

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,
методичні вказівки та індивідуальні завдання
до вивчення дисципліни «Спеціальні сталі та сплави»
для студентів спеціальності 132 «матеріалознавство»**

Затверджено
на засіданні Вченої ради
академії

Дніпропетровськ НМетАУ 2018

2. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. – Дніпропетровськ: НМетАУ. – 2008. – 350 с.
2. Таран Ю.М., Калінушкін С.П., Куцова В.З., Погребна Н.Е., Спірідонова І.М., Хохлова Т.О., Носко О.А. Металознавство та термічна обробка металів і сплавів в застосуванням комп'ютерних технологій навчання. Частина 2. – Дніпропетровськ, Дніпрокнига, 2002. – 260 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986.
4. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: МИСиС, 1999. – 407 с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Металлургия, 1983. – 366 с.
6. Гудремон Э.А. Специальные стали. Т.1. Издание 2-е. – М.: Металлургия, 1966. – 734 с.
7. Гудремон Э.А. Специальные стали. Т.2. Издание 2-е. – М.: Металлургия, 1966. – 540 с.

ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАКЛЮЧНОГО КОНТРОЛЮ

1. Поясніть, у результаті чого відбувається газова корозія.
2. Дайте визначення жаростійкості або окалиностійкості.
3. Які кольорові корозійностійкі сплави Ви знаєте?
4. Марки корозійностійких сталей. Який легуючий елемент є для них основним?
5. Які структурні особливості впливають на магнітну проникність сталей і сплавів?
6. Які низькочастотні магнітом'які матеріали ви знаєте.
7. Назвіть елементи, які дають захисні окисні плівки з відносно невеликим об'ємом.
8. Назвіть елементи, які мають гарні захисні плівки і елементи, які мають погані захисні плівки.

9. Назвіть елементи, якими легують залізо для підвищення його жаростійкості.
10. Приклади марок теплостійких сталей та розшифруйте їх.
11. Які магнітні властивості можуть мати матеріали при наведенні магнітного поля?
12. Що собою являють сплави альсифери?
13. Наведіть приклади марок жаростійких сталей. Які легуючі елементи є основними ?
14. Назвіть виробы, які виготовляють із жаростійких сталей.
15. Наведіть приклади корозійностійких марок сталей, що мають ферито-мартенситну структуру. Яку термічну обробку для них використовують?
16. Приклади марок мартенситних жароміцних сталей.
17. Які сплави називають пермалоюми та де їх застосовують?
18. Які сплави називають магнітотвердими?
19. Які типи корозії існують?
20. Поясніть причину міжкристалічної корозії сталей.
21. Дайте визначення межі повзучості.
22. Як можна підвищити жаростійкість титану?
23. Які властивості повинні мати магнітом'які матеріали?
24. Які легуючі елементи використовують в електротехнічних сталях та як вони впливають на їх фізичні властивості?
25. Дайте визначення жароміцності.
26. Поясніть важливість жароміцності при виборі металу.
27. Дайте визначення повзучості.
28. Приклади корозійностійких сталей аустенітного класу.
29. Які класи електротехнічних сталей існують.
30. Що собою являють магнітом'які ферити?
31. Які сталі використовують для роботи в слабо агресивних середовищах?
32. Яким чином по хімічному складу та структурному стану поділяються корозійностійкі сталі?
33. Назвіть критерії жароміцності.
34. Приклади марок жаростійких сталей, розшифруйте їх.
35. В якій якості використовують карбонільне залізо?
36. Як по хімічному складу поділяються пермалої?

37. Поясніть, від чого залежить розвиток кожної стадії на кривій повзучості
Перелічте ділянки, із яких складається крива повзучості.
38. Дайте визначення межі тривалої міцності.
39. Приклади жаростійких сплавів.
40. Поясніть, які дії вживають для забезпечення жароміцності в полікристалічних матеріалах.
41. Дайте визначення межі повзучості.
42. Що означає термін жаростійкість?
43. Якій термічній обробці підлягають корозійностійкі аустеніто-мартенситні сталі та якими властивостями відрізняються від інших?
44. Які сплави називають «суперферитами»?
45. Поясніть, що означає наступне позначення: $\sigma_{550}^{10000} = 100$ МПа.
46. Поясніть, завдяки чому розвивається повзучість у полікристалічних матеріалах.
47. Марки корозійностійких аустеніто-феритних сталей.
48. Які кислотостійкі сплави ви знаєте?
49. Що означає термін «ферити з ппг»?
50. Поясніть, що означає «феромагнетик».
51. Перелічте основні групи жароміцних матеріалів.
52. Назвіть матеріали, які застосовують при температурі вище 1000°C .
53. Назвіть основні легуючі елементи аустенітних сталей.
54. Поясніть залежність межі текучості металів від температури і деформації від часу навантаження.
55. Поясніть, що означає термін «парамагнетичні властивості».
56. З яких матеріалів виготовляють серцевини трансформаторів.
57. Які речовини належать до діамагнетиків?
58. Назвіть легуючі елементи, що додатково вводять в аустенітні сталі.
59. Назвіть групи, на які ділять аустенітні жароміцні сталі.
60. Наведіть приклади марок аустенітних жароміцних сталей.
61. Сформулюйте поняття повзучість. Три стадії повзучості.
62. На які групи ділять аустенітні корозійностійкі сталі?
63. Які легуючі елементи є основними в корозійностійких сталях, як вони діють на структуру?
64. Характеризуйте класи аустенітних жароміцних сталей.

65. Які сталі використовують і як корозійностійкі, і як жаростійкі?
66. Сформулюйте поняття корозія.
67. Назвіть види корозії.
68. Сформулюйте поняття корозійна стійкість.
69. Характеристика перлітних жароміцних сталей.
70. Які сплави називають сильхромами, де використовують.
71. Які сплави називають хромалями?
72. Які сплави називають сильхромалями?
73. Що означає термін «гістерезис» для магнітних матеріалів.
74. Вкажіть критерій корозійної стійкості.
75. Сформулюйте поняття корозійностійкі сталі.
76. Назвіть основний легуючий елемент корозійностійких сталей.
77. Характеристика аустеніто-мартенситних жароміцних сталей.
78. Де використовують аморфні магнітні сплави?
79. На які групи, в залежності від сировини і технологій виробництва, розділяють магнітом'які матеріали?
80. Які магнітотверді матеріали ви знаєте?
81. Охарактеризуйте магнітотверді матеріали.
82. Де використовують магнітотверді матеріали?
83. Які ферити використовують в якості магнітотвердих матеріалів?
84. Як відрізняються властивості магнітотвердих та магнітом'яких матеріалів?
85. Назвіть легуючі феритоутворюючі елементи, якими легують корозійностійкі сталі для одержання необхідного комплексу властивостей.
86. Назвіть легуючі аустенітоутворюючі елементи, якими легують корозійностійкі сталі для одержання необхідного комплексу властивостей.
87. Вкажіть, як класифікують жароміцні сталі та сплави в залежності від хімічного складу.
88. Приклади марок жарстійких сталей феритного класу.
89. Вкажіть, як класифікують корозійностійкі сталі та сплави в залежності від структури.
90. Вкажіть, які позначення мають класифікаційні стандарти на корозійностійкі сталі за кордоном.
91. Наведіть приклади корозійностійких марок сталей, що мають феритну структуру.

