її рівноваги. При $C = 1$ - система *моноваріантна* (одноваріантна), тобто можна змінити, в певних межах, один із факторів – температуру, не порушуючи рівновагу системи. При $C = 2$ – система *двоваріантна* і рівновага не порушується при зміні двох факторів (температура, концентрація) в певних межах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 128

Таким чином, якщо кількість ступенів вільності $C = 0$ для двокомпонентних сплавів, то в рівновазі перебувають три фази, це лінії постійних температур, якими є горизонтальні лінії (HJE, ECF і PSK на рис. 4.3, а). При цих температурах кількість ступенів вільності $C = 2+1-3 = 0$, тобто перетворення відбувається при постійній температурі, а на кривих охолодження (нагрівання) буде горизонтальна ділянка (рис. 4.3, б - ділянка 4-4, а на рис. 4.3, в ділянка 7-7).

Якщо $C = 1$, то фазові перетворення супроводжуються зміною температури. На кривій охолодження (нагрівання) буде перегин зі зміною швидкості охолодження при зміні температури за рахунок виділення (поглинання) теплоти внаслідок перетворення.

При $C = 2$ фазові перетворення не відбуваються, сплав охолоджується (нагрівається) з певною швидкістю (більшою ніж при перетвореннях) без зміни фазового складу (рис. 4.3 б, ділянки 0-1 і 2-3)

Правило відрізків

Для аналізу перетворень і визначення фазового складу сплаву, концентрацію компонентів у кожній із двох фаз, кількісного співвідношення та вміст фаз у сплаві при заданій температурі використовують правила відрізків.

Наприклад, застосовуючи перше правило відрізків можна визначити концентрацію компонентів у відповідних фазах, з яких складається сплав з концентрацією K_2 , при заданій температурі в точці b

Для цього через точку b (див. рис. 4.3, а) проводять горизонтальну лінію «каноду» до перетину її з лініями ABC і JE, що обмежують зону діаграми Fe — Fe₃C, отримавши на них точки a і c. Проекція точки b на вісь концентрації покаже вміст вуглецю в сплаві K_2 , проекція точки a — вміст вуглецю в аустеніті, а проекція точки c — в рідкій фазі (L) при заданій температурі. Змінивши температуру сплаву K_2 , зміниться концентрація вуглецю у відповідних фазах (аустеніті і рідкій фазі).

Щоб визначити кількісне співвідношення аустеніту і рідкої фази у точці b застосовують друге правило відрізків (важеля). Для цього потрібно взяти співвідношення відрізків ab і bc, співвідношення довжини цих відрізків зворотно пропорційно кількості відповідних фаз при заданій температурі у сплаві K_2 :

$$\frac{ab}{bc} = \frac{L}{A}, \quad (4.3)$$

або кількість аустеніту A за рівнянням:

$$A = \frac{bc}{ac}, \quad (4.4)$$

а кількість рідкої фази L за рівнянням:

$$L = \frac{ab}{ac}. \quad (4.5)$$

Методичні рекомендації для аналізу перетворень у залізовуглецевих сплавах

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 129

1. Кожна лінія на діаграмі визначає початок або кінець перетворення, а горизонтальні (лінії характерних перетворень HJB, ECF і PSK) – початку і кінця перетворення яке відбувається при постійній температурі.

2. Наявність областей однофазного стану:

- а) вище лінії ABCD – рідка фаза (P);
- б) HJNH – область високотемпературного фериту Fe δ (C);
- в) GPQG – область низькотемпературного фериту Fe α (C);
- г) DFKL – лінія цементиту;
- д) NJESGN – область аустеніту

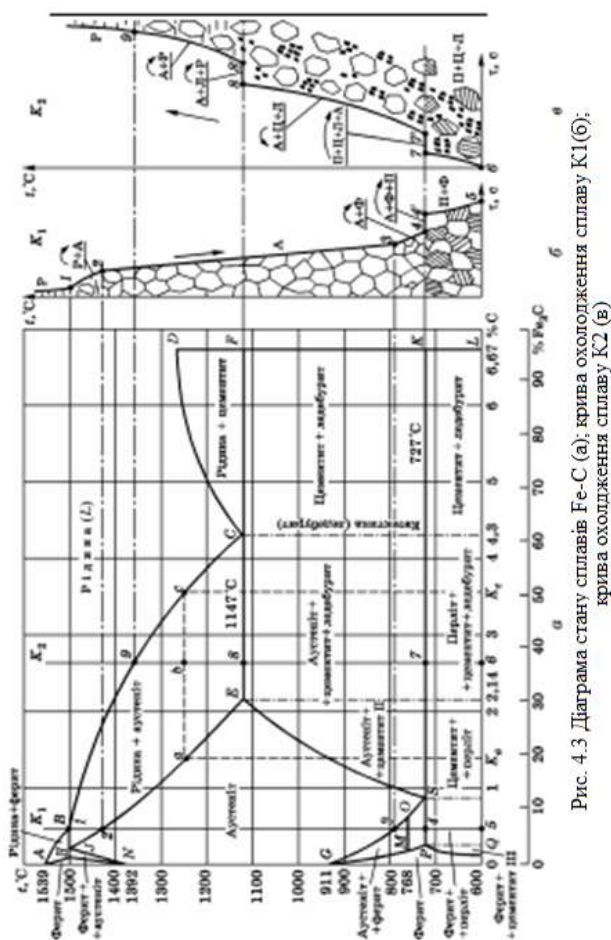


Рис. 4.3 Діаграма стану сплавів Fe-C (а); крива охолодження сплаву K1 (б); крива охолодження сплаву K2 (в)

3. Визначення фаз у двофазних областях ANBA, HNJ, BCEJB, CD, CPSG здійснюють таким чином: береться будь-яка точка в даній області і через неї проводиться горизонтальна лінія. Фази які будуть у сусідніх однофазних областях і будуть у заданій двофазній області.

4. Трифазний стан сплавів буде лише на горизонтальних лініях, де перетворення відбувається при постійній температурі:

- HJB – ферит (ф) + рідкий сплав (р) + аустеніт(A);
- ECF – аустеніт + рідина + цементит;
- PSK – ферит + аустеніт + цементит

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 130

5. Двофазні структури будуть у таких частинах діаграми:

а) ледебурит – нижче лінії ECF евтектичного перетворення при концентраціях 2,14%...6,67%С. При температурах від 727 до 1147°C ледебурит являє механічну суміш аустеніту і цементиту, а нижче 727°C ледебурит – суміш перліту і цементиту;

б) перліт – нижче лінії PSK при концентраціях 0,76...6,67%С.

6. Будь-яке перетворення характеризується поглинанням зовнішньої теплоти при нагріванні і її виділення при охолодженні. Тобто температура при нагріванні і охолодженні при перетворенні однієї фази в іншу, змінюється повільніше ніж при відсутності перетворення. Криві охолодження і нагрівання при цьому матимуть менший кут нахилу до осі температури.

Якщо перетворення відбувається з переходом однієї фази в дві, або навпаки, тобто одночасно існує три фази, процес проходить при постійній температурі, а на кривій нагрівання чи охолодження буде горизонтальна площадка.

Приклади аналізу перетворень у залізвуглецевих сплавах.

Приклад 1. Проаналізувати перетворення у сплаві заліза з вуглецем концентрації K_1 з використанням правила фаз (рис.4.3). Побудувати криву охолодження сплаву, вказавши на ній позначення фаз і структур та напрям перетворень.

При охолодженні сплаву до т. 1 він знаходиться у рідкому стані ($\Phi=1$) і перетворення не відбувається. Крива охолодження 0-1 (див. рис. 4.3, б) йде круто вниз. Число ступенів вільності $C = 2 - 1 + 1 = 2$. Система має два ступені вільності. На цій ділянці можна змінювати температуру і концентрацію (у певних межах), не змінюючи стану сплаву (сталь буде у рідкій фазі).

На ділянці 1 - 2 з рідини виділяються кристали аустеніту, тобто є дві фази $\Phi=2$. Крива охолодження 1-2 йде більш похило, оскільки процес супроводжується виділенням внутрішньої теплоти. У т. 1 починається, а в т. 2 закінчується виділення аустеніту. Число ступенів вільності на ділянці 1 - 2 $C_{1-2} = 2-2 + 1 = 1$. Система *одноваріантна*, тобто перетворення рідкої фази в аустеніт відбуватиметься при зміні (зниженні) температури. Якщо температуру в цій області підтримувати постійною, то перетворення не відбуватиметься, тобто сталь буде в стані, відповідному цій температурі на ділянці 1 - 2. Спочатку виділяється аустеніт із вмістом вуглецю, меншим, ніж у вихідному сплаві. Ближче до т. 2 виділяється аустеніт з більшим вмістом вуглецю. У т. 2 закінчується перетворення рідкої сталі в аустеніт, з вихідною концентрацією вуглецю в сталі.

На ділянці 2 - 3 немає перетворень і відбувається охолодження аустеніту($\Phi=1$). За правилом фаз $C_{2-3} = 2 - 1 + 1 = 2$, тобто система *двоваріантна*.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 131

На ділянці 2-3 можна змінювати (у певних межах) температуру і концентрацію, зберігаючи аустенітний стан.

На ділянці 3 - 4 відбувається перетворення частини аустеніту у ферит (починається в т. 3 і закінчується в т. 4). Існує дві фази ферит і аустеніт ($\Phi=2$). Число ступенів вільності для ділянки $C_{3-4} = 2 - 2 + 1 = 1$. Система *одноваріантна*, тобто перетворення аустеніту у ферит (наявність двох фаз) відбувається із зміною (пониженням) температури. На ділянці 3 - 4 кривої охолодження температура падає повільніше за рахунок перетворення.

У т. 4 на лінії PSK відбувається перетворення аустеніту в перліт. При цій температурі одночасно існують ферит, аустеніт і перліт (ферит + цементит), тобто є три фази (ферит, аустеніт, цементит). Число ступенів вільності $C_{4-4'} = 2 - 3 + 1 = 0$. Таким чином, система *безваріантна*, тобто не можна змінювати ні один параметр для збереження сплаву у трифазному стані. Отже, перетворення аустеніту в перліт відбуватиметься при постійних температурі (727°C) і концентрації елементів (0,76%С) у структурних складових. Тому на кривій охолодження сплаву концентрації K_1 ділянка 4 - 4' (рис. 4.3, б) горизонтальна ділянка. Перетворення аустеніту в перліт починається в т. 4 і закінчується в т. 4' (на кривій охолодження).

На ділянці 4' - 5 маємо ферит і перліт ($\Phi+\Pi$). Число фаз -2 (ферит і цементит). Число ступенів вільності $C_{4'-5} = 2 - 2 + 1 = 1$, тобто на ділянці 4' - 5 при охолодженні відбувається виділення цементиту (третинного) з фериту за рахунок зменшення розчинності вуглецю у фериті. Такий цементит дуже дрібний і невидимий в оптичному мікроскопі.

Приклад 2. Проаналізувати перетворення при нагріванні чавуну з концентрацією K_2 (рис.4.3, а) з використанням правила фаз. Нарисувати криву нагрівання сплаву, вказавши фази і структури та напрями перетворень. Визначити концентрацію компонентів у фазах і вміст фаз при температурі t .

При температурі до лінії PSK структура чавуну перліт + цементит + ледебурит ($\Pi+\Pi+\text{Л}$).

Перліт ($\Phi + \Pi$) і ледебурит ($\Pi + \text{Ц}$) мають дві фази ($\Phi=2$)- ферит і цементит. Тому число ступенів вільності для ділянки кривої 6-7 (див. рис. 4.3, в) $C_{6-7} = 2 - 2 + 1 = 1$. Оскільки $C_{6-7} = 1$, то в інтервалі температур 6 - 7 буде перетворення. Тут відбувається часткове перетворення цементиту у ферит у зв'язку із збільшенням розчинності вуглецю у фериті при нагріванні до лінії PSK (727°C). Крива нагрівання на ділянці 6 - 7 (рис. 4.3, в) буде йти дещо похиліше.

