

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



**Методичні вказівки
до вивчення дисципліни «Леговані чавуни»
для студентів напрямку 6.050403 - Інженерне матеріалознавство
(спеціальності 132- матеріалознавство)**

**Дніпропетровськ НМетАУ
2016**

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

**Методичні вказівки
до вивчення дисципліни «Леговані чавуни»
для студентів напрямку 6.050403 - Інженерне матеріалознавство
(спеціальності 132- матеріалознавство)**

Затверджено
на засіданні вченої ради
академії
Протокол _____

**Дніпропетровськ НМетАУ
2016**

УДК 669.15-196

Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Леговані чавуни» для студентів спеціальності 132-матеріалознавство/ Укл.: В.З. Куцова, І.О. Семенова, Т.М. Миронова, К.І Узлов. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2016. - 44 с.

Викладені методичні вказівки та скороченні теоретичні відомості. до вивчення дисципліни «Леговані чавуни», а також питання та завдання для контролю знань.

Призначена для студентів спеціальності 132-матеріалознавство.

Укладачі: В.З.Куцова, д-р. техн. наук, проф.
І.О. Семенова, канд. техн. наук, доц.
Т.М. Миронова, д-р. техн. наук, проф.
К.І. Узлов, д-р. техн. наук, проф.

Відповідальна за випуск І.О. Семенова, канд. техн. наук, доц.

Рецензент М.О. Матвєєва, д-р техн. наук, проф.(НМетАУ)

Підписано до друку 01.06.2016. Формат 60×84 1/16. Папір друк. Друк плоский. Облік.-вид. арк. 2,58 умов. друк. арк. 2,56. Тираж 100 пр. Замовлення № 78.

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна «Леговані чавуни» входить до варіативної складової підготовки студентів зі спеціальності «Матеріалознавство»

Мета вивчення дисципліни – засвоєння знань та підтримання навичок, необхідних для аналізу властивостей легованих чавунів у литому стані та після термічної обробки виробів з чавуну під час їх експлуатації.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- фазовий склад легованих чавунів;
- класифікацію легованих чавунів у залежності від високовуглецевої фази та металевої основи;
- вплив легуючих елементів на критичні точки діаграми Fe-C та поліморфізм заліза;
- вплив легуючих елементів на властивості основних фаз легованих чавунів, а також на одержання різних високовуглецевих фаз у чавунах;
- галузі використання легованих чавунів.

вміти:

- аналізувати умови створення структури легованих чавунів за допомогою методів макро- і мікроаналізів з урахуванням діаграм Fe-C сплавів;
- аналізувати діаграми Fe-C сплавів та діаграми ізотермічного розпаду аустеніту в залежності від легуючого елемента;
- визначати фазові складові під час мікроструктурного дослідження та прогнозувати властивості легованих чавунів в залежності від їх мікроструктури та впливу легуючих елементів на властивості фериту, критичні точки діаграми Fe-C сплавів, поліморфізм заліза, температури M_{Π} і M_K .

Критерії успішності – отримання позитивної оцінки при складанні контрольних робіт у тестовій формі та екзамену.

Засоби діагностики успішності навчання – для виконання індивідуального завдання комплект діаграм Fe – легуючий елемент, комплект мікроструктур легованих чавунів в залежності від способу виробництва, хімічного складу та можливої термічної обробки.

- *Зв'язок з іншими дисциплінами* – дисципліна є однією з основоположних при підготовці бакалаврів, спеціалістів та магістрів напрямку «Інженерне матеріалознавство». Їй передують вивчення дисциплін: «Сплави системи залізо-вуглець», «Матеріалознавство», «Механічні властивості». Набуті знання і вміння використовуються при вивченні дисципліни «Композиційні матеріали», «Зносостійкі матеріали».

1 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия, 1969. – 415с.
2. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна – М.: Металлургия, 1972. – 160с.
3. Гарбер М.Е. Отливки из белого износостойкого чугуна – М.: Машиностроение, 1972. – 110с.
4. Цыпин И.И. Белый износостойкий чугун – М.: Металлургия, 1983. – 282с.
5. Богачёв И.Н. Металлография чугуна – 2-е изд. перераб. и доп. Свердловск: Металлургиздат, 1962. – 392с.
6. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1978. – 647с.
7. Лахтин Ю.М, Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528с.
8. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. – М.: Металлургия, 1976. – 286с.
9. Лякишев Н.П. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем. – М. Машиностроение, 1996-1997. Т.1. – 992с., Т.2. – 1024с.
10. Горкушина Л.П. Структура и свойства магниевого чугуна. – Высшая школа. Издательство при Харьковском университете, 1980. – 160с.
11. Шерман А.Д., Жуков А.А. и др. Чугун: справочник – М.: Металлургия, 1991. – 576с.

2. ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАКЛЮЧНОГО КОНТРОЛЮ

1. Переваги та недоліки чавунів у порівнянні зі сталями.
2. Переваги та недоліки СЧ у порівнянні з БЧ.
3. Переваги та недоліки БЧ у порівнянні з СЧ.
4. Розподіл легуючих елементів у фазах чавунних відливок.
5. Основні відмінності БЧ та СЧ.
6. Вплив легування на структуру ледебуриту.
7. Різновиди ледебуриту в БЧ та їх властивості.
8. Що таке «армастил»?
9. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
10. Що таке карбідизація чавунів?
11. В чому полягає процес графітизації чавунів?
12. Наведіть графітоутворюючі елементи.
13. Наведіть карбідоутворюючі елементи.

14. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
15. Властивості фосфідних евтектик.
16. Що таке «стедит»?
17. Вплив графіту на властивості чавунів.
18. Вплив сірки та фосфору на властивості чавунів.
19. Вплив ванадію на властивості чавунів.
20. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
21. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.
22. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?
23. Які домішки в невеликих кількостях суттєво впливають на властивості чавунів?
24. Вплив титану на структуроутворення та властивості чавуну?
25. Поясніть неоднозначний вплив кремнію на структуроутворення чавунів в залежності від його кількості.
26. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
27. Вплив хрому на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
28. Вплив алюмінію на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
29. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
30. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є акцепторами валентних електронів?
31. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
32. Що таке коефіцієнт активності компонентів та що він характеризує?
33. Що таке « a_i » і яким чином цей показник пов'язаний з концентрацією елемента?
34. Що таке інокулююче модифікування і яка його роль в формуванні структури чавунів?
35. Опишіть вплив легуючих елементів на температури $M_{\text{П}}$ і $M_{\text{К}}$. Наведіть приклад з зображенням діаграми ізотермічного розпаду А.
36. Що таке аустемперинг чавунів, які властивості він надає чавунам?
37. Що таке графітизація та на яких етапах формування структури чавунів вона можлива?
38. Наведіть галузі промисловості де використовують білі чавуни.
39. Які чавуни є природними композитами і чому?
40. Переваги природних композитів у порівнянні зі штучними?

41. Які структури чавунів можна віднести до зерених композитів і в чому їх переваги перед волоконними композитами?
42. Які фактори сприяють деформації білих чавунів?
43. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?
44. Які характеристики металевої матриці білих чавунів впливають на їх властивості?
45. В яких фазах чавунів розташовуються карбідоутворюючі елементи?
46. Які бувають види волоконних композицій в БЧ?
47. До якого виду волоконних композицій відносяться високолеговані БЧ?
48. До якого виду волоконних композицій відносяться низьколеговані БЧ?
49. Яких дефектів литої структури легованого чавуну дозволяє уникнути пластична деформація?
50. Які структурні зміни відбуваються при пластичній деформації легованих БЧ?
51. Причини знеміцнення легованих БЧ в аустенітно-карбідній області.
52. Що таке карбідне перетворення в легованих БЧ?
53. Яку властивість набувають леговані БЧ в момент карбідного перетворення?
54. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є донорами валентних електронів?
55. Які фактори визначають розподілення N_2 в твердих фазах чавуну?
56. В яких фазах чавуну може розміщуватися N_2 ?
57. В яких фазах БЧ концентрується N_2 ?
58. Утворенню якої високовуглецевої фази в чавунах при кристалізації сприяє N_2 , який розчинений в рідкій фазі?
59. Утворенню якої високовуглецевої фази в чавунах при кристалізації сприяє N_2 , який зв'язаний в нітриді?
60. Як поділяють леговані БЧ за видом кристалічної решітки карбідів?
61. Які властивості повинна мати металічна основа легованих БЧ для реалізації їх високотемпературної зносостійкості?
62. Чи завжди елементи, що вводять до сталі або чавуну є легуючими?
63. Класифікація домішок в чавунах.
64. Наведіть основні легуючі елементи в білих чавунах та поясніть, чому саме вони застосовуються в якості легуючих домішок БЧ?
65. Опишіть вплив хрому на формування структури та властивостей БЧ.
66. В яких фазах чавунів розміщуються легуючі елементи?
67. Як впливають легуючі елементи на температуру поліморфізму Fe?
68. Як впливають легуючі елементи на положення точок S і E діаграми Fe-C сплавів?

69. Опишіть вплив ванадію на формування структури та властивостей БЧ.
70. Яку форму мають карбіди хрому в хромистих БЧ?
71. У яких БЧ доевтектичних або заевтектичних твердість та зносостійкість при абразивному зношуванні більше і чому?
72. Які елементи сприяють відбілюванню чавунних відливок?
73. Чим пояснюється відбілюючий вплив хрому при формуванні структури чавунної відливки?
74. Основні характеристики карбідів, які впливають на зносостійкість БЧ.
75. Основні характеристики карбідів, які впливають на механічні властивості БЧ.
76. Основні характеристики карбідів, які впливають на технологічні властивості БЧ.
77. В чому подібність та різниця впливу Cr та V на формування евтектичних колоній в БЧ?
78. Опишіть вплив легуючих елементів на C-подібну діаграму ізотермічного розпаду аустеніту. До яких структурних змін це призводить?
79. Що таке графітизація і на яких етапах формування структури чавунів вона можлива?
80. Що таке «зростання» чавунів? Наслідки цього явища.
81. Чим визначаються службові властивості сірих чавунів?
82. Яку форму може мати графіт в сірих чавунах і від чого це залежить?
83. Які властивості надає чавунам графіт?
84. Чим визначається міцність перлітних сірих чавунів?
85. Яким чином одержують різну основу в сірих чавунах? Опишіть у відповідності до діаграми стану Fe-C сплавів.
86. Яка матриця надає сірому чавуну найбільш високу міцність при одночасному збереженні достатньо високого рівня твердості?
87. Які фактори необхідно враховувати при експлуатації трубопроводів із сірих чавунів?
88. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
89. В яких фазах чавунів розташовуються графітоутворюючі елементи?
90. Як класифікують СЧ за формою графіту?
91. Які фактори впливають на формування матриці СЧ?
92. Що таке герметичність і як визначається цей показник?
93. Від чого залежить зносостійкість СЧ?
94. Як підвищують стійкість проти зростання СЧ?
95. Які СЧ більш схильні до «зростання» в процесі експлуатації при високих температурах?
96. Як впливає подрібнення графітних включень на герметичність СЧ?

97. За рахунок чого відбувається «зростання» СЧ?
98. В яких сірих чавунах явище «зростання» проявляється сильніше і чому?
99. На які властивості СЧ впливають розміри графітних включень?
100. Для яких чавунів визначають таку характеристику як герметичність і від чого вона залежить?
101. Як впливає ступінь компактності графіту на герметичність чавунів?
102. Які зміни в структурі чавунів сприяють підвищенню їх герметичності?
103. Вплив Si на структуру і властивості СЧ.
104. Який легуючий елемент полегшує одержання перлітної основи в СЧ, не підвищуючи його схильності до відбілу?
105. Від чого залежить швидкість охолодження чавунів у відливках?
106. Як товщина стінки чавунної відливки впливає на механічні та службові властивості чавунів?
107. Чому є небажаним, щоб у виробках з СЧ стінка відливки була надто тонкою?
108. Яка матриця СЧ має саму високу зносостійкість?
109. Які легуючі елементи додають до СЧ з метою підвищення корозійної стійкості в лужному середовищі?
110. Які властивості притаманні СЧ?
111. Які елементи можуть застосовуватися в якості основних легуючих в СЧ?
112. Як впливає Si на стійкість проти «зростання» перлітного СЧ?
113. Введення якого елемента підвищує стійкість проти «зростання» перлітного СЧ?
114. Як модифікування впливає на стійкість проти «зростання» перлітного СЧ?
115. Завдяки чому модифікування СЧ підвищує його стійкість до «зростання».
116. Який СЧ відзначається більшою зносостійкістю - на феритній, ферито-перлітній або перлітній основі і чому?
117. Завдяки чому можливе «зростання» білих чавунів?
118. Завдяки чому можливе «зростання» сірих чавунів?
119. Якими показниками оцінюють мікронеоднорідність розподілення елементів?
120. В якому випадку ліквідація легуючих елементів називається зворотною?
121. В якому випадку ліквідація легуючих елементів називається прямою?
122. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
123. Що таке K_p і K_d ?
124. Як змінюється температура евтектичної рівноваги з підвищенням вмісту легуючого елемента у випадку зворотної ліквідації елемента?