92. Сформулюйте поняття «межа тривалої міцності».
93. Наведіть приклади корозійностійких марок сталей, що мають ферито-мартенситну структуру.
94. Наведіть приклади корозійностійких марок сталей, що мають мартенситну структуру.
95. Назвіть галузі використання мартенситних та мартенсито-феритних корозійностійких сталей.
96. Перерахуйте засоби підвищення жароміцності сталей та сплавів.
97. Опишіть зв'язок корозійної стійкості та вмісту вуглецю в корозійностійких сталях.
98. Назвіть галузі використання феритних корозійностійких сталей.
99. Опишіть зв'язок корозійної стійкості сталей феритного класу та вмісту в них хрому, вуглецю та азоту.
100. Перерахуйте основні групи жароміцних матеріалів.
101. Наведіть приклад термічної обробки корозійностійких сталей феритного класу.
102. Назвіть недоліки хромистих корозійностійких сталей феритного класу.
103. Назвіть основні переваги корозійностійких сталей аустенітного класу.
104. Приклади марок жароміцних сталей перлітного класу.
105. Опишіть, як впливає присутність δ -фериту в структурі аустенітної корозійностійкої сталі на технологічність.
106. Назвіть мету термічної обробки корозійностійкої аустенітної сталі.
107. Поясніть, в якому випадку можна отримати аустенітну структуру хромомарганцевих сталей.
108. Опишіть залежність повзучості від температури та навантаження.
109. Опишіть корозійну стійкість хромомарганцевих та хромомарганцевонікелевих сталей в агресивних середовищах.
110. Наведіть приклади марок феритних та аустенітних корозійностійких сталей.
111. Опишіть термічну обробку хромомарганцевонікелевих та хромомарганцевих аустенітних сталей.
112. Класифікація теплостійких сталей. Вуглецеві теплостійкі сталі.
113. Опишіть переваги аустеніто-феритних та аустеніто-мартенситних корозійностійких сталей.
114. Назвіть галузі застосування аустеніто-феритних корозійностійких сталей.

115. Назвіть принципову відмінність сталей аустеніто-феритного класу.
116. Основні групи сталей та сплавів для роботи при підвищених температурах.
117. Опишіть умови, в залежності від яких вибирається термічна обробка для корозійностійких сталей аустеніто-феритного класу.
118. Опишіть структуру аустеніто-мартенситних сталей після загартування.
119. Наведіть приклади марок аустеніто-феритних і аустеніто-мартенситних корозійностійких сталей.
120. Вплив середовища на жароміцність сталей.
121. Назвіть причину, через яку в аустеніто-мартенситних корозійностійких сталях обмежується кількість δ -фериту.
122. Опишіть, які елементи вводять в аустеніто-мартенситні сталі для зниження кількості δ -фериту.
123. Опишіть, легування якими елементами забезпечує оптимальне співвідношення міцності та пластичності в аустеніто-мартенситних сталях.
124. Вплив умов експлуатації на жароміцність сталей.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Лабораторна робота №1

«Вивчення впливу легуючих елементів на структурний клас спеціальних сталей»

Мета: Вивчення структурних класів спеціальних сталей з використанням діаграм рівноваги, термокінетичних діаграм та ізотермічного розпаду аустеніту, вивчити вплив легування на поліморфізм заліза, на стійкість та кінетику перетворення переохолодженого аустеніту.

Термін виконання – 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання

1. Повторити діаграму Fe-C сплавів для метастабільної рівноваги, накреслити в зошиті, позначити всі лінії та точки.

2. Вивчити вплив легуючих елементів на поліморфізм заліза, концентраційні (S,E) точки, на стійкість та кінетику перетворення переохолодженого аустеніту.
3. Намалювати і описати схему (за Вефером) впливу легуючих елементів на критичні точки A3 та A4, на концентраційні т.S та т.E, а також на температуру початку мартенситного перетворення Mn.
4. Описати вплив легуючих елементів на стійкість переохолодженого аустеніту. Намалювати схеми діаграм ізотермічного розпаду аустеніту сталі, що містить 0,5% C, легованої різними елементами.
5. Описати структурні класи сталей та методи їх визначення.
6. Зарисувати структури сталей феритного, аустенітного, мартенситного та карбідного класів, вибрати відповідні марки сталей.

Теоретичні відомості

Всі легуючі елементи за впливом на точки поліморфізму заліза можна розділити на дві групи: α -стабілізатори, що поширюють область α Fe, γ -стабілізатори, що поширюють область γ Fe. Кожна з цих груп ділиться на дві підгрупи. Таку класифікацію легуючих елементів демонструє схема за Ф. Вефером (рис. 4.1).

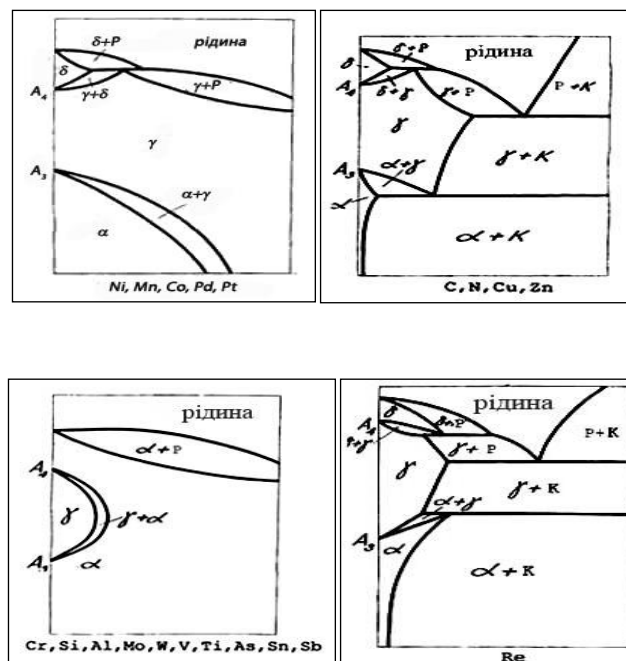


Рис. 4.1. Схема за Ф. Вефером. Вплив легуючих елементів на поліморфізм заліза

За ступенем спорідненості до вуглецю в порівнянні зі спорідненістю до нього заліза легуючі елементи в сплавах Fe-C ділять на карбідоутворюючі і не карбідоутворюючі.

Карбідоутворюючі елементи — Ti, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Fe.

Некарбідоутворюючі елементи — Cu, Ni, Co, Si, Al.

Стійкість переохолодженого аустеніту до розпаду характеризується діаграмами ізотермічного перетворення аустеніту (рис.4.2). Зміна вмісту вуглецю і легування аустеніту впливають на кінетику перлітного і проміжного перетворень та на температуру мартенситного перетворення. Ураховуючи структуру, що одержана після охолодження на спокійному повітрі зразків найбільшої товщини, можна виділити три основні класи сталей: перлітний, мартенситний, аустенітний.