У т. 7 (лінія PSK) відбувається перетворення перліту ($\Phi+\Pi$) в аустеніт. У чавуні в т. 7 будуть структури перліт ($\Phi+\Pi$), ледебурит ($\Pi+\text{Ц}$), цементит. Тобто маємо три фази($\Phi=3$) - ферит, цементит і аустеніт. За правилом фаз на ділянці

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 132

кривої 7-7' $C_{7-7} = 2 - 3 + 1 = 0$. При $C_{7-7} = 0$ перетворення перліту в аустеніт відбуватиметься при постійній температурі (727°C) і ділянка 7-7' кривої горизонтальна.

При нагріванні між лініями PSK (т. 7) і ECF (т. 8) (див. рис. 4.3, а) маємо структури аустеніт + ледебурит (А + Ц) + цементит. Фазами є аустеніт і цементит ($\Phi = 2$). Число ступенів вільності $C_{7-8} = 2 - 2 + 1 = 1$. Тобто при $C_{7-8} = 1$ із зміною температури відбувається перетворення частини цементиту в аустеніт за рахунок збільшення розчинності вуглецю в аустеніті до 2,14% С при температурі 1147°C . На ділянці 7 - 8 кривої K_2 (див. рис.4.3, в) температура буде підвищуватись повільно.

По лінії ECF(т.8) (див. рис. 4.3, а) у чавуні відбувається перетворення ледебуриду (А+Ц) в рідину(Р). Тобто маємо аустеніт + ледебурит (А+Ц) + рідина. В т.8 маємо три фази ($\Phi = 3$) аустеніт, цементит і рідина. Число ступенів вільності $C_{8-8} = 2 - 3 + 1 = 0$. Ділянка 8-8' кривої нагрівання (див. рис. 4.3, в) буде горизонтальною лінією і перетворення ледебуриду в рідину відбувається при постійній температурі. В т.8' це перетворення закінчується.

При нагріванні чавуну від лінії ECF (т.8) до ВС (т.9) маємо фази аустеніт і рідину ($\Phi = 2$) (див. рис. 4.3, а). Число ступенів вільності $C_{8-9} = 2 - 2 + 1 = 1$. Тобто із підвищенням температури з т. 8 до т. 9 (див. рис.4.3, в) відбувається перетворення аустеніту в рідину. Ділянка 8-9 кривої нагрівання буде дещо похилою.

У т. 9 (див. рис. 4.3, а) закінчується перетворення аустеніту в рідину. Тому при дальшому підвищенні температури маємо лише рідкий сплав ($\Phi = 1$) і число ступенів вільності $C_{9-10} = 2 - 1 + 1 = 2$. Нагрівання на ділянці 9-10 кривої (див. рис. 4.3, в) буде проходити швидше (ділянка 9-10 йде крутіше) тому, що нема ніякого перетворення.

Концентрацію заліза і вуглецю в аустеніті та рідкому сплаві для сплаву K_2 знаходимо спроектувавши т.а і т.с на шкалу концентрацій вуглецю. Концентрація вуглецю в аустеніті для заданої температури $\approx 1250^{\circ}\text{C}$ складає $K_a \approx 1,4\% \text{C}$, а в рідкій фазі $K_c \approx 3,6\% \text{C}$. Решта буде залізо. Вміст фаз аустеніту (А) і рідкого чавуну(Р) в сплаві K_2 при температурі т.б $\approx 1250^{\circ}\text{C}$ визначаємо користуючись рис. 4.3,а. Об'єм всього сплаву 100%. Тоді аустеніт займає $Q_A = \frac{bc}{ac} \cdot 100 = \frac{13}{30} \cdot 100 \approx 43,3\%$, а рідкий сплав (Р) займає $Q_P = \frac{ab}{ac} \cdot 100 = \frac{17}{30} \cdot 100 \approx 56,7\%$.

За допомогою діаграми залізо-вуглець можна побудувати криві охолодження і нагрівання сплаву певної концентрації. Для цього точки перетину вертикалі (лінії постійної концентрації) з лініями діаграми проектують на шкалу температур системи координат "температура-час" (див. рис. 4.3, б, в) і будують криву нагрівання чи охолодження сплаву. Точки перетину з похилими лініями

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 133

діаграми відповідають згинам на кривих охолодження і нагрівання, а точки перетину з горизонтальними лініями відповідають площадкам на тих же кривих.

Крім цього, при побудові кривих нагрівання та охолодження потрібно врахувати правило фаз Гіббса. Якщо на ділянці нема перетворень і число ступенів вільності $C = 2$, то крива буде йти більш круто. При наявності перетворень при $C = 1$ крива йде більш похило. Наявність перетворення при $C = 0$ свідчить, що ділянка кривої охолодження або нагрівання являє собою горизонтальну лінію.

Послідовність виконання роботи

1. Вивчити структурні складові в залізобуглецевих сплавах.
2. Намалювати (у масштабі) діаграму "залізо-вуглець".
3. Вивчити, які перетворення відбуваються на лініях і в областях діаграми.
4. Для заданої концентрації вуглецю у двох сплавах намалювати (користуючись діаграмою) криву охолодження і нагрівання з аналізом перетворень і використанням правила фаз.
5. За діаграмою для певної концентрації вуглецю і температури визначити фази та їх кількість за правилом відрізків.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Застосовуючи правило фаз і правила відрізків, провести аналіз перетворень для двох сплавів (табл. 4.1). Варіант вибрати згідно списку по журналу.
4. Визначити ступінь вільності заданої системи.
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання.

1. Що називають аустенітом?
2. Який евтектичний сплав у системі залізобуглецевих сплавів?
3. Що визначають на діаграмі стану, застосовуючи правило відрізків?
4. За якої температури відбувається евтектоїдне перетворення?
5. Які фазові перетворення відбуваються по лінії SE (див. рис. 4.3) при нагріванні?

Таблиця 4.1

Варіант	Сплав K_1	Сплав K_2
---------	-------------	-------------

	Вміст вуглецю, %	Температура точки досліджень, °С	Вміст вуглецю, %	Температура точки досліджень, °С
1	0,1	850	2,2	1350
2	0,2	800	2,3	1300
3	0,3	750	2,4	1250
5	0,4	1450	2,5	1000
6	0,5	1500	2,6	950
7	0,6	750	2,7	900
8	0,7	1400	2,8	850
9	0,8	727	2,9	800
10	0,9	1400	3,0	750
11	1,0	800	3,1	1150
12	1,1	750	3,2	1200
13	1,2	1350	3,3	1250
14	1,3	1325	3,4	950
15	1,4	1300	3,5	1100

Джерела інформації

1. Гарнець В.М. Матеріалознавство. – К.: «Кондор» 2009, 386с.
2. Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. техн. спец./ М. Ф. Дмитриченко, В. М. Ткачук, О. В. Мельник. – К.: НТУ, 2008.- 176с.

Джерела інтернет-ресурсів

1. <https://www.youtube.com/watch?v=yJOX8aR0uvo>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 135

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі роботи.
2. Отримати уяву про операції термічної обробки, при зміцненні та інших змінах властивостей вуглецевої сталі. Вивчити взаємозв'язок між вмістом вуглецю в сталі, структурою і механічними властивостями сталі після термічної обробки.
3. Навчитись вибирати режим термічної обробки сталі для отримання необхідних експлуатаційних властивостей її.
4. Виконати індивідуальне завдання.

Основні відомості по темі роботи

Термічна обробка – сукупність операцій нагріву і охолодження з метою змінити структуру і властивості сплаву в потрібному напрямку.

Будь – яку операцію термічної обробки можна представити графічно в вигляді графіку в координатах «температура – час», що включає ділянки нагріву, витримки і охолодження. Головні параметри, що визначають результат термічної обробки, - **температура нагріву t_H** , **час витримки τ_B** і **швидкість охолодження $V_{охл}$** (рис. 5.1).

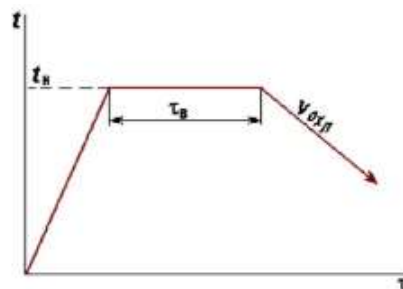


Рис. 5.1. Графічне зображення режиму термічної обробки

Розрізняють **зміцнюючу** термічну обробку, при якій підвищуються твердість, міцність і зносостійкість, і термічну обробку, що понижує показники міцності і підвищує пластичні властивості та в'язкість.

Для сталей широко застосовують обидва варіанти термічної обробки.

Термічна обробка сталі базується на фазових перетвореннях, що відбуваються при її нагріванні вище критичних температур і послідовному охолодженні з різними швидкостями. Завдяки рвзвнй розчинності вуглецю в залізі з ОЦК і ГЦК граткою, існує можливість значного зміцнення сталі в результаті її гартування. Перенасичений твердий розчин вуглецю в α – залізі, що

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 136

отримується при гартуванні, можна піддавати відпуску для отримання більш рівноважних структур. При цьому, в залежності від режиму відпуску, можна отримати широкий спектр механічних характеристик сталі, що обумовлює її використання для деталей і конструкцій, що працюють в різних умовах навантажень.

Перетворення при нагріванні сталі

Температури перетворень, або критичні точки, при нагріві сталі прийнято позначати (рис. 5.2):

- початок перетворення фериту в аустеніт ($Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$) - Ac_1 (ці точки розташовані на лінії **PSK**);
- завершення перетворень фериту в аустеніт ($Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$) - Ac_3 (ці точки розташовані на лінії **GS**);
- закінчення розчинення цементиту в аустеніті - Ac_{cm} (ці точки розташовані на лінії **SE**).

Точки A_2 відносяться до магнітного, а не до фазового перетворення.

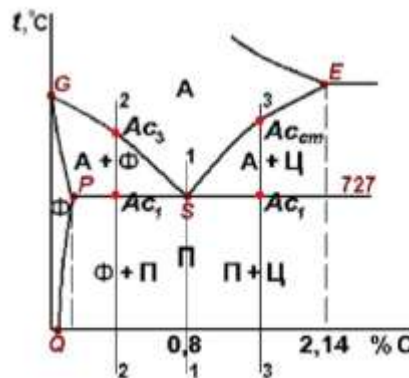


Рис. 5.2. Критичні точки при нагріві сталі

Належить звернути увагу на те, що точки Ac_3 і Ac_{cm} – є індивідуальні для кожної марки сталі, а точка Ac_1 – єдиною спільною для всіх вуглецевих сталей: 727 °С.

Основні види термообробки сталі – **відпал, нормалізація, гартування і відпуск**.

Відпал

Відпал є операцією термічної обробки, що зменшує міцність сталі і надає структурі рівноважного стану.

Відпалом I роду називають нагрів сталі з нерівноважною, в результаті попередньої обробки, структурою до (або нижче) температури фазового перетворення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 137

Зазвичай причиною появи нерівноважної структури є холодна обробка тиском або швидке охолодження після гарячої обробки. Температурний режим відпалу I роду не пов'язаний з фазовими перетвореннями в сталі.

Мета: Перевести структуру сталі в більш стійкий, рівноважний стан.

Приклад: рекристалізаційний відпал для зняття явища наклепу; низький відпал для покращання оброблюваності різанням.

Відпалом II роду називають нагрів сталі вище температури фазового перетворення з послідуочим повільним охолодженням (разом з піччю).

Мета: Отримати стійкий рівноважний стан (такий як показано на діаграмі).

Різновиди:

2.) **Повний відпал** доевтектоїдних (конструкційних) сталей виконується з метою повної фазової перекристалізації.

