**О. Ю. Гілодо**

# МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ У ПИТАННЯХ ТА ВІДПОВІДЯХ

Навчальний посібник

Одеса
«Астропринт»
2019

УДК 624.014
Г472

Рецензенти:

***Д. І. Безушко***, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри «Інженерних конструкцій та водних досліджень» Одеського національного морського університету;
***С. А. Тихонюк***, головний інженер ТОВ «НВЦ «Экострой»

Рекомендовано до друку вченою радою Одеської державної академії будівництва та архітектури *(протокол № 10 від 30 травня 2019 р.)*

**Гілодо О. Ю.**

Г472 Металеві конструкції у питаннях та відповідях : навчальний посібник / О. Ю. Гілодо. — Одеса : Астропринт, 2019. — 120 с.
ISBN 978–966–927–553–0

Розглянуто питання проектування металевих будівельних конструкцій, властивості і структура сталі, навантаження, розрахункові опори сталі, сортамент, види з'єднань, основи розрахунку і конструювання балок, колон, ферм і каркасів промислових будівель. Для спрощення вивчення основних нормативних документів наведені посилання на відповідні формули і таблиці ДБН. Особливу увагу приділено доступності викладення, що дозволяє використовувати посібник студентам різного рівня підготовки. Матеріал згруповано за темами і представлено у вигляді 333 питань і відповідей для підвищення ефективності підготовки до іспитів і заліків.

Для студентів закладів вищої освіти, що навчаються за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія».

**УДК 624.014**

Рассмотрены вопросы проектирования металлических строительных конструкций, свойства и структура стали, нагрузки, расчётные сопротивления стали, сортамент, виды соединений, основы расчёта и конструирования балок, колонн, ферм и каркасов промышленных зданий. Для упрощения изучения основных нормативных документов приведены ссылки на соответствующие формулы и таблицы СНиП. Особое внимание уделено доступности изложения, что позволяет использовать пособие студентам разного уровня подготовки. Материал сгруппирован по темам и представлен в виде 333 вопросов и ответов для повышения эффективности подготовки к экзаменам и зачётам.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности «Будівництво та цивільна інженерія».

ISBN 978–966–927–553–0 © Гілодо О. Ю., 2019

# ЗМІСТ

**1. ВСТУП**

**1.1. Від заліза до сталі** . . . . . 12

**1.2. Конструкції** . . . . . 13

**2. ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ І ВИМОГИ ДО НИХ**

1. Які основні переваги металоконструкцій? . . . . . 16
2. Що потрібно враховувати при проектуванні металоконструкцій? . . . . . 16
3. Які основні недоліки металоконструкцій? . . . . . 16
4. Які основні нормативні вимоги висувають при проектуванні металоконструкцій? . . . . . 16
5. Як підвищити корозійну стійкість металоконструкцій? . . . . . 17
6. Які додаткові вимоги висувають при проектуванні зварних конструкцій? . . . . . 17
7. Які загальні рекомендації висувають при проектуванні металоконструкцій? . . . . . 17

**3. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРА СТАЛІ**

**3.1. Загальна характеристика сталі**

8. Що з себе являє сталь? . . . . . 18
9. У чому суть кристалічної будови сталі? . . . . . 18
10. Що собою являє структура сталі? . . . . . 19
11. Як відбувається кристалізація рідкого, розплавленого металу? . . . . . 19
12. Чому сталеві злитки неоднорідні? . . . . . 20
13. З яких компонентів складається сталь? . . . . . 21
14. Як вибрати сталь для будівельних конструкцій? . . . . . 22

**3.2. Класифікація, склад і властивості сталі**

15. Як класифікується сталь в залежності від вмісту вуглецю? . . . . . 22
16. Як класифікуються сталі за хімічним складом? . . . . . 23
17. Як сірка і фосфор впливають на якість сталі? . . . . . 23
18. Який вплив на механічні властивості сталі справляють гази, що знаходяться у повітрі? . . . . . 23
19. Як класифікують сталі за ступенем розкиснення? . . . . . 24
20. Яку сталь називають киплячою? . . . . . 24
21. У чому відмінність спокійної, напівспокійної та киплячої сталі? . . . . . 24
22. У чому суть теорії дислокації? . . . . . 24
23. Чому теоретична міцність сталі значно вища за реальну? . . . . . 25
24. Як класифікують сталі за показниками корозійної стійкості? . . . . . 25
25. Що таке сертифікат сталі? . . . . . 25
26. Яка сталь вважається основною будівельною? . . . . . 25
27. Що означають групи постачання сталі — А, Б і В? . . . . . 25
28. Які основні показники механічних властивостей сталі? . . . . . 26
29. Чим відрізняються різні категорії сталі однієї марки? . . . . . 26
30. Яка мета і види термічної обробки сталі? . . . . . 26
31. Як впливає зміна температури на властивості сталі? . . . . . 26
32. Чи стосується сталі явище феромагнетизму? . . . . . 26
33. Які властивості сталі відносять до технологічних? . . . . . 27
34. Які властивості сталі відносять до експлуатаційних? . . . . . 27

**3.3. Робота сталі під навантаженням**

35. Що відбувається з металами при деформації? . . . . . 27
36. Як побудувати залежність між напруженнями і деформаціями для розтягнутого зразка? . . . . . 29
37. Як працює сталь при одновісному розтягуванні? . . . . . 29
38. За яких умов починається плинність сталі? . . . . . 30
39. Яке напруження відповідає межі міцності сталі? . . . . . 30
40. Що є мірою пластичності сталі? . . . . . 30
41. Що відбувається в елементі при дії навантаження, яке перевищує напруження межі пружності? . . . . . 30
42. Як змінюється структура сталі при розтягуванні? . . . . . 30
43. Які бувають види руйнування? . . . . . 31
44. Чим відрізняється робота коротких і довгих зразків на стискання? . . . . . 31
45. Коли виникає наклеп? . . . . . 31
46. З чим пов'язане явище старіння сталі? . . . . . 32
47. Як руйнується сталь? . . . . . 32
48. Коли в зразку виникає концентрація напружень? . . . . . 33
49. З якої причини виникає втома металу? . . . . . 33

**4. НАВАНТАЖЕННЯ**

**4.1. Загальні відомості**

50. Як класифікуються навантаження на конструкції і споруди? . . . . . 35
51. Стисла характеристика основних навантажень . . . . . 35
52. Як визначити термін експлуатації конструкції? . . . . . 35
53. Що є основою для призначення навантажень? . . . . . 35
54. Скільки існує видів розрахункових навантажень і де вони використовуються? . . . . . 35
55. Які навантаження слід віднести до постійних? . . . . . 36
56. Які навантаження слід віднести до змінних тривалих? . . . . . 36
57. Які навантаження відносять до змінних короткочасних? . . . . . 36
58. Які навантаження відносять до епізодичних? . . . . . 36
59. Як сформувати сполучення навантажень? . . . . . 37
60. Як враховують рівномірно розподілені навантаження? . . . . . 37

**4.2. Навантаження від кранів**

61. Які сили виникають при русі мостового крана? . . . . . 37
62. Яке положення мостових кранів вважається найневигіднішим для розрахунку колони? . . . . . 37
63. Як визначити навантаження від мостових та підвісних кранів? . . . . . 38
64. Як визначити характеристичне значення вертикального навантаження від мостового крана? . . . . . 39
65. Як визначити характеристичне значення горизонтального навантаження від мостового крана? . . . . . 39
66. Як класифікують крани за режимами роботи? . . . . . 39

**4.3. Снігове навантаження**

67. Які розрахункові значення встановлені для снігового навантаження? . . . . . 40
68. Як обчислюється граничне розрахункове снігове навантаження? . . . . . 40

**4.4. Вітрове навантаження**

69. Чи є вітрове навантаження змінним? . . . . . 40
70. Як визначається граничне розрахункове вітрове навантаження? . . . . . 40

**5. РОЗРАХУНКОВІ ОПОРИ СТАЛІ**

71. З чим порівнюють напруження при перевірці перерізів на міцність і стійкість? . . . . . 42
72. Основні характеристики опору сталі силовим впливам . . . . . 42
73. Що враховує коефіцієнт надійності за матеріалом? . . . . . 42
74. Що більше, характеристичні опори сталі чи розрахункові? . . . . . 42
75. Як визначаються розрахункові опори зварних з'єднань? . . . . . 42

**6. СОРТАМЕНТ**

76. Що називають сортаментом? . . . . . 43
77. На які групи розподіляється сталь? . . . . . 43
78. Які профілі більш ефективні? . . . . . 44
79. Класифікація листової сталі . . . . . 44
80. Кутикові профілі . . . . . 44
81. Швелери . . . . . 44
82. Двотаври . . . . . 44
83. Тонкостінні профілі . . . . . 45
84. Труби . . . . . 45
85. Холодногнуті профілі . . . . . 45

**7. З'ЄДНАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**7.1. Зварні з'єднання** . . . . . 46

**7.1.1. Електрозварювання**

86. Який процес називають зварюванням? . . . . . 46
87. Як класифікується зварювання в залежності від умов зварювання? . . . . . 46
88. У чому полягає сутність зварювання плавленням? . . . . . 46
89. У чому полягає сутність зварювання тиском? . . . . . 47
90. Як класифікують способи зварювання? . . . . . 48
91. У чому сутність дугового зварювання? . . . . . 48
92. Як виникає електрична дуга? . . . . . 48
93. Яка будова електричної дуги? . . . . . 49
94. З чого складається зварювальна ванна? . . . . . 49
95. Як кристалізується метал зварювальної ванни? . . . . . 50
96. Через що в металі шва виникають тріщини і які вони бувають? . . . . . 50
97. Які зони утворюються у зварному з'єднанні? . . . . . 51
98. Для чого призначені електроди? . . . . . 51
99. Що собою являють зварювальний та наплавальний дріт? . . . . . 51
100. Основні характеристики металевих електродів . . . . . 52

**7.1.2. Зварні з'єднання і шви**

101. Що називають зварним з'єднанням? . . . . . 54
102. У чому особливості стикового з'єднання? . . . . . 54
103. У чому особливості з'єднання внапусток? . . . . . 54
104. У чому особливості таврового з'єднання? . . . . . 54
105. У чому особливості кутового з'єднання? . . . . . 54
106. Як класифікують зварні шви? . . . . . 54
107. Що розуміють під режимом зварювання? . . . . . 56
108. Як обрати діаметр електрода? . . . . . 56
109. Як запалити дугу і забезпечити стійке горіння електрода? . . . . . 56
110. Як класифікують зварні шви за довжиною? . . . . . 57
111. Які особливості зварювання при низьких температурах? . . . . . 57
112. Що необхідно враховувати при зварюванні арматурної сталі в умовах монтажу? . . . . 57
113. Що необхідно враховувати при зварюванні ґратчастих конструкцій? . . . . . 58

114. Що необхідно враховувати при зварюванні балкових конструкцій? . . . . . 58
115. Які вимоги висуваються до зварних кутових швів і конструкцій з'єднань? . . . . . 59
116. Як розрахувати зварне стикове з'єднання? . . . . . 60
117. Як розрахувати зварне з'єднання з кутовими швами при дії поздовжньої сили? . . . . . 60
118. Як розрахувати зварне з'єднання з кутовими швами при дії згинального моменту? . . . . . 61
119. Що називають дефектами зварних швів? . . . . . 61
120. Які дефекти зварних швів відносять до зовнішніх? . . . . . 61
121. Які дефекти зварних швів відносять до внутрішніх? . . . . . 62

**7.2. Болтові з'єднання**

**7.2.1. Болти**

122. Які переваги і недоліки мають болтові з'єднання? . . . . . 63
123. Як класифікують болти? . . . . . 63
124. Чим відрізняються один від одного болти різної точності? . . . . . 63
125. Чим відрізняються високоміцні болти? . . . . . 64
126. Чим відрізняються від звичайних самонарізаючі болти? . . . . . 64
127. Для чого використовують анкерні болти? . . . . . 64
128. Як позначається клас міцності болтів? . . . . . 64
129. Як визначити характеристичні опори сталі болтів та розрахункові опори одноболтових з'єднань? . . . . . 64

**7.2.2. Робота болтових з'єднань**

130. Як працюють ботові з'єднання? . . . . . 64
131. На які зусилля працюють болти? . . . . . 65
132. Як потрібно розміщувати болти? . . . . . 65
133. Як визначити розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом? . . . . . 65
134. Як визначити кількість болтів при дії поздовжньої сили, що проходить через центр ваги з'єднання? . . . . . 65
135. Як розподіляються між болтами зусилля зрізу при дії згинального моменту? . . . . . 65
136. Що треба визначити при одночасній дії на болтове з'єднання поздовжньої і поперечної сили та згинального моменту? . . . . . 65
137. Як перевірити найбільш напружений болт при одночасній дії на болтове з'єднання зусиль, що викликають зріз і розтяг? . . . . . 66

**8. РОЗРАХУНОК МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

138. За якою методикою ведеться розрахунок металевих конструкцій? . . . . . 67
139. У чому полягає мета розрахунку металевих конструкцій? . . . . . 67
140. В якому порядку необхідно виконувати розрахунок металевих конструкцій? . . . . . 67
141. У чому сутність розрахунку за граничними станами? . . . . . 67
142. У залежності від чого класифікують конструкції при досягненні граничних станів? . . . . . 68
143. Як конструкції класифікують в залежності від можливостей і причин досягнення граничних станів? . . . . . 68
144. На які класи поділяють елементи і конструкції? . . . . . 69
145. Як при розрахунку необхідно враховувати призначення і умови роботи конструкції? . . . . . 69
146. Як розрахувати на міцність центрально розтягнуті і стиснуті елементи? . . . . . 69
147. Як розрахувати на стійкість центрально стиснуті елементи? . . . . . 69
148. Як перевірити на міцність і стійкість конструкції наскрізного перерізу? . . . . . 70
149. При яких умовах можна вважати забезпеченою місцеву стійкість стінки центрально-стиснутого елемента суцільного перерізу? . . . . . 70
150. Коли стінки центрально-стиснутих елементів суцільного перерізу треба укріплювати поперечними ребрами жорсткості? . . . . . 70

151. Коли місцеву стійкість поясного листа центрально-стиснутого елемента суцільного перерізу можна вважати забезпеченою? . . . . . 70
152. Чи є зв'язок між вибором класу балки і урахуванням розвитку пластичних деформацій? . . . . . 71
153. Як розрахувати балку на міцність? . . . . . 71
154. Як перевірити міцність стінки балки в місцях, де виникає зосереджена сила, наприклад, від колеса мостового крана чи від іншої балки? . . . . . 71
155. У чому полягає втрата загальної стійкості балки? . . . . . 72
156. Якщо двотаврова балка 1-го класу, працююча на згин, перевірена на міцність, чи потрібно перевіряти її ще на загальну стійкість? . . . . . 72
157. Від чого насамперед залежить коефіцієнт стійкості $\varphi_b$ для балок? . . . . . 72
158. Коли загальну стійкість балок 1-го класу можна не перевіряти? . . . . . 72
159. Коли загальну стійкість балок 2-го і 3-го класу можна не перевіряти? . . . . . 72
160. Які елементи балки і за яких умов можуть втратити місцеву стійкість? . . . . . 72
161. Як забезпечують місцеву стійкість стінки двотаврової балки? . . . . . 73
162. Чи є залежність місцевої стійкості балки 1-го класу від умовної гнучкості її стінки? . . . . . 73
163. Як перевіряється місцева стійкість стінки балки 1-го класу за наявності основних поперечних ребер жорсткості? . . . . . 73
164. Чи можна перевіряти місцеву стійкість стінок двотаврових балок 2-го і 3-го класів за методикою перевірки балок 1-го класу? . . . . . 73
165. В яких місцях і за яких умов треба встановлювати основні поперечні ребра жорсткості стінок балок? . . . . . 74
166. Що треба включати в розрахунковий переріз ребра жорсткості при перевірці його на стійкість? . . . . . 74
167. Коли можна вважати забезпеченою місцеву стійкість стиснутого пояса балки? . . . . . 74
168. У чому полягає розрахунок на міцність позацентрово стиснутих і позацентрово розтягнутих стрижнів? . . . . . 74
169. Як забезпечити загальну стійкість позацентрово стиснутих елементів при дії згинального моменту? . . . . . 74
166. Що треба включати в розрахунковий переріз ребра жорсткості при перевірці його на стійкість? . . . . . 74
167. Коли можна вважати забезпеченою місцеву стійкість стиснутого поясу балки? . . . . . 74
168. В чому полягає розрахунок на міцність позацентрово стиснутих і позацентрово розтягнутих стрижнів? . . . . . 74
169. Як забезпечити загальну стійкість позацентрово стиснутих елементів при дії згинального моменту? . . . . . 74

## 9. ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 9.1. Загальні вимоги

170. У чому полягає проектування металевих конструкцій? . . . . . 76
171. Що треба забезпечити при проектуванні металевих конструкцій? . . . . . 76
172. Що є критеріями надійності конструкції? . . . . . 76
173. Які основні умови треба враховувати при проектуванні металевих будівельних конструкцій? . . . . . 76
174. Як класифікують об'єкти в залежності від відповідальності будівель і споруд? . . . . . 76
175. На якому етапі проектування потрібно враховувати клас відповідальності об'єкта? . . . . . 76
176. За якою методикою треба визначати клас відповідальності об'єкта? . . . . . 76
177. Як визначити категорію відповідальності конструкцій? . . . . . 76
178. Як враховується значущість конструкції при розрахунку? . . . . . 76

**9.2. Балки**

179. Який тип перерізу для балок є кращим? . . . . . 77
180. Як класифікують балки? . . . . . 77
181. Як компонують балочне перекриття? . . . . . 77
182. Як вибрати спосіб обпирання балок? . . . . . 77
183. Як визначити відстань між балками? . . . . . 78
184. Як спроектувати ефективний сталевий настил для балочної клітки? . . . . . 78
185. Які прокатні балки рекомендується використовувати? . . . . . 79
186. Який порядок розрахунку балки, що працює на згин, під дією рівномірно розподіленого навантаження? . . . . . 79
187. Яка розрахункова схема у балки настилу в балочній клітці нормального типу? . . . . . 79
188. Як визначити рівномірно розподілене навантаження на балку настилу? . . . . . 79
189. Чому дорівнює вантажна площа балки? . . . . . 79
190. Що робити, якщо не виконуються перевірки прокатної балки за першою або другою групою граничних станів? . . . . . 79
191. При перевірці за другою групою граничних станів критерієм нормальної експлуатації балки служить її абсолютний прогин в одиницях довжини або відносний в частках? . . . . . 80
192. Який настил в балочній клітці можна вважати жорстким і надійно пов'язаним з балками настилу? . . . . . 80
193. Чи є відмінність у розрахунку балок різних класів (1-го, 2-го і 3-го), що працюють на вигин, під дією рівномірно розподіленого навантаження? . . . . . 80
194. Від чого залежить умовна гнучкість стиснутого пояса балки і як її ефективно зменшити? . . . . . 80
195. Як збільшити умовну граничну гнучкість стиснутого пояса балки? . . . . . 80
196. Що робити, якщо перевірка прокатної балки за другою групою граничних станів не виконується, а балок з великим номером немає? . . . . . 80
197. Як забезпечити стійкість балок настилу під збірним настилом, якщо перевірка не виконується, а замінити залізобетонні плити неможливо? . . . . . 80
198. Чи можуть головні балки бути прокатними? . . . . . 80
199. Яка розрахункова схема головної балки? . . . . . 81
200. Що є навантаженням для головної балки? . . . . . 81
201. Чи є відмінність у розрахунку складових головних балок і прокатних балок настилу? . . . . . 81
202. Чи є відмінність у розрахунку прокатних головних балок і прокатних балок настилу? . . . . . 81
203. З чого починається підбір перерізу головної складової балки? . . . . . 81
204. Як призначити висоту складової балки? . . . . . 81
205. Що таке будівельна висота перекриття? . . . . . 81
206. Що робити, якщо сума висоти головної балки, балки настилу і товщина настилу перевищує задану будівельну? . . . . . 81
207. Як забезпечити загальну стійкість головної балки? . . . . . 81
208. Чи є додаткові умови при призначенні розмірів поясів і стінки складової балки, крім розрахунку на дію згинального моменту і поперечної сили? . . . . . 81
209. Під впливом яких чинників може статися втрата місцевої стійкості стінки складової балки? . . . . . 82
210. Як забезпечити місцеву стійкість стінки складової балки? . . . . . 82
211. Що розуміють під відсіком складеної балки? . . . . . 82
212. Чому умовну гнучкість стінки складової балки порівнюють з цифрою 3,2 при визначенні відстані між проміжними ребрами жорсткості? . . . . . 83
213. Коли застосовують односторонні, а коли двосторонні ребра жорсткості стінки складової балки? . . . . . 83
214. У чому полягає розрахунок проміжних ребер жорсткості стінки складової балки? . . 83