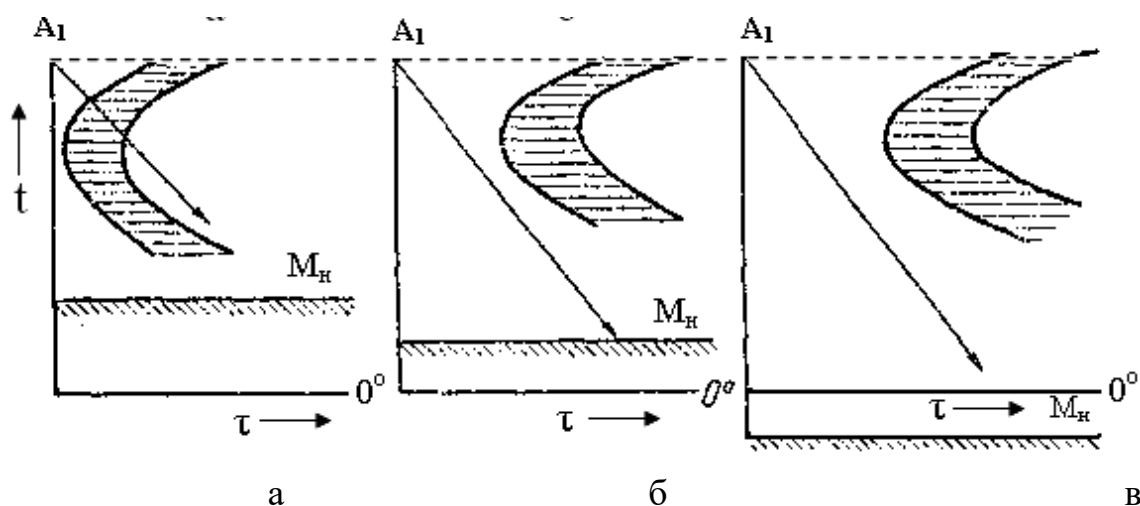


Рис.4.2. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту для сталей трьох класів (схема): а – перлітний клас; б – мартенситний клас; в – аустенітний клас

Сталі перлітного класу характеризуються відносно малим вмістом легуючих елементів, мартенситного – більш значним і, нарешті, аустенітного – високим вмістом легуючих елементів.

Одержання трьох класів сталі обумовлене тим, що у міру збільшення вмісту легуючих елементів стійкість аустеніту в перлітовій області зростає, а температурна область мартенситного перетворення знижується, що й відображено на діаграмах ізотермічного розпаду аустеніту.

Звіт

1. Діаграма Fe-C, характеристика фаз, точок та ліній.
2. Схема та описання впливу легуючих елементів на поліморфізм заліза за «Вефером».
3. Схеми та описання діаграм ізотермічного розпаду аустеніту сталі з 0,8%С перлітного, мартенситного, аустенітного класу, а також легової карбідоутворюючими елементами.
4. Структури і марки сталей феритного, аустенітного, мартенситного та карбідного класів.

Лабораторна робота №2

«Вивчення структури, фазового складу, властивостей та галузей використання корозійностійких сталей»

Мета роботи – вивчити принципи легування та режими термічної обробки корозійностійких сталей, їх основні структурні класи, властивості та призначення.

Термін виконання – 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання

1. Описати умови експлуатації корозійностійких сталей та сплавів, основні види корозії.
2. Визначити основні легуючі елементи корозійностійких сталей та сплавів, описати їх вплив на властивості та структуру.
3. Визначити основні класи корозійностійких сталей та сплавів за хімічним складом.
4. Переглянути та накреслити схематично мікроструктуру зразків корозійностійких сталей та сплавів різного складу, визначити їх структурні класи, термічну обробку, властивості та призначення.

Теоретичні відомості

Корозія – руйнування матеріалів внаслідок хімічної та електрохімічної взаємодії матеріалів із зовнішнім середовищем.

К О Р О З І Я	
<i>Хімічна</i> (під впливом на метал газів (газова корозія) та неелектролітів)	<i>Електрохімічна</i> (в електролітах: кислотах, лугах, солях, а також атмосферна та ґрунтова)

Види електрохімічної корозії:

- рівномірна, відбувається приблизно з однаковою швидкістю по всій поверхні металу; притаманна для матеріалів із структурою однорідного твердого розчину;
- локального характеру: точкова, плямиста та ін. (ці місця є концентраторами напружень);
- корозійне розтріскування – утворення в металах тонкої сітки тріщин, які проходять по об’єму зерна при дії корозійного середовища та напружень;
- міжкристалітна (інтеркристалітна), розповсюджується по межах зерен в глибину виробу внаслідок їх більш низького електрохімічного потенціалу.

Міжкристалітна корозія (МКК) є одним з найбільш небезпечних (та розповсюджених) видів місцевої корозії. Сплави та сталі руйнуються по межах зерен, що призводить до різкого зменшення міцності та пластичності і це може призвести до руйнування виробу (вона спостерігається в хромистих та хромонікелевих сталях, сплавах на основі **Ni**, **Cu**, **Al** тощо). Причиною розвитку МКК є хімічна неоднорідність між примежовими зонами та об’ємом зерна.

Існують три основні типи механізмів МКК:

- 1) корозія, що пов’язана із збідненням примежових ділянок зерен елементами, що сприяють корозійній стійкості матеріалу в даному середовищі;
- 2) корозія, що пов’язана з низькою хімічною стійкістю фаз, які виділяються по межах зерен;
- 3) корозія, що пов’язана із сегрегацією по межах зерен поверхнево-активних елементів, які знижують стійкість основи в даному середовищі.

Вказані механізми розвитку МКК можуть діяти в різних сталях одночасно, але зазвичай можна виділити механізм, що має найбільш сильний вплив на швидкість МКК. Оскільки корозійну стійкість сталей пов'язують із карбідними реакціями, то вміст С та його термодинамічна активність в аустеніті визначають схильність сталей до МКК. Елементи, що підвищують активність вуглецю (**Ni, Co, Si**), сприяють розвитку МКК, а ті, що знижують активність вуглецю (**Mn, Mo, W, V, Nb**), запобігають розвитку МКК.

Електрохімічна корозія розвивається внаслідок роботи багатьох короткозамкнених гальванічних елементів, що утворюються внаслідок неоднорідності металевого матеріалу (ліквація сталей та сплавів; межі зерен; присутність в металах різних включень; несучільність та різний склад поверхневих плівок) та зовнішнього середовища (різна концентрація іонів в електролітах, різні температури).

Схильність металів та сплавів до розчинення в електролітах визначається їх термодинамічною стійкістю, а також можливістю пасивації, тобто переходу в стан відносно високої корозійної стійкості, який пов'язаний з гальмуванням анодного процесу (із-за підвищення електрохімічного потенціалу).