125. Як змінюється температура евтектичної рівноваги з підвищенням вмісту легуючого елементу у випадку прямої ліквідації елементу?
126. Корозійностійкі чавуни. Якими елементами їх легують і завдяки чому вони набувають таких властивостей?
127. Які чавуни відносяться до жароміцних? Якими елементами їх легують?
128. Немагнітні чавуни. Якими елементами їх легують?
129. Антифрикційні чавуни, їх властивості і галузі їх застосування.
130. Технологія виробництва ковких чавунів.
131. Вплив легуючих елементів на 1-у та 2-у стадії графітизації?
132. Чому у випадку прямої ліквідації з підвищенням вмісту легуючого елементу температура евтектичної рівноваги знижується?
133. Чому у випадку зворотної ліквідації з підвищенням вмісту легуючого елементу температура евтектичної рівноваги підвищується?
134. Якими елементами легують корозійностійкі чавуни?
135. Чому межа міцності КЧ за рівнем близька до межі міцності ЧКГ, а ударна в'язкість ковких чавунів значно нижча за ударну в'язкість ЧКГ?
136. Роль марганцю у формуванні структури та властивостей КЧ?
137. В якому випадку марганець буде перешкоджати графітизації на II-й стадії відпалу КЧ?
138. Вплив хрому на I-у та II-у стадії відпалу при виробництві КЧ?
139. Як відношення «марганець/сірка» впливає на форму графіту відпалу в КЧ?
140. На які характеристики КЧ впливає співвідношення «марганець/сірка»?
141. Вплив міді на властивості КЧ?
142. Вплив фосфору на властивості КЧ?
143. Вплив нікелю на I-у та II-у стадії графітизації та на властивості КЧ?
144. Вплив алюмінію на I-у та II-у стадії графітизації та на властивості КЧ?
145. Вплив молібдену на I-у та II-у стадії графітизації та на властивості КЧ?
146. Вплив ванадію на I-у та II-у стадії графітизації та на властивості КЧ?
147. Які властивості притаманні ЧКГ з перлітною матрицею?
148. Яку матрицю повинен мати ЧКГ для забезпечення литим виробам високої в'язкості, пластичності, холодо- та ударостійкості?
149. Яка матриця ЧКГ забезпечує сполучення максимальної міцності з високою пластичністю?
150. Які властивості ЧКГ забезпечує бейнітна матриця?

Лабораторна робота №1

Формування структури білих та сірих чавунів

Мета роботи: Набуття студентами знань щодо формування мікроструктури та її впливу на властивості білих та сірих чавунів.

Порядок виконання роботи. Завдання:

1. Вивчити особистості формування мікроструктури білих чавунів, що містять різну кількість вуглецю: доевтектичних, евтектичних, заевтектичних. Різновиди ледебуриту в білих чавунах та їхній вплив на властивості чавунів.
2. Вивчити особистості формування мікроструктури сірих чавунів з різною формою графітних кристалів на феритній, перлітній та ферито–перлітній основі.
3. Визначити вплив структурних складових на властивості сірих чавунів.

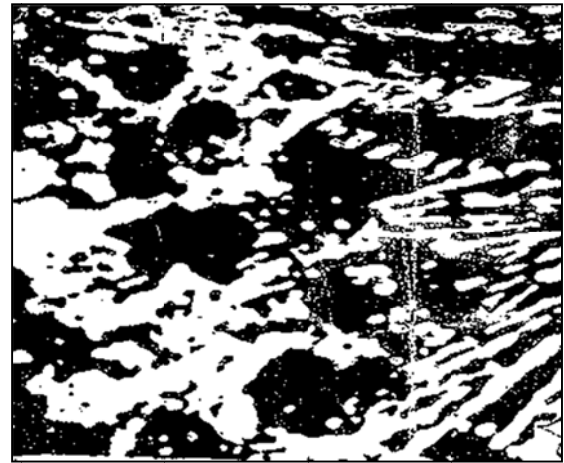
Стисла інформація з теорії.

Існують два основні класи чавунів, які відрізняються за властивостями та за призначенням. Це – білі (БЧ) та сірі (СЧ) чавуни. Їх класифікація здійснюється у відповідності до високовуглецевої фази, яка в них кристалізується. Якщо кристалізується цементит (Fe_3C), то чавун відносять до білих чавунів (тому що він має білий відблискуючий злам). Якщо кристалізується графіт (Г), то чавун відносять до класу сірих (тому що злам у нього сірого кольору).

Евтектика в білих чавунах «удає» з себе цементит, в якому проростають розгалужені дендрити евтектичного аустеніту. Гілки цього аустеніту в процесі евтектичного росту можуть мати форму або стрижнів, або пластин. Такі евтектичні колонії називаються – ледебурит. В залежності від форми аустеніту, який росте в цементиті, ледебурит буває двох видів – стільниковий та пластинчастий (рис. 1). Ледебурит має підвищену твердість та крихкість через високу твердість цементиту ($HV \approx 900...1000$, що відповідає значенню $9000...10000 \text{ Н/мм}^2$) та його крихкість.



а



б

а- стільниковий ледебурит $\times 400$; б- пластинчастий ледебурит в швидкозакристалізованому білому чавуні $\times 1000$

Рисунок 1 – Мікроструктура ледебуриту після травлення мікрошліфу ніталем (1...5% розчин HNO_3)

Стільниковий ледебурит (рис. 1 а) – більш крихкий, ніж пластинчастий. В ньому «стрижні» аустеніту майже повністю ізольовані одне від одного крихким цементитом. Тому, притаманна аустеніту пластичність не може бути реалізована навіть при температурах близьких до $900...950^\circ\text{C}$.

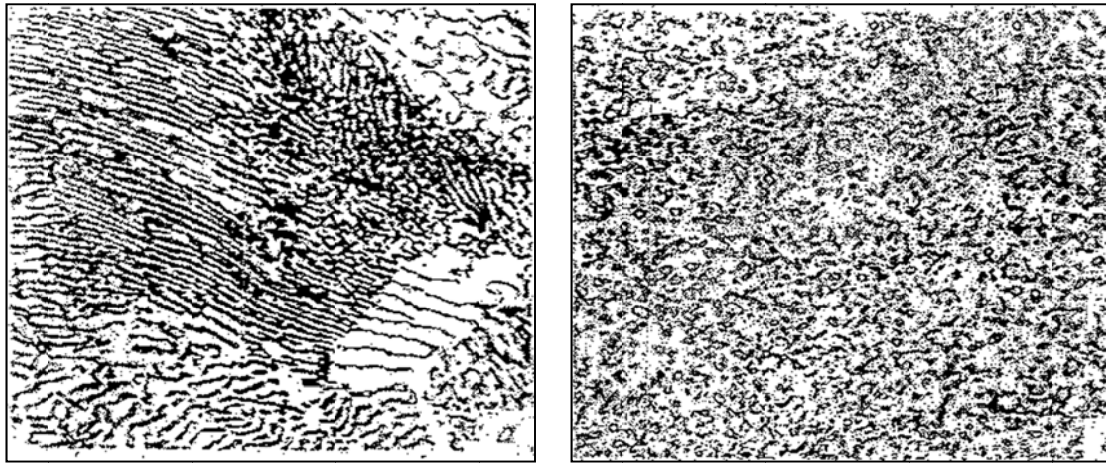
Пластинчастий ледебурит (рис. 1 б) менш крихкий, через те, що пластини аустеніту мають значно більші розміри в двох напрямках на відміну від стрижнів. В цьому випадку мікротріщини, які зароджуються в крихкому цементиті, переходячи на аустенітні ділянки (прошарки) невзможі їх обійти так легко, як вони огинають стрижні, тому ними гальмуються.

Аустеніт ледебуриту нижче лінії евтектоїдної рівноваги (PSK) розпадається на ферит та цементит, що призводить до формування евтектоїдних колоній, які називаються перліт.

Така будова ледебуриту призводить до того, що твердість його перевищує 600НВ, а крихкість дуже висока. Тому нелеговані білі чавуни не схильні до обробки тиском та погано обробляються різанням.

Декілька поліпшити ударостійкість та обробляемість білих чавунів різанням можна, якщо сформувати при евтектоїдному розпаді аустеніту не на пластинчастий (рис. 2 а), а зернистий перліт (рис. 2 б). Чавун з такою структурою перліту називають «армастил». Його використовують для удароміцних деталей [2].

Білі чавуни класифікують за вмістом вуглецю і поділяють на доевтектичні, евтектичні та заевтектичні.



а

б

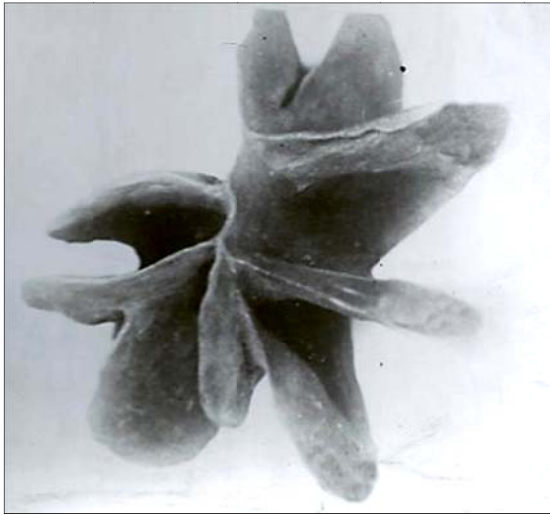
а- пластинчастий перліт $\times 200$;

б- зернистий перліт $\times 100$

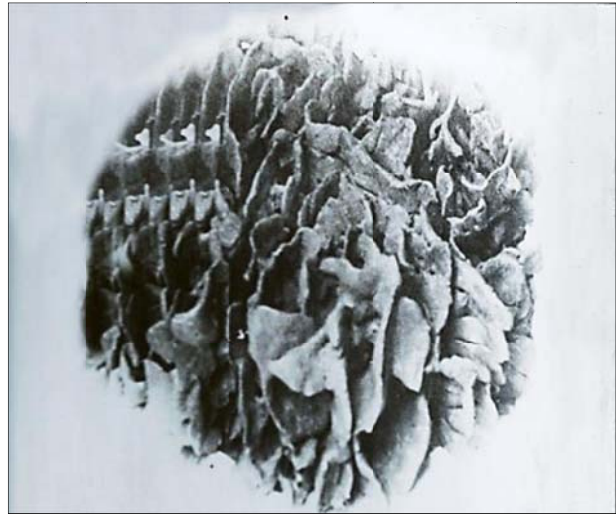
Рисунок 2- Мікроструктура перліту після травлення мікрошліфу ніталем

Якщо кристалізація чавуну здійснюється у відповідності до стабільної діаграми Fe-C сплавів (тобто формується графіт) то такі чавуни називають сірими.

Евтектика сірих чавунів складається з аустеніту та графітних включень, які ростуть з одного центру у вигляді розгалужених пластин, між якими кристалізується аустеніт (рис.3). Ступінь розгалуженості цих кристалів залежить як від хімічного складу чавуну так і від швидкості охолодження в момент кристалізації. В лабораторних сплавах при високому ступеню очищення Fe-C сплавів від домішок, значні швидкості охолодження в момент кристалізації дозволяють одержувати графітні включення глобулярної форми (рис.4). Однак, у промислових чавунах такий графіт одержують лише завдяки введенню в розплав чавуну модифікаторів в якості яких використовують магній або магній разом з РЗМ.