Для цього сталь нагрівають на 30 – 50° вище критичної точки A_{c3} (тобто лінії GS) і після невеликої витримки повільно охолоджують. Практично деталі охолоджуються разом з піччю з швидкістю 30 – 100 °С/год (рис. 5.3).

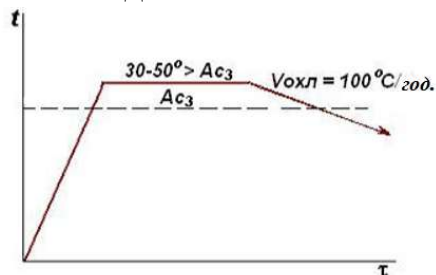


Рис. 5.3. Режим повного відпалу

При нагріванні ферит і перліт доевтектоїдної сталі перетворюються в аустеніт. Потім, при повільному охолодженні, розпад аустеніту відбувається в верхній частині C – подібної діаграми з утворенням нових зерен фериту і перліту. Таким чином, якщо структура була дефектною (крупні зерна, зерна викривленої форми і т.п.), то при повному відпалі вона виправляється, стає однорідною і дрібнозернистою. Сталь після відпалу має добрі пластичні властивості і низьку твердість. Це забезпечує добру оброблюваність сталі різанням і тиском.

Цей відпал повністю знімає залишкові напруження.

2) **Неповний відпал** заевтектоїдних (інструментальних) сталей виконується з метою отримання структури зернистого перліту. Для цього сталь нагрівають на 30 – 50° вище критичної точки A_{c1} (тобто лінії PSK). Використовують декілька різних режимів (рис. 5.4).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 138

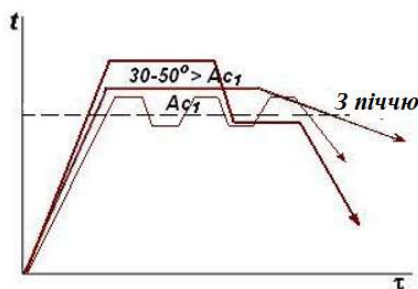


Рис. 5.4. Режим неповного відпалу

В результаті відпалу цементитні пластинки розчиняються не повністю, і при охолодженні отримуються сферичні, а не пластинчасті кристали цементиту. Тому такий відпал називають ще *сфероїдизуючим*. Інструментальні сталі з структурою зернистого перліту є м'якшими і більш пластичними, ніж з пластинчастим перлітом. Цей спосіб відпалу підвищує оброблюваність сталі і покращує її структуру перед гартуванням.

При неповному відпалі доевтектоїдної сталі феритна складова структури не змінюється, оскільки ферит зберігається при нагріві. Тому повного виправлення структури не відбувається.

3) *Дифузійний відпал* сталевих виливок і поковок виконують з метою усунення неоднорідності ливарної або деформованої структури. Усунення мікроліквації досягається за рахунок дифузійних процесів. Тому, щоб забезпечити високу швидкість дифузії, сталь нагрівають до високих температур в аустенітній області (близьких до солідусу). Для сталей це зазвичай температури 1000 – 1200 °С. При цих температурах виконується тривала витримка (8 – 15 годин) і потім повільне охолодження. Вирівнювання структури сталі покращує механічні властивості, особливо пластичність.

Температурні інтервали нагріву сталі при відпалі показані на рис.5.5.

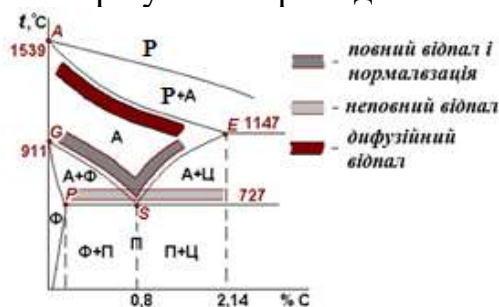


Рис. 5.5. Температурні інтервали нагріву сталі при відпалі
Нормалізація

Нормалізація є різновидом відпалу II роду з прискореним охолодженням.

Нормалізація полягає в нагріві сталі до температур на 50 – 70° вище лінії *GSE* (рис. 5.5) і в охолодженні на повітрі після невеликої витримки. В цьому випадку розпад аустеніту відбувається в верхній частині C – подібної діаграми, але при дещо менших температурах, ніж при відпалі. Це пов'язане з більш швидким охолодженням.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 139

Тому при нормалізації отримується більш дрібна перлітна структура, ніж при повному відпалі. Може навіть утворюватися структура *сорбіт* – більш дрібна, ніж перліт, феритно – цементитна суміш.

Для доевтектоїдних сталей нормалізація часто замінює повний відпал як більш ефективна і економічна операція.

Після нормалізації сталь стає твердішою і міцнішою, ніж після повного відпалу. Мікроструктура також відрізняється від рівноважної: ферит утворює сітку навколо ділянок перліту. (Видається, що в сталі більше вуглецю, ніж є в самому ділі.)

Гартування

Гартування – це операція термічної обробки, яка змінює структуру сталі таким чином, щоб максимально підвищити твердість і міцність.

Гартування полягає в нагріві сталі вище температури фазового перетворення з послідуєчим достатньо швидким охолодженням (з швидкістю більшою за критичну).

Мета: отримання нерівноважної структури – перенасиченого твердого розчину вуглецю в α – залізі – **мартенситу**. Практична мета – отримання максимально можливої твердості для заданої марки сталі.

Швидке охолодження при гартуванні необхідне, щоб вуглець не встиг виділитись з твердого розчину – аустеніту – і залишився б в кристалічній ґратці заліза після охолодження (рис. 5.6).

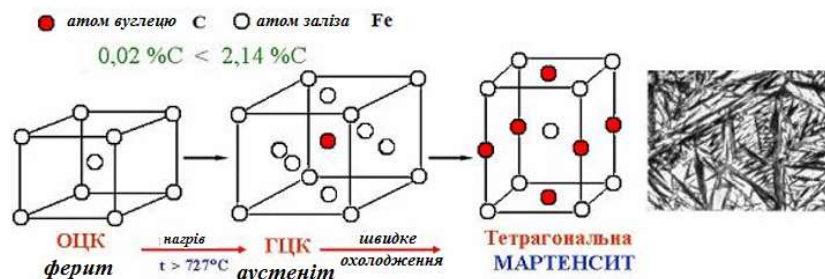


Рис. 5.6. Схема утворення структури загартованої сталі – **мартенсит**

Щоб загартувати сталь, необхідно правильно вибрати температуру нагріву і швидкість охолодження. Ці два параметри є визначними при проведенні гартування. При виборі температури нагріву діє наступне правило: доевтектоїдні сталі нагрівають під гартування на $30 - 50^\circ$ вище критичної точки A_{c3} , а заевтектоїдні – $30 - 50^\circ$ вище точки A_{c1} (рис. 5.7). невеликі перевищення критичної точки необхідне, оскільки в печах для термообробки не уникнути деяких коливань температури відносно заданого значення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 140

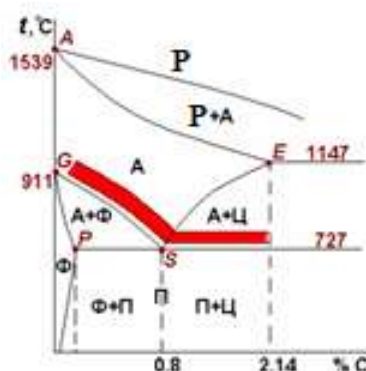


Рис. 5.7. Температурний інтервал нагріву сталі під гартування

Чому температуру під гартування вибирають по-різному для доєвтектоїдних і заєвтектоїдних сталей?

В структурі доєвтектоїдних сталей нижче лінії **GS** присутній ферит. Якщо гартувати сталь з цієї температурної області, то аустеніт перетвориться в твердий і міцний мартенсит, а ферит не зміниться, оскільки він є рівноважною фазою. Оскільки ферит дуже м'який, то його присутність в загартованій сталі понижує її твердість і мета гартування не буде досягнута. Тому є необхідним нагрів до більш високих температур (вище лінії **GS**), де ферит уже не існує.

Гартування з однофазної (аустенітної) області, з температур вище A_{c3} , називається **повною**. Так гартують доєвтектоїдні (конструкційні) сталі.

Для заєвтектоїдних сталей такий високий нагрів не потрібний, оскільки вище точки A_{c1} , але нижче лінії **SE** структура складається із аустеніту і цементиту. При гартуванні з цієї області аустеніт перетворюється в мартенсит, а цементит зберігається, оскільки він є рівноважною фазою. Наявність в загартованій сталі такої твердої складової є корисним явищем тому, що тверді дрібні частинки цементиту є додатковими перепонами для руху дислокацій і підвищують твердість та зносостійкість.

Гартування з двофазної області, де є присутніми аустеніт і цементит, або аустеніт і ферит, називається **неповним**. Такому гартуванню піддаються заєвтектоїдні (інструментальні) сталі.

Для визначення, до якої групи сталей відноситься матеріал, можна скористатись даними табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Класифікація залізовуглецевих сплавів за структурою

Вміст С, %	Назва сплаву	Структура при кімнатній температурі	Використання сплавів
0.006-0,02	Технічне залізо	Ф+Ц_{III}	Сердечники трансформаторів
0,02-0,8	Доевтектоїдна сталь	Ф+П	Деталі машин і конструкцій
0,8	Евтектоїдна сталь	П	Різальний і вимірювальний інструмент
0,8-2,14	Заевтектоїдна сталь	П+Ц_{II}	
2,14-4,3	Доевтектичний чавун	П+Ц+Л	Деталі машин, що отримують литтям
4,3	Евтектичний чавун		
4,3-6,67	Заевтектичний чавун	Л+Ц_I	Технічного використання не мають

Примітка:

- В сплавах системи Fe-C розрізняють три види цементиту: Ц_I, Ц_{II}, Ц_{III} (цементит первинний, вторинний, третинний). Ц_I кристалізується із рідкої фази в вигляді кристалів гольчастої форми; спостерігається в структурі заевтектичних чавунів. Ц_{II} і Ц_{III} утворюються при вторинній кристалізації в вигляді сітки по границях зерен аустеніту (Ц_{II}) і фериту (Ц_{III}).
- Структура доевтектичних конструкційних чавунів складається з металевої матриці (**Ф, Ф+П, П**) і графітних включень різної форми (пластинчастої, пластівчастої і кулястої). Наявність в структурі вілоного графіту визначає багато експлуатаційних властивостей чавунів (антифрикційність та ін.).

Критична швидкість охолодження при гартуванні вуглецевих сталей складає не менше 400 °C/с. така швидкість досягається при охолодженні в воді або в водних розчинах солей (NaCl) і лугів (NaOH), що збільшують охолоджуючу здатність води. При цьому деталь необхідно енергійно переміщувати в охолоджуючій рідині, щоб видаляти з поверхні металу пухирі водяної пари, яка уповільнює охолодження. Критична швидкість зхлздження легованих сталей

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 142

набагато нижча, тому використовують більш м'яккі охолоджуючі середовища – мінеральні масла або розчини полімерів.

Гартування є найбільш «жорсткою» з усіх операцій термообробки, оскільки сталь піддається різкому зниженню температури. При цьому в деталях виникають великі внутрішні напруження. Вони складаються із термічних напружень, що виникають із-за різниці температур на поверхні і в серцевині деталі при швидкому охолодженні, і структурних напружень, що виникають за рахунок об'ємних змін при мартенситному перетворенні.

Ці напруження можуть призвести до деформації деталі і навіть до появи тріщин. Особливо це є небезпечним у відношенні до деталей складної форми, що мають концентратори напружень у вигляді проточок, отворів, кутів, галтелей і т.п. Для зменшення гартувальних напружень потрібно зменшити перепад температур в процесі охолодження при гартуванні.