Явище пасивності корозійностійких сталей пояснює плівковоадсорбційна теорія: вона пов'язує їх високу корозійну стійкість з утворенням тонкої та щільної захисної плівки, під якою знаходиться шар кисню. Кисень, який концентрується на активних ділянках плівки, є перехідним шаром від металу до захисної плівки, покращує їх зчеплення та переводить метал в пасивний стан. Таким чином, підвищення стійкості сталі проти корозії досягається введенням до її складу елементів, що утворюють на поверхні захисні плівки, які щільно зв'язані з основним металом та запобігають контакту між сталлю та зовнішнім агресивним середовищем, а також підвищують електрохімічний потенціал сталі в різних агресивних середовищах. Металами, що легко пасивуються є Al, Cr, Ni, Ti, W, Mo. Легування ними металів, що слабо пасивуються (наприклад, Fe), додає сплавам схильність до пасивації за умов утворення твердих розчинів.

Cr є основним легуючим елементом корозійностійкої сталі. Його вміст знаходиться в межах від 11% до 30%. Зсув електродного потенціалу в позитивну сторону настає при вмісті Cr вище 12,5%. Хром є елементом, що стабілізує α - та звужує область існування γ -Fe. При вмісті 12-13% Cr γ -область закривається та структура стає однофазною (рис.4.3). Присутність вуглецю (C)

суттєво розширює область існування аустеніту при одночасному розширенні двофазної $\alpha+\gamma$ -області. Так, 0,6%С забезпечує існування аустеніту до вмісту в сталі 28% Cr. Карбіди Cr уповільнюють процеси перетворення при охолодженні, збільшують прогартовуваність сталі. При вмісті Cr~6% сталі можуть загартовуватися на повітрі. Евтектоїдна т.С із збільшенням Cr зміщується в сторону більш низького вмісту вуглецю та в область більш високих температур, що призводить до підвищення $T_{гарт}$. (внаслідок уповільненого розчинення карбідів).

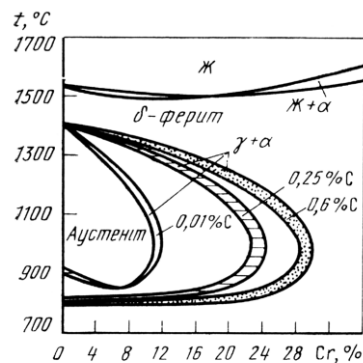


Рис.4.3. Вплив вуглецю на положення області $\alpha\leftrightarrow\gamma$ перетворення в системі Fe-Cr-C

Із збільшенням вмісту Cr відбувається поступове звуження γ -області. На основі цього нержавіючі хромисті сталі можна розділити на 3 групи:

- мартенситні сталі, що підлягають повному перетворенню в аустеніт при нагріванні, та здатні загартовуватися при охолодженні (можуть мати 12-18% Cr при відповідному вмісті вуглецю);
- феритні сталі, що можуть мати 16...30% Cr, при дуже низькому вмісті вуглецю;
- сталі з двофазною А+Ф-структурою при високих температурах, та М+Ф-структурою, яка виникає в результаті гартування.

Ni збільшує область стабільності аустеніту (а області α - та $\alpha+\gamma$ зменшуються), знижує критичну швидкість охолодження, збільшує прогартовуваність сталі. Результат сумісної дії Cr, що розширює α -область, та Ni, що розширює γ -область, на властивостях нержавіючої сталі позначається кількісним співвідношенням цих двох елементів. Якщо в складі нержавіючої сталі кількість Ni складає не менше половини кількості Cr, то її структура є аустенітною (при відсутності інших легувальних елементів). Аустенітні сталі

мають переваги передферитними: добра технологічність, штампованість, зварюваність.

Mn є також γ -утворювачем, але забезпечити аустенітну структуру сталі може тільки при вмісті до 15% Cr, а при більш високому вмісті Cr низьковуглецеві сталі мають двофазну ($\alpha+\gamma$)- або трифазну ($\alpha+\gamma+\sigma$)-структуру.

Mo є α -утворювачем, тобто стабілізує ферит (Кекв=1:1,5). Легування сталі молібденом збільшує пасивацію та хімічну стійкість нержавіючої сталі, наприклад, в відновлювальному середовищі та в присутності іонів Cl⁻, коли пасивація хромом є недостатньою. Оскільки **Mo** є карбідоутворювачем, то для забезпечення ефекту збільшення корозійної стійкості необхідно передбачати термічну обробку, що переводить його в твердий розчин, тобто підвищувати T_{гарт}.

W не впливає на корозійну стійкість нержавіючої сталі, його додають в аустенітну сталь для покращення механічних властивостей. **W** є α -утворювачем.

Введення в сталь **Ti** та **Nb** призводить до утворення термодинамічно стійких карбідів. Це виключає участь хрому, як основного легувального елемента, що забезпечує корозійну стійкість, в утворенні карбідів та сприяє його розчиненню в твердому розчині.

S, **Se** та **P** покращують оброблюваність в процесі різання.

Зміщення електродного потенціалу сплаву в позитивний бік відбувається й при малих домішках Cu, Pt, Pd, введення яких називається катодним легуванням.

Нержавіючі сталі поділяють за хімічним складом на групи:

- хромисті;
- хромонікелеві;
- хромомарганцеві;
- хромонікельмарганцеві.

В залежності від структури нержавіючі сталі підрозділяють на класи:

- феритний (Ф);
- мартенситний (М);
- аустенітний (А);
- феритно-мартенситний (Ф-М);
- аустеніто-мартенситний (А-М);

– аустеніто-феритний (А-Ф).

Крім твердих α - та γ -розчинів, залізохромисті сплави при температурах нижче 950°C та вмісті хрому від $\sim 25\%$ до $\sim 70\%$ мають крихку складову, що позначається як σ -фаза. Ця фаза дуже тверда, крихка та немагнітна, коли вона виділена у вільному стані. Вважають, що σ -фаза – це інтерметалідна сполука заліза і хрому типу FeCr , яка здатна розчинюватися в твердому розчині. σ -фаза виділяється із δ -твердого розчину при повільному охолодженні або за тривалої витримки при понижених температурах. При швидкому охолодженні σ -фаза не утворюється, але при повторному нагріванні вона виділяється з твердого розчину, створюючи в ньому значні напруження, бо її виділення супроводжується великими об'ємними змінами. Вважають, що присутність σ -фази збільшує чутливість сталей до розтріскування під напруженням. Більшість легуючих елементів Mo , Si , Ni , Mn , Co зміщують область існування σ -фази в сторону більш низького вмісту хрому. Вуглець, в кількості, що перевищує його розчинність в фериті, сприяє збідненню фериту на хром, зв'язуючи його в карбіди, тому що швидкість утворення карбідів більша, ніж швидкість утворення σ -фази.

Звіт

- Описати основні види корозії та умови, середовища і галузі, в яких використовують корозійностійкі сталі та сплави.
- Описати вплив основних легуючих елементів корозійностійких сталей та сплавів на їх властивості та структуру, зазначити основні види за хімічним складом.
- Накреслити схематично мікроструктуру зразків корозійностійких сталей та сплавів різного складу.
- Визначити структурні класи, термічну обробку, властивості та призначення запропонованих сталей та сплавів, скласти та заповнити таблицю.