а



б

а – при повільному охолодженні;
б – при пришвидшеному охолодженні

Рисунок 3 – Форма кристалів графіту в аустенітно-графітній евтектиці

На відміну від білих чавунів (БЧ) сірі чавуни (СЧ) класифікують не за вмістом вуглецю а за типом металевої матриці, яка формується в залежності від швидкості охолодження чавуну нижче за лінію евтектоїдної рівноваги. Матриця може бути феритною (при повільному охолодженні – при малому Δt_1), перлітною (при значній швидкості охолодження – при великому Δt_2) та ферито-перлітною (при середніх швидкостях охолодження, коли частина аустеніту евтектоїдного складу розпадається на $\Phi+\Gamma$, а частина – на $\Phi+\Psi$, тобто на Π (рис. 5)).

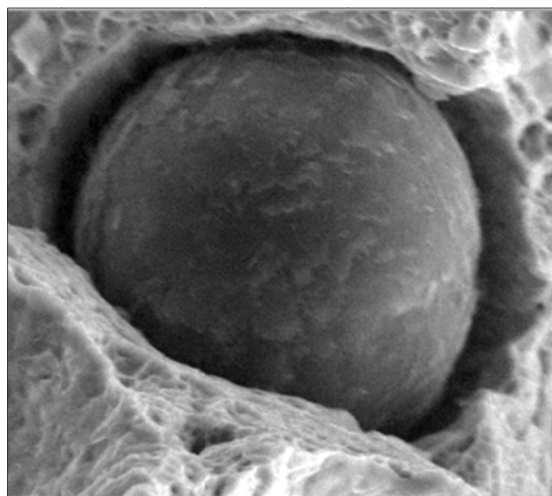


Рисунок 4 – Графіт глобулярної (кулястої) форми

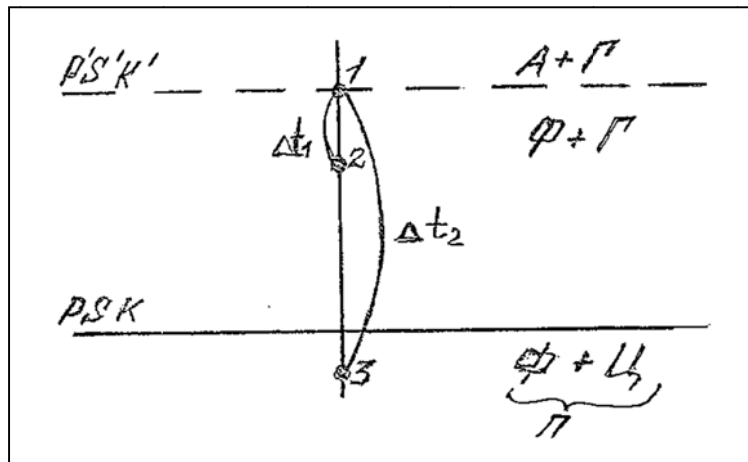


Рисунок 5 – Схема формування різної металевої основи в сірих чавунах в залежності від швидкості охолодження в інтервалі температур евтектоїдної рівноваги

В першому приближенні СЧ можна розглядати як сталі, що ослаблені графітними включеннями тому, що графіт це неметалічна фаза, якій не притаманна міцність. Механічні властивості сірих чавунів визначаються залежно від форми графітних включень, а також типу металічної основи.

У порівнянні зі сталями чавуни відрізняються високою рідкотекучістю, що робить їх преференційним матеріалом для литва. Це є запорукою одержання з них виробів складної конфігурації. Білі чавуни, додатково, характеризуються дуже високою твердістю та абразивною зносостійкістю за рахунок значної кількості цементиту в структурі. Сірі чавуни мають чудові антифрикційні властивості та високу теплопровідність завдяки наявності в структурі графіту.

Графіт, як і будь-яке неметалеве включення, впливає на всі властивості чавунів (фізичні, механічні, хімічні). Його вплив визначається кількістю, розміром, формою та характером розподілу в металевій матриці. Чавуни з кулястою формою графіту мають підвищену міцність в порівнянні з чавунами, що мають в своїй структурі пластинчасту форму графітних включень і тому маркуються буквами ВЧ (з російської-высокопрочные), на відміну від звичайних сірих чавуні, що маркують –СЧ.

Якщо властивості одержаних чавунних відливок не задовольняють вимогам користувачів, то як і сталі, зазвичай, до них в першу чергу застосовують термічну обробку. Завдяки термічній обробці чавунів можливо:

- 1) зняти ливарні напруги (відпал);
- 2) подрібнити зерно (нормалізація);
- 3) зміцнити за рахунок формування мартенситної або бейнітної структури (гартування).

Якщо цього не достатньо для досягнення бажаних властивостей, тоді для одержання додаткового комплексу властивостей використовують легування чавунів.

Порядок оформлення звіту лабораторної роботи №1:

1. Замалювати мікроструктури білих чавунів: доевтектичного, евтектичного та заевтектичного складу. Вказати структурні складові.

2. Замалювати мікроструктури сірих чавунів з кулястим та пластинчастим графітом на феритній, перлітній та ферито-перлітній основі. Вказати структурні складові.

Дати письмові відповіді на теоретичні питання:

1. Основна відміна БЧ від СЧ.
2. Різновиди ледебуриту в БЧ та їх властивості.
3. Що таке «армастил»?
4. Вплив графіту на властивості чавунів.
5. Переваги і недоліки чавунів порівняно зі сталями.
6. Переваги і недоліки СЧ чавунів порівняно з БЧ.
7. Класифікація БЧ і СЧ.
8. Як отримують різну матрицю СЧ?

Лабораторна робота №2

Вплив легуючих елементів на критичні точки діаграми Fe-C і формування структури в білих та сірих чавунах

Мета роботи: Набуття студентами знань щодо впливу легуючих елементів на критичні точки діаграми Fe-C сплавів, на сталість переохолодженого аустеніту і формування, згідно з цим, різних фаз і структурних складових в білих та сірих чавунах .

Стисла інформація з теорії.

Легування – введення в розплав, крім основних елементів системи (заліза та вуглецю), додаткових елементів з метою цілеспрямованої зміни структури та властивостей цих сплавів.

Загального кількісного критерію оцінки того, чи є даний елемент легуючим або ні, не існує.

Деякі елементи вже в межах сотих або тисячних часток відсотку можуть сильно змінювати структуру та властивості, а деякі навіть в межах декількох процентів не впливають на формування структури та властивостей. Наприклад, Si в сталях не є легуючою домішкою в кількості до 1%, а в чавунах – навіть до 3% (сірі чавуни). Такі елементи як ванадій в кількості 0,01% та бор в кількості 0,001% вже є легуючими домішками тому, що вони сприяють активному подрібненню зерен та підвищенню міцності сплавів. Такі домішки називають мікролегуєчими.

Крім легуючих домішок в чавунах можуть бути присутніми:

- 1) **постійні домішки** (S, P, Mn, Si), до впливу яких чавуни менш чутливі ніж сталі. Пов'язано це з тим, що в структурі чавунів присутні фази (в БЧ - цементит, в СЧ – графіт), які мають значніший вплив на властивості чавунів, ніж неметалеві включення, які формуються на основі наведених домішок;
- 2) **приховані домішки** (O₂, H₂, N₂).

Легуючі домішки впливають на структуроутворення як в сталях так і в чавунах за рахунок:

- 1) впливу на температури поліморфізму заліза (рис. 6);
- 2) впливу на діаграму ізотермічного розпаду аустеніту (рис. 7) через її зсув праворуч, тобто завдяки підвищенню стійкості аустеніту при охолодженні;

- 3) впливу на температури M_{II} та M_K (рис. 8) та кількість залишкового аустеніту;
- 4) впливу на положення точок С та Е діаграми Fe-C сплавів через їх зсув ліворуч вбік меншого вмісту вуглецю.

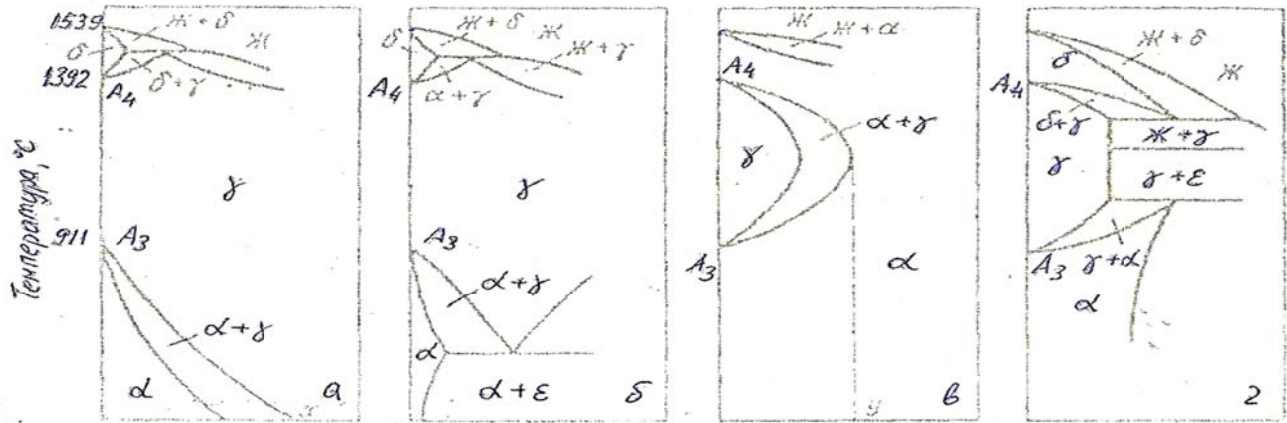


Рисунок 6 – Вплив легуючих елементів на температури поліморфізму заліза

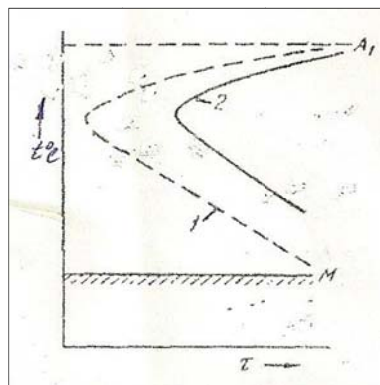


Рисунок 7 – Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту: крива 1 – положення С-подібної діаграми ізотермічного розпаду нелегованого аустеніту; крива 2 – положення С-подібної діаграми ізотермічного розпаду легovanого аустеніту

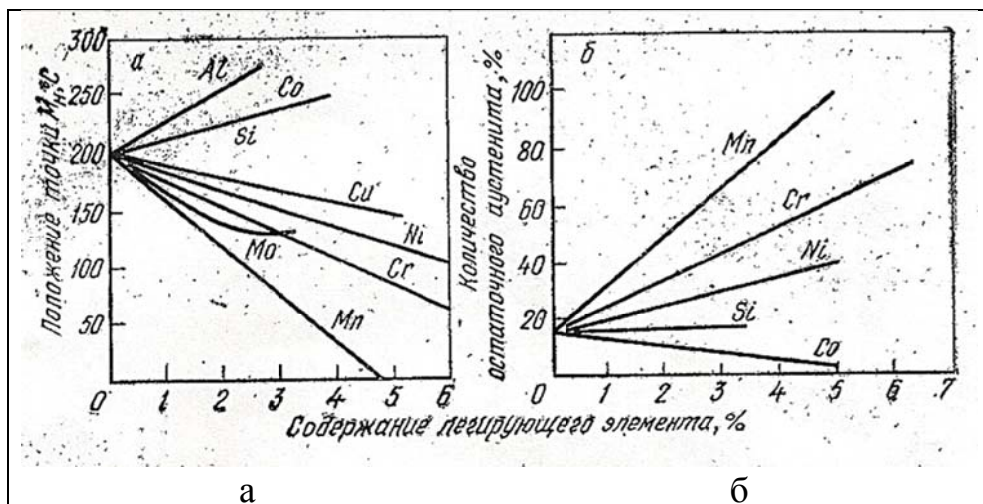


Рисунок 8 – Вплив легуючих елементів на температуру мартенситного перетворення (а); кількість залишкового аустеніту (б)

Як свідчать наведені рисунки 6, 7 та 8, легуючі елементи можуть як знижувати так і підвищувати температури поліморфізму заліза (температури A_3 та A_4 – див. рис. 6), знижувати температури M_{Π} та M_K (див. рис. 8 а), підвищувати кількість залишкового аустеніту (див. рис.8 б).