По способу охолодження розрізняють:

5) *Безперервне гартування (гартування в одному середовищі)* (рис. 5.8, крива 1). Це найбільш простий спосіб, але при цьому в деталі появляються великі внутрішні напруження.

б) *Гартування в двох середовищах, або переривчасте гартування* (рис. 5.8, крива 2). При цьому спосіб сталь швидко охолоджується в інтервалі температур 750-400⁰С, а потім деталь переносять в інше, більш м'яке охолоджуюче середовище, і в мартенситному інтервалі охолодження відбувається уповільнено. Це призводить до зменшення внутрішніх напружень і знижує ймовірність появи тріщин. Прикладом такого гартування може бути процес з охолодженням спочатку у воді, а потім у маслі.

7) *Ступінчасте гартування* (рис. 5.8, крива 3), при якому при якому нагріту деталь занурюють в рідке середовище з температурою на 20-30⁰ вище точки М_Н. при цьому забезпечується швидке охолодження сталі в верхній області температур, а потім робиться витримка, під час якої температура по перерізу деталі вирівнюється, і термічні напруження зменшуються. Потім деталі забираються із гартувальної ванни, і подальше їх охолодження відбувається в іншому середовищі, частіш за все на повітрі або в маслі. В цьому випадку мартенситне перетворення відбувається при повільному охолодженні, в умовах менших внутрішніх напружень. В якості рідких середовищ для ступінчастого гартування використовують розплави лугів, селітри, легкоплавких металів.

8) *Ізотермічне гартування* (рис. 5.8, крива 4). Воно суттєво відрізняється від інших способів. Тут витримка в охолоджуючому середовищі при температурі бейнітного перетворення продовжується до повного розпаду аустеніту. У всіх попередніх випадках при гартуванні відбувається утворення мартенситної структури, а в цьому випадку – бейніту.

При ізотермічному гартуванні напруження в деталі мінімальні, виключається утворення тріщин, деформації значно менші. У деяких легованих

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 143

сталей (пружинних, штампових) цей спосіб гартування дозволяє отримати оптимальне поєднання міцності та пластичності.

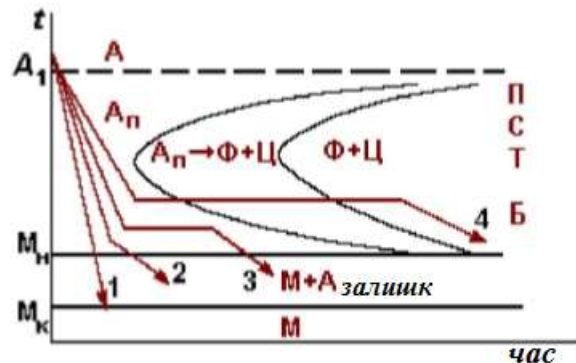


Рис. 5.8. Різновиди гартування за способом охолодження

Таким чином, ступінчасте і переривчасте гартування зменшують гартувальні напруження, оскільки різниця температур на поверхні і в центрі деталі зменшується. Але із-за маленького періоду існування переохолодженого аустеніту у вуглецевих сталях, ступінчасте і ізотермічне гартування частіш за все використовують для легованих сталей.

Можливі **дефекти гартування**:

- перегрів** – крупне зерно;
- перепал** – окислення меж зерен, дуже крупне зерно;
- недогрів** – у доевтектоїдних сталей гартування з інтервалу $A_{c1} - A_{c3}$ приводить до двофазної структури (мартенсит + ферит) і низьким механічним властивостям;
- жолоблення і тріщини** – викликаються внутрішніми напруженнями. Питомий об'єм мартенситу більший за питомий об'єм аустеніту, що викликає напруження в структурі сталі. Особливо це є небезпечним для деталей складної форми і при поєднанні структурних напружень з термічними, що виникають із-за різниці температур на поверхні і в центрі деталі.

Щоб уникнути жолоблення, тонкі вироби – пили, ножівкові полотна, бритви – охолоджують заневоленими в спеціальних гартувальних пресах.

З технологією гартування тісно пов'язані два важливих поняття.

Загартованість – це здатність сталі отримувати високу твердість при гартуванні. Вона залежить від вмісту вуглецю в сталі і характеризується максимально можливою твердістю (HRC) для заданої марки.

Прогартуваність – це здатність сталі отримувати загартований шар визначеної глибини. Швидкість охолодження зменшується від поверхні деталі до центру, тому при великій товщині може трапитись, що в її серцевині швидкість охолодження є меншою за критичну (рис. 5.9). В цьому випадку на мартенсит загартується тільки поверхневий шар деталі, а серцевина буде незагартована, з м'якою феритно-перлітною структурою.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 144

Для характеристики прогартуваності сталі в довідниках наводять величину критичного діаметру. *Критичний діаметр* – це максимальний діаметр циліндричного прутка, який прогартується наскрізь в конкретному середовищі охолодження.

Чим більша прогартуваність сталі, тим краще. Вуглецева сталь при охолодженні в воді має критичний діаметр всього 10-15 мм. Прогартуваність сталі залежить від вмісту легуючих елементів, які затrudняють дифузійний розпад аустеніту, зменшуючи тим самим критичну швидкість охолодження при гартуванні. Чим більше легуючих елементів в сталі, тим вища її прогартуваність.

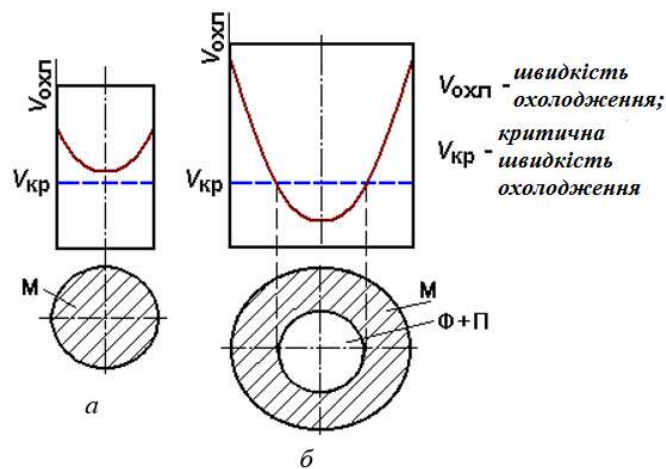


Рис. 5.9. Зміна швидкості охолодження по перерізу деталей:
а – малого діаметру; б – великого діаметру

Відпуск

Загартована сталь дуже тверда, але вона також і крихка, у неї низька пластичність і великі внутрішні напруження. В такому стані деталь є не дієздатною. Тому для зменшення внутрішніх напружень і підвищення пластичності після гартування завжди слідує ще одна операція термічної обробки, яка називається **відпуск**.

Відпуск – це нагрів загартованої сталі до температур нижче критичних з послідовним охолодженням, зазвичай на повітрі.

Мета відпуску – створення потрібного комплексу експлуатаційних властивостей сталі, отримання більш стійкої, ніж після гартування, структури, шляхом зменшення внутрішніх напружень.

Відпуск – остання операція в технологічному ланцюгу термообробки сталі, тому отримана при відпуску структура повинна забезпечувати властивості, необхідні при роботі деталі.

В процесі відпуску відбувається розпад мартенситу за рахунок виділення з нього вуглецю, тим більш повний, чим більша температура і час витримки. Тому зменшуються внутрішні напруження і щільність дислокацій. Залишковий аустеніт при відпуску перетворюється в мартенсит.

По температурі нагріву відпуск підрозділяється на 3 види: низький, середній і високий (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Види відпуску вуглецевих сталей

Вид відпуску	$t, ^\circ\text{C}$	Структура	HRC	Мета	Використання
Низький	150-300	Мартенсит відпуску	55-65	Забезпечення високої твердості і зносостійкості	Різальний і вимірювальний інструмент, сталі з 0,7—1,3 % С
Середній	300-500	Троостит відпуску	30-45	Забезпечення високої границі текучості	Пружини, ресори і конструкційні сталі з 0,5- 0,7 %С
Високий	500-650	Сорбіт відпуску	25-35	Забезпечення оптимального поєднання міцності, ударної в'язкості і пластичності	Деталі машин із конструкційних сталей з 0,3- 0,5 %С

При *низькому відпуску* (150-300 $^\circ\text{C}$) із мартенситу виділяється частина надлишкового вуглецю з утворенням дрібних карбідних частинок. Але оскільки швидкість дифузії тут ще мала, деяка частина вуглецю в мартенситі залишається.

Така структура являє собою маловуглецевий мартенсит і дуже дрібні карбідні частинки. Її називають *відпущений мартенсит*.

В результаті низького відпуску зменшуються внутрішні напруження, дещо збільшуються в'язкість і пластичність, твердість майже не знижується. Деталі можуть працювати в умовах, де необхідна висока твердість і зносостійкість.

Низький відпуск використовують для різального інструменту, деталі підшипників кочення.

Середній відпуск проводиться при більш високих температурах (300-450 $^\circ\text{C}$). При цьому із мартенситу уже виділяється весь надлишковий вуглець з утворенням цементитних частинок. Тетрагональні викривлення кристалічної ґратки заліза знімаються, вона стає кубічною. Мартенсит перетворюється в феритно-цементитну суміш з дуже дрібними, в вигляді голок, частинками цементиту, яка називається *трооститом відпуску*.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 146

Середній відпуск ще більш зменшує внутрішні напруження, збільшує в'язкість, при цьому міцність залишається високою, а границя текучості і границя витривалості досягають максимуму. Такому відпуску піддають ресори, пружини та інші елементи, а також штамповий інструмент.

В інтервалі температур 500-650 °С швидкість дифузійних процесів дещо зростає, що при розпаді мартенситу утворюється феритно-цементитна суміш з більш крупними, сферичними формами, зернами цементиту. Такий відпуск називають **високим**; структура, що отримується – **сорбіт відпуску**.

В результаті високого відпуску дуже зростають в'язкість і пластичність сталі, внутрішні знімаються майже повністю, твердість і міцність знижуються, але все ж залишаються достатньо високими.

Гартування з високим відпуском називається **термічним покращанням** сталі. Такий обробці піддають деталі машин, що працюють в умовах знакозмінних і ударних навантажень: вали, важелі, шестерні і т.п.

Час витримки при низькому відпуску складає від 1 до 12-15 годин, оскільки при таких низьких температурах дифузія вуглецю відбувається повільно. Для середнього і високого зазвичай достатньо 1-2 години.

Зміна механічних характеристик вуглецевої сталі при відпуску показано на рис. 5.9 і в табл. 5.3.

Таким чином, з підвищенням температури і довготривалості відпуску зростають пластичні властивості сталі, але знижуються її твердість і міцність. В практиці термічної обробки сталі режим відпуску призначають у відповідності необхідними властивостями, які визначаються умовами роботи деталі.

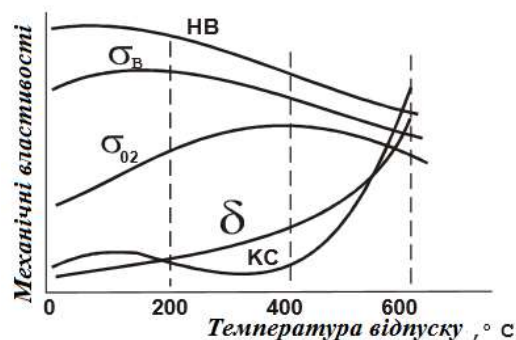


Рис. 5.9. Залежність механічних характеристик сталі від температури відпуску: *НВ* – твердість по Бринеллю; σ_B – границя міцності; σ_T – границя текучості; δ – відносне видовження; *КС* – ударна в'язкість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 147

Термічна обробка	σ_B	σ_{02}	δ	ψ	$KCU, \text{МДж/м}^2$	НВ
	МПа		%			
Вілпал	650	450	20	65	0,6	187
Нормалізація	730	470	21	60	0,8	198
Гартування і відпуск при 500 °С	970	850	8	55	1,0	280
Гартування і відпуск при 550 °С	950	800	10	60	1,1	269
Гартування і відпуск при 600 °С	870	700	13	65	1,3	255

Поверхнєве зміцнення

Для деяких деталей при експлуатації необхідна висока твердість і зносостійкість поверхні в поєднанні з високою в'язкістю в серцевині. Це стосується деталей, що працюють в умовах зношення з одночасною дією динамічних навантажень (наприклад, шестерні, пальці, ланки траків гусеничних машин).