Таблиця

Марки, структурні класи та призначення корозійностійких сталей та сплавів

Марка сталі	Вміст елементів, %	Структурний клас		Термічна обробка	Галузь використання
		рівно-	стан після		

		важний стан	нормалізації		
30X13					
08X13					
15X25T					
12X18H9					
10X14Г15					
08X21H6M2T					
07X16H6					
04XH40МДТЮ					
H70МФ					
XH58B					

Лабораторна робота №3

«Вивчення структури, фазового складу, властивостей та галузей використання жароміцних та жаростійких сталей»

Мета роботи – засвоїти основні характеристики жароміцності та жаростійкості, визначити вплив основних легуючих елементів та термічної обробки на структуру, властивості та галузі застосування жароміцних і жаростійких сталей і сплавів.

Термін виконання – 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання

1. Дати визначення основним характеристикам жароміцності (повзучість, границя повзучості, границя тривалої міцності)
2. Описати принципи легування жароміцних сталей та сплавів.
3. Визначити механізм дії газової корозії.
4. Вивчити та описати фактори, що впливають на жаростійкість металів і сплавів.
5. Визначити і описати методи визначення жаростійкості: ваговий (по збільшенню або після зачищення зменшенню ваги зразка), мікроструктурний, комбінований.
6. Описати основні легуючі елементи жаростійких сталей та сплавів.
7. Скласти таблиці основних класів жаростійких та жароміцних сталей.

Теоретичні відомості

Жароміцність – це здатність сталей та сплавів витримувати механічні навантаження при високих температурах ($>0,3T_{пл}$) впродовж певного часу.

Найчастіше жароміцність характеризується двома критеріями: межею (границею) повзучості та межею (границею) тривалої міцності.

Підвищення температури впливає на всі механічні властивості матеріалу: знижуються модуль пружності, границі плинності та міцності (внаслідок зменшення міцності міжатомних зв'язків, інтенсифікації процесів дифузії та знеміцнення). Це призводить до того, що при дії навантаження матеріал змінює свою форму, тобто відбувається пластична деформація (матеріал «повзе»).

Повзучість – це безперервна пластична деформація матеріалів під дією постійних значень напружень, що нижчі границі плинності. Розвиток повзучості може призвести до руйнування металу. Процес повзучості досліджують за допомогою кривої повзучості, яка характеризує деформацію зразка в залежності від часу випробування при достатньо високій температурі та постійному навантаженні ($\Delta l = f(\tau)$, де Δl – приріст довжини зразка, а τ – час). На типовій кривій повзучості (рис. 4.4) можна виділити декілька ділянок.

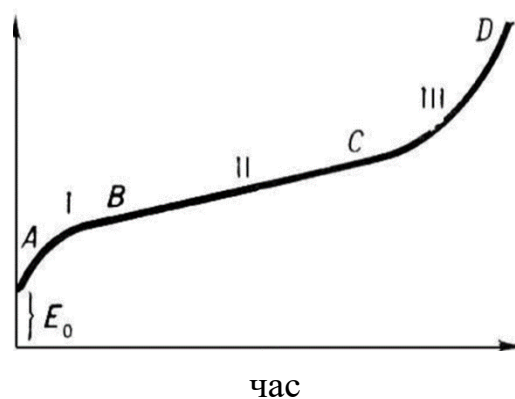


Рис 4.4. Типова крива повзучості

Ділянка ОА – миттєве подовження (або деформація), яке відповідає пружній деформації зразка в момент прикладення навантаження. Ділянка АВ (I стадія повзучості) – початковий період повзучості (або неусталена повзучість), швидкість повзучості зменшується із часом випробування: $v_{\text{повз}} = A \tau^n$, де A , n – сталі величини для даного сплаву та температури. Значення сталої n коливаються від 0 до 2. Ділянка ВС (II стадія повзучості) – усталена (стала) повзучість; відбувається із постійною швидкістю деформації ($v = \text{const}$). На цій стадії повзучості у рівновазі знаходяться процеси зміцнення (за рахунок збільшення щільності дислокацій) та знеміцнення (які пов'язані із процесами звороту та рекристалізації). З використанням цієї ділянки повзучості

визначають границю повзучості. Границя повзучості – це максимальне напруження, яке виникає при постійній температурі повзучості із наперед заданою швидкістю.

Наприклад, $\sigma_{0,5/10000}^{850} = 120 \text{ МПа}$ означає, що при напруженні 120 МПа відносно подовження ($\delta = \Delta l / l$) склало 0,5% за час випробування ($\tau_{\text{випроб}}$) 10000 год при температурі випробування ($T_{\text{випроб}}$) 8500С.

Ділянка CD (III стадія повзучості) – стадія прогресуючої повзучості. Швидкість повзучості зростає, і в точці D відбувається руйнування деталі або зразка. Із використанням часу до руйнування визначають ще один важливий критерій жароміцності – границю тривалої міцності.

Границя тривалої міцності – це максимальне напруження, яке при постійній температурі викликає руйнування зразка після наперед заданої тривалості випробування. Наприклад, $\sigma_{2000}^{900} = 200 \text{ МПа}$; тут $T_{\text{випроб}} = 900^\circ \text{C}$; $\tau_{\text{випроб}} = 2000 \text{ год}$.

Із збільшенням напруження при постійній температурі або із збільшенням температури при постійному напруженні, спостерігається поступове скорочення другого періоду повзучості, який в граничному випадку зникає, й залишаються тільки 2 періоди: період уповільненої та період пришвидшеної повзучості.

Жароміцними називають сталі та сплави, що здатні працювати під напруженням при температурах вище 500°C впродовж певного часу та мають достатню жаростійкість. Жароміцні сталі та сплави використовують для виготовлення багатьох деталей котлів, газових турбін, реактивних двигунів, ракет, атомних устаткувань та ін., що працюють при високих температурах.

Робочі температури сучасних жароміцних сплавів складають приблизно (0,45...0,85)Тпл. Строки експлуатації жароміцних сплавів змінюються від одної – двох годин (ракети) до сотень (авіаційні газові турбіни) та багатьох тисяч годин. Тому склад жароміцних сталей та сплавів повинен забезпечувати високій опір повзучості та газовій корозії з урахуванням умов роботи матеріалу впродовж заданого строку експлуатації.

Виділяють основні фактори, що впливають на підвищення опору повзучості:

1. Температура плавлення металу (сплаву). Чим вища ця температура, тим більші сили міжатомного зв'язку та більш високими є характеристики

жароміцності. Тому при створенні жароміцних сплавів використовують як основу Ni, Co та Fe, які мають близькі температури плавлення та інші характеристики сил міжатомного зв'язку:

$$T_{пл}(Ni)=1455^{\circ}C; T_{пл}(Co)=1435^{\circ}C; T_{пл}(Fe)=1539^{\circ}C.$$

Легування важкотопкими елементами сплавів на основі цих металів призводить до підвищення $T_{пл}$.

2. Легування сталей та сплавів у сполученні з термічною обробкою сильно підвищує їх жароміцні властивості.