Підвищуючи стійкість аустеніту та знижуючи температури M_{Π} та M_K , легуючі елементи сприяють формуванню в Fe-C сплавах мартенситної та навіть аустенітної фаз при охолодженні на повітрі (рис. 9).

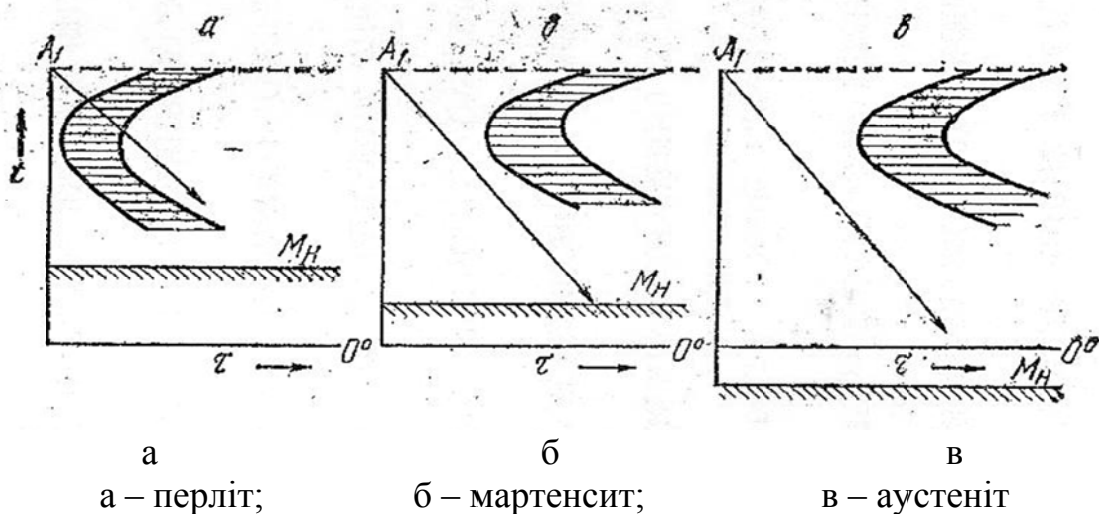


Рисунок 9 – Схеми діаграми ізотермічного розпаду аустеніту та положення температури M_{Π} при легуванні сталей і чавунів щодо формування структур при охолодженні на повітрі

При введенні легуючих елементів в сталі та чавуни вони можуть розміщатися:

1. В основних фазах Fe-C сплавів – фериті, аустеніті та цементиті з формуванням легованого фериту, легованого аустеніту та легованого цементиту та з відповідним впливом на їх властивості (здебільшого зміцнюючи їх).
2. Легуючі елементи можуть взаємодіяти з вуглецем з формуванням **спеціальних карбідів**.
3. Легуючі елементи можуть при взаємодії між собою або з залізом створювати **інтерметаліди** або входити до складу **неметалевих включень** (нітридів, оксидів, сульфідів і т.п.).

4. Існувати в структурі як *самостійні фази*, якщо вони не розчиняються в залізі.

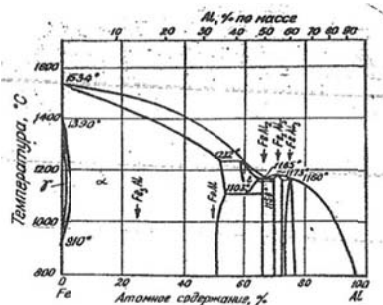
Порядок оформлення звіту по 2 частині лабораторної роботи:

1. Розсортувати діаграми стану Fe-Al (рис. 10а); Fe-W (рис. 10 б); Fe-Mn (рис. 10 в); Fe-Ti (рис. 10 г); Fe-Cr (рис. 10 д); Fe-V (рис. 10 е); Fe-Ni (рис. 10 ж); Fe-Si (рис. 10 з); Fe-P (рис. 10 и); Fe-N (рис. 10 к); Fe-Co (рис. 10 л); Fe-S (рис. 10 м); Fe-Mo (рис. 10 н); Fe-V (рис. 10 о), що наведені на рисунку 10 за чотирма групами:

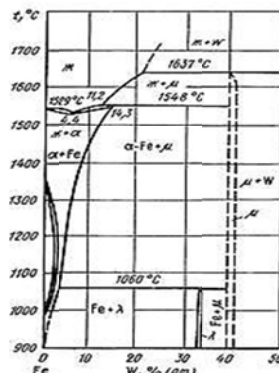
- 1 а - з відкритою γ -областю;
- 1 б - з розширеною γ -областю;
- 2 а - з закритою γ -областю;
- 2 б – зі звуженою γ -областю.

2. Дати характеристику однієї з наведених на рисунку 10 діаграм стану залізо-легуючий елемент за 5-ти пунктами:

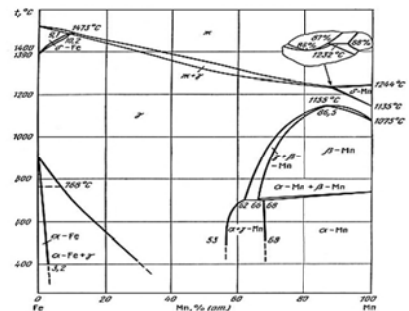
- 1) Розчинність у рідкому стані;
- 2) Наявність поліморфізму;
- 3) Розчинність у твердому стані;
- 4) Наявність і характеристика проміжних фаз (хімічних сполук);
- 5) Типи трьохфазних рівноваг.



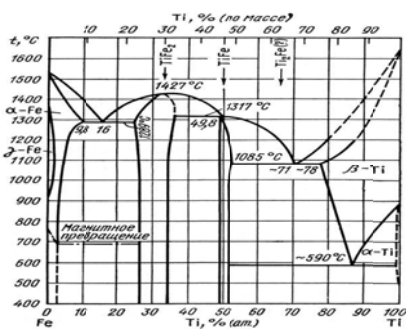
а) Fe-Al



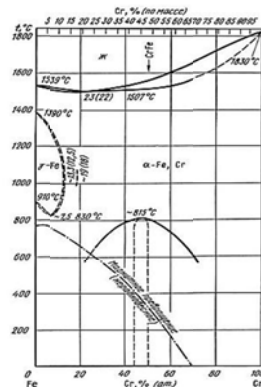
б) Fe-W



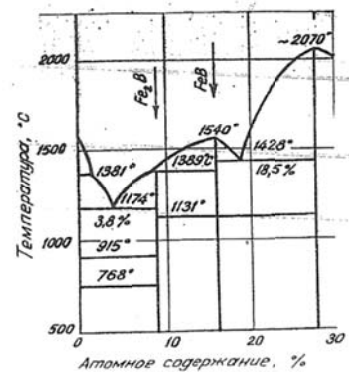
в) Fe-Mn



г) Fe-Ti

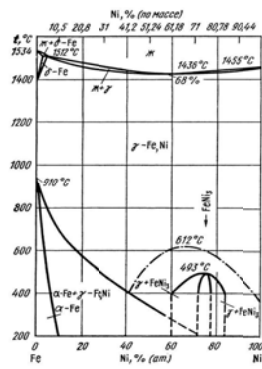


д) Fe-Cr

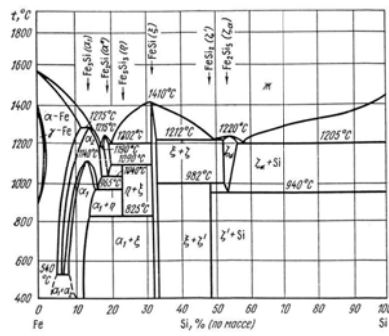


е) Fe-V

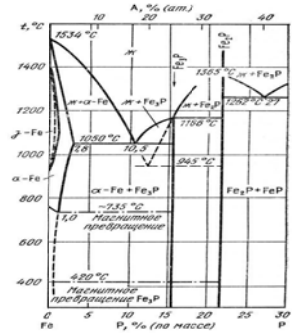
Рисунок 10 – Діаграми стану залізо-легуючий елемент для аналізу, аркуш 1



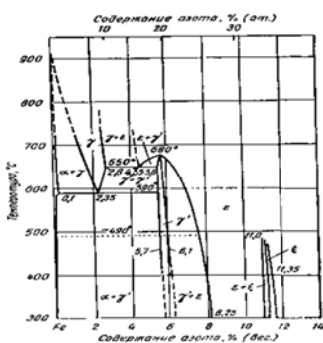
ж) Fe-Ni



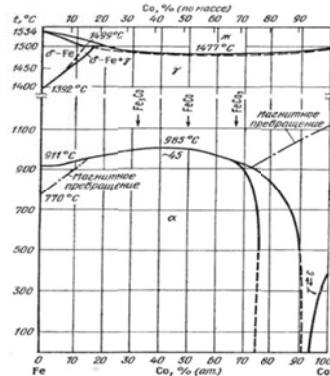
з) Fe-Si



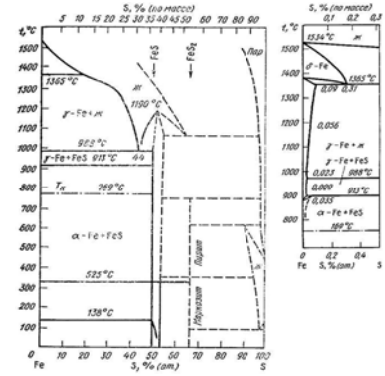
и) Fe-P



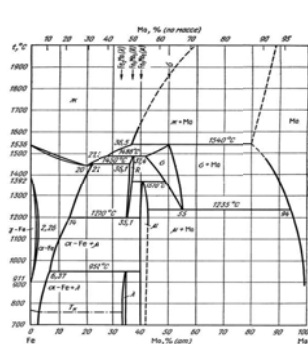
к) Fe-N



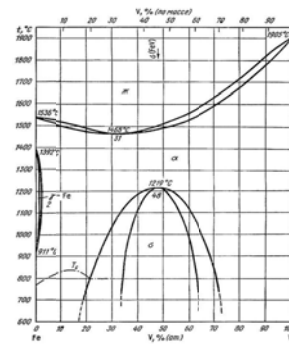
л) Fe-Co



м) Fe-S



н) Fe-Mo



о) Fe-V

Рисунок 10 – Діаграми стану залізо-легуючий елемент для аналізу, аркуш 2

Лабораторна робота №3

Фосфідні евтектики в чавунах

Мета роботи: Набуття студентами знань щодо формування фосфідних евтектик та впливу фосфору на властивості чавунів.

Порядок виконання роботи. Завдання:

1. Вивчити особливості формування потрійних та подвійних фосфідних евтектик в білих та сірих чавунах, а також їх вплив на властивості чавуну.
2. Визначити яким чином відбувається класифікація фосфідних евтектик.

Стисла інформація з теорії:

Постійні домішки в чавунах (S та P) не мають такого впливу на їх властивості, як у випадку присутності цих домішок в сталях. Це пов'язано з тим, що неметалеві включення які формують сірка або фосфор в значно меншій кількості присутні в чавунах, ніж такі високовуглецеві фази як цементит (в білих чавунах) та графіт (в сірих чавунах), які саме і мають значний вплив на механічні та інші властивості.

Якщо в сталях сірка та фосфор однозначно є шкідливими домішками, то в чавунах їх присутність може бути навіть корисною. Наприклад, фосфор підвищує рідкотекучість чавуну і, як наслідок, поліпшує його ливарні властивості, що полегшує одержання деталей складної конфігурації. Крім того P та S поліпшують антифрикційні властивості чавунів. Сірка при введенні з інокулюючими модифікаторами може стати могутнім графітизатором (її вміст в антифрикційних чавунах може бути підвищеним до 0,4...1,0%). Фосфор сприяє утворенню фосфідної евтектики. Така евтектика поліпшує антифрикційні властивості чавунів.

Формування фосфідної евтектики в чавунах обумовлено тим, що фосфор є практично нерозчинним в цементиті та слабо розчинним в аустеніті та фериті. Тому, при кристалізації чавуну він концентрується в останніх порціях розплаву та сильно збагачує ці ділянки. В результаті кристалізація проходить з формуванням фосфідної евтектики, яка вміщує понад 6,0%P та близько 2,0%C.