В таких випадках піддають зміцненню не всю деталь, а тільки тонкий (декілька мм) поверхневий шар.

Поверхнєве гартування – це нагрів до гартувальних температур тільки поверхневого шару деталі з послідуочим швидким охолодженням і утворенням мартенситної структури тільки в цьому шарі.

Здійснюють таке гартування швидким нагрівом поверхні, при якому серцевина не встигне прогрітись за рахунок теплопровідності. При такому нагріванні температура по перерізу деталі різко падає від поверхні до центру.

Після охолодження в перерізі деталі утворюються три характерні зони з різною структурою і властивостями(див. рис. 5.10).

В зоні I після гартування отримується мартенситна структура з максимальною твердістю, оскільки ця зона нагрілась вище критичної точки A_{c3} .

В зоні II після гартування в структурі, крім мартенситу, буде присутній і ферит. Як наслідок, твердість там буде нижча.

В зоні III нагрів і охолодження не приводять до будь – яких змін в структурі. Значить, тут зберігається вихідна ферито-перлітна структура з низькою твердістю, але з високими пластичними властивостями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 148

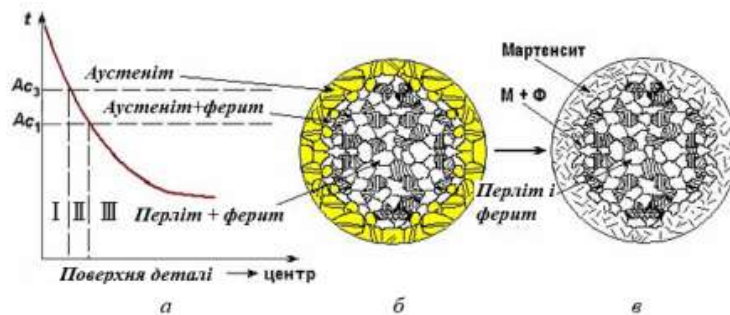


Рис. 5.10. Поверхнєве гартування сталі: *a* – розподіл температур по перерізу; *б* – структура при поверхневому нагріві; *в* – структура після гартування

Після поверхневого гартування деталь може чинити опір динамічним навантаженням за рахунок в'язкої серцевини і добре працює в умовах зношення завдяки твердій поверхні.

Швидкий нагрів поверхні, що необхідний при такій технології, зазвичай виконується індукційним способом (гартування струмами високої частоти). Деталь поміщається в індуктор, що підключається до генератора високої частоти. Змінне магнітне поле високої частоти наводить в тонкому поверхневому шарі вихрові струми, і нагрів здійснюється за рахунок опору металу протіканню цих струмів. Швидко, після нагріву, який протікає секунди, деталь поміщають в спреєр для охолодження.

Поверхнєве гартування повинно супроводжуватись низьким відпуском.

Чим вища частота зовнішнього змінного магнітного поля, тим тонший шар, в якому зосереджені вихрові струми. Тому глибина загартованого шару може легко регулюватись і складає від десятих долей міліметра до 3-5 мм. Цю операцію можна повністю автоматизувати. Спосіб дуже продуктивний; жолоблення і окислення поверхні деталі при цьому є мінімальним.

Іноді для поверхневого гартування використовують і інші способи нагріву: газополумєневий, лазерний, в розплавах солей, в електролітах.

Для такого способу термообробки спеціально створені сталі пониженої прогартуваності, наприклад, 55ПП (0,55%С і не більше 0,5% домішок)

Завдання для практичної роботи

25) Використовуючи діаграму стану Fe-C, визначити температуру повного і неповного гартування для сталі 40.

Опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду термічної обробки.

26) Що називають операцією «відпал»? Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, призначте температуру відпалу для сталей 35 і У10.

Опишіть перетворення, що відбуваються в сталях при вибраному режимі обробки і яку структуру і властивості вона при цьому набуває.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 149

27) Різальний інструмент із сталі У12 був перегрітий при гартуванні. Чим шкідливий перегрів, і як можна виправити цей дефект?

Призначте режими термічної обробки для виправлення структури, що забезпечує нормальну роботу інструменту.

Опишіть структуру і властивості сталі після правильної термообробки.

28) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і графік залежності твердості від температури відпуску, призначте режим термічної обробки (температуру гартування, середовище охолодження і температуру відпуску) втулок із сталі 45, які повинні мати твердість *HRC28-30*.

Опишіть перетворення, що відбуваються на всіх етапах термічної обробки, і структуру, яку набуде сталь при цьому.

29) За допомогою діаграми залізо – цементит визначте температуру нормалізації, відпалу і гартування для сталі 30.

Охарактеризуйте ці режими термічної обробки і опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду обробки.

30) Після гартування вуглецевої сталі була отримана структура, що складається з фериту і мартенситу.

Проведіть на діаграмі стану залізо – цементит приблизну ординату, що відповідає складу заданої сталі, вкажіть прийняту в даному випадку температуру нагріву під гартування.

Як називається така обробка? Які перетворення відбуваються при нагріві і охолодженні?

31) Сталь 40 гартується від температур 760 і 840 °С. Укажіть на діаграмі стану залізо – цементит вибрані температури нагріву і опишіть перетворення, що відбуваються при обох режимах гартування.

Якому режиму належить віддати перевагу і чому?

32) Вуглецеві сталі 45 і У8 після гартування і відпуску мають структуру мартенсит відпуску. Твердість першої *HRC 50*, другої – *HRC60*.

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і враховуючи перетворення, що відбуваються в цих сталях при відпуску, вкажіть температуру гартування і температуру відпуску для кожної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в цих сталях в процесі гартування і відпуску, і поясніть, чому сталь У8 має більшу твердість, ніж сталь 45.

33) Виріб із сталі 50 потрібно піддати покращанню.

Призначте режим термічної обробки, опишіть суть перетворень, що відбуваються при цьому, також структуру і властивості сталі після обробки.

34) Що називають термічною операцією «нормалізація»?

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, призначте температуру нормалізації будь – якої доєвтектоїдної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в сталі при вибраному режимі обробки, а також структуру і властивості, які вона набуває при цьому.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 150

35) На виробках із сталі 20 потрібно отримати поверхневий шар високої твердості. Виберіть спосіб хіміко-термічної обробки і обґрунтуйте вибір.

Яка структура буде на поверхні сталі і в серцевині після кінцевої термообробки?

36) Необхідно провести поверхнєве зміцнення виробів із сталі 15.

Призначте вид обробки, опишіть технологію, перетворення, що відбуваються в сталі, структуру і властивості поверхні і серцевини виробу.

37) Валики із сталі 40 загартовані: один від температури 760 °С, а другий – від температури 840 °С.

Нанесіть вибрані температури нагріву на діаграму стану залізо – цементит і поясніть, який з цих валиків має більш високу твердість та кращі експлуатаційні властивості і чому.

38) В структурі вуглецевої сталі 30 після гартування залишковий аустеніт не виявлений, а в структурі сталі У12 виявлено 3% залишкового аустеніту. Поясніть причину цього явища. Як можна усунути залишковий аустеніт?

39) Як можна усунути крупнозернисту структуру в кований сталі 30?

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, обґрунтуйте вибір режиму термічної обробки для виправлення структури. Опишіть структурні перетворення і зміну властивостей сталі.

40) Шестерні із сталі 45 загартовані: перша – від температури 750 °С, а друга – від 850 °С.

Нанесіть вибрані температури на діаграму стану залізо – цементит, і поясніть, яка з цих шестерень має більш високу твердість і кращі експлуатаційні властивості і чому.

41) В чому переваги і недоліки поверхневого зміцнення сталевих виробів при нагріві струмами високої частоти в порівняння зі зміцненням методом цементації? Назвіть марки сталі, що використовують для цих видів обробки.

42) Для яких сталей використовують відпал на зернистий перліт? Поясніть вибір режиму і мету цього виду обробки.

43) Накресліть діаграму ізотермічного перетворення аустеніту для сталі У8. Нанесіть на неї криву режиму ізотермічної обробки, що забезпечує твердість *НВ 150*. Вкажіть, як цей режим називається, і яка структура отримується в даному випадку.

44) Після термообробки вуглецевої сталі отримана структура цементит в мартенсит відпуску. Нанесіть на діаграму стану залізо – цементит приблизну ординату заданої сталі і обґрунтуйте вибір температури нагріву цієї сталі під гартування. Укажіть температуру відпуску і опишіть перетворення, які відбудуться при термообробці.

45) При безперервному охолодженні сталі У8 отримана структура троостит. Нанесіть на діаграму ізотермічного перетворення аустеніту криву

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 151

оохолодження, що забезпечує отримання заданої структури. Укажіть температурний інтервал перетворень і опишіть його характер.

46) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит, визначте температури нормалізації, відпалу та гартування для сталі 50. Охарактеризуйте ці режими термообробки і опишіть структуру і властивості сталі після кожного виду обробки.

47) Вуглецеві сталі 35 і У8 після гартування і відпуску мають структуру мартенсит відпуску. Твердість першої *HRC 45*, другої – *HRC 60*.

Використовуючи діаграму стану залізо – цементит і враховуючи перетворення, що відбуваються в цих сталях при відпуску, вкажіть температуру гартування і температуру відпуску для кожної сталі.

Опишіть перетворення, що відбуваються в цих сталях в процесі гартування і відпуску, і поясніть, чому сталь У8 має більшу твердість, ніж сталь 35.

48) Використовуючи діаграму стану залізо – цементит визначте температуру повного та неповного відпалу і нормалізації для сталі 20. Охарактеризуйте ці режими термічної обробки і опишіть структуру і властивості сталі в кожному випадку.

Контрольні запитання.

1. Види термічного оброблення сталей і їх призначення.
2. Що розуміють під гартуванням, нормалізацією, відпалюванням і відпусканням?
3. Температури нагрівання сталей для різних видів термічного оброблення.
4. Що таке повне і неповне гартування?
5. Види відпускання загартованих сталей.
6. Методи нагрівання для поверхневого гартування деталей.
7. Джерела струму для гартування струмами високої частоти.
8. Мікроструктура поверхневого шару і серцевини після гартування СВЧ.
9. Для яких деталей і чому застосовують гартування СВЧ?
10. Як визначають глибину загартованого шару?
11. Що таке загартованість і прогартовуваність сталей?
12. Що розуміють під глибиною загартованості сталі?
13. Чинники, які визначають прогартовуваність сталі.
14. Як визначають прогартовуваність сталей методом торцевого гартування?
15. Що таке критичний діаметр сталі? Його значення для різних сталей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 152

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

Мета роботи: опанувати методіку розроблення технологічного процесу виготовлення виливка.

Обладнання та матеріали: креслярське приладдя, довідники, наочні посібники, моделі ливникової системи, креслення деталей, готові деталі, плакати з ливарного виробництва.