Сучасні жароміцні сталі та сплави являють собою багатокомпонентні тверді розчини на основі Fe, Ni або Co, які зміцнюються дисперсними виділеннями фаз – карбідів, карбонітридів, боридів, інтерметалідів. Тобто легування жароміцних сталей та сплавів необхідно проводити елементами, що підвищують сили міжатомних зв'язків в твердому розчині та в надлишкових фазах, тобто зменшують дифузійну рухомість атомів розчинника та легувальних елементів, рухомість дислокацій, гальмують процеси коагуляції фаз, підвищують температури рекристалізації та утворюють дисперсні частинки фаз зміцнювачів. В жароміцних сплавах на основі Fe, Ni або Co основними легуючими елементами є Cr, Ni, Mo, W, Al, V, Nb та Ti, які здатні розчинятися в твердому розчині або утворювати вторинні фази. Елементи втілення B, N та C мають дуже обмежену та змінну в залежності від температури розчинність в твердому розчині, що призводить до утворення надлишкових фаз – карбідів, нітридів, карбонітридів, боридів або фаз змішаного складу, які перешкоджають міжзеренному проковзуванню. Також підвищення зміцнення відбувається за рахунок утворення інтерметалідів: γ' -фази типу $Ni_3(Al, Ti, Nb)$, η -фази Ni_3Ti , фаз Лавеса Fe_2Mo , Fe_2W , μ -фази $Fe_7(Mo, W)_6$. Жароміцність в значній мірі залежить від будови та властивостей примезових об'ємів, тому важливо дослідити вплив різних елементів на ці фактори. Легкотопкі домішки (Pb, Cd, Bi, Sb та ін.) мають малу розчинність в жароміцних сплавах, різко негативний вплив на їх жароміцність внаслідок їх концентрації по межах зерен, утворюють легкоплавкі з'єднання та евтектики та сприяють міжзеренному руйнуванню при повзучості. Метою термічної обробки є створення стабільної структури, що не змінюється впродовж тривалого строку роботи сплаву. Термічною обробкою створюють в сплаві спеціальну структуру, що складається з розташованих в твердому розчині та по межах зерен

дисперсних карбідних, а особливо інтерметалідних фаз, що когерентно пов'язані з матрицею тривалий час. Таку структуру отримують в результаті гартування з високих температур та подальшого старіння. Наявність рівномірно розподілених дисперсних надлишкових фаз уповільнює пластичну деформацію при високих температурах.

3. Розмір зерна. Деформація та руйнування при високих температурах часто відбувається по межах зерен. Це пояснюється тим, що по межах зерен, які містять велику кількість дефектів (вакансій, дислокацій та ін.), легко відбуваються дифузійні процеси. В процесі повзучості відбувається переміщення одного зерна відносно іншого вздовж поверхні їх поділу, тобто проковзування. Таким чином, якщо при низьких температурах (~до 550°C) межі зерен гальмують рух дислокацій та зміцнюють сплав, то при високих температурах, навпаки, сприяють пришвидшеному знеміцненню полікристалічних металів. Тому, збільшення розмірів зерна призводить до зменшення швидкості повзучості.
4. Зміцнення меж зерен. При повзучості значна частина деформації припадає на міжзеренне проковзування, тому при легуванні та термічній обробці формують структуру, в якій на межах зерен розташовані частинки надлишкових фаз.

Сталі та сплави, що призначені для роботи при підвищених температурах, підрозділяють на такі групи:

- 1) помірно жароміцні сталі – ті, що працюють у навантаженому стані при температурах до 600°C впродовж тривалого часу;
- 2) жароміцні сталі та сплави, що працюють в навантаженому стані при високих температурах впродовж певного часу та мають при цьому достатню жароміцність;
- 3) жаростійкі (окалиностійкі) сталі та сплави, які працюють в не або малонавантаженому стані при температурах вище 550°C та мають стійкість проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах.

В групу помірно жароміцних сталей входять вуглецеві, низьколеговані та хромисті сталі. За структурою в нормалізованому стані вони можуть відноситися до перлітного, мартенситного або мартенсито-феритного класів.

До жароміцних відносять сталі аустенітного класу на хромонікелевій та хромонікельмарганцевій основах з різним додатковим легуванням.

Жароміцні сплави поділяють за металевою основою: сплави на основі нікелю та кобальту.

Жаростійкі сталі та сплави поділені на такі групи: хромисті та хромоалюмінієві сталі феритного класу, хромокремністі сталі мартенситного класу, а також хромонікелеві аустенітні сталі та сплави на нікелевій основі.

Звіт

1. Описати механізм дії газової корозії.
2. Описати фактори, що впливають на жаростійкість металів і сплавів та основні легуючі елементи і їх дії на властивості сплавів. Дати визначення «хромаліам, сільхромам, сільхромаліам».
3. Описати методи визначення жаростійкості: ваговий (по збільшенню або після зачищення зменшенню ваги зразка), мікроструктурний, комбінований
4. Дати визначення основним характеристикам жароміцності: повзучість, межа (границя) повзучості, межа (границя) тривалої міцності.
5. Накреслити схематично «типову криву повзучості», на рисунку вказати ділянку миттєвого подовження, яке відповідає пружній деформації зразка в момент прикладення навантаження; ділянку I стадії повзучості - початковий період повзучості (або неусталена повзучість); ділянку II стадії повзучості - усталена (стала) повзучість; ділянку стадії повзучості – стадія прогресуючої повзучості.
6. Описати принципи легування жароміцних сталей та сплавів.
7. Скласти таблиці основних класів жаростійких та жароміцних сталей, вказати марки сталей та сплавів, температури застосування, властивості, термічну обробку.

Характеристики і марки жаростійких сталей і сплавів

Структурний клас	Феритні	Аустеніто-феритні	Аустенітні	Мартенситні	Аустеніто-мартенситні
Т °С застосування					
Термічна обробка					

Властивості					
Марки					

Класи і марки жароміцних сталей і сплавів

Класи сталей за температурою застосування та марки							
Теплостійкі сталі (помірно жароміцні)			Жароміцні аустенітні			Жароміцні сплави	
Температура застосування.....			Температура застосування.....				
вуглецеві	низько-леговані	хромисті	гомогенні	з карбідним зміцненням	з інтерметалідним зміцненням	на основі: елемента	T°C
						Ni	
						Co	
						Ti	
						V, Cr	
						Nb	
						Mo	
						Ta	
						W	

Лабораторна робота №4

«Вивчення характеристик властивостей, хімічних складів, класів та галузей призначення магнітних матеріалів»

Мета: Ознайомитись з основними типами та класами сталей і сплавів, що використовують в якості матеріалів з особливими магнітними властивостями, засвоїти основні характеристики магнітом'яких та магнітотвердих матеріалів.