Потрійна фосфідна евтектика, яка складається з $A+Fe_3C+Fe_3P$, називається «*стедит*». Крім потрійної евтектики може, також, формуватися

псевдоподвійна евтектика $A+Fe_3P$. Псевдоподвійною вона називається тому, що реально в сірих чавунах крім A та Fe_3P кристалізується і третя фаза – графіт, який осаджується на поверхні включень евтектичного графіту, після чого на них нашаровуються ще і вторинний та евтектоїдний графіти. В результаті всі ці види графіту металографічно не відрізняються від графіту аустеніто-графітної евтектики. Тому, при кімнатній температурі фосфідна евтектика сірих чавунів є двофазною – ферит +фосфід (Fe_3P).

Аустеніт стедиту в білих чавунах при охолодженні нижче лінії евтектоїдної рівноваги зазвичай замінюється не перлітом, а феритом. Через те, що евтектоїдний цементит нашаровується на евтектичний цементит потрібна евтектика білих чавунів представлена підсумково трьома фазами - $\Phi+Fe_3C+Fe_3P$. Звичайним травленням розділити Fe_3C та Fe_3P важко. Для ідентифікації цих фаз використовують спеціальне травлення пікратом натрію. В результаті цементит набуває темного окрасу, Fe_3P зафарбовується в сірий колір, а ферит в білий.

Твердість стедиту декілька нижча ніж у ледебуриту, але він характеризується підвищеною зносостійкістю, в тому числі і через явище «*самофосфотування*». Сутність якого у тому, що в зоні тертя фосфор при окисленні перетворюється на ангідрид P_2O_5 , кремній – на SiO_2 , а Fe та Mn на слаболужні оксиди FeO та MnO , які в процесі зношування чавуну постійно самовідновлюються.

Крім того, при зношуванні чавунних виробів, в ділянках які вміщують фосфідну евтектику, утворюються фосфати заліза та марганцю які рвучко поліпшують триботехнічні властивості чавуну і такі фосфатні плівки також постійно самовідновлюються в процесі зношування чавуну.

Фосфідні евтектики класифікують за структурою у відповідності до ГОСТ 3443-87, за вимогами якого розрізняють п'ять видів таких евтектик: ФЭ1, ФЭ2, ФЭ3, ФЭ4 та ФЭ5 (рис. 11).

До ФЭ1 відноситься псевдоподвійна фосфідна евтектика сірих чавунів, яка складається з $A+\Gamma$ та Fe_3P . Її графіт металографічно не виявляється (рис. 11 а). Тобто, фактично це $A+Fe_3P$ при кристалізації та $\Phi+Fe_3P$ при охолодженні нижче лінії евтектоїдної рівноваги.

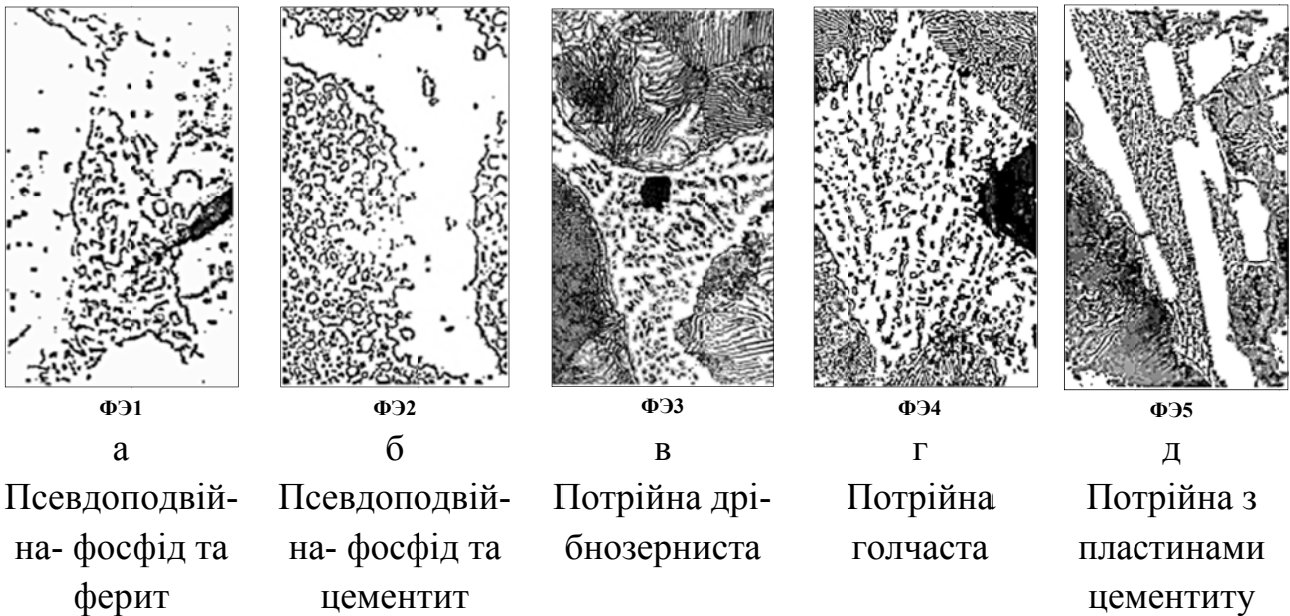


Рисунок 11 - Будова включень фосфідної евтектики $\times 500$

До ФЭ2 відноситься фосфідна евтектика яка формується дуже рідко. Вона складається із двох фаз Fe_3P та Ц і утворюється при довготривалій термічній обробці (рис. 11 б).

До ФЭ3 та ФЭ4 відносяться повноцінні потрійні фосфідні евтектики, що складаються із трьох фаз А+Ц+ Fe_3P – «стедит» (рис.11 в, г). Ці евтектики розрізняються формою цементиту. У ФЭ3 цементит має зеренну форму (рис.11 в), а у ФЭ4 цементит пластинчастий (рис. 11 г).

До ФЭ5 відноситься потрійна фосфідна евтектика **стедит**, у якій з'являються грубі пластини цементиту з тим же габітусом, що і у тонких пластинках цементиту потрійної евтектики типу ФЭ4 (рис. 11д). Ці грубі пластини є цементитною частиною фосфідної евтектики і не можуть розглядатися у якості складових включень потрійної евтектики. Це пов'язано з тим, що евтектичний аустеніт фосфідної евтектики осаджується на аустеніті аустенітно-графітних колоній і фактично на мікрошліфах невидимий.

Таким чином, чавуни з фосфідною евтектикою типу ФЭ5 є не сірими, а половинчастими із значно зниженою обробляемістю. Такий частковий відбіл, на відміну від ледебуритного, умовно називають фосфідним.

В залежності від властивостей, якими повинні володіти чавуни в експлуатації, ГОСТ 3443-87 передумовлює також характер розподілення фосфідних евтектик в структурі чавуну (рис. 12) та оцінку площі включень фосфідних евтектик (рис. 13).

Рівномірне

Розірвана сітка

Суцільна сітка

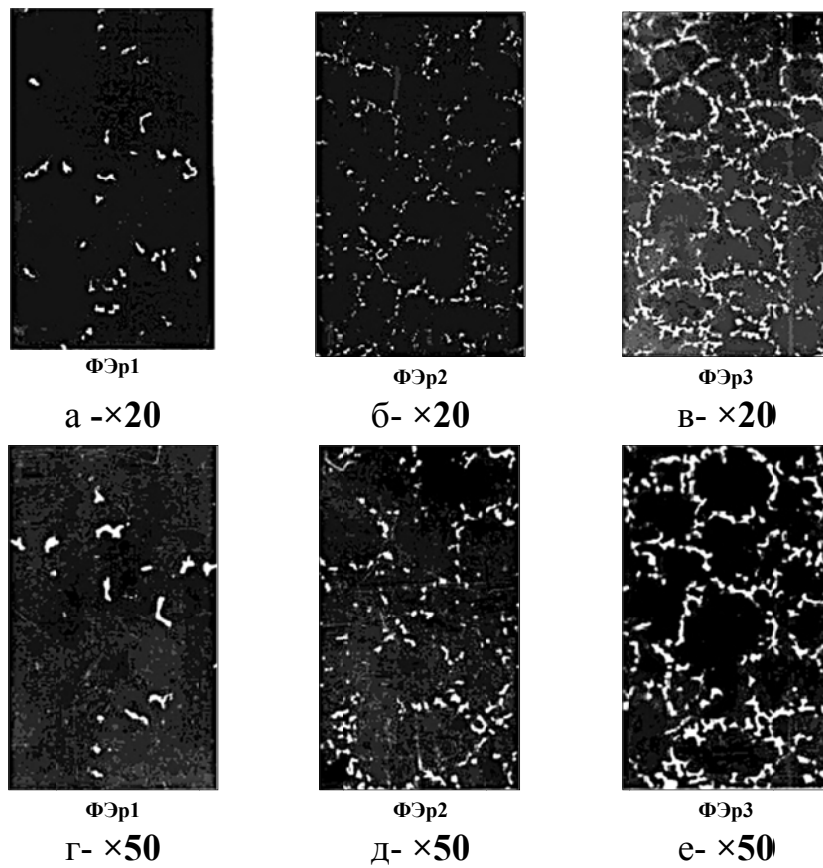


Рисунок 12 – Розподілення включень фосфідної евтектики

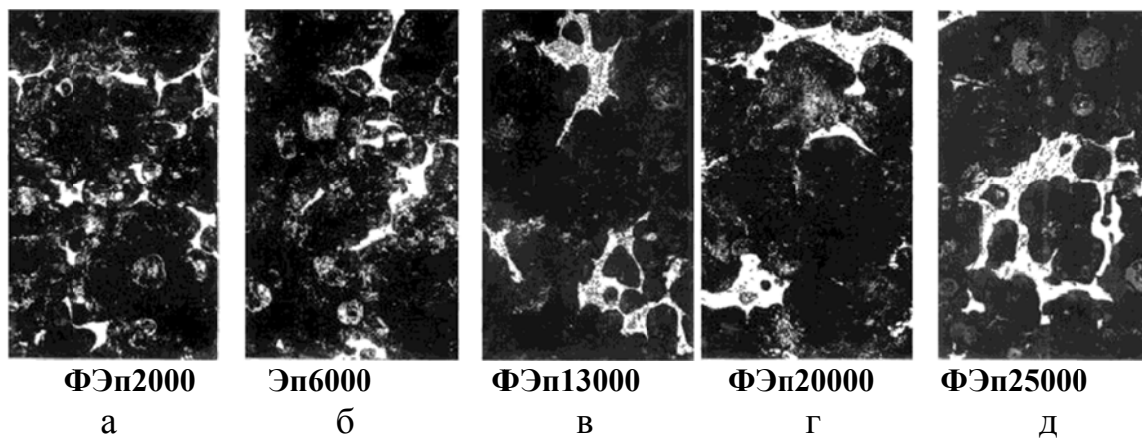


Рисунок 13 – Площа включень фосфідної евтектики ($\times 100$)

Порядок оформлення звіту по 3 частині лабораторної роботи:

1. Замалювати фосфідні евтектики всіх видів
 - 1.1 Ідентифікувати в них структурні складові.
 - 1.2 Замалювати фосфідну евтектику «*стедит*» після травлення ніталем та пікратом натрію. Вказати структурні складові.

Дати письмові відповіді на теоретичні питання:

1. Що таке «стедит»?
2. Причини формування фосфідної евтектики в чавунах.
3. В яких чавунах може бути присутньою фосфідна евтектика?
4. Які властивості надає чавунам фосфідна евтектика?
5. За рахунок чого фосфідні евтектики поліпшують триботехнічні властивості чавунних виробів?
6. Як класифікують фосфідні евтектики у відповідності до ГОСТ 3443-87?
7. Чому фосфідна евтектика типу ФЭ1 називається псевдоподвійною?
8. Вкажіть фазовий склад фосфідних евтектик ФЭ1, ФЭ2, ФЭ3, ФЭ4 та ФЭ5.
9. До якого класу чавунів відносять чавуни з евтектикою типу ФЭ5?
10. Вкажіть можливі варіанти розміщення фосфідних евтектик в структурі чавуну.
11. Перерахуйте характеристики фосфідних евтектик, які впливають на властивості чавунів.
12. Яка фосфідна евтектика формується в метастабільній, а яка в стабільній системі FeC?