Теоретичні відомості

Виготовлення виливка - складний технологічний процес (рис. 7.1), що передбачає проектування креслення литої деталі (виливка) і виготовлення модельно-стрижневого оснащення, приготування формової і стрижневої сумішей, розрахунок і плавлення шихти, виготовлення форм і їх заливання розплавом, їх вибивання, очищення, контроль якості. У цій лабораторній роботі передбачається проектування креслення литої деталі і відповідно модельно-стрижневого оснащення, а також розрахунок ливникової системи для заданої литої деталі з урахуванням матеріалу, з якого її виготовляють. Основою для виготовлення модельно-стрижневого комплекту (модель литої деталі і стрижневий ящик) є креслення литої деталі (рис. 7.2), яке розробляє конструктор, а модельник виготовляє комплект для цієї литої деталі. При розробленні ливарної технології визначають: спосіб формування (ручне або машинне); положення виливка у формі під час заливання розплаву; усадку і припуски на механічне оброблення; кількість стрижнів і знакових частин; тип ливникової системи. Для цього складають технологічну карту на виготовлення виливка, марку розплаву, температуру заливання розплаву, склад шихти та ін. На кресленні моделі виливка косим штрихуванням або лініями червоного кольору позначають місця припусків на механічне оброблення, лініями або перехресним штрихуванням синього кольору — контури стрижнів і знакових частин моделі. При виготовленні моделі її розміри мають бути більшими від розмірів, що вказані на кресленні, на значення лінійної усадки сплаву (табл. 7.1) і величину припуску на механічне оброблення. Якщо на кресленні показано знак , то припуск на механічне оброблення не передбачається. Якщо відливочок піддається механічному обробленню, то розмір моделі для дрібних деталей більший на 2...3 мм на сторону. У ливарному виробництві отвори в деталі виконують, якщо при масовому виробництві діаметри цих отворів становлять понад 25 мм, при серійному — 30 мм, а при одиничному — 40...50 мм.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 153

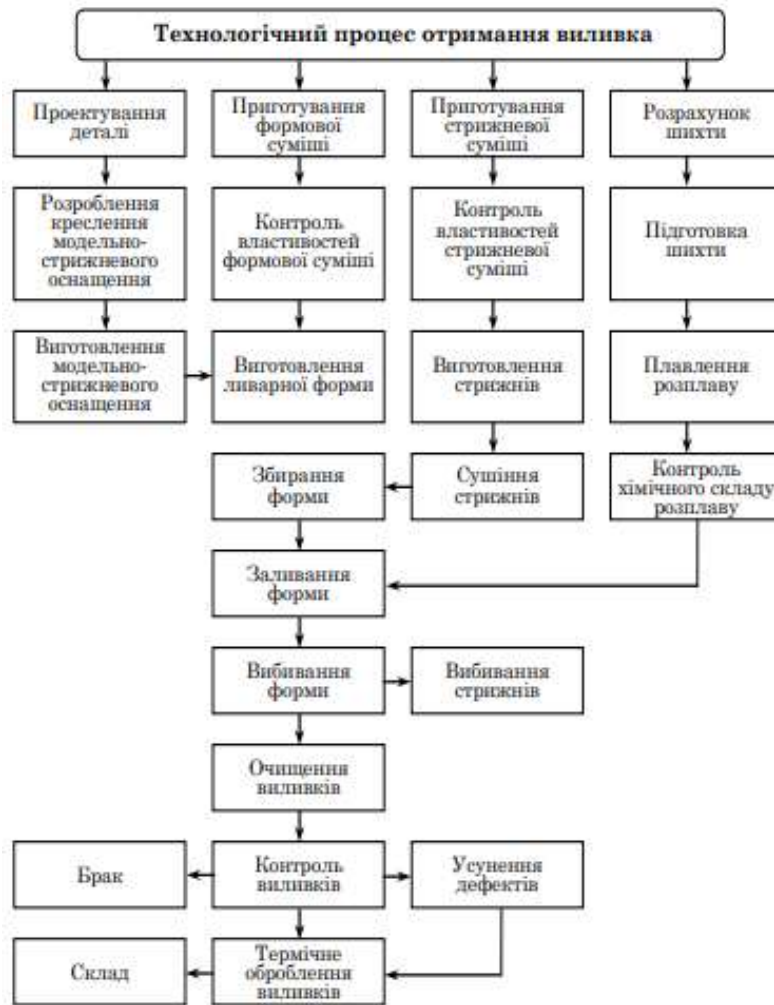


Рис. 7.1 Основні етапи процесу виготовлення вилівка

Щоб легше видалити модель із форми, її поверхні, розміщені паралельно напрямку руху при витягуванні із форми, виконують з формувальними уклонами - $1...3^\circ$, а стрижневих ящиків - $2...4^\circ$

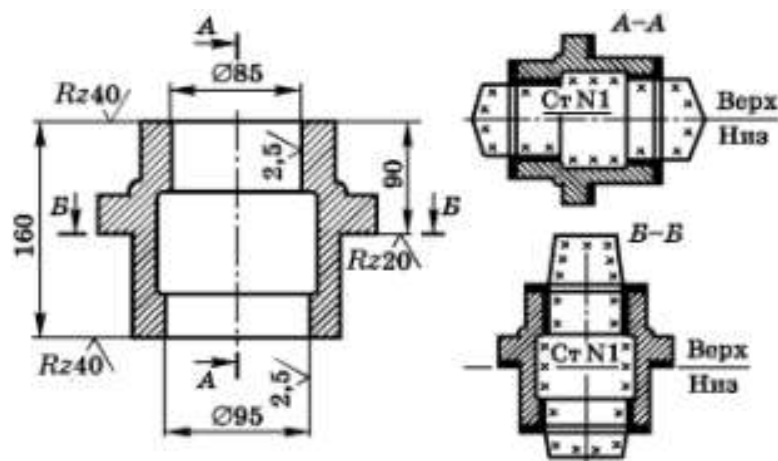


Рис 7.2 Креслення деталі (корпусу підшипника)

Лінійна усадка ливарних сплавів

Таблиця 7.1.

Сплав	Усадка, %	Сплав	Усадка, %
Чавун: сірий білий	0,8...1,2 1,5...2,0	Латунь	1,5...2,0
Сталь вуглецева (0,14...0,75% С)	1,2...1,3	Сплави алюмінієві: силумін дюралюмін	1,0...1,2 0,8...1,0
Бронза: олов'яниста алюмінієва	1,0...1,5 1,2...1,8	Титанові сплави	1,4...2,0

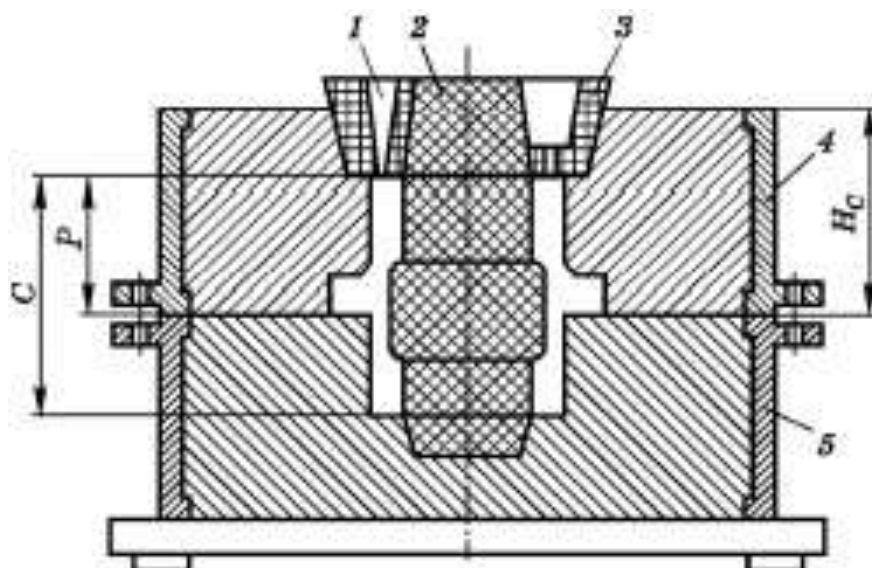
У литих деталях переходи стінки від однієї товщини до іншої мають бути плавними. Закруглення внутрішніх кутів у переходах називають галтелями, а зовнішніх — закругленнями. Залежно від розмірів деталей розміри радіусів галтелей для деталей такі: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 і 40 мм.

Для встановлення стрижня в ливарну форму на моделях роблять виступи (стрижневі знаки), які при виготовленні форми роблять у ній заглиблення (гнізда), в які вставляють стрижні.

Для отримання гладеньких робочих поверхонь моделей і стрижневих ящиків та запобігання насиченню вологою поверхні їх ґрунтують, шпаклюють і покривають модельним лаком (шелаком — смола тропічних дерев) або нітроемалями.

Залежно від матеріалу, з якого виливають деталь (виливоч), моделі фарбують у різні кольори: для чавунних деталей — червоний; сталевих — сірий; кольорових — жовтий; стрижневі знаки моделей — чорний.

Послідовність виконання роботи



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 155

Рис. 7.3 Схема ливникової форми в розрізі для визначення середнього ефективного напору H_n :

1 — випор; 2 — стрижень; 3 — ливникова чаша; 4 — верхня опока; 5 — нижня опока

1. Отримавши креслення деталі, зробити відповідне креслення в зошиті з нанесенням усіх розмірів елементів і чистоту поверхонь, що вказує на необхідність припуску на механічне оброблення. Наприклад, виходячи із креслення корпусу підшипника (див. рис. 7.3), він має внутрішній отвір і фланець для кріплення. Під час його механічного оброблення потрібно обробити циліндричні поверхні діаметром 85 і 95 мм, торці по розміру 160 мм і поверхню фланця по розміру 90 мм.

2. Розробляючи технологічний процес отримання виливка деталі (див. табл. 7.1), потрібно знати, з якого матеріалу виливається виливок, і відповідно врахувати на моделі припуск на величину усадки (довжини діаметра) і механічного оброблення. Залежно від наведеної деталі при розробленні технологічного процесу можливі два варіанти роз'єднання моделі у формі: по лінії А – А або по лінії Б – Б.

3. Вибрати раціональне роз'єднання по певній площині і навести схему ливникової форми для отримання виливка з елементами ливникової системи (рис. 7.3).

4. Розрахувати масу виливка. Спочатку визначити об'єм виливка V_v , см^3 , а потім, виходячи із розмірів моделі деталі, — його масу, g :

$$m_B = V_B \cdot \rho, \quad (7.1)$$

де: ρ — густина розплаву, г/см^3 (для сірого чавуну $\rho = 7,10$, для сталі $\rho = 7,85$, для бронзи $\rho = 8,90$, для силуміну $\rho = 2,70$).

Визначити загальну масу розплаву m_p , потрібного для отримання виливка і заповнення каналів ливникової системи:

$$m_p^3 = m_p + m_{\text{л.с.}}, \quad (7.2)$$

де: $m_{\text{л.с.}}$ — маса розплаву ливникової системи; $m_{\text{л.с.}} = (0,15 \dots 0,20) m_p^3$.

5. Розрахувати елементи ливникової системи.

Розрахувати ливникову систему — це означає визначити розміри та співвідношення всіх її елементів. Методи розрахунків ливникових систем ґрунтуються на законах гідравліки з використанням результатів, отриманих дослідницьким шляхом.

Розрахунки починають з визначення площі перерізу найвужчого місця ливникової системи, тобто живильників, а потім — шлаковловлювачів, стояка (випорів) тощо.

Визначають сумарну площу перерізу живильників за формулою:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 156

$$F_{ж} = \frac{m_p^3}{\rho \tau \sqrt{2gH}}, \quad (7.3)$$

де: g — прискорення вільного падіння, м/с² ;

μ — коефіцієнт, який залежить від загального гідравлічного опору ливникової форми руху розплаву (для чавунного литва $\mu = 0,75 \dots 0,85$).

Площу перерізу шлаковловлювача $F_{шл}$ і стояка $F_{ст}$ залежно від товщини стінок виливка розраховують за співвідношенням для виливків:

- тонкостінних, дрібних: $F_{ж}:F_{шл}:F_{ст} = 1 : 1,06 : 1,11$;
- середніх і дрібних: $F_{ж}:F_{шл}:F_{ст} = 1 : 1,1 : 1,15$;
- великих: $F_{ж}:F_{шл}:F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4$.