215. Як перевіряється місцева стійкість складової балки 1-го класу симетричного перерізу? . . . . . 83
216. Як забезпечити місцеву стійкість стиснутого поясу складової балки? . . . . . 83
217. Як забезпечити місцеву стійкість стінки складової балки? . . . . . 84
218. Якими способами можна з'єднати пояси зі стінкою складової балки? . . . . . 84
219. Чи допускається застосовувати односторонні поясні шви при з'єднанні поясів зі стінкою балки? . . . . . 84
220. На яку силу ведеться розрахунок з'єднань поясів і стінки? . . . . . 84
221. Як виконати стик балок? . . . . . 84
222. Які особливості конструювання і розрахунку опорного вузла балки при її обпиранні на колону крайнього ряду? . . . . . 86
223. Які особливості конструювання і розрахунку опорного вузла балки при її обпиранні на колону середнього ряду? . . . . . 87
224. У чому полягає розрахунок поясних швів стінки і полиць складової балки? . . . . . 89
225. У чому полягають особливості сполучення балок? . . . . . 89

**9.3. Колони**

226. З яких елементів складається колона? . . . . . 90
227. Які типи перерізів застосовують при проектуванні суцільних колон? . . . . . 90
228. З чого складається стрижень наскрізної центрально стиснутої колони? . . . . . 91
229. На що впливає решітка наскрізної колони? . . . . . 91
230. Як визначити розрахункову схему колони? . . . . . 92
231. Як вибрати переріз колони? . . . . . 92
232. Як визначити необхідну площу перерізу суцільної колони? . . . . . 92
233. Як визначають поясні шви в центрально стиснутих колонах? . . . . . 92
234. Як назначити товщину стінки колони? . . . . . 92
235. Виходячи з чого приймають мінімальну товщину стінки? . . . . . 93
236. Коли стінку колони треба укріплювати поперечними ребрами? . . . . . 93
237. Як перевіряється стійкість наскрізної колони відносно вільної осі? . . . . . 93
238. В якому порядку треба виконувати розрахунок наскрізної колони? . . . . . 93

**9.4. Бази колон**

239. Чим відрізняється робота бази колони при шарнірному сполученні від роботи при жорсткому сполученні з фундаментом? . . . . . 94
240. Яка існує класифікація баз колон за конструктивним рішенням? . . . . . 94
241. З яких елементів може складатись база колони? . . . . . 94
242. У яких випадках в базі колони застосовують ребра жорсткості? . . . . . 94
243. Чим відрізняється конструктивне рішення бази колони при невеликих розрахункових зусиллях від рішення при великих зусиллях? . . . . . 94
244. Яку функцію виконують анкерні болти при шарнірному сполученні колон з фундаментом? . . . . . 94
245. Як закріплюють анкерні болти при жорсткому сполученні колони і фундаменту? . . . . . 95
246. Від чого залежить вимагаєма площа опорної плити бази колони? . . . . . 95
247. Від чого залежить ширина $B$ і довжина $L$ опорної плити бази колони? . . . . . 95
248. Як розподіляється тиск під опорною плитою бази колони? . . . . . 95
249. За якою розрахунковою схемою розраховують опорну плиту бази колони? . . . . . 95
250. Як визначається товщина опорної плити бази колони? . . . . . 95
251. Від чого залежать висота і товщина траверси бази колони? . . . . . 95

**9.5. Оголовки колон і з'єднання балок з колонами**

252. З'єднання балок з колонами може бути двох типів... . . . . . 95
253. Чим відрізняється розрахункова схема і розподілення зусиль при вільному з'єднанні від жорсткого? . . . . . 95

254. З чого складається оголовок колони при шарнірному з'єднанні балок з колонами? . . . . . 96
255. Від чого залежать висота і товщина оголовка колони? . . . . . 96
256. Яку функцію виконує опорна плита оголовка колони? . . . . . 96
257. Як звичайно закріплюється балка при жорсткому сполученні з колоною? . . . . . 96
258. Чому при розрахунку зварних швів, якими приварюють столик до колони, розрахункову повздовжню силу збільшують на 30 %? . . . . . 97

**9.6. Ферми**

259. Класифікація ферм за конструктивною схемою . . . . . 97
260. З чого починають проектування ферм? . . . . . 98
261. Коли застосовують ферми трикутного контуру? . . . . . 98
262. Які переваги мають ферми трапецеїдального контуру перед трикутними? . . . . . 99
263. Де застосовують полігональні ферми? . . . . . 99
264. Які конструктивні переваги мають ферми з паралельними поясами? . . . . . 99
265. Як визначається розрахунковий проліт ферм? . . . . . 99
266. Як визначається висота трикутних ферм? . . . . . 99
267. Коли вага поясів і решітки трапецеїдальних ферм і ферм з паралельними поясами буде мінімальною? . . . . . 99
268. На що працює решітка ферм? . . . . . 99
269. Особливості трикутної системи решітки . . . . . 100
270. Які переваги і недоліки у розкісної системи решітки ферми? . . . . . 100
271. Спеціальні системи решіток . . . . . 100
272. Як визначають розміри панелей ферм? . . . . . 100
273. Завдяки чому забезпечується стійкість ферм? . . . . . 100
274. З чого складається просторовий стійкий блок покрівлі? . . . . . 100
275. Чи можна забезпечити стійкість ферм покрівлі з площини завдяки тільки прогонам по верхніх поясах ферм? . . . . . 101
276. Які основні показники уніфікації ферм з рулонною покрівлею? . . . . . 101
277. Навіщо в кроквяних фермах утворюють будівельний підйом? . . . . . 101
278. Як прикладається навантаження до ферми? . . . . . 101
279. Які спрощення допускаються при визначенні зусиль у стрижнях ферм? . . . . . 101
280. Як визначаються навантаження на ферму? . . . . . 101
281. Як визначаються зусилля в стрижнях ферми? . . . . . 101
282. Чим відрізняються геометричні і розрахункові довжини стрижнів ферми? . . . . . 102
283. З чого виконуються елементи легких ферм? . . . . . 103
284. Як визначають товщину вузлових фасонок для ферм з поясами з двох кутиків? . . . . 103
285. Як підібрати переріз стиснутого стрижня ферми? . . . . . 103
286. Як підібрати переріз розтягнутого стрижня ферми? . . . . . 104
287. Як запроектувати проміжні вузли зварних ферм? . . . . . 105
288. Навіщо в стрижнях ферми, виконаних з парних кутиків, між ними ставлять листові прокладки? . . . . . 107
289. Що треба враховувати при конструюванні ферм? . . . . . 108
290. Як розраховується опорний вузол нижнього пояса ферми? . . . . . 108
291. Для чого потрібен опорний столик під нижнім поясом ферми? . . . . . 109
292. Як розраховується коньковий вузол ферми? . . . . . 109

**10. КАРКАСИ ОДНОПОВЕРХОВИХ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

293. Що називається каркасом промислової будівлі? . . . . . 111
294. Яким вимогам повинна задовольняти запроектована споруда? . . . . . 111
295. Що є основою несучого сталевого каркаса промислової будівлі? . . . . . 111
296. Які розміри відносяться до генеральних розмірів цеху? . . . . . 111
297. Що таке модуль і модульна система? . . . . . 111

298. Навіщо промислові будівлі ділять на окремі блоки? . . . . . 111
299. Яка конструкція є основою каркаса? . . . . . 112
300. З якою метою в цеху влаштовують в'язі і які вони бувають? . . . . . 112
301. Яке призначення горизонтальних в'язей по верхніх поясах ферм? . . . . . 113
302. Навіщо ставлять горизонтальні повздовжні в'язі по нижніх поясах ферм? . . . . . 113
303. В яких місцях звичайно встановлюють вертикальні в'язі між фермами? . . . . . 113
304. Головне призначення вертикальних в'язей між фермами . . . . . 113
305. В яких місцях і навіщо встановлюють вертикальні в'язі між колонами? . . . . . 114
306. Чи потрібно встановлювати вертикальні в'язі на краях температурного відсіку? . . . . . 114
307. Для чого призначені ліхтарі в промислових будівлях і які в них конструктивні особливості? . . . . . 114

**11. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЄВРОКОДОМ**

308. Коли і чому з'явилися Єврокоди? . . . . . 116
309. Склад і призначення Єврокоду 3 . . . . . 116
310. З чого складається перша частина Єврокоду 3? . . . . . 116
311. Яка структура Єврокоду 3? . . . . . 116
312. Чим відрізняються принципові положення Єврокодів від загальноприйнятих правил? . . . . . 117
313. Що позначають величини в рамках? . . . . . 117
314. Чи є відмінності в розташуванні осей від загальноприйнятого? . . . . . 117
315. Що покладено в основу Єврокоду 3? . . . . . 117
316. У чому суть розрахунку за граничними станами? . . . . . 118
317. Які розрахункові ситуації необхідно розглянути при проектуванні? . . . . . 118
318. Як визначаються навантаження? . . . . . 118
319. Як визначають розрахункові опори сталі? . . . . . 118
320. Як визначають нормативні опори сталі? . . . . . 118
321. Чому дорівнюють коефіцієнти надійності при визначенні несучої здатності? . . . . . 118
322. Які критерії експлуатаційної придатності конструкції? . . . . . 119
323. Чому дорівнюють основні характеристики сталі? . . . . . 119
324. Як класифікуються поперечні перерізи? . . . . . 119
325. Як класифікують балки? . . . . . 119
326. Які перевірки виконуються для балок, закріплених від втрати загальної стійкості? . . . . . 119
327. Якій вимозі повинне задовольняти розтягуюче зусилля? . . . . . 119
328. Якій вимозі повинне задовольняти зусилля стиснення? . . . . . 120
329. Як перевірити несучу здатність балки на чистий вигин? . . . . . 120
330. Як перевіряють балку на дію поперечної сили? . . . . . 120
331. Коли необхідно перевіряти стійкість стінки двотавра при дії дотичних напружень? . . . . . 120
332. Як забезпечити місцеву стійкість полиці двотаврової балки в площині стінки? . . . . 120
333. Скільки випадків вичерпання несучої здатності стінки балки розглядається при дії зосередженого навантаження? . . . . . 120

**ЛІТЕРАТУРА** . . . . . 121

# 1. ВСТУП

## 1.1. ВІД ЗАЛІЗА ДО СТАЛІ

*Сталь — сплав заліза з іншими елементами: вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою, фосфором. Це добре знають сьогодні в світі. Але ще в стародавньому Єгипті було відомо, що деякі сорти заліза при зануренні у воду в нагрітому стані «загартовуються». Ця властивість довгі роки була єдиною ознакою при розмежуванні заліза і сталі. Французький учений Реомюр в 1722 р. висловив думку, що залізо і сталь відрізняються один від одного за хімічним складом тільки присутністю якийсь домішки, названої ним летючої сіллю, яка і визначає відмінність їх властивостей. Лише в 1814 р. німецький дослідник Карстен вказав, що такою домішкою є вуглець. Поява в XX столітті нових областей застосування металу — машинобудування, залізничного будівництва — зажадало точних уявлень про якість металу. П. П. Аносов вперше зайнявся систематичним вивченням впливу різних елементів на сталь. Він першим довів, що властивості сталі можуть бути змінені добавками легуючих елементів. Вчений заклав основи металургії легованих сталей. Сьогодні відомо понад 8 тисяч сплавів. В давнину намагалися отримувати сталі з добавками благородних металів. Так, в 1825 р. в Росії були описані дослідницькі роботи на Гороблагодатських казенних заводах по сплавленню сталі з платиною. Шість фунтів сталі розплавили в тиглі з вісьмома золотниками платини. Рідку масу вилили в чавунну форму і швидко охолодили у воді. Отримана сталь різала скло, як алмаз, рубала чавун і залізо не притупляючись. У 1927 р. в Берліні на виставці показували каструльку з двома ручками з різних металів. У ній кипіла вода і одна з ручок була гарячою, а інша теплою? тому що зроблена з «дерев'яної» сталі, до складу якої входили 35 % нікелю, 1 % хрому і 64 % заліза. Називалася вона так, тому що по теплопровідності подібна до дерева. Автором одного з таких сплавів був швейцарський фізик і метролог Гійом. У 1898 р. він визначив залежність фізичних властивостей сталі від вмісту нікелю. Нікелевий сплав, що складається з 36 % нікелю і 64 % заліза, отримав назву інвар, що означає незмінний. В межах температур від -60 до + 100 °С теплове розширення інвару близьке до нуля. Інтерес представляє сплав нікелю з тітаном — нітінол. Цей сплав має пам'ять. Нагріваючи нітінол, надавали йому певну форму, потім охолоджували і сплющували. Потім знову нагрівали і сплав набував свою первинну форму.*

*Перший процес отримання заліза, названий сиродутним, існував протягом багатьох століть. В яму насипали залізну руду в суміші з деревним вугіллям і щільно закривали. Цю суміш (шихту — посучасному) підпалювали і роздмухували. У процесі горіння не могли досягти температури плавлення заліза, а отримували лише тістоподібну розм'якшену масу, крицю, в якій залишався шлак — оксиди порожньої породи, руди та зола палива. Проковуванням криці вдавалося частково видалити шлак. Отримане залізо називали зварювальним, тому що шляхом кування з нього можна було зварити різні вироби. Операція нагріву і проковки криці повторювалася 5–6 разів. У годину видобувалося не більше півкілограма зварювального заліза. Тому в стародавньому світі залізо цінувалося не менше золота. В Індії в 415 році спорудили залізну колону. Нині вона знаходиться в столиці — Делі. Вага 6,5 тонн, висота 7 м, діаметр біля основи 42 см, вгорі 30 см. Вона виготовлена з майже чистого заліза (99,72 %) і відповідно не піддається корозії. Спосіб її виготовлення невідомий. Збільшення розмірів металургійних горнів і сили дуття призвели до того, що на дні горна утворювався рідкий метал, який після застигання не кувався, а ламався під молотом. Це був чавун — сплав заліза з вуглецем. Отримання такого непридатного металу спочатку приписували недбалості робітників, що відбилося і в його назвах. Наприклад, у Німеччині його називали брудний камінь, а в Англії свинське залізо. Але потім помітили, що цей матеріал має здатність добре заповнювати форми. Було отримано чавунне лиття, пізніше назване доменним процесом. Потім знайшли спосіб переплавляти чавун у зварювальне залізо. Горн завантажували шматками чавуну з деревним вугіллям. В ході процесу чавун розм'якшувався, відбувалося окислення його домішок. Підвищувалася його точка плавлення і в результаті виходила криця зварювального заліза. Годинна продуктивність процесу досягла 50–100 кг зварювального заліза.*

*Чавун являє собою сплав заліза з вуглецем і постійними домішками — кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором. Характерною особливістю чавуну, що відрізняє його від сталі, є високий вміст в ньому*

*вуглецю, що перевищує 1,7 %. Чавун не має міцності сталі, тендітний і не кується, але має хороші ливарні властивості.*

*Вихідними матеріалами для виробництва чавуну є залізні руди, паливо (кокс або деревне вугілля) і флюс (вапняк). Переробка залізної руди проводиться в шахтних печах, званих доменними. Залізною рудою називається гірська порода, основна частина якої містить хімічне з'єднання заліза з киснем. Чисте залізо в природі майже не зустрічається, тому що воно дуже активно окислюється, тобто вступає в хімічну реакцію з киснем. Кокс отримують шляхом спікання в спеціальних печах особливих сортів коксівного вугілля. Отриманий в доменній печі чавун можна розділити на три сорти: ливарний, переробний і спеціальний (залежно від відсотка в ньому інших елементів). Ливарний — містить вуглець у вільному стані у вигляді графіту. Має на зламі сірий колір. Застосовують для виготовлення труб, радіаторів, водопровідної арматури. Спеціальний — містить підвищену кількість кремнію, марганцю та інших елементів. Такі чавуни називають феросплавами. Застосовують у вигляді домішок при виробництві сталі. Переробний — містить вуглець 2,2–4 %, що знаходиться в хімічно зв'язаному стані. Поверхня зламу — біла. Застосовується для виробництва сталі.*

*Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю (до 2 %) і постійних домішок — кремнію, марганцю, сірки і фосфору. Добре обробляється тиском. Має більш високу міцність і пластичність, ніж чавун. Основною сировиною для сталі служить переробний чавун і сталевий брухт. Сутність процесу переробки чавуну в сталь полягає у зменшенні вмісту домішок шляхом їх окислення.*

*В давнину і Середні століття металурги домагалися чудових успіхів — виготовляли унікальні вироби. Вальтер Скотт у своєму романі «Талісман» розповідає про змагання між султаном Саладіном і англійським королем Річардом Левове Серце. Річард мечем розрубав спис одного з лицарів, у відповідь Саладін підкинув у повітря легке покривало і розсік його шаблею. Клинок султана був булатним. Булат, знаменита сталь, про яку знали ще 2500 років тому. Батьківщиною булату була Індія. Звідси вивозили «вутци» — «хлібці» зі сталі. Вони мали вигляд плоского коржа діаметром 12,5 см, товщиною 0,25 см і масою близько 900 г. Кожен такий «хлібець» розрубували навпіл, щоб покупець міг оцінити якість металу. Уже 1800 років тому в сирійському Дамаску існувала перша велика майстерня з виготовлення зброї з індійського «вутца». Булатні клинки дуже цінувалися. Але потім їх секрет був загублений. Таємницю булатної сталі знову відкрив металург Павло Петрович Аносов. У 1833 р. Аносов виготовив в Златоусті булатний клинок. Він згинався і видавав чистий дзвін. Так що ж таке булат? Залізо і вуглець і нічого більше, — говорив Аносов. — Вся справа в чистоті вихідних матеріалів, у методі охолодження, в кристалізації. Булат виявився високовуглецевою сталлю, отриманою в результаті природній кристалізації. Сутність утворення булату полягала в насиченні сплаву великою кількістю вуглецю (1,3–1,5 %). В умовах повільного охолодження утворюється з'єднання заліза з вуглецем — цементит, що не розчинявся, як у звичайній сталі. Прошарок цементиту обволікають м'яким залізом. Тому при високому вмісті вуглецю, який додає сталі твердості, булат зберігає високу в'язкість і пружність.*