Лабораторна робота №4

Вивчення структури та властивостей білих легованих чавунів.

Мета роботи: Вивчити структуру та її вплив на властивості і застосування білих легованих чавунів. Засвоїти їх класифікацію та маркування.

Порядок виконання роботи.

1. Вивчити яким чином легування впливає на властивості білого чавуну.
2. Дослідити структуру доєвтектичних білих чавунів, що леговані карбідоутворюючими елементами: хромом, ванадієм, вольфрамом та титаном. Визначити матричну фазу в колоніях ледебуриту та евтектик на базі спеціальних карбідів - основну відмінність їх будови.
3. Засвоїти класифікацію та маркування легованих білих чавунів.

Стисла інформація з теорії

Широке вживання білих зносостійких чавунів почалося в СРСР в шестидесяті роки ХХ ст. У зв'язку з бурхливим розвитком гірничої промисловості, створенням гірничо-збагачувальних комбінатів, зростанням виробництва будівельних матеріалів і ін. У цих галузях відчувалася гостра потреба в устаткуванні, здатному працювати тривалий час без зупинки на ремонт. Деталі, що виготовляють з білих чавунів мають високу твердість та зносостійкість. Такі властивості забезпечуються наявністю великої кількості карбідів.

За призначенням чавуни розподіляють на конструкційні, зносостійкі (ИЧХ15МЗ, ИЧХ28НГ, ИЧХ17НГЗ), антифрикційні (АСЧ-1, АСЧ-2, АСЧ-3, АЧВ-1, АЧВ-2), немагнітні, корозійностійкі і жароміцні (ЧС15МЧ, ЧН1ХМД), жаростійкі (ИСЧХ, ИСЧЮХ22, ЖЧЮ30). В маркуванні легованих чавунів букви відображають їх властивості на російській мові, що склалось історично з часів СРСР: ИЧ — износостойкие чугуны, АСЧ — антифрикционные серые чугуны, АЧВ — антифрикционные высокопрочные чугуны, ЖЧ — жаростойкие чугуны) и легирующие элементы (Х — хром, Н — никель, Г — марганец, Д — медь, М — молибден, Ю — алюминий). Цифри, що стоять після букв вказують на їх вміст, %. Якщо цифра відсутня, то вміст легуючого елемента менше 1%

Чавуни, в тому числі і білі, відносяться до сплавів евтектичного типу. В промисловості використовують лише доєвтектичні (*заєвтектичні мають високу твердість і крихкість з-за великої частки цементиту в своїй структурі*) білі чавуни. Їх структурними аналогами є леговані сталі ледебуритного класу. Структура таких сплавів визначається ще під час кристалізації, що відбувається в два етапи: на етапі - виділяється первинний

аустеніт, а на II етапі відбувається евтектична кристалізація, в результаті якої утворюються евтектичні колонії, що скорочено називають «евтектикою». Властивості сплаву в литому стані визначаються кількістю, морфологією і розподілом евтектик в структурі. Евтектичною складовою нелегованих білих чавунів є ледебурит. Це евтектика, що кристалізується після утворення первинного аустеніту, коли при пониженні температури рідина збагачується вуглецем, набуває складу т.С і розпадається :Ж→ А + Ц (карбід заліза).

У великому інтервалі переохолоджень утворюється ледебуритні колонії стільникової структури. Схема утворення стільникового ледебуриту приведена на Рис. 1. Зовнішня форма колоній стільникового ледебуриту визначається цементитом. Колонія ледебуриту, як і первинний цементит, має форму пластини. Ця пластинка є в основі кожної колонії і пронизана гілками аустеніту. Основною відмінністю аустеніто –цементитної евтектики в білому чавуні від евтектик, що утворюються, наприклад, в сталях карбідного класу на базі карбідів хрому, молібдену, вольфраму, ванадію та інших карбідоутворюючих елементів є той факт, що в ледебуриті матричною фазою є цементит, тобто твердий і крихкий карбід заліза, а в евтектиках на базі спеціальних карбідів - є більш пластичний аустеніт Рис.2.

Таким чином, нелегований білий чавун через монолітну будову ледебуриту має низьку ударну в'язкість, пластичність і міцність, особливо якщо евтектичні колонії суцільною сіткою оточують дендрит аустеніту. Проте, введення легуючих елементів може змінити будову евтектичних колоній. Леговані чавуни характеризуються великою різноманітністю первинної структури. Це пов'язано з різним впливом легуючих елементів на природу карбіду – фазу, що веде евтектичну кристалізацію.

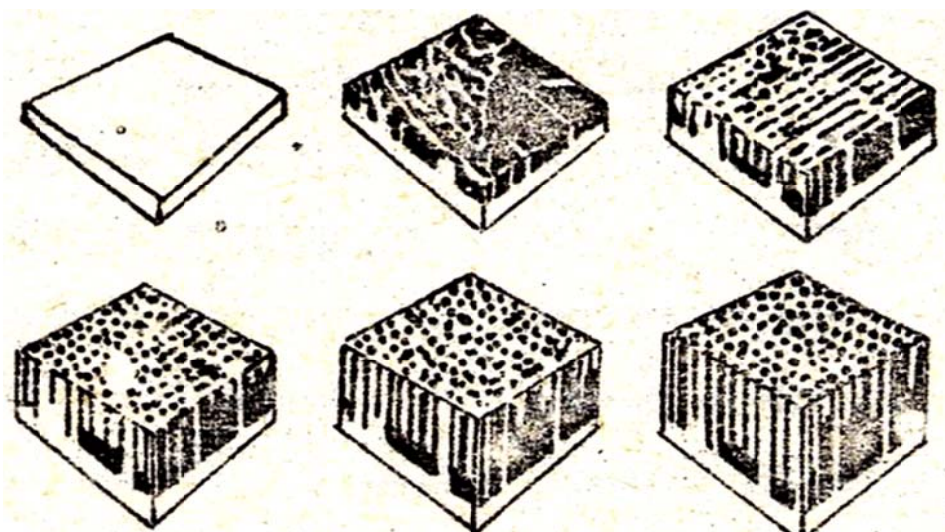


Рисунок 1- Схема утворення стільникового ледебуриту.

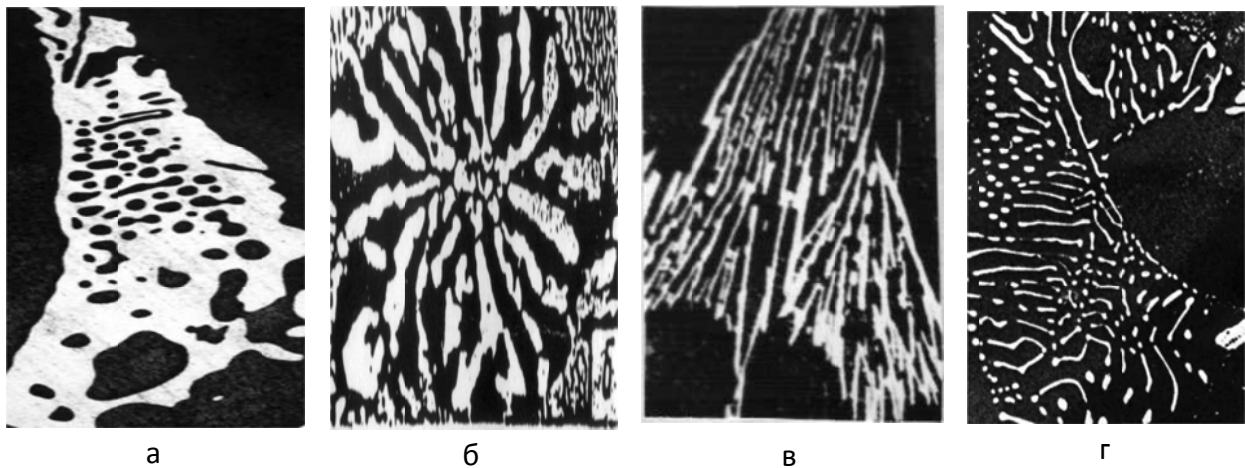


Рис.2. Будова евтектичних колоній: а-колонія ледебуриту, б- евтектика на базі карбіду Cr_7C_3 ; в- евтектика на базі карбіду $(Mo,W)_2C$; евтектика на базі карбіду VC . $\times 1000$

Спроба поліпшити властивості ледебуритного чавуну шляхом легування привела до розробки відомих чавунів типу «ніхард», що містять, як правило, 3-8% мас. Ni і 1,5 - 2,5% мас. Cr, і мають підвищену зносостійкістю. В результаті легування мікротвердість карбіду M_3C (легованого цементиту) підвищилася і верхня межа її складала $HV_{50}1100$. В литому стані чавун має мартенситну матрицю з ділянками залишкового аустеніту, що забезпечило підвищення зносостійкості. Проте кардинального поліпшення властивостей не вдалося досягти через те, що морфологія евтектичної складової чавуну залишилася колишньою.

Вчені дніпропетровської школи матеріалознавства розробили склади легованих чавунів, в яких відбувається заміна ледебуриту на евтектику, що утворюється на базі спеціальних карбідів із аустенітною матричною фазою. Особливо успішно на структуру та властивості чавуну впливає ванадій. При вмісті 1...2%V та 3,5% C в структурі з'являються окремі частки карбідів VC (Рис.3,а).

При збільшенні вмісту ванадію утворюються подібні до розеток аустеніто – ванадієвокарбідні евтектичні колонії (Рис.3,б). При 6% ванадію об'ємні частки ледебуриту і евтектики «аустеніт + VC » практично рівні (Рис.3,в), а при підвищенні вмісту ванадію до 10% ледебурит вже не утворюється (Рис.3,г). Зародком евтектичної колонії є карбід VC , на поверхні якого утворюється аустеніт, і далі кристалізація йде шляхом їх спільного зростання. Аустеніт складає матрицю колонії, в якій у вигляді стрижнів поміщена карбідна фаза. Така будова евтектичних колоній відповідає структурі волокнистих композитів, що мають одночасно і високу твердість волокон, і

високі пластичність та ударну в'язкість матриці, що забезпечує підвищену зносостійкість та міцність. Наприклад, вміст