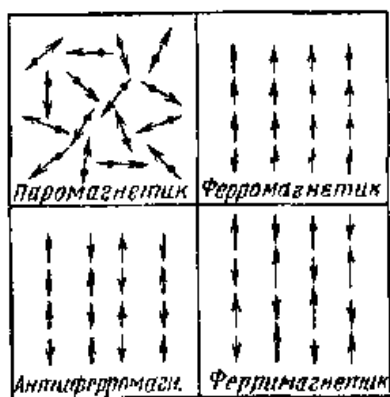
Термін виконання – 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання

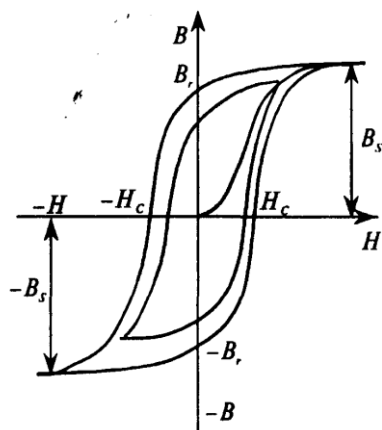
1. Визначити основні магнітні характеристики матеріалів: феромагнетизм, магнітострикція, магнітна проникливість, коерцитивна сила. Накреслити схему орієнтації магнітних моментів атомів різних матеріалів (рис.4.5).
2. Засвоїти основні класи магнітних матеріалів.
3. Характеризувати властивості магнітом'яких низькочастотних та високочастотних матеріалів.
4. Характеризувати властивості магнітотвердих матеріалів.

Теоретичні відомості

Матеріали з малим значенням H_c (коерцитивною силою) та великою магнітною проникливістю називають **магнітом'якими магнітними матеріалами**. Їх застосовують для виготовлення магнітопроводів електричних машин, трансформаторів та інших пристроїв, в яких використовуються змінний магнітний потік. Матеріали з великою коерцитивною силою та порівняно малою проникливістю мають назву **магнітотвердих**. Їх використовують в якості постійних магнітів. Процес перемагнічування феромагнетиків у змінному магнітному полі супроводжується втратами енергії, які призводять до нагрівання матеріалу. Ці втрати зумовлені гістерезисом та вихровими струмами в об'ємі феромагнетика. Втрати на гістерезис (рис.4.5) для кожного матеріалу можуть бути визначені за площею петлі гістерезису, одержаної при повільному перемагнічуванні, з урахуванням масштабів по осях B і H та частоти перемагнічування.



а



б

Рис.4.5. Схеми орієнтації магнітних моментів атомів (а) та петлі гістерезису (б) різних матеріалів

Магнітом'які низькочастотні матеріали

Технічно чисте залізо, яке ще називають Армко-залізом, містить невелику кількість (менше 0,01 %) домішок вуглецю, сірки, марганцю, кремнію та інших елементів, які погіршують його магнітні властивості.

Через порівняно низький питомий опір технічно чисте залізо використовують тільки у випадку постійних магнітних полів (магнітопроводи електричних машин постійного струму, полюсні наконечники електромагнітів, електровимірювальні прилади тощо).

Кремниста електротехнічна сталь – це сплав заліза з кремнієм. Присутність кремнію підвищує питомий електричний опір, що зменшує втрати на вихрові струми. Крім того, кремній сприяє виділенню вуглецю у вигляді графіту, а також майже повному розкисленню сталі, тобто переведенню кисню на шлак (кремнезем). Це призводить до збільшення μ_p , зменшення H_c та до зниження втрат на гістерезис порівняно з технічно чистим залізом. З іншого боку, наявність кремнію призводить до зменшення індукції насичення B_m та погіршення механічних властивостей (підвищується твердість та крихкість). Тому концентрація кремнію в сталі не повинна перевищувати 4,8%.

Листи кремнистої сталі виготовляють прокаткою заготовок в нагрітому чи холодному стані. Тому розрізняють гарячекатану та холоднокатану кремнисті сталі. У процесі холодної прокатки (з великим обтиском та особливою термічною обробкою) одержують текстуровану сталь крупнокристалічної будови, в листах якої кристали орієнтовані осями легкого намагнічування у напрямку прокатки.

Магнітні властивості такої сталі в напрямку прокатки значно кращі порівняно з гарячекатаною. Застосування холоднокатаних текстурованих сталей вимагає такої конструкції магнітопроводу, в якій магнітний потік проходить у напрямку найкращих магнітних властивостей, тобто в напрямку прокатки. Цій умові відповідають виті магнітопроводи, виготовлені із стрічки, або магнітопроводи із зігнутих смуг, змонтованих у стик.

Сталь електротехнічна тонколистова (завтовшки 0,1–1 мм), випускається у вигляді листів, рулонів, стрічок, маркірується чотирма цифрами. Перша цифра

означає клас, тобто структурний стан та вид прокатки: 1 – гарячекатана ізотропна; 2 – холоднокатана ізотропна; 3 – холоднокатана анізотропна з ребровою текстурою; 5 – холоднокатана ізотропна з площинною кубічною текстурою. Друга цифра означає приблизну концентрацію кремнію: 0 – до 0,4%; 1 – 0,4...0,8%; 2 – 0,8...1,8%; 3 – 1,8...2,8%; 4 – 2,8...3,8%; 5 – 3,8...4,8%. Третя цифра означає нормовані магнітні характеристики: 0 – питомі втрати p при магнітній індукції $B = 1,7$ Тл та частоті $f = 50$ Гц ($p_{1,7/50}$); 1 – питомі втрати p при $B = 1,5$ Тл та $f = 50$ Гц ($p_{1,5/50}$); 2 – питомі втрати p при $B = 1,0$ Тл та $f = 400$ Гц ($p_{1,0/400}$); 4 – питомі втрати p при $B = 0,5$ Тл та $f = 3000$ Гц; 6 – магнітна індукція B в слабких магнітних полях при напруженості поля $H = 0,4$ А/м ($B_{0,4}$); 7 – магнітна індукція B в середніх магнітних полях при напруженості поля $H = 10$ А/м (B_{10}). Четверта цифра (від 1 до 8) визначає порядковий номер типу сталі з поліпшенням магнітних властивостей у міру зростання цього номера.

Максимальна відносна магнітна проникливість $\mu_{\text{тн}}$ гарячекатаних сталей (клас 1) перебуває у межах 3000...10000, холоднокатаних (клас 3) – 40000 і більше. Питомі магнітні втрати в сталі завтовшки 0,35 мм: класу 1 (сталь 1513) – $p_{1,5/50} = 2,5$ Вт/кг; класу 2 (сталь 2411) – $p_{1,5/50} = 3,0$ Вт/кг; класу 3 (сталь 3414) – $p_{1,5/50} = 1,1$ Вт/кг. Електротехнічну сталь застосовують в магнітних системах електричних машин, апаратів та приладів, що працюють на змінному струмі промислової частоти (50 Гц), при підвищеній частоті (400 Гц, 800 Гц) та при середніх та сильних магнітних полях.