Площа нижнього перерізу випору $F_{вип} = 1,5 F_{ст} \text{ см}^2$.

За наявності кількох випорів на одному виливку сумарний переріз їх може бути і більшим.

6. Визначити середній ефективний напір H_n , см (див. рис. 7.3), за формулою:

$$H_n = H_c - \frac{P}{2c}, \quad (7.4)$$

де: H_c — гідростатичний напір, який дорівнює відстані від рівня чаші до живильника, $H_c = P + 9$;

P — висота виливка над живильником;

C — загальна висота виливка.

7. Тривалість заливання розплавом ливарної форми, c :

$$\tau = k \sqrt{m_p^3}, \quad (7.5)$$

де: k — коефіцієнт, який залежить від товщини стінки виливка (табл. 7.2).

Для дрібного литва (< 25 кг) застосовують формулу

$$\tau = 1,1 \sqrt{m_p^3}. \quad (7.6)$$

Значення коефіцієнта k залежно від товщини стінки виливка

Таблиця 7.2.

Товщина стінки виливка, мм	До 10	11...20	21...40	Понад 40
Коефіцієнт k	1,1	1,35	1,5	1,7

Протокол результатів проектування виливка

Таблиця 7.3.

Деталь	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Маса розплаву, кг	Температура заливання розплаву, °С	Тривалість заливання, с

Завдання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 157

1. Для деталі, представленої на рис. 7.2, виконати ескізи моделі та стрижня (для чавунного відливання) з проставленням на них розмірів, врахувавши пункти 1 – 3.
2. Виконати розрахунки по пунктам 4 – 7.
3. Результати розрахунків занести до табл. 7.3.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (табл. 7.3).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання.

1. Перерахуйте елементи ливникової системи.
2. Послідовність операцій виготовлення вилівка.
3. Співвідношення поперечних перерізів живильника, шлаковловлювача і стояка.
4. Що входить до модельно-стрижневого оснащення?
5. З якого матеріалу виготовляють моделі?

Джерела інформації.

1. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Практикум. Навч. посіб. / В.В.Попович, А.І.Кондер, А.І.Плешаков та ін. – Л.: Світ 2009 – 552 с

Інтернет ресурси.

https://www.youtube.com/watch?v=xtalu24D_-k лиття в разові піщані форми.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

КОНСТРУКЦІЯ І ГЕОМЕТРІЯ РІЗЦІВ

Мета роботи: вивчити конструкцію і геометричні параметри різців; отримати навички вимірювання кутів і їх розмірів.

Обладнання та матеріали: кутоміри універсальний і настільний, кутомір Бабчиніцера, мікрометр, штангенциркуль, лінійка, макет різця з координатними площинами, набір різців.

Теоретичні відомості

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 158

Конструктивні елементи і геометрія різців. Основою всіх різальних інструментів є різець (рис. 8.1, а), який складається з робочої А (головка) і кріпильної Б (стрижень) частин. Робоча частина має лезо. Лезо — це клиноподібна частина інструменту (різця), яка заглиблюється в заготовку і здійснює різання.

На лезі розрізняють поверхні: передню A_γ , яка контактує в процесі різання зі зрізуваним шаром заготовки і стружкою; головну задню A_α , яка контактує в процесі різання з оброблюваною поверхнею і примикає до головної різальної кромки леза К; допоміжну задню A'_α , яка контактує в процесі різання з обробленою поверхнею і примикає до допоміжної різальної кромки леза К'.

Різальна кромка леза К-К' утворюється перетином передньої і задніх його поверхонь. Головна різальна кромка К — частина різальної кромки, яка формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару. Вона утворюється перетином головної задньої і передньої поверхонь.

Допоміжна різальна кромка К' — частина різальної кромки, яка формує меншу сторону перерізу зрізуваного шару. Допоміжна кромка утворюється перетином передньої і допоміжної задньої поверхонь.

Вершина різця В — ділянка різальної кромки в місці перетину двох задніх поверхонь з передньою. Вершину різця виконують закругленою радіусом r_β , який називають радіусом кривини вершини леза.

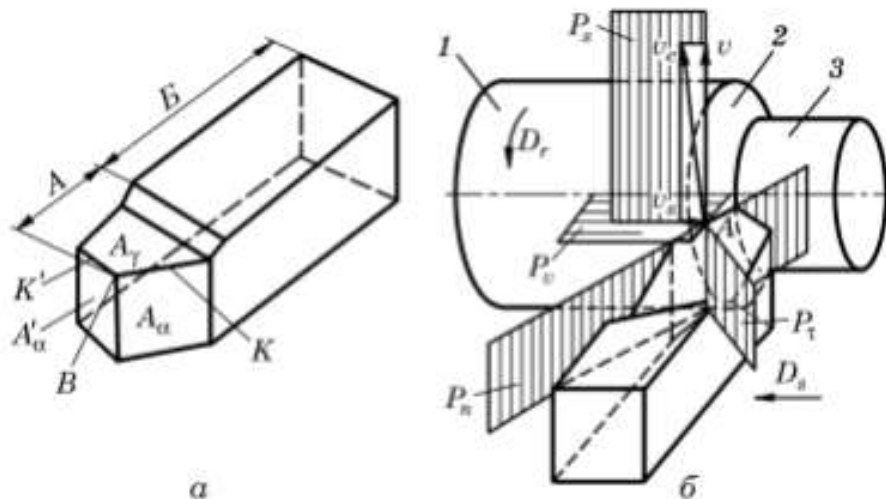


Рис. 8.1. Елементи проходного токарного різця (а), поверхні заготовки та координатні площини (б)

Класифікація різців

Різці класифікують: за видом оброблення, матеріалом різальної частини, матеріалом робочої частини, характером оброблення, розміщенням робочої частини (головки) відносно стрижня, напрямом руху подачі, способом виготовлення, формою різця, перерізом стрижня, встановленням стрижня відносно заготовки і призначенням.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 159

За видом оброблення розрізняють токарні, стругальні, довбальні, автоматноревольверні, розточувальні і спеціальні.

За матеріалом робочої частини розрізняють сталеві різці (з лезами з вуглецевої, легованої або швидкорізальної сталей), тврдосплавні, мінералокерамічні, алмазні та з композитних матеріалів (ельборові, гексанітові і т.п.), і з нітриду бору.

За напрямом руху подачі різці поділяють на праві і ліві 4, 6, 8 (рис. 8.2). У правих різців головна різальна кромка знаходиться з боку великого пальця правої руки, а лівих з боку великого пальця лівої руки, покладених на різець (рис. 8.2). У процесі точіння ліві різці рухаються зліва направо (від передньої бабки до задньої), а праві справа наліво (від задньої до передньої бабки).

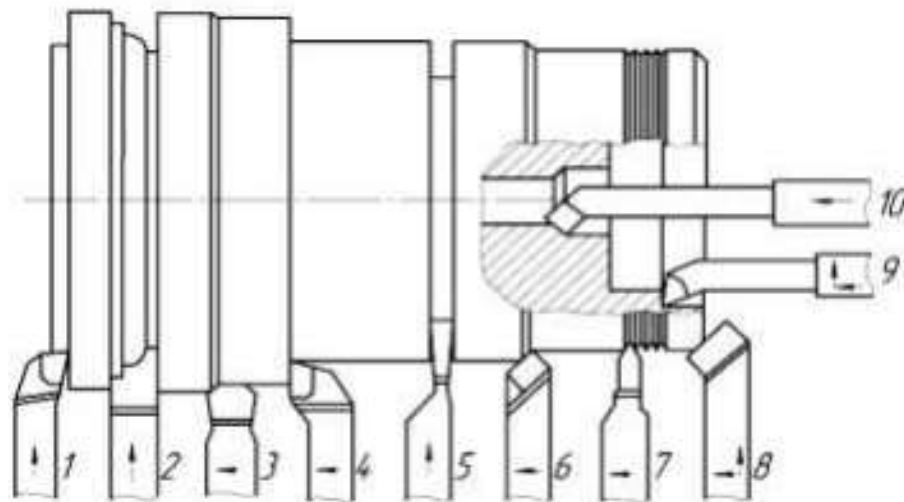


Рис. 8.2. Основні типи токарних різців (за призначенням): 1 – підрізний (лівий); 2 – фасонний, 3 – різець для чистового оброблення, 4 – прохідний упорний, 5 – відрізний і прорізний, 6 і 8 – прохідні, 7 – для нанарізи, 9 і 10 – розточувальні

За розташуванням робочої частини різця відносно стрижня – різці поділяють на прямі 2, 3, 6, 7 (рис. 8.2), відігнуті ліві 1 й праві 4, 8 зігнуті вверх і вниз, відтягнуті – ліві 5, 7 симетричні 2, 3 та праві.

Ліві чи праві різці, за напрямом подачі, відігнуті або відтягнуті визначають накладанням лівої чи правої рук на різець пальцями до вершини різця, а відхилений у сторону великий палець був направлений, відповідно, у напрямі головної різальної кромки, відгину головки різця відносно стрижня або відтягування головки різця відносно стрижня (лівий, симетричний, правий).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 160

За способом виготовлення розрізняють: цілісні (головка і стрижень виготовленні з одного й того ж матеріалу) і збірні – з привареною, припаяною, або механічно-закріпленою пластиною, чи вставкою з пластиною. Цілісні різці виготовляють невеликих розмірів із швидкорізальних сталей і застосовують у точному машинобудуванні і приладобудуванні. З метою економії дорогих інструментальних матеріалів леза різців виготовляють з інструментального матеріалу, а кріпильну частину – з конструкційних сталей.

За формою різці є стрижневі, призматичні і дискові.

За перерізом стрижня різці виготовляють прямокутні, квадратні і круглі.

За встановленням стрижня різця відносно заготовки є радіальні і тангенціальні різці. Радіальні, найпоширеніші, їх встановлюють по радіусу до осі заготовки. Тангенціальні встановлюються по дотичній до заготовки і застосовуються на токарних автоматах і напівавтоматах.

За призначенням токарні різці (рис. 8.2) поділяють на прохідні 3, 6, 8, прохідні упорні 4, підрізні 1, розточувальні 9 (для глухих отворів) і 10 (для наскрізних отворів), відрізні і канавкові 5, фасонні 2 і для нарізі 7.

За характером операцій, що виконуються, різці (рис. 8.2) є чорнові 6 і чистові 3. Геометричні параметри різальної частини цих різців такі, що вони пристосовані до роботи з великою і малою площею перерізу шару, що зрізується. Прокідні прямі 6 і відігнуті 8 різці застосовують для оброблення циліндричних і кінцевих поверхонь.

Поверхні заготовки і координатні площини

При обробленні різанням на заготовці розрізняють такі поверхні (рис. 8.1, б): оброблювану 1, яка частково чи повністю видаляється під час оброблення; оброблену 3, утворену на заготовці в результаті оброблення; поверхню різання 2, утворену різальною кромкою при результуючому русі різання.

Для визначення геометричних параметрів інструментів застосовують три координатні площини: основну P_v , площину різання P_n , січну площину P_t (див. рис. 8.1, б) та робочу площину P_s . Основна площина P_v — координатна площина, проведена через розглядувану точку різальної кромки A перпендикулярно до напрямку швидкості головного або результуючого руху різання в цій точці. Площина різання P_n — координатна площина дотична до різальної кромки в розглядуваній точці і перпендикулярна до основної площини. Головна січна площина P_t — координатна площина, перпендикулярна до лінії перетину основної площини і площини різання. Робоча площина P_s — площина, в якій розміщені напрямки швидкостей руху різання і руху подачі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 161

Кути леза різця

Кути різця (інструменту) розглядають в основній площині (кути в плані), січних (головній і допоміжній) і в площині різання (рис. 8.3).