## 1.2. КОНСТРУКЦІЇ

*Перші залізні вироби у вигляді знарядь для обробки каменю та дерева застосовувалися ще в 1500 р. до н.е. Перші конструктивні елементи — залізні балки застосовані давньогрецьким архітектором Мнесиклом в 432 р. до н.е. при будівництві Пропилів. III століття нашої ери було ознаменоване будівництвом кам'яних споруд на вапняному розчині, з'явилися підйомні механізми Архімеда і «механіка» Аристотеля, за допомогою якої було розроблено теорію простих машин.*

*В епоху Середньовіччя залізо використовується як матеріал для будівництва. Створюються ковані затяжки, каркаси та інші вироби, що з'єднуються між собою через вушка. У соборі Василя Блаженного в Москві, спорудженому в середині XVI ст., є затяжки, до яких підвішені стелі, причому ряд затяжок укріплений підкосами. Конструктори — будівельники цього собору вже досить добре розуміли роботу матеріалу в конструкції; вони знали, що на вигин краще працює переріз, що має висоту, більшу ніж ширина (смуга затяжки поставлена вертикально), що на поздовжній вигин добре працює брусок квадратного перерізу (підкоси зроблені з брускового заліза); вони знали закон розкладання сил (підкоси мають упори).*

*У XVII столітті ковані бруски зварювалися ковальським зварюванням. Складність конструкцій висунула вимогу надійності. Так з'явилися дослідження в області опору матеріалів (1636 р. Марсеном), випробування балок (1638 р. Галілей), встановлюється поняття нейтральної осі балки при вигині (1650 р. Маріотт), формулюється закон Гука (1678 р.) і основи сучасної механіки (1687 р. Ньютон). В останній чверті XVII століття дощатим залізом стали покривати дахи. Одна кована дошка важила 3 кг. Також застосовували литі чавунні дошки і чавунні стовпи. Англієць Уайт у 1800 році взяв патент на застосування чавунних крокв і покрівлі. Широке поширення в XVII і XVIII ст. мали просторові залізні конструкції у вигляді каркасів, що підтримують покрівлі церковних куполів. Такий каркас купола дзвінниці Івана Великого в Москві, споруджений в 1600 р. Одним з останніх куполів такої конструкції є великий купол Казанського собору в Петербурзі, споруджений архітектором Вороніхіним в 1805 р. Перераховані конструкції були виготовлені за допомогою горнового зварювання і мали замкові з'єднання за допомогою обойм. Був час, коли залізо застосовувалося тільки для виготовлення інструментів і у військовій справі. Пізніше його почали застосовувати в будівництві. Дощате і листове залізо йшло на облаштування віконниць, залізних кованих дверей.*

*XVIII століття — період панування чавуну. Застосування лиття дозволило створювати елементи будівельних конструкцій. Розробляються проекти чавунних мостів, отримує розвиток теорія розрахунків. У першій половині XVIII ст. в Англії був освоєний процес лиття чавуну для будівельних цілей; починаючи з середини XVIII ст. чавунні конструкції отримали тут поширення, як в мостовому, так і в цивільному та промисловому будівництві. У 1749 р. Ейлер запропонував теорію поздовжнього вигину, закладаються основи теорії крутіння і механіки споруд. В кінці XVIII століття створюється метод пудлінгового отримання заліза, що поклало початок застосуванню металевих конструкцій. Для забезпечення надійності конструкцій стало необхідним забезпечити якість матеріалу. Англійський залізозаводчік Вілкінсон в 1787 році спустив на воду перше залізне судно — невелику річкову баржу.*

*На початку XIX століття кутові, таврові і зетові профілі стали прокатувати в Англії, в 1848 році прокат двотаврових балок освоєний у Франції. У 40-х роках з'явився прокат у вигляді фасонного заліза і листа, і завдяки цій обставині залізні конструкції набули сучасну форму; з'явилися суцільні балки. До другої половини XIX століття чавунні конструкції отримали максимальний розвиток. Були побудовані: арочний п'ятипролітний міст з чавунних двотаврових балок через Неву за проектом С. В. Кербедза, в 1851 р. в Англії з чавунних і залізних конструкцій Кришталевий палац — один з перших каркасних будинків з прольотами по 22 і висотою 33 м і трубчастий клепаний міст «Британія» з головним 140-метровим прогоном. З кінця 50-х років XIX століття в Європі починають вводити систематичні випробування міцності металу на розрив, твердість, вигин, удар.*

*В кінці XIX століття, після відкриттів бесемерівського (1856 р.), мартенівського (1864 р.) і томасівського (1878 р.) процесів лиття сталі чавун поступається місцем більш досконалому матеріалу. Новий матеріал привів до появи нової номенклатури конструкцій, а це стимулювало розвиток методів розрахунку. Початок інтенсивного залізничного будівництва різко стимулював розвиток будівництва залізних мостів. Роботи Б. Клайперона, Е. Вінклера, О. Мора, Д. І. Журавського, Ф. С. Ясинського, Н. А. Белелюбського, В. Г. Шухова та інших вчених поклали початок науки про металеві конструкції. Високі міцнісні властивості нового матеріалу привели до вдосконалення існуючих і створення нових конструктивних форм арочних, гратчастих та висячих систем мостів. В кінці XIX століття почали застосовувати гратчасті системи ферм, консольні і нерозрізні балкові системи. Найбільшою подією стало зведення Бруклінського висячого мосту прольотом 488 м.*

*У 1889 році в Парижі зведена Ейфелева вежа висотою 300 м. Будівництво цієї унікальної споруди найкраще показує той найвищий рівень, якого досягла наука металобудівництва. Ось деякі технічні деталі проекту: в кожний з чотирьох фундаментів для баштових «ніг» були вмонтовані 16 гідравлічних пресів-домкратів вантажопідйомністю 800 тонн, призначені для точного регулювання вертикальності башти; для монтажу верхніх поверхів вежі були винайдені крани для роботи на висоті вантажопідйомністю в дві тонни, що переміщалися по рейках; для сприйняття вітрового навантаження кривизна бічних стійок була розрахована так, що значні коливання вежі навіть під час сильного вітру не перевищували 12 см; вежа важить 8600 тонн, в процесі її будівництва було використано 2,5 мільйона заклепок, розрахунки Ейфеля були настільки точні, що при монтажі не було потрібно жодних змін для всіх дванадцяти тисяч деталей; термін будівництва разюче короткий — 2 роки 2 місяці і 5 днів, причому півтора року пішло на фундамент, а саму вежу монтували 8 місяців; роботи вели всього 250*

*робітників і організація виробництва була продумана настільки грамотно, що за час будівництва не відбулося жодного нещасного випадку. Автор вежі навмисно або випадково запозичив ідею своєї конструкції у природи, точніше у гомілкової кістки людини. Це забезпечило вражаючу стійкість споруди і її легкість — на кожен квадратний метр поверхні припадає всього 50 граммів. Ейфель — унікальний фахівець. За 18 років він побудував 48 віадуків і мостів і його знаменита вежа просто найвідоміше з його творінь. Вона давно перетворилася на символ Парижа, якому міська влада приділяє першорядну увагу. За вежею стежать і строго виконують заповіт Ейфеля — кожні сім років фарбують вручну за допомогою пензликів з короткою ручкою.*

*У 1873 році ротонда у Відні перекривається куполом діаметром 104,78 м. Перші арочні системи відносяться до 1893 року, коли аркою прольотом 112,16 м була перекрита будівля відділу мануфактур на Всесвітній виставці в Чикаго. У 1986 р. В. Г. Шуховим були запропоновані вежі у вигляді гіперболоїда обертання. У 1894 році в Нью-Йорку споруджений каркас хмарочоса висотою 104 м. Особливе значення для розвитку металоконструкцій мало відкриття електрозварювання. У 1802 році В. В. Петровим отримана зварювальна дуга, в 1882 році Н. Н. Бернадос винайшов електрозварювання вугільної дугою, в 1888 році Н. Г. Славянов — зварювання металевим електродом.*

*Початок XX століття ознаменований швидким розвитком металоконструкцій. Будуються великопрогонові мости, хмарочоси, куполи, виробничі будівлі. Широке впровадження електрозварювання призвело до зниження маси конструкцій і трудомісткості виготовлення. Світове виробництво металевих конструкцій досягає мільйонів тонн на рік. Застосування нових матеріалів і економічних прокатних профілів призвело до появи нових конструктивних форм. Були створені каркасні, гратчасті і просторові системи, що перекривають значні прольоти. Розвиток будівельної науки, що використовує можливості програмних комплексів та впровадження нової техніки, в останні десятиліття розширив можливості проектувальників і будівельників, що створюють в проекті і реалізують на практиці нові конструктивні форми й об'ємно-планувальні рішення.*

# 2. ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ І ВИМОГИ ДО НИХ

**1. Які основні переваги металоконструкцій?**

*Надійність* — забезпечується близьким збігом їх дійсної роботи (розподіл напружень і деформацій) з розрахунковими припущеннями. Матеріал металевих конструкцій (сталь, алюмінієві сплави) має велику однорідність структури і досить близько відповідає розрахунковим передумовам про пружну або упругопластичну роботу матеріалу.

*Легкість*. З усіх виготовлених нині несучих конструкцій (залізобетонні, кам'яні, дерев'яні) металеві конструкції є найлегшими. Легкість конструкцій $C$ визначається відношенням щільності матеріала $\rho$ до його розрахункового опору $R$:

$C = \rho / R$. Чим менше значення $C$, тим відносно легше конструкція. Завдяки високим значенням розрахункових опорів для маловуглецевої сталі $C = 3{,}7 \times 10^{-4}$ м $^{-1}$, для бетону марки М 300 $C = 1{,}85 \times 10^{-3}$ м $^{-1}$, для дерева $C = 5{,}4 \times 10^{-4}$ м $^{-1}$.

*Індустріальність*. Металеві конструкції в основному виготовляються на заводах, оснащених сучасним обладнанням, що забезпечує високий ступінь їх індустріального виготовлення. Монтаж металевих конструкцій також проводиться індустріальними методами — спеціалізованими організаціями з використанням високопродуктивної технікі.

*Непроникність*. Метали мають не тільки значну міцність, але і високу щільність — непроникність для газів і рідин. Непроникність металу, здійснена за допомогою зварювання, є необхідною умовою для виготовлення газгольдерів, резервуарів і т. п.

**2. Що потрібно враховувати при проектуванні металоконструкцій?**

При проектуванні металевих конструкцій потрібно враховувати такі основні вимоги.

*Умови експлуатації*. Задоволення заданим при проектуванні умовам експлуатації є основною вимогою для проектувальника. Вони в основному визначають схему, конструктивну форму споруди і вибір матеріалу для неї.

*Економія металу*. Вимога економії металу визначається великою його потребою у всіх галузях промисловості і відносно високою вартістю.

*Транспортабельність*. У зв'язку з виготовленням металевих конструкцій, як правило, на заводах з подальшим перевезенням на місце будівництва, в проекті повинна бути передбачена можливість перевезення їх цілком або частинами (відправними елементами) із застосуванням відповідних транспортних засобів.

*Технологічність*. Конструкції повинні проектуватися з урахуванням вимог технології виготовлення і монтажу з орієнтацією на найбільш сучасні і продуктивні технологічні прийоми, що забезпечують максимальне зниження трудомісткості.

*Швидкісний монтаж*. Конструкція повинна відповідати можливостям збірки її в найменші терміни з урахуванням наявного монтажного обладнання.

*Довговічність*. Визначається термінами фізичного і морального зносу конструкції. Фізичний знос металевих конструкцій пов'язаний головним чином з процесами корозії. Моральний знос пов'язаний зі зміною умов експлуатації.

*Естетичність*. Конструкції незалежно від їх призначення повинні мати гармонійні форми. Особливо суттєва ця вимога для громадських будівель і споруд.

**3. Які основні недоліки металоконструкцій?**

Основні недоліки — схильність до корозії і низька вогнестійкість.

**4. Які основні нормативні вимоги висувають при проектуванні металоконструкцій?**

При проектуванні конструкцій необхідно забезпечити їх надійність (ДБН В.1.2–14 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних кон-

струкцій та основ»), експлуатаційну придатність і безпечність протягом всього терміну експлуатації (ДБН В.2.6–198:2014 «Сталеві конструкції» п.5.1).

**5. Як підвищити корозійну стійкість металоконструкцій?**

Підвищення корозійної стійкості досягається включенням до сталі спеціальних легуючих елементів, покриттям конструкцій захисними плівками (лаки, фарби) і вибором раціональної конструктивної форми елементів без щілин і пазух, де можуть накопичуватись вологість і пил.

**6. Які додаткові вимоги висувають при проектуванні зварних конструкцій?**

Необхідно знижувати залишкові напруження, деформації і концентрації напружень, застосовуючи елементи конструкцій без вхідних кутів і перепадів перерізу. Застосовувати оброблення відповідних зон фрезеруванням, струганням та інше.

**7. Які загальні рекомендації висувають при проектуванні металоконструкцій?**

Треба обирати оптимальні конструктивні елементи і конструкції з ефективної сталі, застосовувати уніфіковані рішення однотипних елементів в прогресивних конструкціях, що забезпечують технологічність і найменшу трудомісткість їх монтажу з відправних елементів з урахуванням виду транспорту і підйомного устаткування.

# 3. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРА СТАЛІ

## 3.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛІ

**8. Що з себе являє сталь?**

Сталь — це сплав заліза з вуглецем і легуючими домішками, що поліпшують якість металу, і шкідливими домішками, які потрапляють в метал з руди або утворюються в процесі виплавки.

**9. У чому суть кристалічної будови сталі?**

Всі метали, що твердіють в нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто укладання атомів в них характеризується певним порядком — періодичністю, як в різних напрямках, так і в різних площинах. Цей порядок визначається поняттям кристалічна решітка. Іншими словами, кристалічна решітка — це уявна просторова решітка, у вузлах якої розташовуються частинки, що утворюють тверде тіло.

Елементарна комірка — елемент об'єму з мінімального числа атомів, багаторазовим перенесенням якого в просторі можна побудувати весь кристал.

Елементарна комірка характеризує особливості будови кристала. Основними параметрами кристала є:

• розміри ребер елементарного осередку *a, b, c* — періоди решітки — відстані між центрами найближчих атомів. В одному напрямку витримуються строго визначеними.

• кути між осями $\alpha$, $\beta$, $\chi$.

• координаційне число (*K*) вказує на число атомів, розташованих на найближчій однаковій відстані від будь-якого атома в решітці.

• базис решітки (кратність) — кількість атомів, що припадають на одну елементарну комірку решітки.

• щільність упаковки атомів у кристалічній решітці — обсяг, зайнятий атомами, які умовно розглядаються як жорсткі кулі. Її визначають як відношення обсягу, зайнятого атомами, до обсягу комірки (для об'ємно-центрованої кубічної решітки — 0,68, для гранецентрованої кубічної решітки — 0,74).

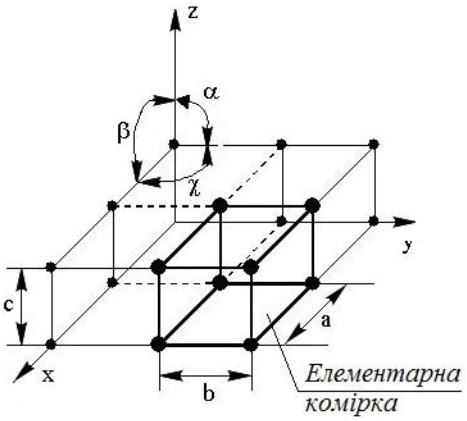



Рис. 3.1. Схема кристалічної решітки

Класифікація можливих видів кристалічних решіток була проведена французьким ученим О. Браве, відповідно вони отримали назву «решітки Браве». Всього для кристалічних тіл існує чотирнадцять видів решіток.

Основними типами кристалічних решіток є:

1. Об'ємно-центрована кубічна (ОЦК) (рис. 3.2а), атоми розташовуються у вершинах куба і в його центрі;

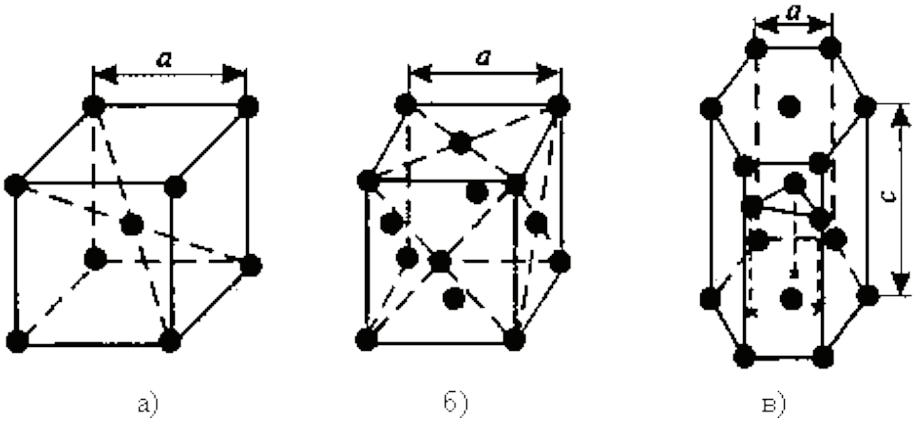



Рис. 3.2. Основні типи кристалічних решіток: а — об'ємно-центрована кубічна; б — гранецентрована кубічна; в — гексагональна щільноупакована

2. Гранецентрована кубічна (ГЦК) (рис. 3.2б), атоми розташовуються в вершинах куба і по центру кожної з 6 граней;

3. Гексагональна, в основі якої лежить шестикутник (рис. 3.2в):

– проста — атоми розташовуються у вершинах комірки і по центру;

– щільноупакована (ГПУ) — є 3 додаткових атома в середній площині.

**10. Що собою являє структура сталі?**

У твердому стані сталь є полікристалічним тілом, що складається з безлічі по-різному орієнтованих кристалів (зерен). У кожному кристалі атоми (точніше позитивно заряджені іони) розташовані упорядковано, у вузлах просторової решітки. Для сталі характерні об'ємно-центрована (ОЦК) і граніцентрована — (ГЦК) кубічна кристалічна решітки. Кожне зерно, як кристалічне утворення, анізотропне і має різні властивості за різними напрямками. При великому числі по-різному орієнтованих зерен ці відмінності згладжуються, статистично в середньому по всіх напрямках властивості стають однаковими і сталь поводиться як квазіізотропне тіло.

Структура сталі залежить від умов кристалізації, хімічного складу, режиму термообробки і прокатки.

**11. Як відбувається кристалізація рідкого, розплавленого металу?**

Будь-яка речовина може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному. Можливий перехід з одного стану в інший, якщо новий стан в нових умовах є більш стійким, володіє меншим запасом енергії.