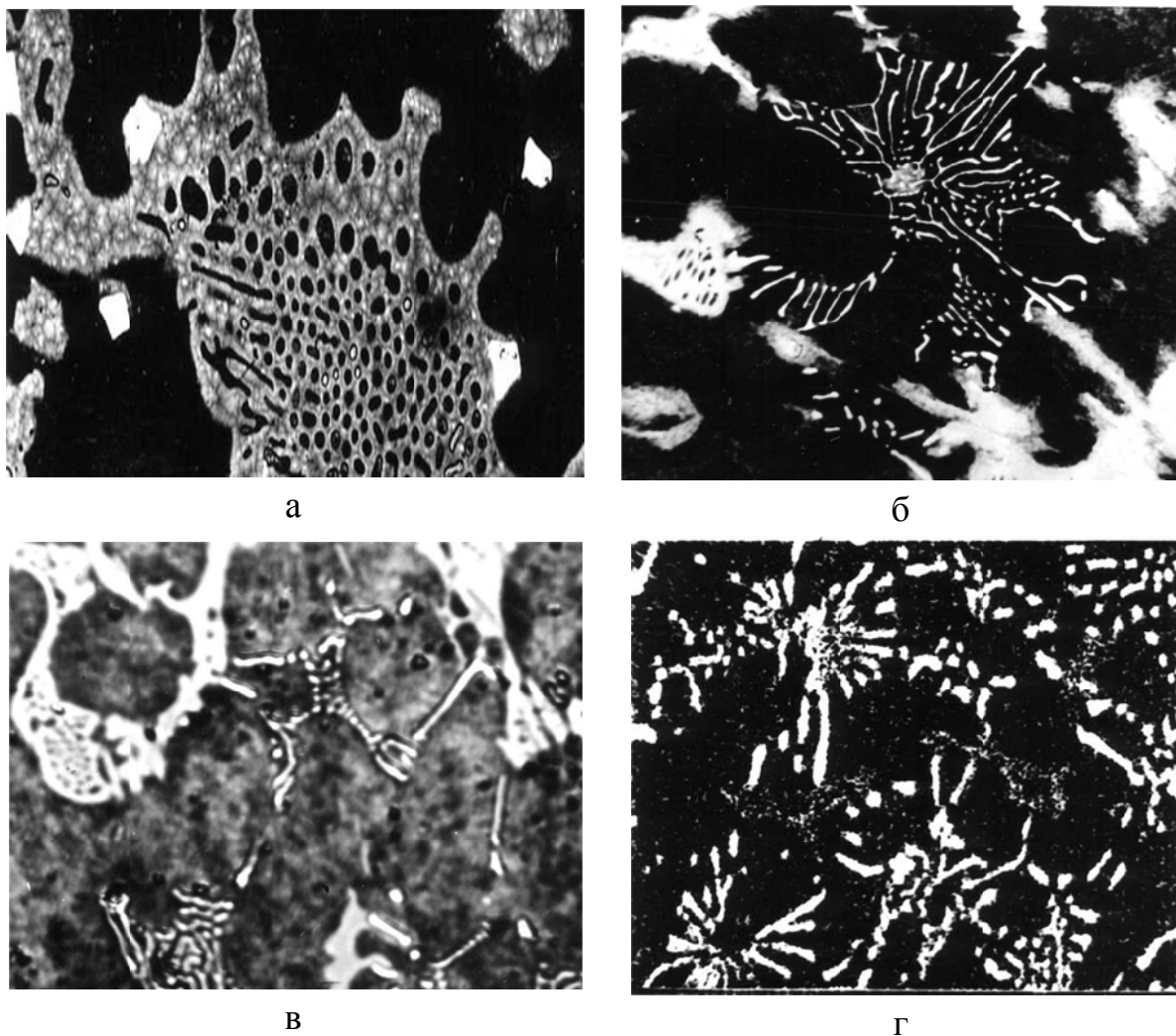


Рис. 3. Структура чавуну, легованого ванадієм: а, б - $\times 1000$; в, г - $\times 400$.

ванадію до 8% дозволив отримати чавун з відносним подовженням $\delta=8\%$.

Широко застосовується для легування білих чавунів хром. Інтервал концентрацій легування від 0 до 35% Cr. При загальному вмісті від 0 до 9,5% хром, як і марганець, не має помітного впливу на первинну структуру чавуну, а карбідна фаза представлена цементитом. Хромистокарбідна евтектика утворюється при вмісті хрому більше 10%. В цих евтектиках провідна роль належить карбідній фазі, а аустеніт виступає в якості веденої фази. Форма евтектичних колоній, вільно зростаючих в рідині, повторює форму структурно вільних кристалів карбиду, а дендритне розгалуження евтектичного і первинного карбідів відбувається схожим чином (рис.4).

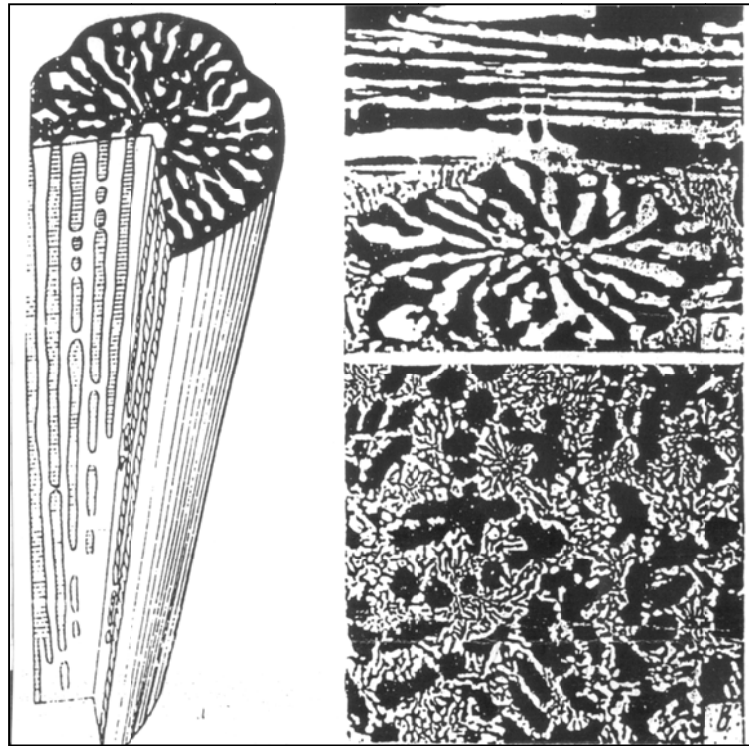


Рис. 4 - Модель евтектичної колонії на базі карбїду Cr_7C_3 та загальний вигляд структури чавуну, легованного хромом.

Порядок оформлення звіту

1. Намалювати структуру доевтектичних білих чавунів, що леговані карбїдоутворюючими елементами: хромом, ванадієм, вольфрамом та титаном. На малюнках вказати евтектичну складову.
2. Порівняти будову евтектичної складової легованих чавунів із ледебуритом нелегованих білих чавунів. Описати основну відмінність ледебуриту від евтектик на базі спеціальних карбїдів.
3. Замалювати структуру доевтектичних білих чавунів з вмістом вуглецю 2,8...3,2% з різним вмістом ванадію 1,5%; 4,5% та вмістом хрому 4,5% и 12%. Визначити об'ємну частку ледебуриту та евтектики на базі спеціальних карбїдів VC та Cr_7C_3 .

Високе легування значно покращує властивості чавунів, але велика вартість легуючих елементів обмежує їх застосування і в багатьох випадках може бути економічно необґрунтованим, що є основним недоліком.

Дати письмові відповіді на теоретичні питання:

1. Характеризуйте етапи формування структури доевтектичних білих чавунів при кристалізації.
2. Які структурні складові впливають на властивості білих чавунів.

3. Які структурні складові не можна змінити при застосуванні термічної обробки в нелегованих білих чавунах.
4. Як карбідоутворюючі елементи впливають на структуру і властивості білих чавунів.
5. Яка головна відмінність в будові ледебуриту та евтектичних колоній, що утворюються на базі спеціальних карбідів.
5. В яких галузях застосовують деталі із білих легованих чавунів.
6. Як маркують леговані білі чавуни.
7. Що є основним недоліком при застосування легованих чавунів.

5 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Варіант № 1

1. Переваги та недоліки чавунів у порівнянні зі сталями.
2. Вплив легування на структуру ледебуриту.
3. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
4. Наведіть галузі промисловості де використовують білі чавуни.
5. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
6. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
7. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
8. На які властивості СЧ впливають розміри графітних включень?
9. Чи завжди елементи, що вводять до сталі або чавуну є легуючими?
10. Що таке графітизація та на яких етапах формування структури чавунів вона можлива?

Варіант № 2

1. Переваги та недоліки СЧ у порівнянні з БЧ.
2. Що таке відбіл чавуну, які хімічні елементи йомусприяють?
3. Наведіть графітоутворюючі елементи.
4. Властивості фосфідних евтектик.
5. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?
6. Які властивості надає чавунам графіт?
7. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
8. Які чавуни є природними композитами і чому?
9. Класифікація домішок в чавунах.
10. Які фактори сприяють деформації білих чавунів?

Варіант № 3

1. Переваги та недоліки БЧ у порівнянні СЧ.
2. Що таке «армастил»?
3. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
4. Опишіть вплив легуючих елементів на С-подібну діаграму ізотермічного розпаду аустеніту. До яких структурних змін це призводить?
5. Які домішки в невеликих кількостях суттєво впливають на властивості чавунів?
6. Чим визначається міцність перлітних сірих чавунів?
7. Що таке K_p і K_d ?
8. Галузі застосування легованих БЧ.
9. Наведіть основні легуючі елементи в білих чавунах та пояснить, чому саме вони застосовуються в якості легуючих домішок БЧ.
10. Технологія виробництва ковких чавунів.

Варіант № 4

1. Розташування легуючих елементів у фазах чавунних відливок.
2. Основні відмінності БЧ та СЧ.
3. В яких фазах чавунів розташовуються графітоутворюючі елементи?
4. Що таке «стедит»?
5. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
6. Різновиди ледебуриту в білих чавунах та їх вплив на властивості БЧ.
7. Що таке інокулююче модифікування і яка його роль в формуванні структури чавунів?
8. Опишіть вплив легуючих елементів на температури M_{II} і M_K .
9. Опишіть вплив хрому на формування структури та властивостей БЧ.
10. Корозійностійкі чавуни. Якими елементами їх легують і завдяки чому вони набувають таких властивостей?

Варіант № 5

1. У яких БЧ доевтектичних або заевтектичних твердість та зносостійкість при абразивному зношенні більші і чому?
2. Наведіть карбідоутворюючі елементи.
3. Вплив графіту на властивості чавунів.
4. Вплив титану на структуроутворення та властивості чавуну.

5. В якому випадку ліквіація легуючих елементів називається зворотною?
6. Які структури чавунів можна віднести до зеренних композитів і в чому їх переваги перед волоконними композитами?
7. Які характеристики карбідів впливають на властивості БЧ?
8. Як легуючі елементи впливають на період I та II стадій графітизації КЧ?
9. Причини знеміцнення легованих БЧ в аустенітно-карбідній області.
10. Які чавуни відносяться до жароміцних? Якими елементами їх легують?

Варіант № 6

1. Переваги та недоліки чавунів у порівнянні зі сталями.
2. Вплив легування на структуру ледебуриту.
3. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
4. Наведіть галузі промисловості де використовують білі чавуни.
5. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
6. До якого виду волоконних композицій відноситься низьколегований білий чавун?
7. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
8. Чи завжди елементи, що вводять до сталі або чавуну є легуючими?
9. Які елементи сприяють відбілюванню чавунних відливок?
10. Основні характеристики карбідів, які впливають на технологічні властивості БЧ.

Варіант № 7

1. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.
2. Поясніть неоднозначний вплив кремнію на структуроутворення чавунів в залежності від його кількості.
3. Якими показниками оцінюють мікронеоднорідність розподілення елементів?
4. Що таке коефіцієнт активності компонентів та що він характеризує?
5. Що таке інокулююче модифікування і яка його роль в формуванні структури чавунів?
6. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є донорами валентних електронів?
7. Різновиди ледебуриту в БЧ та їх властивості.
8. Як C та Si впливають на структуроутворення властивості СЧ.

9. Як впливають легуючі елементи на положення точок S та E діаграми Fe-C сплавів?
10. Антифрикційні чавуни, їх властивості і галузі їх застосування.

Варіант № 8

1. Вплив легування на структуру ледебуриту.
2. Вплив сірки та фосфору на властивості чавунів.
3. Наведіть графітоутворюючі елементи.
4. Властивості фосфідних евтектик.
5. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?
6. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
7. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
8. Принципи вибору хімічного складу СЧ. Що є підґрунтям при виборі хімічного складу?
9. Класифікація домішок в чавунах.
10. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?

Варіант № 9

1. Які характеристики металевої матриці білих чавунів впливають на їх властивості?
2. Вплив легування на структуру ледебуриту.
3. За рахунок чого в легованих СЧ при повільному охолодженні можливо одержання більш дисперсної металевої матриці ніж в нелегованих при такій самій швидкості охолодження?
4. Що таке «стедит»?
5. Що таке «армастил»?
6. Наведіть переваги природних композитів у порівнянні зі штучними.
7. Що таке коефіцієнт термодинамічної активності компоненту і що він характеризує?
8. Що таке «зростання» чавунів і за яких умов цей ефект проявляється?
9. Як поділять леговані БЧ за видом кристалічної решітки карбідів?
10. Яку форму мають карбіди хрому в хромистих БЧ та як вона впливає на їх властивості?

Варіант № 10

1. Опишіть вплив легуючих елементів на С-подібну діаграму ізотермічного розпаду аустеніту. До яких структурних змін це призводить?
2. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
3. Яка матриця надає сірому чавуну найбільш високу міцність при одночасному збереженні достатньо високого рівня твердості?
4. Від чого залежить зносостійкість СЧ?
5. В якому випадку ліквіація легуючих елементів називається зворотною?
6. Які фактори визначають розподілення N_2 в твердих фазах чавуну?
7. Які СЧ більш схильний до «зростання» в процесі експлуатації при високих температурах?
8. Що таке карбідне перетворення в легованих БЧ?
9. Чи завжди елементи що вводять до сталі або чавуну є легуючими?
10. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.