Пермалой – це сплав заліза з нікелем. Відзначаються високою магнітною проникливістю в слабких магнітних полях та малою коерцитивною силою, Високонікелеві пермалої мають вміст нікелю 70...80%, а низьконікелеві – 40...50%. У марках пермалоїв, наприклад, 79НМ, 80НХС число означає процентний вміст нікелю, буква Н визначає нікель, М – марганець, Х – хром, С – кремній, К – кобальт, Д – мідь, П – з прямокутною петлею гістерезису. Низьконікелеві пермалої (45Н, 50Н, 50НХС) мають такі властивості: $\mu_{\text{тн}} = 1700...3200$; $\mu_{\text{тн}} = 15000...35000$; $H_c = (8...32)$ А/м; $B_m = (1,0...1,5)$; $T_l = (0,45...0,9)$ мкОм·м.

Високонікелеві пермалої (79НМ, 80НХС, 76НХД) мають такі властивості: $\mu_{\text{тн}} = 16000...35000$; $\mu_{\text{тн}} = 5000...22000$; $H_c = (1,0...5,2)$ А/м; $B_m = 0,65$; $T_l = 0,55$ мкОм·м.

Пермалої, поряд з хорошими магнітними властивостями мають такі недоліки – містять дефіцитний нікель, потребують складної термообробки, під дією механічного напруження магнітні властивості відпалених зразків помітно погіршуються. Сплави виготовляють у вигляді холоднокатаних стрічок (0,02...2,5) мм, гарячекатаних та кованих прутків діаметром (8...10) мм. Застосовують пермалої для виготовлення осердь малогабаритних трансформаторів (у тому числі силових), дроселів, імпульсних трансформаторів, магнітних підсилювачів, магнітних екранів.

Альсифер – сплав заліза з кремнієм та алюмінієм. Оптимальний склад: 9,5% Si, 5,6% Al, 84,9% Fe. Його основні властивості: $\mu_{гн} = 35000$; $\mu_{гн} = 120000$; $H_c = 1,8$ А/м; $B_m = 1,8$ Тл; $\rho = 0,8$ мкОм·м, тобто не поступаються властивостям високонікелевих пермалоїв. Через труднощі одержання точного складу компонентів промислові альсифери мають значно гірші показники. Сплав відзначається твердістю та крихкістю, тому вироби з нього (магнітні екрани, корпуси приладів) виготовляють литвом з товщиною стінки виробу не менше 2 мм. Завдяки крихкості альсифер відносно легко розмелюється на порошок і застосовується в такому стані для виготовлення шляхом пресування високочастотних матеріалів (магнітодіелектриків).

Аморфні сплави, які ще називають металічним склом, вміщують як основну складову один або декілька перехідних металів (Fe, Ni, Co) – у кількості 75...85% та металоїд – склоутворювач (B, C, Si, P) у кількості 15...20%. Крім цього, аморфні сплави містять в собі легувальні метали – Cr, Ta, V, Mn та інші, що надають сплавам специфічних властивостей. У цих сплавах відсутня властива кристалічному стану періодичність при розміщенні атомів. Аморфні сплави формують при такій високій швидкості охолодження, за якою частинки не встигають вишикуватися в правильну кристалічну структуру. Їх одержують швидким гартуванням розплавів – «виплюскуванням» розплаву на холодну підкладку, яка швидко переміщується.

Електромагнітні властивості аморфних сплавів близькі до властивостей пермалоїв, але менш підвладні впливу механічних напружень, мають високу корозійну стійкість, міцність та твердість при збереженні пластичності. При цьому питомий електричний опір аморфних сплавів в 2...3 рази більший, ніж у пермалоїв, що значно зменшує втрати на вихрові струми. Завдяки відносній

простоті технології виготовлення, магнітом'які аморфні сплави мають дуже широке застосування.

Звіт

1. Визначення матеріалів з феромагнітними, парамагнітними та іншими магнітними властивостями. Схема, що демонструє орієнтації магнітних моментів атомів різних матеріалів (рис.4.5, а).
2. Визначення характеристик, за якими розподіляють магнітом'які та магнітотверді матеріали.
3. Схема «петлі гістерезису» для матеріалів з різними магнітними властивостями (рис.4.5, б). Описати відмінності магнітних характеристик.
4. Описати низькочастотні та високочастотні магнітом'які матеріали.
5. Описати магнітотверді матеріали.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Застосування, властивості, структура та термічна обробка спеціальних сталей і сплавів»

Мета: Набуття навичок використання довідників, науково - патентних джерел, діаграм ізотермічного розпаду аустеніту, термодинамічних діаграм для визначення галузі використання, формування структури і властивостей спеціальних сталей і сплавів.

Суть розробки: виходячи з марки сталі або сплаву, визначити їх склад, властивості, галузь застосування, структуру і режими термічної обробки.

Умови виконання – самостійна робота в позааудиторний час.

Приклади визначення предметної сфери розробки: продукція металургії та машинобудування.

Порядок виконання роботи

Охарактеризувати отримані марки сталей та сплавів за наступним планом:

1. Розшифрувати отриману марку сталі або сплаву. Навести хімічний склад.
2. Описати вплив легуючих елементів на властивості сплаву, на критичні точки. Визначити, з якою метою їх додають.

3. Описати вплив легуючих елементів на стійкість переохолодженого аустеніту, на критичну швидкість охолодження.
4. Визначити, до якого структурного класу належить дана сталь.
5. Які властивості має сталь?
6. Галузь застосування виробів, що виготовляють із даного сплаву/ сталі.
7. Вибрати режим термічної обробки, що забезпечує експлуатаційні властивості сплаву/ сталі.
8. Охарактеризувати кінцеву структуру сплаву/сталі.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють у НМетАУ. Пояснювальна записка, як правило містить:

- титульний аркуш;
- реферат;
- зміст;
- короткий опис;
- висновки;
- перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки-5...10 стор.; ф. А4; шрифт 14; міжрядковий інтервал 1,3. Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником.

Варіанти індивідуального завдання

№ варіанта	Марка сплаву/ сталі	
	1	20X13
2	15X25T	40X23H4M3C
3	37X12H8Г8МФБ	50H
4	07X16H6	30X13H7C2
5	10X11H20T3P	BT3-1
6	70X20H2C2B	45H
7	08X22H6T	BT8
8	30X13	12X8BM1БФР
9	10X18H12T	XH77TIOP9ЭИ929
10	09X15H9Ю	81HMA

11	<i>BT9</i>	<i>30X13H7C2</i>
12	<i>08X21H6M2T</i>	<i>80HXC</i>
13	<i>08X15H24B4TP</i>	<i>83HΦ</i>
14	<i>12X13</i>	<i>36X18H25C2</i>
15	<i>12X18H9</i>	<i>15X6CЮ</i>
16	<i>40X15H7ГΦ2C</i>	<i>45H</i>
17	<i>08X18T</i>	<i>55X20Г9АН4</i>
18	<i>15X11MΦ</i>	<i>40X9C2</i>
19	<i>12X17</i>	<i>XH77TЮP9ЭИ929</i>
20	<i>XH58B</i>	<i>20X25H20C2</i>
21	<i>XH65MB</i>	<i>50H</i>
22	<i>04XH40MДTЮ</i>	<i>50HXC</i>
23	<i>H70MΦ</i>	<i>XH77TЮP9ЭИ929</i>
24	<i>08X11H35MTЮP</i>	<i>X20H80</i>