Зі зміною зовнішніх умов вільна енергія змінюється за складним законом, різним для рідкого і кристалічного станів. Характер зміни вільної енергії рідкого і твердого станів зі зміною температури показаний на рис. 3.3.

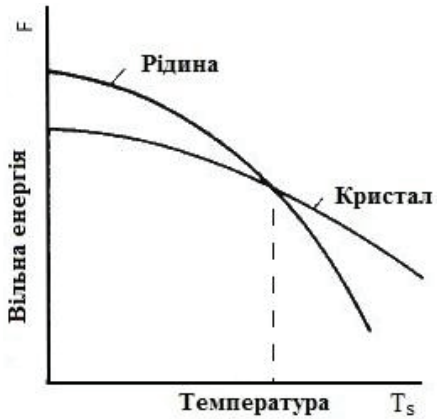



Рис. 3.3. Зміна вільної енергії в залежності від температури

Відповідно до цієї схеми вище температури $T_s$ речовина повинна знаходитися в рідкому стані, а нижче $T_s$ — в твердому. При температурі, рівній $T_s$, рідка і тверда фази мають однакову енергію, метал в обох станах знаходиться в рівновазі, тому дві фази можуть існувати одночасно нескінченно довго. Температура $T_s$ — рівноважна або теоретична температура кристалізації. Для початку процесу кристалізації необхідно, щоб процес був термодинамічно вигідний системі і супроводжувався зменшенням вільної енергії системи. Це можливо при охолодженні рідини нижче температури $T_s$. Температура, при якій практично починається кристалізація, називається фактичною температурою кристалізації.

Розглянемо перехід металу з рідкого стану в твердий.

При нагріванні всіх кристалічних тіл спостерігається чітка межа переходу з твердого стану в рідкий. Така ж межа існує при переході з рідкого стану в твердий. Кристалізація — це процес утворення ділянок кристалічної решітки в рідкій фазі й ріст кристалів з утворених центрів. Кристалізація протікає в умовах, коли система переходить до термодинамічно більш стійкого стану з мінімумом вільної енергії. При відповідному зниженні температури в рідкому металі починають утворюватися кристаліки — центри кристалізації або зародки. Для початку їх росту необхідне зменшення вільної енергії металу, в іншому випадку зародок розчиняється.

Мінімальний розмір здатного до зростання зародка називається критичним розміром, а зародок — стійким.

Перехід з рідкого стану в кристалічний вимагає витрати енергії на утворення поверхні розділу рідина — кристал. Процес кристалізації буде здійснюватися, коли виграш від переходу в твердий стан більше втрати енергії на утворення поверхні розділу. Механізм кристалізації представлений на рис.3.4.

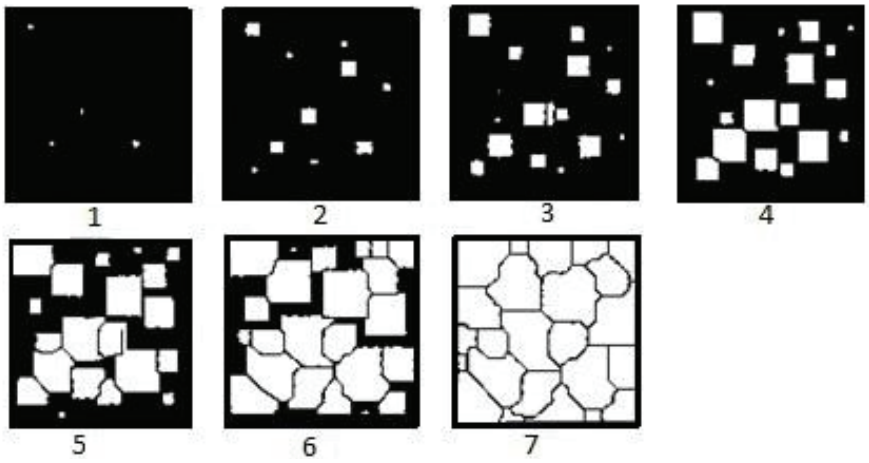



Рис. 3.4. Модель процесу кристалізації

Центри кристалізації утворюються в початковій фазі незалежно один від одного у випадкових місцях. Спочатку кристали мають правильну форму, але по мірі зіткнення і зрощення з іншими кристалами форма порушується. Зростання триває у напрямках, де є вільний доступ живильного середовища. Після закінчення кристалізації маємо полікристалічне тіло. Таким чином, процес кристалізації складається з утворення центрів кристалізації й росту кристалів з цих центрів.

**12. Чому сталеві злитки неоднорідні?**

Злиток, у відповідності зі схемою (рис 3.5), розробленою Д. К. Черновим, складається з трьох зон:

1. дрібнокристалічна коркова зона;
2. зона стовпчастих кристалів;
3. внутрішня зона великих рівноосних кристалів.

Кристалізація коркової зони йде в умовах максимального переохолодження. Швидкість кристалізації визначається великим числом центрів кристалізації. Утворюється мілкозерниста структура.

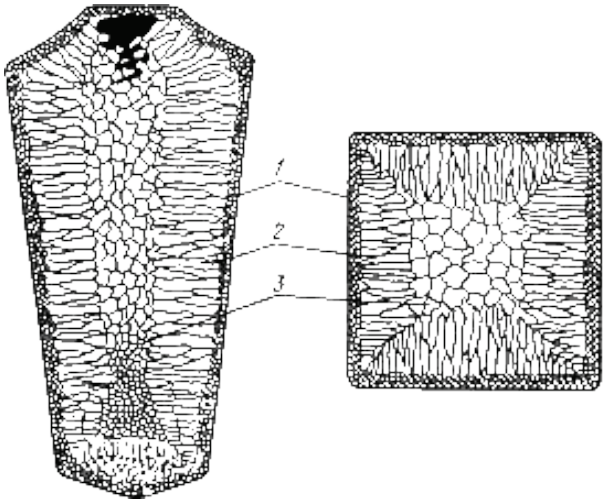



Рис. 3.5. Схема сталевого злитка: 1 — дрібнокристалічна коркова зона; 2 — зона стовпчатих кристалів; 3 — внутрішня зона крупних рівновісних кристалів

Рідкий метал під корковою зоною знаходиться в умовах меншого переохолодження. Число центрів обмежено і процес кристалізації реалізується за рахунок їх інтенсивного зростання до великого розміру. Зростання кристалів у другій зоні має спрямований характер. Вони ростуть перпендикулярно стінкам виливниці, утворюються деревовидні кристали — дендрити (рис. 3.6). Ростуть дендрити за напрямком, близьким до напрямку тепловідведення.

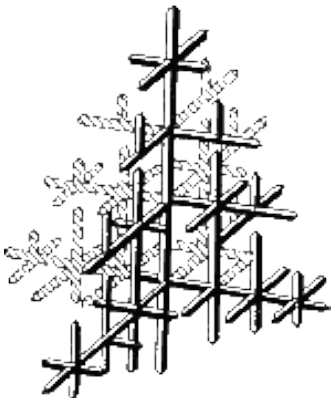


Рис. 3.6. Схема дендрита за Д. К. Черновим

Унаслідок того, що тепловідвід від незакристалізованого металу в середині зливка в різні боки вирівнюється, в центральній зоні утворюються великі дендрити з випадковою орієнтацією. Зони стовпчастих кристалів у процесі кристалізації стикуються, це явище називається транскристалізацією. Для малопластичних металів і для сталей це явище небажане, оскільки при подальшій прокатці, куванні можуть утворюватися тріщини в зоні стику. У верхній частині злитка утворюється усадочна раковина, яка підлягає обрізці і переплавці, тому що метал в ній більш пухкий (близько 15... 20 % від довжини злитка).

**13. З яких компонентів складається сталь?**

Температура плавлення чистого заліза дорівнює 1535 °С, при твердінні утворюються кристали чистого заліза — фериту, з об'ємно-центрованими решітками (ОЦК); при температурі 1490 °С відбувається перекристалізація з перетворенням в залізо з гранецентрованими решітками (ГЦК). При температурі 910 °С і нижче кристали заліза знову перетворюються в об'ємно-центровані, і цей стан зберігається до нормальної температури.

При введенні вуглецю температура плавлення знижується і для сталі з вмістом вуглецю 0,2 % становить приблизно 1520 °С. При охолодженні утворюється твердий розчин вуглецю в залізі,

званий аустенітом, в якому атоми вуглецю розташовуються в центрі ГЦК решітки. При температурі нижче 910 °С починається розпад аустеніту. Утворюване залізо з ОЦК гратами (ферит) погано розчиняє вуглець. По мірі виділення фериту аустеніт збагачується вуглецем і при температурі 723 °С перетворюється в перліт — суміш фериту і карбіду заліза, звану цементитом. Таким чином, при нормальній температурі сталь складається з двох основних фаз — фериту і цементиту, які утворюють самостійні зерна, а також входять у вигляді пластинок до складу перліту. Світлі зерна — ферит, темні — перліт.

Ферит вельми пластичний і маломіцний, цементит твердий і крихкий. Перліт має проміжні властивості між властивостями фериту і цементиту. Залежно від вмісту вуглецю переважає та чи інша структурна складова. Величина зерен фериту та перліту залежить від числа місць кристалізації й умов охолодження і суттєво впливає на механічні властивості сталі (чим дрібніше зерно, тим вища якість металу).

Легуючі добавки, входячи в твердий розчин з феритом, зміцнюють його. Крім того, деякі з них, утворюючи карбіди і нітриди, збільшують число місць кристалізації і сприяють утворенню дрібнозернистої структури. Під впливом термічної обробки змінюються структура, величина зерна і розчинність легуючих елементів, що призводить до зміни властивостей сталі.

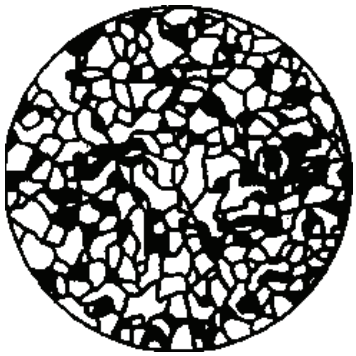


Рис. 3.7 Мікроструктура низьковуглецевої сталі

**14. Як вибрати сталь для будівельних конструкцій?**

Вибір сталі здійснюється на основі варіантного проектування і техніко-економічного аналізу з урахуванням рекомендацій норм. При виборі сталі для конструкцій слід враховувати:

– клас відповідальності споруд відповідно з ДБН В.1.2–14 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ»;

– призначення конструкцій та елементів і категорію їх відповідальності відповідно з ДБН В.1.2–14;

– можливі наслідки досягнення граничних станів;

– характер діючіх напружень (статичні, дінамічні) та їх рівень;

– вид напруженого стану (одноосьовий, плоский чи об'ємний, розтяг або стискання);

– наявність зварних з'єднань (рівень залишкових напружень, ступінь концентрації напруження, властивості сталі в зоні зварювання);

– ступінь агресивності впливів;

– товщина прокату;

– особливості конструктивної форми та технології виготовлення (концентратори напружень, гільйотинне різання, наклеп тощо).

## 3.2. КЛАСИФІКАЦІЯ, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

**15. Як класифікується сталь в залежності від вмісту вуглецю?**

Вуглецева сталь в залежності від вмісту вуглецю ділиться на:

а) маловуглецеву сталь з 0,09–0,22 % вуглецю (в основному застосовується в будівництві);

б) середньовуглецеву сталь з 0,25–0,5 % вуглецю (застосовується в машинобудуванні);

в) високовуглецеву (інструментальну) сталь з 0,6–1,2 % вуглецю.

У будівництві в основному застосовується маловуглецева сталь, що має велику пластичність, ковкість, гарну зварюваність, і низьколеговані сталі підвищеної і високої міцності, що мають меншу схильність до крихких руйнуваннь.

**16. Як класифікуються сталі за хімічним складом?**

За хімічним складом сталі підрозділяються на вуглецеві і леговані. Вуглецеві сталі звичайної якості складаються з заліза і вуглецю з деякою домішкою кремнію (або алюмінію) і марганцю. Інші домішки спеціально не вводяться і можуть потрапити в сталь з руди (мідь, хром і т. п.). Вуглець (У), підвищуючи міцність сталі, знижує її пластичність і погіршує зварюваність, тому для будівельних металевих конструкцій застосовуються тільки низьковуглецеві сталі з вмістом вуглецю не більше 0,22 %. До складу легованих сталей крім заліза і вуглецю входять спеціальні домішки, що поліпшують їх якість. Оскільки більшість домішок в тій чи іншій мірі погіршують зварюваність сталі, а також здорожують її, в будівництві в основному застосовуються низьколеговані сталі з сумарним вмістом легуючих добавок не більше 5 %.

Основними легуючими добавками є кремній (С), марганець (Г), мідь (Д), хром (Х), нікель (Н), ванадій (Ф), молібден (М), алюміній (Ю), азот (А).

Кремній розкислює сталь, тобто пов'язує надлишковий кисень і підвищує її міцність, але знижує пластичність, погіршує при повищенному змісті зварюваність і корозійну стійкість. Шкідливий вплив кремнію може компенсуватися підвищеним вмістом марганця.

Марганець підвищує міцність, є гарним розкислювачем і, з'єднуючись із сіркою, знижує її шкідливий вплив. При вмісті марганцю більше 1,5 % сталь стає крихкою.

Мідь дещо підвищує міцність сталі і збільшує її стійкість проти корозії. Надлишковий вміст міді (більше 0,7 %) сприяє старінню сталі і підвищує її крихкість.

Хром і нікель підвищують міцність сталі без зниження пластичності і покращують її корозійну стійкість.

Алюміній добре розкислює сталь, нейтралізує шкідливий вплив фосфору, підвищує ударну в'язкість.

Ванадій і молібден збільшують міцність майже без зниження пластичності і запобігають зменшенню міцності термообробленої сталі при зварюванні.

Азот в незв'язаному стані сприяє старінню сталі і робить її крихкою, тому його має бути не більше 0,009 %. У хімічно зв'язаному стані з алюмінієм, ванадієм, титаном і іншими елементами він утворює нітриди і стає легуючим елементом, сприяючи отриманню дрібнозернистої структури та поліпшенню механічних властивостей.

**17. Як сірка і фосфор впливають на якість сталі?**

У сталі завжди містятся домішки марганцю, кремнію, фосфору і сірки, в сумі не перевищуючи звичайно 1 %. Фосфор і сірка є шкідливими домішками, але їх не вдається повністю видалити в процесі плавки сталі. Вміст у сталі більше 0,045 % фосфору робить сталь крихкою при низьких температурах (властивість холодноломкості). Вміст більше 0,055 % сірки робить сталь червоноломкою, тобто сприяє утворенню тріщин в гарячому стані.

**18. Який вплив на механічні властивості сталі справляють гази, що знаходяться у повітрі?**

Шкідливий вплив на механічні властивості сталі справляє насичення її газами, які можуть потрапити з атмосфери в метал, що знаходиться в розплавленому стані. Кисень діє подібно сірці, але в більш сильному ступені, і підвищує крихкість сталі. Незв'язаний азот також знижує якість сталі. Водень хоча і утримується в незначній кількості (0,0007 %), але, концентруючись близько включень у міжкристалічних областях і розташовуючись переважно по межах зерен, викликає в мікрооб'ємах високі напруження, що призводить до зниження опору сталі крихкому руйнуванню, зниженню тимчасового опору і погіршенню пластичних властивостей. Тому розплавлену сталь (наприклад, при зварюванні) необхідно захищати від впливу атмосфери.

**19. Як класифікують сталі за ступенем розкиснення?**

За ступенем розкиснення сталі можуть бути киплячими, напівспокійними і спокійними. Неокислені сталі киплять при розливанні в виливниці внаслідок виділення газів; така сталь має назву кипляча і виявляється більш забрудненою газами і менш однорідною.

**20. Яку сталь називають киплячою?**

Сталь отримують в конверторах з продувкою киснем згори або в мартенівських печах. Після плавки сталь виливають у ковші з подальшим розливом у виливниці, де відбувається охолодження і кристалізація металу. У процесі кристалізації виділяється значна кількість газів і неметалевих включень. Затверділий метал займає менший обсяг, ніж рідкий, що призводить до утворення усадочних раковин. Вони можуть бути розсіяні по всьому об'єму зливка або сконцентровані в будь-якій його частині, головним чином у верхній чверті. Порожнечі можуть бути заповнені газами, розчиненими в рідкому металі. Бурхливе виділення газів (кипіння) сприяє утворенню дрібних газових бульбашок, біля яких можуть концентруватися неметалеві включення і домішки, в тому числі і різні сірчані з'єднання, що погіршують якість сталі (розшарування, особливо в листах завтовшки більше 18–20 мм). Сталь, отримана в такий засіб, називається киплячою.

**21. У чому відмінність спокійної, напівспокійної та киплячої сталі?**

Спокійна сталь (сп) вигідно відрізняється від киплячої тим, що її охолодження у виливницях відбувається спокійно, без бурхливого виділення газів. Це досягається введенням розкиснювачів — кремнію, алюмінію, марганцю та інших домішок, які зв'язують гази (заспокоюють), утворюючи шлак, з концентруванням усадкової раковини у верхній частині зливка. Цю частину зливка (~ 15 % загальної маси) зрізають і направляють в переплав. В результаті сталь виходить значно більш однорідною, як за хімічним складом, так і за механічними показниками.

Киплячі сталі (кп) недостатньо розкиснені, але мають деяке застосування, оскільки вони дешевші, ніж спокійні (приблизно на 10–12 %), а можливі дрібні раковини і порожнечі в зливку при гарячій прокатці розкочуються і заварюються, особливо в тонких елементах (товщиною <12 мм). Механічні показники киплячої сталі майже такі ж, як спокійної, але киплячі сталі мають більшу схильність до крихких руйнувань. Верхню частину зливка теж зрізають (5 %).

Напівспокійна сталь (пс) — проміжна між спокійною і киплячою. Неповне розкиснення (наприклад, 0,05–0,15 % кремнію замість 0,12–0,3 % в спокійній сталі) призводить до зменшення усадкової раковини, тому зрізається приблизно 8 % загальної маси зливка.

Спокійна сталь застосовується: в конструкціях, експлуатованих при розрахунковій температурі нижче –30 °С, а також (незалежно від температури експлуатації) в конструкціях, що працюють у важких умовах (на динамічні та вібраційні навантаження). Напівспокійна сталь застосовується в основних несучих конструкціях покриттів і перекриттів (ферми, ригелі рам, балки). Кипляча сталь застосовується в інших випадках.

**22. У чому суть теорії дислокації?**

Механізм появи пластичних зрушень і течії матеріалу пояснюють, ґрунтуючись на теорії дислокації. У структурі металу завжди є багато дефектів. Ці дефекти з'являються в процесі кристалізації й утворення зерен, а також внаслідок подальшого механічного впливу від прокатки. Розрізняють дефекти точкові і структурні, що порушують правильность (регулярність) кристалічної решітки. Точковим дефектом є, наприклад, відсутність атома у вузлі або заміщення атома у вузлі решітки будь-яким «чужорідним» атомом, або впровадження зайвого атома в міжвузольний простір і т. п. Між атомами в цих випадках дещо змінюються сили взаємодії або поля напружень. Ці дефекти під впливом зміни температури або з плином часу можуть змінюватися, впливаючи на механічні властивості матеріалу. Але головну роль у механічних властивостях матеріалу відіграють лінійні структурні дефекти — дислокації. У процесі кристалізації й утворення зерен відбувається порушення правильності кристалічної решітки. Наприклад, між двома «правильними» структурними площинами втиснута зайва площина, край якої утворює дефект — лінію дислокації, або дефект у вигляді відносного зсуву по гвинтовій лінії — гвинтова дислокація.