Варіант № 11

1. Розподіл легуючих елементів у фазах чавунних відливок.
2. Різновиди ледебуриту в БЧ та їх властивості.
3. В яких фазах чавуну може розміщуватися N_2 ?
4. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
5. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?
6. Що таке K_p і K_d ?
7. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є донорами валентних електронів?
8. Що таке сплави «Ніхард»? Їх властивості та застосування.
9. Опишіть вплив хрому на формування структури та властивостей БЧ.
10. Які фактори впливають на формування матриці СЧ?

Варіант № 12

1. Основні відмінності БЧ та СЧ.
2. Властивості фосфідних евтектик.
3. Вплив ванадію на властивості чавунів.
4. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?

5. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
6. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
7. В яких фазах чавунів містяться карбідоутворюючі елементи?
8. Що таке аустемперинг, де його застосовують?
9. Яку форму може мати графіт в сірих чавунах і від чого це залежить?
10. Що таке «зростання» чавунів? Наслідки цього явища.

Варіант № 13

1. Який білий чавун доевтектичний або заевтектичний має більшу твердість і абразивну зносостійкість та чому?
2. Що таке «армастил»?
3. Які структури чавунів можна віднести до зеренних композитів?
4. Які фактори впливають на формування матриці СЧ?
5. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
6. Які домішки в невеликих кількостях суттєво впливають на властивості чавунів?
7. Що таке K_p та K_d , їх визначення?
8. Які основні фактори мають вплив на структуру та властивості СЧ.
9. Як впливають легуючі елементи на температуру поліморфізму Fe?
10. Що таке аустемперинг та з якою метою його застосовують?

Варіант № 14

1. Переваги та недоліки СЧ у порівнянні з БЧ.
2. Що таке відбіл чавуну, які хімічні елементи цьому сприяють?
3. Наведіть графітоутворюючі елементи.
4. Властивості фосфідних евтектик.
5. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?
6. Які властивості надає чавунам графіт?
7. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
8. Які чавуни є природними композитами і чому?
9. Класифікація домішок в чавунах.
10. Які фактори сприяють деформації білих чавунів?

Варіант № 15

1. Як підвищити ростостійкість СЧ?
2. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є донорами валентних електронів?
3. Причини знеміцнення легованих БЧ в аустенітно-карбідній області.
4. В якому випадку ліквіація легуючих елементів називається прямою?
5. Що дозволяє визначити показник ступеню евтектичності чавуну?
6. Що таке « a_1 » і яким чином цей показник пов'язаний з концентрацією елемента?
7. В чому полягає процес графітизації чавунів?
8. Жаростійкі чавуни, їх склад, структури та властивості.
9. Опишіть вплив ванадію на формування структури та властивостей БЧ.
10. Характеристики карбідів, які впливають на механічні властивості БЧ.

Варіант № 16

1. Опишіть вплив легуючих елементів на температури M_{II} та M_K . Наведіть приклад зображення діаграми ізотермічного розпаду аустеніту.
2. Наведіть графітоутворюючі елементи.
3. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
4. Вплив хрому на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
5. Якими показниками оцінюється мікронеоднорідність розподілення елементів в чавунах?
6. Як впливає подрібнення графітних включень на герметичність СЧ?
7. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
8. Корозійностійкі чавуни. Завдяки чому вони мають корозійну стійкість?
9. Яку форму мають карбіди хрому в хромистих БЧ? Як вона впливає на їх властивості?
10. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?

Варіант № 17

1. Чим визначаються службові властивості сірих чавунів?
2. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
3. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.

4. Вплив алюмінію на структуру та властивості чавунів.
5. Які елементи графіто- або карбідоутворювачі є акцепторами валентних електронів?
6. Що таке « a_f » і яким чином цей показник пов'язаний з концентрацією елементу?
7. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
8. Які структурні зміни відбуваються при пластичній деформації легованих БЧ?
9. У яких БЧ доевтектичних або заевтектичних твердість та зносостійкість при абразивному зношенні більші і чому?
10. В чому подібність та різниця впливу Cr та V на формування цементитно-аустенітних колоній в БЧ.

Варіант № 18

1. Наведіть карбідоутворюючі елементи.
2. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.
3. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
4. Поясніть неоднозначний вплив кремнію на структуроутворення чавунів в залежності від його кількості.
5. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
6. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
7. Що таке K_p і K_L ?
8. Чим визначаються службові властивості сірих чавунів?
9. Основні характеристики карбідів, які впливають на технологічні властивості БЧ.
10. Антифрикційні чавуни, їх властивості і галузі їх застосування.

Варіант № 19

1. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
2. Вплив ванадію на властивості чавунів.
3. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
4. Що таке аустемперинг чавунів, які властивості він надає чавунам?
5. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?

6. Що таке коефіцієнт термодинамічної активності компоненту і що він характеризує?
7. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
8. Шкідливі домішки в СЧ, їх вплив на властивості.
9. Опишіть вплив легуючих елементів на температури M_{II} і M_K . Наведіть приклад з зображенням діаграми ізотермічного розпаду А.
10. Корозійностійкі чавуни. Якими елементами їх легують і завдяки чому вони набувають таких властивостей?

Варіант № 20

1. Наведіть карбідоутворюючі елементи.
2. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.
3. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
4. Поясніть неоднозначний вплив кремнію на структуроутворення чавунів в залежності від його кількості.
5. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
6. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
7. Що таке K_p і K_L ?
8. Чим визначаються службові властивості сірих чавунів?
9. Характеристики карбідів, які впливають на технологічні властивості БЧ.
10. Антифрикційні чавуни, їх властивості і галузі їх застосування.

Варіант № 21

1. Переваги та недоліки чавунів у порівнянні зі сталями.
2. Вплив легування на структуру ледебуриту.
3. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
4. Основні характеристики карбідів, що впливають на зносостійкість БЧ.
5. Вплив міді та нікелю на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
6. До якого виду волоконних композицій відносяться низьколеговані БЧ?
7. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
8. На які властивості СЧ впливають розміри графітних включень?
9. Чи завжди елементи, що вводять до сталі або чавуну є легуючими?
10. Що таке графітизація та на яких етапах формування структури чавунів вона можлива?

Варіант № 22

1. Вплив легування на структуру ледебуриту.
2. Вплив сірки та фосфору на властивості чавунів.
3. Наведіть графітоутворюючі елементи.
4. Властивості фосфідних евтектик.
5. За якими ознаками легуючі елементи розподіляють на карбідо- та графітоутворюючі?
6. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
7. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
8. Принципи вибору хімічного складу СЧ. Що є підґрунтям при виборі хімічного складу?
9. Класифікація домішок в чавунах.
10. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?

Варіант № 23

1. В яких фазах чавунів розташовуються карбідоутворюючі елементи?
2. Що таке «армастил»?
3. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
4. Вплив хрому на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
5. Які домішки в невеликих кількостях суттєво впливають на властивості чавунів?
6. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?
7. Що таке K_p і K_d ?
8. Галузі застосування легованих БЧ.
9. Наведіть основні легуючі елементи в білих чавунах та пояснить, чому саме вони застосовуються в якості легуючих домішок БЧ?
10. Які характеристики металевої матриці білих чавунів впливають на їх властивості?

Варіант № 24

1. Розподіл легуючих елементів у фазах чавунних відливок.
2. Основні відмінності БЧ та СЧ.
3. В чому полягає процес графітизації чавунів в твердому стані?

4. Що таке «стедит»?
5. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
6. Вплив кремнію на структуроутворення та властивості чавунів.
7. Що таке інокулююче модифікування і яка його роль в формуванні структури чавунів?
8. До якого виду волоконних композицій відносяться високолеговані БЧ?
9. Опишіть вплив хрому на формування структури та властивостей БЧ.
10. Корозійностійкі чавуни. Якими елементами їх легують і завдяки чому вони набувають таких властивостей?

Варіант № 25

1. Чим визначається міцність перлітних сірих чавунів?
2. Наведіть карбідоутворюючі елементи.
3. Вплив графіту на властивості чавунів.
4. Вплив титану на структуроутворення та властивості чавуну.
5. В якому випадку ліквідація легуючих елементів називається зворотною?
6. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?
7. Наведіть галузі промисловості де використовують білі чавуни.
8. Як легуючі елементи впливають на тривалість I та II стадій графітизації КЧ?
9. В яких фазах чавунів розміщуються легуючі елементи?
10. Які чавуни відносяться до жароміцних? Якими елементами їх легують?

Варіант № 26

1. Як підвищити ростостійкість СЧ?
2. Вплив сірки та фосфору на властивості чавунів.
3. Різновиди ледебуриду в БЧ та їх властивості.
4. Кінетичний та термодинамічний ефекти в теорії графітизації чавунів.
5. Вплив алюмінію на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
6. В якому випадку ліквідація легуючих елементів називається прямою?
7. На які характеристики структури чавуну впливає мікронеоднорідність розподілення легуючих елементів?
8. Вплив легуючих елементів на евтектику БЧ.
9. Як впливають легуючі елементи на температуру поліморфізму Fe?
10. Немагнітні чавуни. Якими елементами їх легують?

Варіант № 27

1. Що таке фосфідна евтектика та при яких умовах вона з'являється в чавуні?
2. Вплив ванадію на властивості чавунів.
3. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
4. Що таке аустемперинг чавунів, які властивості він надає чавунам?
5. Що означає показник герметичності сірих чавунів і від чого він залежить?
6. Що таке коефіцієнт термодинамічної активності компоненту і що він характеризує?
7. Що таке ступінь евтектичності чавуну, її визначення?
8. Шкідливі домішки в СЧ, їх вплив на властивості.
9. Опишіть вплив легуючих елементів на температури M_{II} і M_K . Наведіть приклад з зображенням діаграми ізотермічного розпаду А.
10. Корозійностійкі чавуни. Якими елементами їх легують і завдяки чому вони набувають таких властивостей?

Варіант № 28

1. Вплив кремнію на ступінь евтектичності чавунів.
2. Поясніть неоднозначний вплив кремнію на структуроутворення чавунів в залежності від його кількості.
3. Якими показними оцінюється мікронеоднорідність розподілення елементів?
4. Що таке коефіцієнт активності компонентів та що він характеризує?
5. Що таке інокулююче модифікування і яка його роль в формуванні структури чавунів?
6. Які елементи графіто- або карбідоутворюючі є донорами валентних електронів?
7. Різновиди ледебуриту в БЧ та їх властивості.
8. Як С і Si впливають на структуроутворення та властивості СЧ?
9. Як впливають легуючі елементи на положення точок S та E діаграми Fe-C сплавів?
10. Антифрикційні чавуни, їх властивості і галузі їх застосування.

Варіант № 29

1. Опишіть вплив легуючих елементів на температури M_{II} та M_K . Наведіть приклад із зображенням діаграми ізотермічного розпаду А.
2. Наведіть графітоутворюючі елементи.
3. Що таке легований цементит та його відмінність від спеціальних карбідів?
4. Вплив хрому на структуроутворення чавунів та на їх властивості.
5. Якими показниками оцінюється мікронеоднорідність розподілення елементів в чавунах?
6. Як впливає подрібнення графітних включень на герметичність СЧ?
7. Чим обумовлена підвищена зносостійкість хромистих та ванадієвих чавунів?
8. Корозійностійкі чавуни. За рахунок чого вони набувають таких властивостей?
9. Яку форму мають карбіди хрому в хромистих БЧ та як вона впливає на їх властивості?
10. В результаті яких структурних змін можлива деформація білих чавунів?

ЗМІСТ

	стор.
ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ	3
1 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	4
2 ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАКЛЮЧНОГО КОНТРОЛЮ	4
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ БІЛИХ ТА СІРИХ ЧАВУНІВ.	10
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ВПЛИВ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КРИТИЧНІ ТОЧКИ ДІАГРАМИ Fe-C І ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ В БІЛИХ ТА СІРИХ ЧАВУНАХ	16
5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ФОСФІДНІ ЕВТЕКТИКИ В ЧАВУНАХ	21
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ БІЛИХ ЛЕГОВАНИХ ЧАВУНІВ.	26
7. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ	31