Кути в основній площині:

φ — головний кут у плані різця — кут між площиною різання P_n і робочою площиною P_s ;

φ_1 — допоміжний кут у плані — кут між допоміжною площиною різання P'_n і робочою площиною P_s .

ε — кут при вершині леза — кут між головною P_n і допоміжною P'_n площинами різання. Сума кутів $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$.

Кути в головній січній площині:

γ — передній кут — кут між передньою поверхнею леза інструменту і основною площиною;

α — головний задній кут — кут між головною задньою поверхнею леза і площиною різання;

β — кут загострення — кут між передньою і головною задньою поверхнями леза;

δ — кут різання — утворюється передньою поверхнею леза і площиною різання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 162

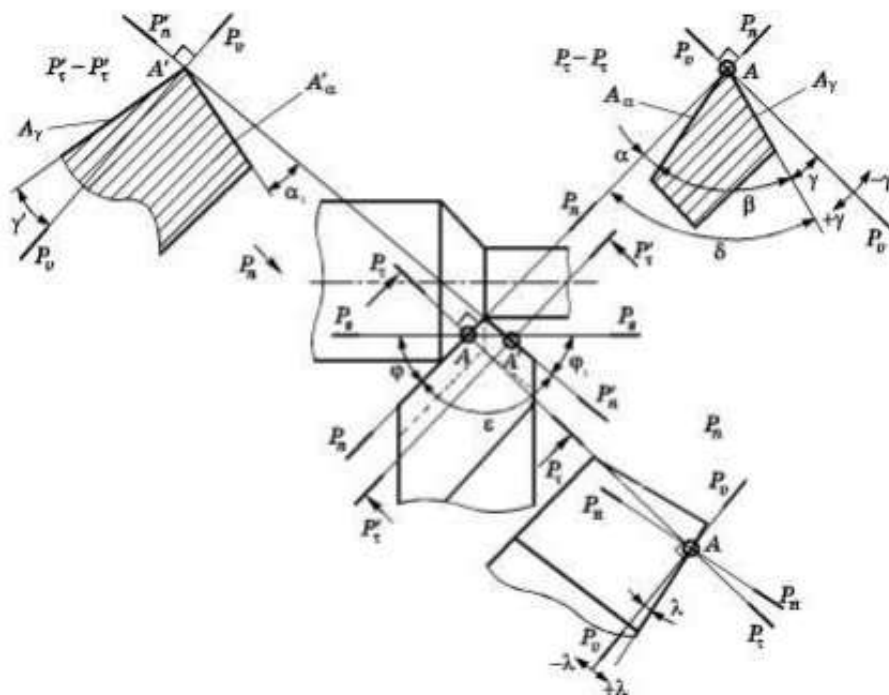


Рис. 8.3. Кути різця в статиці

Сума кутів $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Умовно приймають, що кут γ може бути додатним і від'ємним. Від'ємний передній кут ($-\gamma$) буде при куті різання $\delta > 90^\circ$, тобто витримується умова $\alpha + \beta + (-\gamma) = 90^\circ$.

Іноді кути α і γ розглядають у нормальній січній площині P_n , яка проходить перпендикулярно до різальної кромки.

У площині різання розглядають кут нахилу кромки λ — кут між різальною кромкою або дотичною до неї і основною площиною.

Кути різальної частини різця впливають на процес різання. Задні кути α і α' зменшують тертя між задніми поверхнями леза різця і поверхнями оброблюваної заготовки, що знижує сили різання і зменшує зношування леза. При обробленні сталевих і чавунних деталей рекомендується α і α' брати $6...12^\circ$.

Збільшення переднього кута γ зменшує роботу різання і шорсткість обробленої поверхні та краще сходять стружка.

У разі оброблення сталей з $\sigma_B < 1000$ МПа, $\gamma = 10...25^\circ$, чавунів і мідних сплавів $\gamma = 5...12^\circ$, а при обробленні дуже твердих сталей різцями з пластинами із твердих сплавів з $\sigma_B > 1000$ МПа, $\gamma = -(5...10)^\circ$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 163

Головний кут у плані φ визначає співвідношення між радіальною і осьовою складовими сили різання, впливає на стійкість різця. Із зменшенням φ зменшується шорсткість обробленої поверхні. Залежно від умов роботи беруть $\varphi = 30...90^\circ$. Найпоширенішими є прохідні різці з $\varphi = 45^\circ$. Допоміжний кут у плані $\varphi = 0...45^\circ$, найпоширеніший $\varphi = 12...15^\circ$.

Кут нахилу головної різальної кромки λ визначає напрямок сходу стружки. При додатному куті стружка сходить на оброблену поверхню, а при від'ємному λ — на оброблювану. Кут λ становить $+15...-10^\circ$. При чистовому обробленні кут λ не рекомендується брати додатним, оскільки стружка, яка сходить, збільшує шорсткість обробленої поверхні.

Вимірювання кутів різця

Для вимірювання кутів різця використовують універсальний кутомір. Настільний універсальний кутомір (рис. 8.4) складається з основи 1 і стояка 5, по якому переміщується вимірювальний блок 14, і може повертатися навколо нього. В потрібному положенні пристрій закріплюють фіксатором 13. Блок має три пристрої для вимірювання кутів: φ і φ у плані різця – 15, кутів α і γ в головній січній площині 2 і кута λ нахилу головної різальної кромки – 7.

Вимірювальні пристрої мають пластини 11, 3, 8 з шкалами і поворотні лінійки 12, 4, 9 з трьома ніжками. Одна з ніжок поворотних лінійок має риску на її кінці для відліку величини кутів: 12 – кутів φ і φ ; 4 – кутів α і γ і 9 – кута λ , за відповідною шкалою: 11 – кутів φ і φ ; 3 – кутів α і γ і 8 – кута λ . Дві інші ніжки поворотних лінійок суміщають з поверхнями або різальними кромками лева різця. Поворотні лінійки в необхідному положенні фіксують гайками. В поперечних пазах 10 основи 1 ставиться установочна планка 6, яка забезпечує правильне встановлення різця при вимірюванні кутів φ і φ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 164

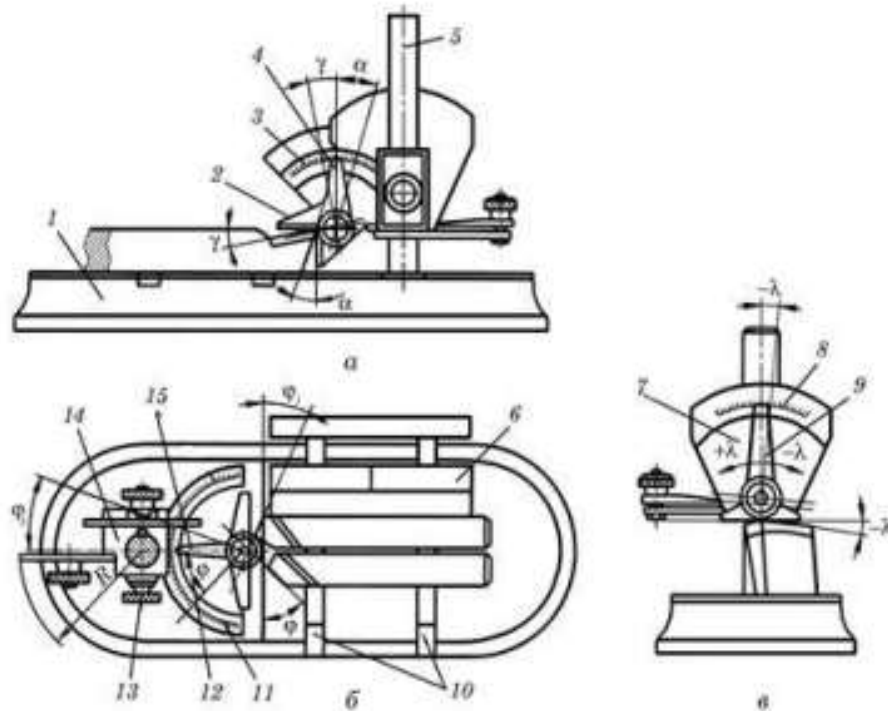


Рис. 8.4. Універсальний кутомір для вимірювання кутів різця: а — кутів α і γ ; б — кутів φ і φ_1 ; в — кута λ

Для вимірювання кутів α і γ блок 14 розміщують так, щоб ніжки поворотної лінійки 4 були перпендикулярні до головної різальної кромки різця (дивлячись зверху), встановленого на площині основи кутоміра (рис. 8.4, а). Притискуючи ніжки ножа 4 послідовно до головної задньої і передньої поверхонь, за шкалою 3 вимірюють відповідно значення кутів α і γ .

Кути φ і φ_1 вимірюють, коли вимірювальний пристрій 11 розміщується з боку головки різця, притиснутого до планки 6 (рис. 8.4, б). Блок 11 виставляють так, щоб ніжки поворотної лінійки 15 були на рівні різальних кромок різця. Притискуючи ніжки лінійки 15 до головної і допоміжної різальних кромки, вимірюють відповідно кути φ і φ_1 .

Для вимірювання кута нахилу головної різальної кромки λ використовують вимірювальний пристрій 7 (рис. 8.3, в). Блок 14 і різець встановлюють так, щоб ніжки вимірювального пристрою 7 торкалися головної різальної кромки і були паралельні або дотичні до неї. Риска на ножі 9 показує на шкалі значення вимірюваного кута. Якщо ніж з рисою повернутий за часовою стрілкою від "0" шкали 8, то λ від'ємний, а якщо проти часової – λ додатній.

При вимірюванні кутів різців між ними слід використовувати такі співвідношення: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$; $\alpha + \beta = \delta$; $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 165

Послідовність виконання роботи:

1. Розглянути набір різців, визначитись з їх назвою за призначенням, поверхнями, кромками і кутами леза кожного різця.
2. Виміряти довжину різців L , ширину B і висоту H кріпильної частини (стрижня) і результати занести до табл. 8.1.

Розміри і кути різців

Таблиця 8.1

Назва різця	Розміри, мм			Кути, град.								
	L	B	H	α	β	γ	δ	φ	φ_1	ϵ	λ	

3. Виміряти величину кутів різців кутоміром і результати занести до табл. 8.1.
4. Дати ескізи прохідного, прохідного упорного, відрізного, підрізного і розточувального різців, з позначенням напрямів руху, поверхонь леза і заготовки, площин і кутів. Описати кожен різець за ознаками класифікації.

Зміст звіту

1. Конструктивні елементи поверхні і кромки леза різця, їх позначення і визначення. Вказати ознаку передньої поверхні.
2. Поверхні заготовки і площини для визначення кутів леза різця. Дати їх позначення і визначення.
3. Класифікація різців.
4. Ескізи розглянутих різців з координатними площинами, поверхнями заготовки і кутами. Опис різців згідно з класифікацією.
5. Результати вимірювань розмірів і кутів різців.

Контрольні запитання

1. Назвати основні частини різця (інструменту), елементи леза і їх визначення.
2. Що є ознакою передньої поверхні леза інструменту?
3. Назвати поверхні заготовки при різанні і їх визначення.
4. Які площини використовують для визначення кутів леза різця (інструменту) та їх визначення?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.05-05.02/ 131.00.1/Б /ОК12-2024
	Екземпляр № 1	Арк 166 / 166

5. Між чим вимірюються кути леза різця в основній площині (у плані), їх назви?
6. Назвати кути леза різця в головній січній площині, дати їх визначення і на що впливають.
7. Які величини кутів леза токарних різців?
8. Дайте класифікацію токарних різців.
9. Як вимірюють кути різця універсальним кутоміром

Джерела інформації

1. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Практикум. Навч. посіб. / В.В. Попович, А.І. Кондер, А.І. Плешаков та ін. – Л.: Світ 2009 – 552 с.

Інтернет ресурси

<https://www.youtube.com/watch?v=FsWB0BzwKjU> токарні різці