**23. Чому теоретична міцність сталі значно вища за реальну?**

Розбіжність між теоретичною і реальною міцністю пояснюється недосконалостями (дефектами) кристалічної структури. Розрізняють чотири види дефектів кристалічної решітки: точкові, лінійні, поверхневі та об'ємні.

До точкових дефектів відносяться відсутність атома у вузлі решітки, наявність стороннього атома у вузлі решітки, наприклад, заміщення основного атома у вузлі атомом легуючого елемента, а також розташування атома поза вузлом решітки — міжвузельний, чи впроваджений атом.

До лінійних дефектів відносяться крайові та гвинтові дислокації.

Поверхневі дефекти включають межі зерен, двійникові прошарки і т. п., а об'ємні — пори і сторонні включення. В околицях дефектів кристалічна структура спотворюється і створюються поля внутрішніх пружніх напружень.

Найбільший вплив на механічні властивості металу справляють лінійні структурні дефекти, звані дислокаціями. Якщо при зсуві однієї частини ідеального кристала по іншій необхідно подолати сили міжатомного зчеплення між усіма атомами по площині ковзання, то в кристалі з порушеною структурою переміщення відбувається за рахунок зміщення окремих груп атомів і необхідне зусилля значно менше. Міцність монокристала залежить від щільності дислокацій і кількості дислокацій на одиницю об'єму. Зі збільшенням числа дислокацій міцність кристала (зерна) падає. Однак при великій щільності дислокації починають взаємодіяти одна з одною, утруднюючи переміщення, і міцність знову зростає.

Для підвищення міцності матеріалов можна йти двома шляхами: перший — зменшення числа дефектів кристалічної структури і наближення до ідеальної структури; другий — спрямована зміна кристалічної решітки і підвищення щільності дислокацій, наприклад, за допомогою легування, попередньої пластичної деформації.

**24. Як класифікують сталі за показниками корозійної стійкості?**

За показниками корозійної стійкості сталі поділяються на три групи:

I група — сталі звичайної корозійної стійкості, а саме вуглецеві сталі згідно з ГОСТ 27772 (клас С235 та інші), ДСТУ 4484/ГОСТ 535, ГОСТ 14637 (сталь марки Ст3пс5 та інші), ДСТУ БИ 10025–2 (сталь марки С235 та інші), а також низьколеговані сталі згідно з ГОСТ 27772 (клас С345 та інші), ГОСТ 19281 (сталь марки 09Г2С та інші), ДСТУ БИ 10025–3 (клас 8355 та інші) та ДСТУ БИ 10025–4 (сталь марки 8460М).

II група — сталі підвищеної корозійної стійкості згідно з ГОСТ 19281 (сталь марки 09Г2Д та інші) з масовою часткою міді 0,15–0,30 %.

III група — з підвищеною стійкістю до атмосферної корозії сталі згідно з ГОСТ 19281 (сталь марки 10ХНДП та інші).

Основні фізичні властивості матеріалів для конструкцій слід приймати згідно з додатком Б [1].

**25. Що таке сертифікат сталі?**

По кожній плавці сталі металургійні заводи дають відомості про хімічний склад, записуючи їх у спеціальному документі, званому сертифікатом.

**26. Яка сталь вважається основною будівельною?**

Основною будівельною сталлю є сталь маркі Ст3. Ця сталь завдяки відносно малому вмісту вуглецю (менше 0,22 %) і кремнію (менше 0,3 %) добре зварюється.

**27. Що означають групи постачання сталі — А, Б і В?**

Постачання сталей проводиться відповідно до ГОСТ 380–71*: по групі А — з гарантіями щодо механічних властивостей; по групі Б — з гарантіями щодо хімічного складу; по групі В — з гарантіями по механічних властивостей і хімічного складу.

Оскільки для будівельних конструкцій вимагаються одночасно певні гарантії щодо механічних властивостях і обмеження за хімічним складом, то сталь групи В є для них основною. Хімічний склад сталі групи В відповідає хімічному складу сталі групи Б, а механічні властивості — механічним властивостям сталі групи А.

**28. Які основні показники механічних властивостей сталі?**

Найголовнішими показниками механічних властивостей сталі є міцність, пружність і пластичність, що характеризуються напруженнями та подовженнями, а також схильністю до крихкого руйнування, яка непрямим шляхом оцінюється ударною в'язкістю. Міцність визначається опором матеріала зовнішнім силовим діям. Пружність — властивість матеріалу відновлювати свою первинну форму після зняття зовнішніх навантажень. Пластичність — властивість матеріалу не повертатися у свій первинний стан після зняття зовнішніх навантажень, тобто отримувати залишкові деформації. Крихкість характерізується руйнуванням матеріалу при малих деформаціях.

**29. Чим відрізняються різні категорії сталі однієї марки?**

Для однієї і тієї ж марки сталі нормуються різні вимоги до якості, які характеризують її категорію. Для всіх категорій сталі обов'язково нормуються хімічний склад, значення тимчасового опору, відносне подовження і вимоги до випробування на холодний загин. Інші показники нормуються залежно від категорії сталі, з них найважливішим показником є ударна в'язкість, побічно характеризуюча схильність сталі до крихкого руйнування, її чутливість до різних ушкоджень.

**30. Яка мета і види термічної обробки сталі?**

Основною метою термічної обробки є зміна структури сталі, подрібнення зерен, що сприяє підвищенню міцності й межі текучості при незначному зниженні пластичності, а також підвищує опір крихкому руйнуванню.

Основними видами термічної обробки є загартування, відпал, нормалізація і відпустка.

**Загартування** проводиться шляхом нагрівання сталі до температури вище 910 °С з утворенням структури аустеніту з наступним швидким охолодженням, щоб зафіксувати твердий розчин вуглецю (мартенситна структура). Залежно від швидкості охолодження можуть бути отримані різні структури — більш-менш тверді і дрібнозернисті.

**Відпал** — це процес повільного охолодження сталі, нагрітої до температури 910–930 ° С, і поступовий перехід заліза в перлитну структуру.

**Нормалізація** це різновид відпалу, але з природним охолодженням на повітрі, тобто більш швидким. І відпал, і нормалізація усувають внутрішні напруження, що утворюються в результаті кристалізації і прокатки, і дають більш врівноважену і стійку ферито-перлітну структуру.

**Відпуск** — це операція нагрівання до температури 723 °С з наступним охолодженням для отримання більш однорідної і стійкої структурної будови сплаву.

**31. Як впливає зміна температури на властивості сталі?**

Механічні властивості маловуглецевої сталі при її нагріванні до температури t = 200... 250 °С порівняно мало змінюються, але вже при t = 300... 330 °С сталь в зламі отримує грубозернисту будову і стає більш крихкою (синеломкість). При цій температурі не рекомендується деформувати сталь або піддавати її ударним впливам. При подальшому зростанні температури ця властивість втрачається, але починається швидке падіння значень границі текучості й тимчасового опору. Так, наприклад, для сталі 3 при температурі t≈500 °С межа плинності швидко наближається до нуля. При температурі близько 600–650 °С настає температурна пластичність. Тривалий нагрів при t > 700 °С (вишнево-червоний колір) сприяє росту кристалів і утворенню крупнозернистої структури. Це явище називається перегрівом і пов'язано з погіршенням механічних якостей металу. При тривалому нагріванні на повітрі до температури, близької до температури плавлення (яскравий жовто-білий колір), можливий перепал металу. Перепалений метал є браком. Низькі температури дещо підвищують міцність сталі, але збільшують її крихкість. При температурах нижче -10 °С пластичність сталі починає помітно зменшуватися; при температурах нижче -45 °С (для сталі 3) і -60 °С (для низьколегованої сталі) сталь стає крихкою.

**32. Чи стосується сталі явище феромагнетизму?**

Сталь, як і деякі метали, намагнічується під дією магнітного поля. Після видалення магнітного поля вона отримує залишковий магнетизм. Це явище вперше виявлене на залізі й отримало назву феромагнетизму. До феромагнетиків відносяться залізо, кобальт, нікель і деякі інші метали. При нагріві феромагнітні властивості металу зменшуються поступово: спочатку слабо, потім різко, і

при певній температурі (точка Кюрі для заліза -768 $^0$C) втрачаються. Вище цієї температури метали стають парамагнетиками. Магнітні перетворення не пов'язані зі зміною кристалічної решітки або мікроструктури, вони обумовлені змінами в характері межелектроної взаємодії.

**33. Які властивості сталі відносять до технологічних?**

Технологічні властивості характеризують здатність матеріалу піддаватися різним способам холодної та гарячої обробки.

1. *Ливарні властивості*. Характеризують здатність матеріалу до отримання з нього якісних виливків.

*Рідкоплинність* — характеризує здатність розплавленого металу заповнювати ливарну форму.

Усадка (лінійна й об'ємна) — характеризує здатність матеріалу змінювати свої лінійні розміри і об'єм в процесі затвердіння і охолодження.

Ліквація — неоднорідність хімічного складу за обсягом.

2. *Здатність матеріалу до обробки тиском*. Це здатність матеріалу змінювати розміри і форму під впливом зовнішніх навантажень не руйнуючись. Вона контролюється в результаті технологічних випробувань, що проводяться в умовах, максимально наближених до виробничих. Листовий матеріал випробовують на перегин і витяжку. Дріт випробовують на перегин, скручування, навивання. Труби випробовують на сплющення до певної висоти і вигин. Критерієм придатності матеріалу є відсутність дефектів після випробування.

3. *Зварність*. Це здатність матеріалу утворювати нероз'ємні з'єднання необхідної якості. Оцінюється за якістю зварного шва.

4. *Здатність до обробки різанням*. Характеризує здатність матеріалу піддаватися обробці різним ріжучим інструментом. Оцінюється за стійкістю інструмента і за якістю поверхневого шару.

**34. Які властивості сталі відносять до експлуатаційних?**

Експлуатаційні властивості характеризують здатність матеріалу працювати в конкретних умовах.

1. *Зносостійкість* — здатність матеріалу чинити опір поверхневому руйнуванню під дією зовнішнього тертя.

2. *Корозійна стійкість* — здатність матеріалу чинити опір дії агресивних кислотних, лужних середовищ.

3. *Жаростійкість* — здатність матеріалу чинити опір окисленню в газовому середовищі при високій температурі.

4. *Жароміцність* — здатність матеріалу зберігати свої властивості при високих температурах.

5. *Хладостійкість* — здатність матеріалу зберігати пластичні властивості при негативних температурах.

6. *Антифрикційність* — здатність матеріалу опиратися зносу при тривалому терті.

Ці властивості визначаються спеціальними випробуваннями в залежності від умов роботи виробів. При виборі матеріалу для створення конструкції необхідно повністю враховувати механічні, технологічні та експлуатаційні властивості.

## 3.3. РОБОТА СТАЛІ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

**35. Що відбувається з металами при деформації?**

Деформацією називається зміна форми і розмірів тіла під дією навантажень. Напруження — сила, що діє на одиницю площі перерізу деталі. Напруження і викликані ними деформації можуть виникати при дії на тіло зовнішніх сил розтягування, стиснення і т. п., а також в результаті фазових (структурних) перетворень, усадки та інших фізико-хімічних процесів, що протікають в металах, і пов'язаних зі зміною обсягу. Метал, що знаходиться в напруженому стані, при будь-якому вигляді навантаження завжди відчуває напруження нормальні і дотичні (рис. 3.8).

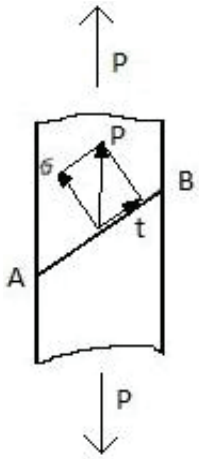



Рис.3.8. Схема виникнення нормальних і дотичних напружень в металі при його навантаженні

Зростання нормальних і дотичних напружень призводить до різних наслідків. Зростання нормальних напружень призводить до крихкого руйнування. Пластичну деформацію викликають дотичні напруження. Деформація металу під дією напруження може бути пружною і пластичною. Пружною називається деформація, яка повністю зникає після зняття викликаючих її напружень. При пружному деформуванні змінюються відстані між атомами металу в кристалічній решітці. Зняття навантаження усуває причину, що викликала зміну міжатомної відстані, атоми стають на колишні місця, і деформація зникає. Пружна деформація на діаграмі напруження — деформації характеризується лінією ОА (рис. 3.9).

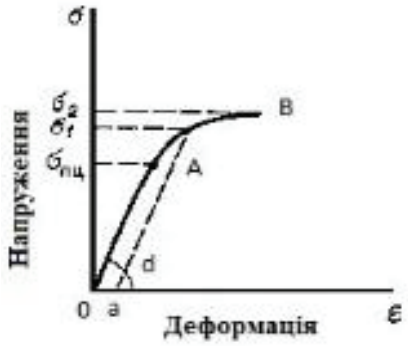



Рис. 3.9. Діаграма залежності напруження від деформації

Якщо нормальні напруження досягають значення сили міжатомних зв'язків, то спостерігається крихке руйнування шляхом відриву.

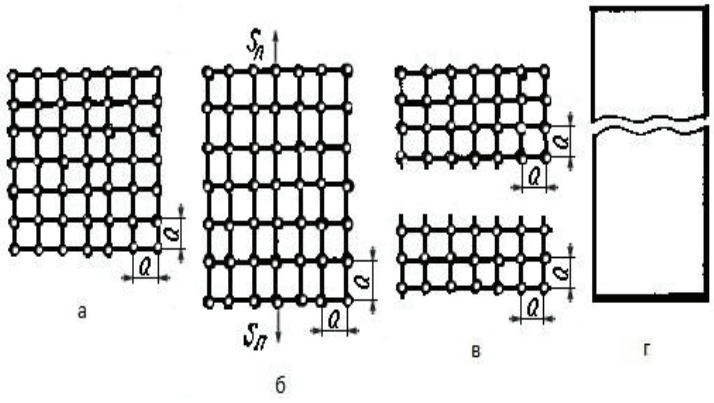



Рис.3.10. Схема пружної деформації й крихкого руйнування під дією пружних напружень:
а — ненапружена решітка металу; б — пружна деформація; в, г — крихке руйнування, в результаті відриву

Зв'язок між пружною деформацією і напруженням виражається законом Гука. Пластичною або залишковою називається деформація після припинення дії напружень, що її викликали. При пластичній деформації одна частина кристала переміщується відносно іншої під дією дотичних напружень. При знятті навантажень зрушення залишається, тобто відбувається пластична деформація (рис. 3.11). В результаті розвитку пластичної деформації може відбутися в'язке руйнування шляхом зрушення.

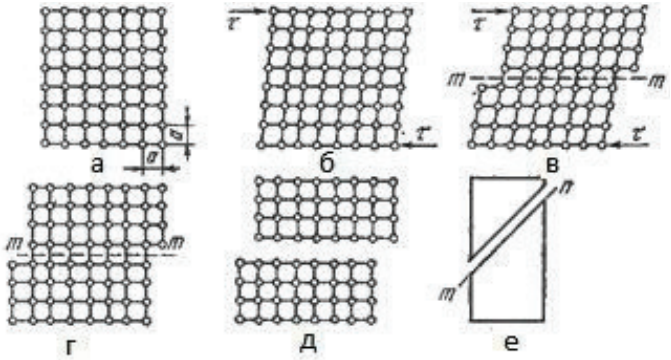



Рис.3.11. Схема пластичної деформації і в'язкого руйнування під дією дотичних напружень: а — ненапружена решітка; б — пружна деформація; в — пружна і пластична деформація; г — пластична деформація; д, е — пластичне (в'язке) руйнування в результаті зрізу

**36. Як побудувати залежність між напруженнями і деформаціями для розтягнутого зразка?**

Якщо піддавати зразок розтягуванню, послідовно збільшуючи навантаження, і при цьому заміряти отримані подовження, то можна побудувати дослідну діаграму розтягування, відкладаючи подовження у функції навантаження.

**37. Як працює сталь при одновісному розтягуванні?**

Роботу сталі при одновісному напруженні можна простежити за випробуванням зразка на розтяг (рис. 3.12). До межі пропорційності $\sigma_{pr}$ (найбільше напруження в матеріалі, при якому починається відхилення від прямолінійної залежності) зв'язок між напруженнями і деформаціями підкоряється закону Гука — це стадія пружної роботи. Деформації відбуваються за рахунок пружнозворотних відхилень кристалічної решітки і зникають після зняття навантаження.

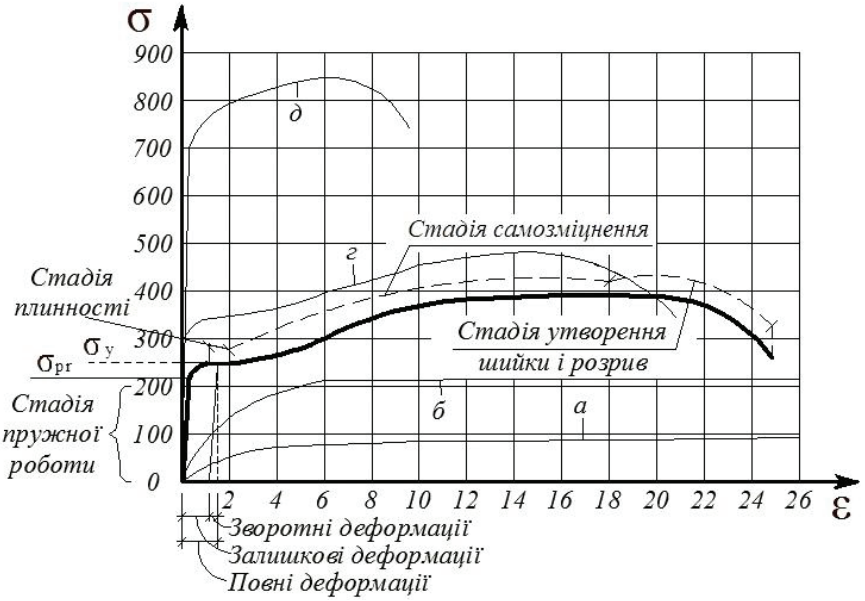



Рис. 3.12. Діаграма розтягу сталі й утворення шийки: а – монокристал заліза, б – полікристал заліза, в – сталь звичайної мсіцності, г – сталь підвищеної міцності, д – сталь високої міцності

При подальшому збільшенні навантаження з'являються окремі зрушення в зернах фериту, дислокації починають накопичуватися близько кордонів зерен; пряма пропорційність між напруженням і деформаціями порушується (ділянка пружнопластичної роботи між $\sigma_{pr}$ і $\sigma_y$). Наступне збільшення напружень призводить до інтенсивного руху дислокацій і збільшення їх щільності, розвитку ліній зсуву в зернах фериту; деформації ростуть при постійному навантаженні. На діаграмі з'являється майданчик плинності. Протяжність майданчика плинності низьковуглецевих і деяких низьколегованих сталей становить 1,5–2,5 %. Розвиток деформацій відбувається в результаті пружнього деформування і пластичних незворотних зрушень. При знятті навантаження пружна частина деформації зникає (лінія розвантаження йде паралельно пружній частині лінії навантаження), а незворотна залишається, приводячи до залишкових деформацій. Подальший розвиток деформації стримується біля кордонів зерен. Лінії зсуву викривляються, рух дислокації ускладнюється, і зростання деформацій можливе тільки при збільшенні навантаження (стадія самозміцнення). У цій стадії матеріал працює як пружнопластичний. При напруженнях, близьких до тимчасового опору $\sigma_u$ повздовжні й поперечні деформації локалізуються в найбільш слабкому місці, і в зразку утворюється шийка. Площа перерізу в шийці інтенсивно зменшується, що призводить до підвищення напружень в місці звуження, тому, незважаючи на те, що навантаження на зразок знижуються, в місці утворення шийки порушуються сили міжатомного зчеплення і відбувається розрив. На діаграмі (рис. 3.12) напруження отримані шляхом ділення навантажання на первісну площу перерізу. Ділянка плинності властива сталям з вмістом вуглецю 0,1–0,3 %. При меншому вмісті вуглецю перлітових включень мало, і вони не можуть справити стримуючого впливу на розвиток зрушень в зернах фериту. У високоміцних сталях при великому числі включень розвиток зрушень повністю блокується, і вони також не мають майданчика текучості. Умовна межа плинності для таких сталей встановлюється за залишковим подовженням, рівним 0,2 %.

**38. За яких умов починається плинність сталі?**

У маловуглецевих сталей, при навантаженні вище межі пропорційності, діаграма відхиляється від прямої і, плавно піднімаючись, йде паралельно горизонтальній осі (рис. 3.12). Зразок подовжується без збільшення навантаження, матеріал тече. Нормальне напруження, практично постійне, при якому відбувається плинність матеріалу, називається межею текучості $\sigma_y$.

**39. Яке напруження відповідає межі міцності сталі?**

Граничний опір матеріалу, який характеризує його міцність, визначається найбільшим умовним напруженням в процесі руйнування, віднесеним до первісної площі перерізу зразка. Це напруження називається тимчасовим опором $\sigma_u$ (межею міцності).

**40. Що є мірою пластичності сталі?**

Повне залишкове подовження, заміряне після руйнування, є мірою пластичності сталі. Також мірою пластичності, що характеризує напружений стан в шийці, є відносне звуження $\psi = (F_0 - F) / F_0$, де $F_0$ і $F$ — початковий і кінцевий переріз круглого зразка.

**41. Що відбувається в елементі при дії навантаження, що перевищує напруження межі пружності?**

При дії на елемент навантаження, яке перевищує напруження межі пружності, з'являються деформації, пов'язані зі зміщеннями зсуву в кристалічній решітці, і після зняття навантаження відновлюється тільки пружна складова зсувів, з'являється залишкова деформація, яка характеризує пластичні властивості.

**42. Як змінюється структура сталі при розтягуванні?**

При розтягуванні зразка площина ковзання в різних зернах має різні напрямки, тому що кристалічна решітка різноспрямована, і зрушення в зернах починаються не одночасно. Досягши межі зерен, дислокації скупчуються, додаються нові, щільність дислокацій збільшується, з'являються значні зсуви, що характеризує плинність матеріалу. Наявність перлітних включень, а в легованих сталях і включень більш твердих карбідів й інших блокує дислокації, підвищуючи межу плинності. По мірі подальшого збільшення навантаження матеріал починає зміцнюватись внаслідок

розвитку різноспрямованих дислокацій і утворення завдяки цьому різноспрямованих блоків, які здійснюють стримуючий вплив на подальший розвиток зсувів.

**43. Які бувають види руйнування?**

Розрізняють руйнування в'язке (пластичне) — від зрізу, крихке — від відриву і змішане. При в'язкому руйнуванні в матеріалі по мірі накопичення дислокацій вони концентруються в певних місцях, породжуючи мікропори і появу «шийки» (утоншення матеріалу). При певній різниці швидкостей зміщень виникають власні мікронапруження, які можуть перевершувати опір відриву, в результаті чого з'являються мікротріщини. Мікротріщини перерозподіляють власні напруження і сприяють чи подальшому розвитку мікроконцентраторів, або виникненню макротріщин з подальшим їх розвитком до критичного стану, після чого починається швидкий процес руйнування матеріалу. Таким чином, процес в'язкого руйнування відбувається в три етапи: зародження тріщини, її розвитку або розповсюдженню до критичного значення і руйнуванню матеріалу.

Дотичні напруження і пластичні деформації, пов'язані з рухом дислокацій, є визначальними причинами в'язкого руйнування, але само порушення цілісності матеріалу в кінцевому рахунку виходить шляхом відриву, коли накопичена поверхнева енергія тріщин перевищить енергію атомних зв'язків. Крихке руйнування (відрив) — наслідок великого розвитку пружних деформацій сталі до руйнуючих в умовах, коли утруднені пластичні зсуви, і зазвичай з'являється при високих нормальних напруженнях. Опір матеріалу відриву в значному ступені залежить від структури металу. Крупна зернистість знижує опір відриву і знижує межу плинності, а дрібнозерниста структура підвищує і те, і інше. По суті, одне з головних завдань термічної обробки та легування металу і складається в отриманні необхідної дрібнозернистої однорідної структури, що підвищує її міцнісні характеристикі, а також у створенні деяких умов, блокуючих дислокації.

Для пояснення крихкого руйнування металу необходно відмовитися від уявлення про його суцільність. У реальному металі завжди є дефекти у вигляді мікропор і мікротріщин, які навіть при незначних напруженнях, прикладених до тіла, можуть рости і зливатися, утворюючи макротріщини. Тріщина діє як сильний концентратор напружень, вона як би зосереджує в своїй вершині пружну енергію, звільнену при її утворенні, і направляє цю енергію на подолання опору матеріалу подальшому просуванню тріщини. Якщо цей супротив відносно велик, наприклад в пластичному металі, то тріщина може зупинитися, «зав'язнути». В іншому випадку вона може необоротно збільшуватись і привести до лавинного руйнування тіла. Таким чином, крихке руйнування, що відбувається при малих загальних деформаціях, являє собою процес зародження і прогресуючого розвитку тріщин.

**44. Чим відрізняється робота коротких і довгих зразків на стискання?**

Сталь при роботі на стискання в коротких елементах веде себе так само, як і при розтягуванні. Значення межі плинності, модуль пружності та величина майданчика плинності рівні аналогічним показникам при розтягуванні. Однак зруйнувати шляхом стискання короткі зразки, виготовлені з пластичної сталі, і визначити тимчасовий опір матеріалу не уявляється можливим, оскільки зразок розплющується.

Інша картина спостерігається в довгих стислих елементах, довжина яких у кілька разів перевищує ширину поперечного перерізу (гнучкі елементи). У цьому випадку елемент може втратити свою несучу здатність, тобто здатність чинити опір зовнішнім впливам, не в результаті руйнування матеріалу, а в результаті втрати стійкості (поздовжнього вигину).

**45. Коли виникає наклеп?**

Повторні навантаження в межах пружних деформацій (до межі пружності) не змінюють виду діаграми роботи сталі; навантаження і розвантаження відбуватимуться по одній лінії (рис. 3.13а). Якщо зразок завантажити до пластичного стану і потім зняти навантаження, то з'явиться залишкова деформація $\varepsilon_{зал}$ (рис. 3.13б). При повторному навантаженні зразка після деякого «відпочинку» матеріал працює пружно до рівня попереднього завантаження. Підвищення пружних властивостей матеріалу називається наклепом. При наклепі спотворюється атомна решітка і збільшується

щільність дислокацій. Пластичність сталі знижується, підвищується небезпека крихкого руйнування, що несприятливо позначається на роботі будівельних конструкцій.

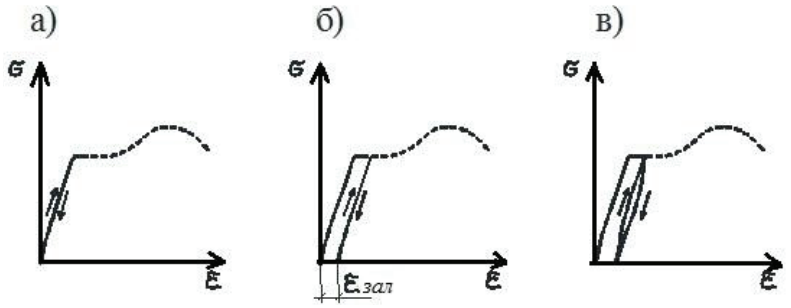



Рис. 3.13. Діаграми деформування сталі при повторному навантаженні:
*а* — в межах пружніх деформацій; *б* — з перервою (після «відпочинку»); *в* — без перерви

При повторному нвантаженні без «відпочинку» діаграма розвантаження і навантаження має петлеподібний характер (рис. 3.13в).

**46. З чим пов'язане явище старіння сталі?**

Старінням називають зміну властивостей матеріалів в часі без істотної зміни його макроструктури.

У процесі старіння відбувається зміцнення матеріала; одночасно знижуються пластичність і в'язкість і підвищується крихкість. Розрізняють два види старіння — термічне (дисперсійне твердіння) і деформаційне. Термічне старіння відбувається після нагрівання до порівняно невисоких температур (штучне старіння) або (у сплавах) протікає при кімнатній температурі (природне старіння). Деформаційне старіння відбувається після пластичного деформування при температурах нижче температури рекристалізації. При температурах нижче температури утворення ферита розчинність вуглецю незначна, але все ж в невеликій кількості він залишається. За сприятливих обставин вуглець виділяється і розташовується між зернами ферита, а також групується у різних дефектах кристалічної решітки. Це призводить до підвищення межі текучості й тимчасового опору і зменшення пластичності й опору крихкому руйнуванню. Поряд з вуглецем виділяються азот і карбіди, які роблять аналогічну дію. Перебудова структури і зміна міцності й пластичності відбуваються протягом досить тривалого часу, тому дане явище називається старінням.

**47. Як руйнується сталь?**

Руйнування металу в залежності від ступеня розвитку пластичних деформацій може бути крихким або пластичним (в'язким). Крихке руйнування відбувається шляхом відриву (рис. 3.14а), без помітних деформацій, раптово. Пластичне руйнування є результатом зсуву (рис. 3.14б) і супроводжується значними деформаціями, котрі можуть бути своєчасно виявлені, і тому є менш небезпечними.

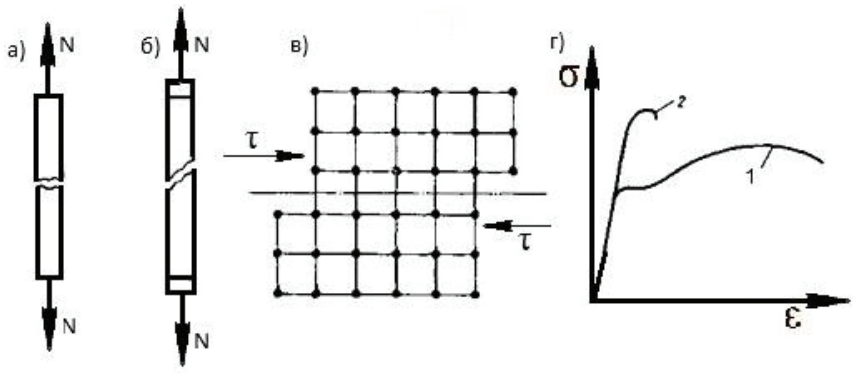



Рис. 3.14. Види руйнування:
а — відрив; б — зріз; в — схема зміщення атомніх шарів при зрізі; г — діаграми роботи матеріалу;
1— в'язке руйнування; 2 — крихке руйнування

Один і той же матеріал може руйнуватися і крихко, і пластично в залежності від умов роботи (виду напруженого стану, наявності концентраторів напружень, температури експлуатації). При відриві руйнуються міжатомні зв'язки. Знаючи сили зчеплення між атомами, можна визначити міцність кристала при відриві. Так, для сталі теоретична міцність становить приблизно 3300 кН / см$^2$. Зрушити одну частину кристала щодо іншої значно легше, однак і в цьому випадку дотичні напруження, які необхідно докласти для зсуву (рис. 3.14в), становлять близько 1300 кН / см$^2$, що набагато більше межі текучості реальних металів.

**48. Коли в зразку виникає концентрація напружень?**

При розтягуванні гладкого зразка правильної форми напруження у всіх перерізах, віддалених від місця докладання навантаження, розподіляються рівномірно, і траєкторії головних напружень прямолінійні. У місцях спотворення перерізу (біля отворів, виточок, надрізів, тріщин і т. п.) лінії головних напружень викривляються і, обтікаючи границі, згущуються (рис. 3.15). Згущення траєкторій головних напружень характеризує підвищення напружень в цих місцях.

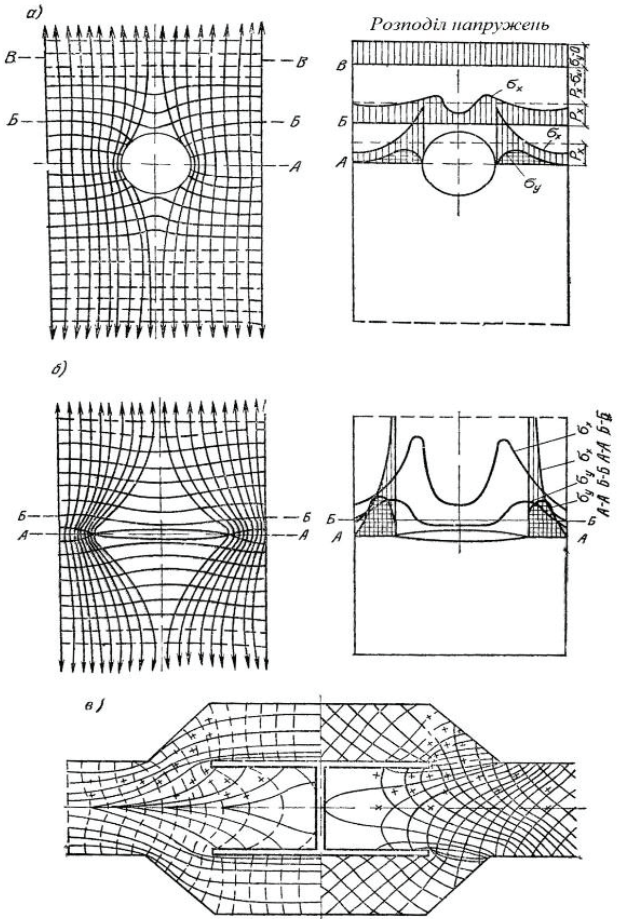



Рис. 3.15. Концентрація напружень в місцях різкої зміни форми елемента:
*а* — близько отвору; *б* — близько тріщини

Нерівномірність розподілу напружень характеризується коефіцієнтом концентрації $\kappa = \sigma_{max} / \sigma_n$, де $\sigma_{max}$ — максимальне напруження в місці концентрації; $\sigma_n = N / A_o$ — номінальне напруження в послабленому перерізі; $A_o$ — площа послабленого перерізу. Значення коефіцієнта концентрації залежить від радіуса кривизни $r$ (гострота) надрізу. Чим менше радіус надрізу, тим вище коефіцієнт концентрації. Так, у круглих надрізів $\kappa$ = 1,5–3, у гострих він може досягати 6–9.

**49. З якої причини виникає втома металу?**

При роботі матеріалу в пружній стадії повторне завантаження не відбивається на роботі матеріалу, оскільки пружні деформації оборотні. При повторному завантаженні металу в пружно-

пластичній області виникає наклеп. Область пружної роботи збільшується, а пластичність падає. Сталь стає більш крихкою.

Багаторазове (мільйони разів) повторне навантаження може призвести до руйнування при напруженнях менших, ніж тимчасовий опір і навіть межа плинності. Це явище називається втомою металу, а руйнування — втомним.

Здатність металу пручатися втомному руйнуванню називається витривалістю, а напруження, при яких відбувається руйнування, — вібраційною або втомною міцністю.

Утомлююче руйнування відбувається внаслідок накопичення числа дислокацій при кожному завантаженні й концентрації їх близько стиків зерен з подальшим скупченням у великі групи, що сприяє розпушуванню металу в цьому місці і, нарешті, утворенню тріщини, яка, розвиваючись, призводить до розриву. У місці утворення тріщини метал ніби перетирається, утворюючи гладкі стерті поверхні, потім тріщина швидко розвивається, і відбувається розрив. Таким чином, поверхня зламу при втомному руйнуванні має дві характерні області — гладку стерту при утворенні тріщини і зернисту при остаточному відриві, а процес втомного руйнування проходить три стадії: циклічне навантаження до утворення тріщини, зростання тріщини і крихкий злам.

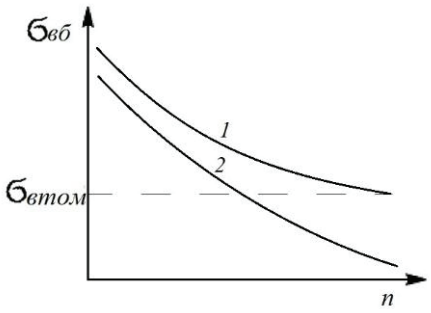



Рис. 3.16. Залежність вібраційної міцності $\sigma_{вб}$ від числа циклів n для сталі (1) й алюмінієвих сплавів (2)

# 4. НАВАНТАЖЕННЯ

## 4.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

**50. Як класифікуються навантаження на конструкції і споруди?**

Залежно від причин виникнення навантаження і впливи поділяються на основні та епізодичні. Залежно від змінюваності у часі впливи поділяються на постійні та змінні. Залежно від тривалості неперервної дії змінні навантаження і впливи поділяються на тривалі, короткочасні та епізодичні.

**51. Стисла характеристика основних навантажень**

*Постійне навантаження* — навантаження, яке діє практично не змінюючись протягом терміна служби споруди.

*Змінне навантаження* — навантаження, для якого не можна нехтувати зміною його значення у часі.

*Тривале навантаження* — змінне навантаження, тривалість дії якого може наближатися до встановленого терміна експлуатації конструкції.

*Короткочасне навантаження* — змінне навантаження, яке реалізується багато разів протягом терміна служби споруди і для якого тривалість дії набагато менша від терміну експлуатації конструкції.

*Епізодичне навантаження* — навантаження, яке реалізується надзвичайно рідко.

*Граничне розрахункове значення навантаження* — значення навантаження, що відповідає екстремальній ситуації, яка може виникнути не більше як один раз протягом терміна експлуатації конструкції, та використовується для перевірки граничних станів першої групи.

*Експлуатаційне розрахункове значення навантаження* — значення навантаження, що характеризує умови нормальної експлуатації конструкції. Як правило, експлуатаційне розрахункове значення використовується для перевірки граничних станів другої групи.

**52. Як визначити термін експлуатації конструкції?**

Встановлений термін експлуатації конструкції $T_{ef}$ приймається за технічним завданням, а в разі його відсутності може бути прийнятий за додатком В [2] ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження і впливи».

**53. Що є основою для призначення навантажень?**

Основою для призначення навантажень є їхні характеристичні значення. Розрахункові значення навантажень визначаються множенням характеристичних значень на коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_f$, який залежить від виду навантаження.

**54. Скільки існує видів розрахункових навантажень і де вони використовуються?**

Залежно від характеру навантажень та мети розрахунку використовуються чотири види розрахункових значень: граничне, експлуатаційне, циклічне, квазіпостійне.

**Граничне розрахункове значення навантаження** відповідає екстремальній ситуації, яка може виникнути не більше одного разу протягом терміна експлуатації конструкції, і використовується для перевірки граничних станів першої групи, вихід за межі яких еквівалентний повній втраті працездатності конструкції. **Експлуатаційне розрахункове значення навантаження** — навантаження, що характеризує умови нормальної експлуатації конструкції. Як правило, експлуатаційне розрахункове значення використовується для перевірки граничних станів другої групи, пов'язаних з труднощами нормальної експлуатації (виникнення неприпустимих переміщень конструкції, неприпустима вібрація, велике розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях тощо). **Циклічне розрахункове значення навантаження** — навантаження, що використовується для розрахунків конструкцій на витривалість і визначається як гармонійний процес, еквівалентний за результатами впливу на конструкцію реальному випадковому процесу змінного навантаження.

**Квазіпостійне розрахункове значення навантаження** — навантаження, яке використовується для врахування реологічних процесів (реологічний процес — це порівняно повільний плин речовини, в якому виявляються пружні, пластичні або високоеластичні властивості), що протікають під дією змінних навантажень, і визначається як рівень такого постійного впливу, що еквівалентний за результуючою дією до фактичного випадкового процесу навантаження.

**55. Які навантаження слід віднести до постійних?**

До постійних навантажень слід відносити: а) вагу частин споруд, у тому числі вагу несучих та огороджувальних конструкцій; б) вагу та тиск ґрунтів (насипів, засипок), гірничий тиск. Зусилля від попереднього напруження слід враховувати при розрахунках, як зусилля від постійних навантажень.

**56. Які навантаження слід віднести до змінних тривалих?**

До змінних тривалих навантажень слід відносити: а) вагу тимчасових перегородок, підливок і підбетонок під обладнання; б) вагу стаціонарного обладнання: верстатів, апаратів, моторів, ємностей, трубопроводів з арматурою, опорними частинами та ізоляцією, стрічкових конвеєрів, постійних підйомних машин, а також вагу рідин і сипучих тіл, що заповнюють обладнання; в) тиск газів, рідин та сипучих тіл у ємностях та трубопроводах, надлишковий тиск та розрідження повітря, що виникає при вентиляції шахт; г) навантаження на перекриття від складованих матеріалів і стелажного обладнання у складських приміщеннях, холодильниках, зерносховищах, книгосховищах, архівах та подібних приміщеннях; д) температурні технологічні впливи від стаціонарного обладнання; е) вагу шару води на водонаповнених плоских покриттях; ж) вагу відкладень промислового пилу, якщо його накопичення не виключене відповідними заходами; з) навантаження від людей, худоби, обладнання на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель з квазіпостійними розрахунковими значеннями; и) вертикальні навантаження від мостових та підвісних кранів з квазіпостійними розрахунковими значеннями; к) снігові навантаження з квазіпостійними розрахунковими значеннями; л) температурні кліматичні впливи з квазіпостійними розрахунковими значеннями; м) впливи, обумовлені деформаціями основи, які не супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту; н) впливи, обумовлені зміною вологості, компонентів агресивного середовища, усадкою і повзучістю матеріалів.

**57. Які навантаження відносять до змінних короткочасних?**

До змінних короткочасних навантажень слід відносити: а) навантаження від устаткування, що виникають у пускозупинному, перехідному і випробувальному режимах, а також під час його перестановки чи заміни з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; б) вагу людей, ремонтних матеріалів у зонах обслуговування та ремонту устаткування з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; в) навантаження від людей, худоби, обладнання на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями, навантаження від рухомого підйомно-транспортного устаткування (навантажувачів, електрокарів, кранів-штабелерів, тельферів, а також від мостових і підвісних кранів) з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; д) снігові навантаження з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; е) температурні кліматичні впливи з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; ж) вітрові навантаження з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями; з) ожеледні навантаження з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями.

**58. Які навантаження відносять до епізодичних?**

До епізодичних навантажень належать: а) сейсмічні впливи; б) вибухові впливи; в) навантаження, викликані різкими порушеннями технологічного процесу, тимчасовою несправністю чи руйнуванням обладнання; г) впливи, обумовлені деформаціями основи, які супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту (при замочуванні просідаючих грунтів) або його осіданням у районах гірничих виробок і в карстових районах. Характеристичні і розра-

хункові значення епізодичних навантажень визначаються спеціальними нормативними документами.

**59. Як сформувати сполучення навантажень?**

Сполучення навантажень формуються як набір їхніх розрахункових значень або відповідних їм зусиль і / або переміщень, що використовується для перевірки конструкції або основи у певному граничному стані і в певній розрахунковій ситуації. Передбачається, що в обраному сполученні всі навантаження одночасно впливають на об'єкт розрахунку. До сполучення повинні входити навантаження, які найбільш несприятливо впливають на конструкції (основи) з точки зору граничного стану. В розрахунках конструкцій можуть бути використані сполучення двох типів — основні та аварійні. Для перевірки граничних станів першої групи використовують основні сполучення, які включають постійні навантаження з граничними розрахунковими значеннями, граничні розрахункові, циклічні або квазіпостійні значення змінних навантажень. Для перевірки граничних станів другої групи використовують основні сполучення, які включають постійні навантаження з експлуатаційними розрахунковими значеннями, а також експлуатаційні розрахункові, циклічні або квазіпостійні значення змінних навантажень. До аварійного сполучення крім постійних і змінних навантажень може входити тільки один епізодичний вплив. Вимоги щодо використання аварійних навантажень та впливів приймаються за нормами проектування будівель і споруд певного функціонального призначення. Мала ймовірність одночасної реалізації розрахункових значень декількох навантажень ураховується множенням розрахункових значень, що ввійшли у сполучення, на коефіцієнт сполучення, значення якого менше одиниці. Для основних сполучень, що включають постійні та не менш ніж два змінні навантаження, останні приймаються з коефіцієнтом сполучення, рівним 0,95 для тривалих навантажень і рівним 0,90 для короткочасних навантажень. Для аварійних сполучень, що включають постійні та не менш ніж два змінних навантаження, останні приймаються з коефіцієнтом сполучення, рівним 0,95 для тривалих навантажень і рівним 0,80 для короткочасних навантажень. Аварійне навантаження приймається з коефіцієнтом сполучень, рівним 1,00.

**60. Як враховують рівномірно розподілені навантаження?**

Характеристичні та квазіпостійні значення рівномірно розподілених тимчасових навантажень на плити перекриттів, сходи і підлоги на ґрунтах наведено в табл. 6.2 у [2]. Характеристичні значення навантажень на ригелі і плити перекриттів від ваги тимчасових перегородок слід приймати залежно від їхньої конструкції, розташування і характеру обпирання на перекриття і стіни. Коефіцієнти надійності за навантаженням $\gamma_{fm}$ для рівномірно розподілених навантажень слід приймати:1,3 — при характеристичному значенні менше 2,0 кПа (200 кгс/м$^2$); 1,2 — при характеристичному значенні 2,0 кПа (200 кгс/м$^2$) і більше.

## 4.2. НАВАНТАЖЕННЯ ВІД КРАНІВ

**61. Які сили виникають при русі мостового крана?**

При русі мостового крана його колеса передають крановому рельсу вертикальний тиск $F_m$ (який залежить від власної ваги крана, ваги вантажу на ґаку крана і положення візка на крановому мосту) і горизонтальні сили $H_m$, спрямовані поперек кранової колії (вони виникають через гальмування візка, перекоси крана, розпірний вплив коліс при русі по рейках та ін.).

**62. Яке положення мостових кранів вважається найневигіднішим для розрахунку колони?**

Навантаження на колону визначається від двох кранів, які зблизилися впритул. Його можна визначити по лінії впливу опорних реакцій підкранових балок при найневигіднішому розташуванні кранів на підкранових балках (коли два крани зблизилися впритул, а колесо одного з них знаходиться над віссю колони) при максимальному значенні суми ординат «у» лінії впливу. (рис. 4.1). При цьому визначають вертикальний максимальний тиск і мінімальний тиск коліс на колону, а також горизонтальне поперечне навантаження від бічної сили крана.

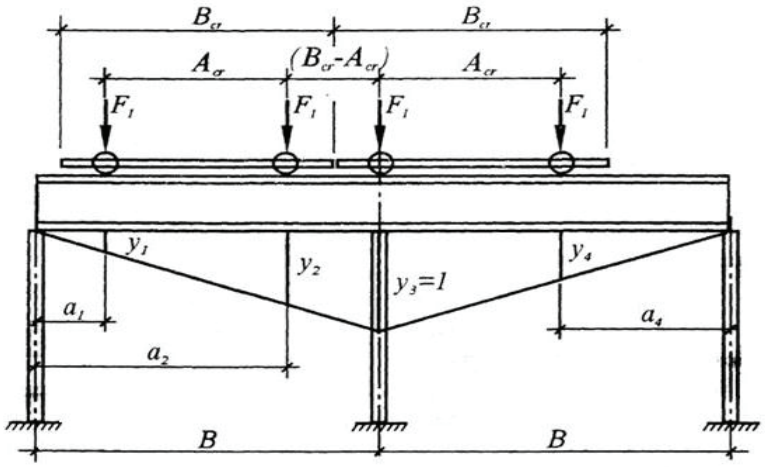



Рис. 4.1. Лінія впливу опорних реакцій підкранових балок при найневигіднійшому розташуванні кранів на підкранових балках: $B_{cr}$ — ширина крана; $A_{cr}$ — база крана; $y_i$ — ордината лінії впливу підкранової балки; $a_i$ — відстань від колони до відповідної ординати

**63. Як визначити навантаження від мостових та підвісних кранів?**

Навантаження від мостових і підвісних кранів слід визначати залежно від груп режимів їхньої роботи, що встановлюються згідно з ГОСТ 25546, від виду приводу і від способу підвісу вантажу. Приблизний перелік мостових і підвісних кранів різних груп режимів роботи наведений у додатку Г [2].

Навантаження від мостових і підвісних кранів — це змінні навантаження, для яких встановлено чотири види розрахункових значень:

– граничні розрахункові значення:

для вертикального навантаження мостових і підвісних кранів

$$F_m = \gamma_{fm} \psi F_0;$$

для горизонтального навантаження мостових і підвісних кранів, спрямованого вздовж кранової колії,

$$P_m = \gamma_{fm} P_{01};$$

для горизонтального навантаження чотириколісних мостових кранів, спрямованого поперек кранової колії,

$$H_m = \gamma_{fm} H_{01};$$

для горизонтального навантаження інших мостових кранів, спрямованого поперек кранової колії,

$$H_m = \gamma_{fm} H_0;$$

для горизонтального навантаження підвісних кранів, спрямованого поперек кранової колії,

$$R_m = \gamma_{fm} R_0;$$

– експлуатаційні розрахункові значення:

$$F_e = \gamma_{fe} F_{01};\ P_e = P_{01};\ H_e = H_{01};\ R_e = R_{01},$$

де $\gamma_{fm}$, $\gamma_{fe}$, $\gamma_{fc}$, $\gamma_{fp}$ — коефіцієнти надійності за крановим навантаженням;

$F_{o1}$, $F_0$ — характеристичні значення вертикального навантаження відповідно від одного або двох найбільш несприятливих за впливом кранів;

$P_{01}$ — характеристичне значення горизонтального навантаження від одного крана, спрямованого вздовж кранової колії;

$H_{01}$ — характеристичне значення бічної сили від одного крана, найбільш несприятливого за впливом із кранів, розташованих на одній крановій колії або в одному створі;

$H_0$ — характеристичне значення бічної сили від двох найбільш несприятливих за впливом кранів, розташованих на одній крановій колії або на різних коліях в одному створі;

$R_{01}$, $R_0$ — характеристичні значення поперечних горизонтальних навантажень відповідно від одного або двох найбільш несприятливих за впливом підвісних кранів;

$\psi$ — коефіцієнт сполучень кранових навантажень.

**64. Як визначити характеристичне значення вертикального навантаження від мостового крана?**

Характеристичні значення вертикальних навантажень $F_{01}$, $F_0$, що передаються колесами кранів на балки кранової колії, та інші необхідні для розрахунку дані слід приймати відповідно до вимог державних стандартів на крани, а для нестандартних кранів — відповідно до даних, наведених у паспортах заводів-виробників.

**65. Як визначити характеристичне значення горизонтального навантаження від мостового крана?**

Характеристичне значення горизонтального навантаження $P_{01}$, спрямованого уздовж кранового шляху, що спричиняється гальмуванням моста електричного крана, слід приймати таким, що дорівнює 0,1 від характеристичного значення вертикального навантаження на гальмівні колеса розглядуваної сторони крана.

Характеристичне значення горизонтального навантаження чотириколісних мостових кранів, спрямованого поперек кранового шляху, яке спричиняється перекосами мостових електричних кранів і непаралельністю кранових колій (бічною силою), для колеса крана слід визначати за формулою: $H_k^n = 0{,}1F_{max}^n + \dfrac{\alpha\left(F_{max}^n - F_{min}^n\right)L}{B}$,

де $F_{max}^n, F_{min}^n$ — характеристичне значення вертикального тиску на колесо, відповідно на більш або на менш навантаженій стороні крана;

$B$, $L$ — відповідно база і проліт крана;

$\alpha$ — коефіцієнт, прийнятий таким, що дорівнює 0,03 при центральному приводі механізму руху моста і 0,01 — при роздільному приводі.

Бічні сили $H_k^n$, можуть бути прикладені:

– до коліс однієї сторони крана і спрямовані в різні сторони (рис. 4.2а);

– до коліс по діагоналі крана і спрямовані в різні сторони (рис. 4.2б)

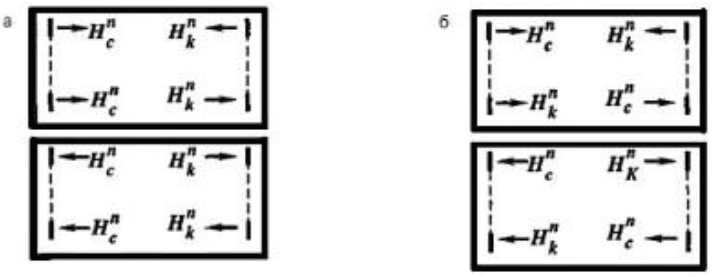



Рис. 4.2. Варіанти прикладення бічних сил для чотириколісних кранів

При цьому до інших коліс прикладаються сили, що дорівнюють $H_c^n = 0{,}1F_{max}^n$ або $H_c^n = 0{,}1F_{min}^n$ (приймається невигідний варіант), кожна з яких може бути спрямована як назовні, так і всередину прольоту.

**66. Як класифікують крани за режимами роботи?**

Крани класифікують залежно від числа циклів навантаження за добу.

**Мостові крани**. Кількість циклів завантаження (за добу) необхідно приймати рівним:

$n_c$ = 270 — для мостових кранів режимів 4К – 6К; $n_c$ = 420 — для мостових кранів режиму 7К; $n_c$ = 820 — для мостових кранів режиму 8К.

**Ручні крани**. З привідними підвісними талями, у тому числі з навісними захватами. Виконують ремонтні й перевантажувальні роботи обмеженої інтенсивності. Застосовують у машинних залах

електростанцій, при монтажних роботах, перевантажувальних роботах обмеженої інтенсивності — режими 1К–3К.

**З лебідочними вантажними візками, у тому числі з навісними захватами. З грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферними.** Виконують перевантажувальні роботи середньої інтенсивності, технологічні роботи в механічних цехах, на складах готових виробів підприємств будівельних матеріалів, складах металозбуту, змішаних складах — режими 4К–6К.

**Гартівні, кувальні, штирові, з грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферні, з лебідочними вантажними візками, у тому числі з навісними захватами, технологічні крани при цілодобовій роботі**. Застосовують в ливарних цехах металургійних підприємств, на складах насипних вантажів і металобрухту з однорідними вантажами — режим 7К.

**Траверсні, мульдогрейферні, мульдозавальні, копрові, вагранкові, колодязні, магнітні, з грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферні**. Застосовують у цехах і складах металургійних підприємств, великих металобазах з однорідними вантажами, складах насипних вантажів і металобрухту з однорідними вантажами (при цілодобовій роботі — режим 8К).

## 4.3. СНІГОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ

**67. Які розрахункові значення встановлені для снігового навантаження?**

Снігове навантаження є змінним, для якого встановлено три розрахункові значення:

– граничне розрахункове значення;

– експлуатаційне розрахункове значення;

– квазіпостійне розрахункове значення.

**68. Як обчислюється граничне розрахункове снігове навантаження?**

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою.

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C ,$$

де $\gamma_{fm}$ — коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що визначається залежно від заданого середнього періоду повторюваності $T$ за табл. 8.1 [2];

$S_0$ — характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що дорівнює вазі снігового покриву на 1 квадратний метр поверхні ґрунту, яке може бути перевищене у середньому один раз за 50 років.

Характеристичне значення снігового навантаження $S_0$ визначається залежно від снігового району по карті (рис. 8.1) [2] або за додатком Е [2];

$C$ — коефіцієнт, що визначається за вказівками 8.6 [2] і враховує форму покрівлі, режим експлуатації і висоту розміщення будівлі.

## 4.4. ВІТРОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ

**69. Чи є вітрове навантаження змінним?**

Вітрове навантаження є змінним навантаженням, для якого встановлені два розрахункові значення:

– граничне розрахункове значення;

– експлуатаційне розрахункове значення

**70. Як визначається граничне розрахункове вітрове навантаження?**

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C ,$$

де $\gamma_{fm}$ — коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, визначається залежно від заданого середнього періоду повторюваності $T$ за табл. 9.1 [2], $W_0$ — характеристичне значення вітрового тиску дорівнює середній (статичній) складовій тиску вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, який може бути перевищений у середньому один раз за 50 років. Характеристичне значення вітрового тиску $W_0$ визначається залежно від вітрового району по карті (рис. 9.1) [2] або за додатком Е [2]; $C$ — коефіцієнт визначається за п. 9.6 [2] в залежності від висоти споруди, типу місцевості, географічної висоти об'єкта, рельєфу місцевості, нерівномірності вітрового навантаження.

# 5. РОЗРАХУНКОВІ ОПОРИ СТАЛІ

**71. З чим порівнюють напруження при перевірці перерізів на міцність і стійкість?**

Напруження порівнюються з розрахунковими опорами сталі.

**72. Основні характеристики опору сталі силовим впливам**

Характеристичні опори: $R_{yn}$ — границя текучості сталі, яка приймається такою, що дорівнює значенню границі текучості $\sigma_t$, і $R_{un}$ — тимчасовий опір сталі, який приймається таким, що дорівнює мінімальному значенню $\sigma_в$ за державними стандартами і технічними умовами на сталь.

**73. Що враховує коефіцієнт надійності за матеріалом?**

Можливі відхилення в несприятливий бік фактичних значень границі текучості і тимчасового опору від характеристичних значень, а також розмірів перерізу прокатних профілів від номінальних розмірів. Для матеріалів масового застосування коефіцієнти надійності за матеріалом $\gamma_m$ приймаються згідно з таблицею 7.2 — коефіцієнт надійності за матеріалом [1].

**74. Що більше, характеристичні опори сталі чи розрахункові?**

Більше характеристичні, тому що розрахункові визначаються діленням характеристичних опорів на коефіцієнт надійності за матеріалом, який більше одиниці. Цей коефіцієнт враховує можливе зниження міцності сталі в конструкції. Розрахункові опори прокату слід визначати за формулами, наведеними у таблиці 7.1 — формули для визначення розрахункових опорів прокату і труб [1].

**75. Як визначаються розрахункові опори зварних з'єднань?**

Розрахункові опори зварних з'єднань слід визначати за формулами, наведеними в таблиці 7.3 п. 7.5 — формули для визначення розрахункових опорів зварних швів [1].

# 6. СОРТАМЕНТ

**76. Що називають сортаментом?**

Сортамент — це перелік прокатних профілів із зазначенням форми, геометричних характеристик, ваги одиниці довжини, допусків та умов поставки.

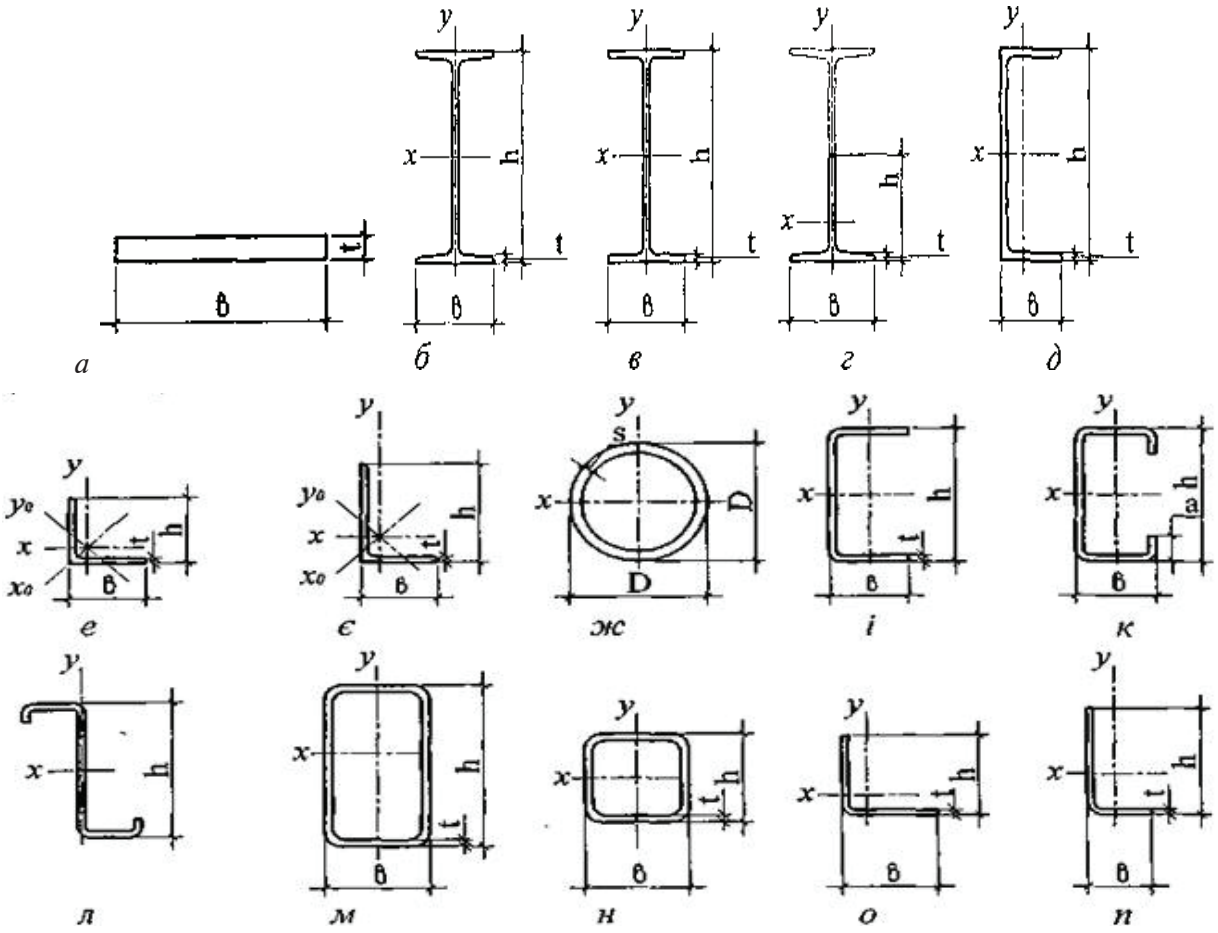



Рис. 6.1. Гарячекатані й гнуті профілі: *а* — лист; *б* — двотавр з ухилом внутрішніх граней полиць; *в* — двотавр з паралельними гранями полиць; *г* — тавр; *д* — швелер; *е*, *є* — кутики рівнополичні і нерівнополичні; *ж* — труба; від *і* до *л* — гнуті профілі відповідно: с-подібний, коритоподібній і г-подібний; *м*, *н* — замкнені гнуті профілі відповідно прямокутний и квадратного перерізу; *о, п* — гнуті кутики рівнополичні і нерівнополичні

**77. На які групи розподіляється сталь?**

Первинним елементом сталевих конструкцій є прокатна сталь, яка виплавляється на металургійних заводах. Прокатна сталь, що застосовується в сталевих конструкціях, ділиться на дві групи: сталь листова — тонколистова, товстолистова, широкосмугова, універсальна та просічно-витяжна; сталь профільна — кутики, швелери, двотаври, таври, труби тощо. Наявність сортаментів готових прокатних профілів і їх машинна обробка на заводах забезпечують індустріальне виготовлення конструкцій.

**78. Які профілі більш ефективні?**

Розгляд різних критеріїв ефективності профілю при роботі на вигин і стискання показав, що вирішальну роль має «тонкостінність» профілю — відношення його висоти до товщини. Чим вона більше, тим профіль ефективніший.

**79. Класифікація листової сталі**

Листова сталь широко застосовується в будівництві. Вона поставляється в пакетах і рулонах і класифікується наступним чином.

Сталь товстолистова (ГОСТ 19903–74). Сортамент цієї сталі включає листи товщиною від 4 до 160 мм, шириною від 600 до 3800 мм. Однак ширина її зазвичай не перевищує 2400 мм. Листова гарячекатана сталь поставляється в листах довжиною до 6–12 м і товщиною до 160 мм або в рулонах товщиною від 1,2 до 12 мм і шириною від 500–2200 мм. Листи товщиною від 6 до 26 мм мають градацію по товщині через 1 мм, далі через 2; 3 і 5 мм. Товстолистова сталь має широке застосування в листових конструкціях, а також в елементах суцільних систем (балках, колонах, рамах і т. п.).

Сталь тонколистова до 4 мм прокатується холодним і гарячим засобами. Холоднокатана сталь (ГОСТ 19904–90) значно дорожче горячекатаної (ГОСТ 19903–74). Тонка листова сталь застосовується при виготовлені гнутих і штампованих тонкостінних профілів, для покрівельних покриттів тощо. З холоднокатаної, оцинкованої, рулонованної сталі виготовляються профільовані настили.

Сталь широкосмугова універсальна (ГОСТ 82–70) завдяки прокату між чотирма валками має рівні краї. Товщина такої сталі від 6 до 60 мм, ширина від 200 до 1050 мм і довжина від 5 до 12 м. Застосування універсальної сталі зменшує трудомісткість виготовлення конструкцій, оскільки не вимагаються різка та вирівнювання крайок строжкою.

Сталь рифлена (ГОСТ 8568–77) та просічно-витяжна (ГОСТ 8706- 58) застосовується для ходових майданчиків.

**80. Кутикові профілі**

Кутикові профілі прокатують у вигляді рівнополичного (ГОСТ 8509–86) і нерівнополичного (ГОСТ 8510–86) кутиків. Сортамент кутиків вельми різноманітний: від дуже малих профілів з площею перерізу 1–1,5 $см^2$ до потужних профілів з площею перерізу 140 $см^2$. Полиці кутиків мають паралельні грані, що полегшує конструювання. Широке застосування кутики мають в легких наскрізних конструкціях. Робочі стрижні з кутиків зазвичай компонуються в симетричні перерізи з двох або чотирьох кутиків. Більш економічні кутики з меншими товщинами полиць.

**81. Швелери**

Геометричні характеристики перерізу швелерів визначаються їхнім номером, який відповідає висоті швелера (в см). Сортамент (ГОСТ 8240–89) включає швелери від № 5 до № 40 з ухилом внутрішніх граней полиць. Ухил внутрішніх граней полиць ускладнює конструювання. У ГОСТ входять і швелери з паралельними гранями полиць, перерізи яких мають кращі розрахункові характеристики щодо осей Х і У є більш конструктивними, тому що спрощують болтові кріплення до полиць. Швелери застосовуються в потужних стрижневих конструкціях (мостах, великопрольотних фермах тощо), а також у колонах, зв'язках і покрівельних прогонах.

**82. Двотаври**

Двотаври — основний балковий профіль — мають найбільше різноманіття за типами, які відповідають певним областям застосування. Балки двотаврові звичайні (ГОСТ 8239–89), як і швелери, мають нахил внутрішніх граней полиць і позначаються номером, відповідним їх висоті в сантиметрах. У сортамент входять профілі від № 10 до № 60. Стінки у великих двотаврів мають мінімальну товщину і за умовами стійкості досягають 1/55 висоти двотавра. Чим тонше стінка, тим вигідніше переріз балки при роботі її на вигин. Однак за умовами технології прокатки у більшості двотаврів стінки виходять значно товщі, ніж це потрібно за умовою їхньої стійкості. Завдяки зосередженню матеріала в полицях двотаври мають більшу жорсткість відносно вісі Х, але невелика ширина полиць робить їх малостійкими відносно вісі У. Двутаври застосовуються в згинальних

елементах (балках), а також в гілках ґратчастих колон і різних опор, де для їх стійкості застосовуються складові перерізи.

**Балки двотаврові широкополочні** мають паралельні грані полиць і прокатуються трьох типів: нормальні (Б), широкополочні (Ш), колонні (К). Висота балкових профілів (Б) і (Ш) досягає 1000 мм при відношенні ширини полиць до висоти двотавра 1:1,65 (при малих висотах) і до 1:1,25 (при великих висотах). Конструктивні переваги (паралельність граней полиць і потужність перерізів) дозволяють застосовувати широкополочні двотаври у вигляді самостійного елемента (балки, колони, стрижні важких ферм), що не потребують майже ніякої обробки, що знижує трудомісткість виготовлення конструкцій в 2–3 рази. З широкополочних двотаврів шляхом розрізання стінки в поздовжньому напрямку отримують таврові профілі, зручні для застосування в ґратчастих конструкціях.

**83. Тонкостінні профілі**

Тонкостінні двотаври (ТУ 14–2-205–76) і швелери (ТУ 14–2-204–76) прокатуються на безперервному стані з особливо тонкими стінками і полицями, що робить їх економічнішими, ніж звичайні прокатні профілі, на 14–20 %. Тонкостінні профілі мають висоту від 120 до 300 мм і полиці з паралельними гранями. Застосовуються тонкостінні профілі в балках майданчиків, фахверках, легких перекриттях і покриттях.

**84. Труби**

Сталеві труби, застосовувані в будівництві, бувають круглі — гарячекатані (ГОСТ 8732–78 зі зм.) й електрозварні (ГОСТ 10704–76). Трубчасті профілі особливо економічні при застосуванні в стиснутих елементах завдяки найбільшому значенню радіуса інерції при заданій площі перерізу. Гарячекатані безшовні труби мають діаметр від 25 до 550 мм з товщиною стінок від 2,5 до 75 мм. Ці труби застосовуються головним чином в конструкціях радіо- і телевізійних опор. Круглі електрозварні труби мають діаметр від 8 до 1420 мм з товщиною стінок від 1 до 16 мм. Ці труби застосовуються в трубопроводах, елементах радіо- і телевізійних опор і конструкціях покриттів, особливо в будівлях з агресивним середовищем.

**85. Холодногнуті профілі**

Гнуті профілі виготовляються з листа, стрічки і смуги товщиною від 1 до 8 мм і можуть мати найрізноманітнішу форму. Найбільш уживані куточки рівнополочні (ГОСТ 19771–74), нерівнополочні (ГОСТ 19772–74), швелери (ГОСТ 8278–83), гнуто-зварні профілі замкнуті квадратного (ТУ 36–2287–80) і прямокутного (ТУ 36–2286–80 зі зм.) перерізів і оцинковані профільовані настили (ГОСТ 24045–86). Основна область застосування цих профілів — легкі конструкції покриттів будівель, де вони, замінюючи прокатні профілі, можуть дати економію металу до 10 %.

# 7. З'ЄДНАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

## 7.1. ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ

*У 1836 році датський археолог Томсен запропонував розділити розвиток первісного суспільства на три стадії: кам'яний, бронзовий і залізний вік. Однак відмінності були не тільки в матеріалі, а й у способах його обробки. У кам'яному віці основний спосіб з'єднання деталей і знарядь — зв'язування. При освоєнні металів потрібен був новий спосіб. Першим стала ковальська зварка.*

*Каменем придатної форми стали виковувати з самородків золота, срібла, міді різні предмети і знаряддя. Можливо, що цим же прийомом і сковували разом кілька шматків металу без підігріву. Навіть зараз для пластичних металів застосовують холодне зварювання, засноване на деформуючих зусиллях. З появою бронзи (сплав міді з оловом), що має невелику пластичність, знадобився новий спосіб. Виникло ливарне зварювання, при якому краї з'єднуваних деталей заформовували (оточували спеціальною земляною сумішшю) і заливали перегрітим рідким металом. Цей присадний метал сплавлявся з деталями і, застигаючи, утворював шов. У III–II століттях до н.е. для виготовлення зброї та інструментів почали використовувати ковальське зварювання криць. Криці — безформні брили вагою 50–100 кг, що складаються із зерен чистого заліза і залізистого шлаку. Їх отримували з залізної руди при нагріванні її разом з деревним вугіллям. Криці проковували в нагрітому стані. При цьому окремі частинки заліза з'єднувалися — зварювалися.*

*Холодне ливарне і ковальське зварювання — перші технологічні прийоми в історії техніки для отримання нероз'ємного з'єднання металів. Зчеплення досягалося за рахунок взаємодії атомів.*

### 7.1.1. Електрозварювання

**86. Який процес називається зварюванням?**

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварювальними частинами при їх місцевому або загальному нагріванні, або пластичній деформації, або спільній дії того й іншого. Визначення зварювання відноситься до металів і неметалічних матеріалів (пластмаси, скло, гума і т. ін.). Властивості матеріалу визначаються його внутрішньою будовою — структурою атомів. Всі метали в твердому стані є тілами з кристалічною структурою. Для з'єднання зварювальних частин в одне ціле потрібно їх елементарні частинки (іони, атоми) зблизити настільки, щоб між ними почали діяти міжатомні зв'язки, що і досягається нагріванням або пластичним деформуванням.

**87. Як класифікується зварювання в залежності від умов зварювання?**

Залежно від умов, за яких здійснюється зварювання частинок металу, розрізняють зварювання плавленням і зварювання тиском.

**88. У чому полягає сутність зварювання плавленням?**

Сутність зварювання плавленням (рис. 7.1) полягає в тому, що метал по кромках деталей, що зварюються, 1 і 2, піддається плавленню від нагрівання сильним концентрованим джерелом тепла: електричною дугою, газовим полум'ям, хімічною реакцією, енергією електронного променя, плазмою, енергією лазерного променя. У всіх цих випадках утворюваний від нагріву рідкий метал однією кромкою мимовільно з'єднується з рідким металом іншої кромки. Створюється загальний обсяг рідкого металу, який називається зварювальною ванною. Після застигання металу зварювальної ванни виходить метал шва 4. Метал шва може утворюватися тільки за рахунок переплавлення металу по кромках 3 або додаткового присадочного металу, введеного у зварювальну ван.

Зона частково оплавлених зерен металу на межі кромки зварюваної деталі і шва називається зоною плавлення. У цій зоні досягається міжатомний зв'язок. При цьому метал шва тісно стика-

ється з металом зварювальних частин, а забруднення, що знаходилися на поверхні зварювальних частин, спливають назовні, утворюючи шлак.

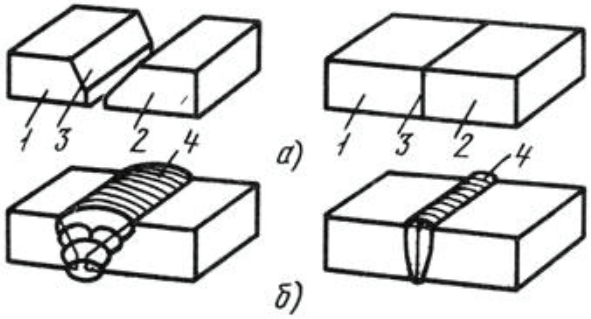



Рис. 7.1. Схема з'єднання деталей зварюванням плавленням: *а* — деталі перед зварюванням; *б* — деталі після зварювання; *1*, *2* — зварювальні деталі, *3* — кромка деталі, *4* — зварний шов

**89. У чому полягає сутність зварювання тиском?**

Сутність зварювання тиском (рис. 7.2) полягає в пластичній деформації металу в місці з'єднання під дією сили Р. Розташовані на з'єднувальних поверхнях різні забруднення витісняються назовні, а поверхні зварювальних частин будуть чистими, рівними і зближеними по всьому перерізу на відстань атомного зчеплення. Зона, в якій встановилася міжатомні зв'язки, називається зоною з'єднання. Ширина зони вимірюється десятками мікрон. Пластичну деформацію кромок деталей здійснити легше, якщо нагрівати місце з'єднання. Джерелом тепла служить електричний струм, газове полум'я, хімічна реакція і т. п.

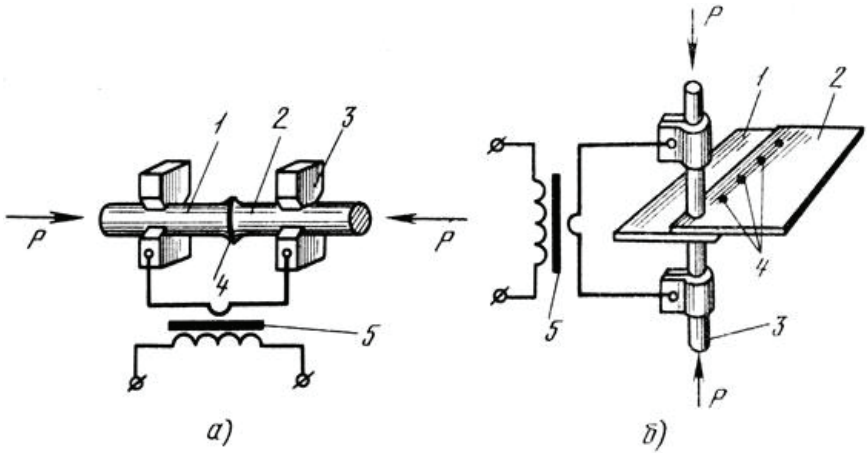



Рис. 7.2. Схема з'єднання деталей зварюванням тиском:
*а* — стикове контактне зварювання; *б* — точкове контактне зварювання; *1*, *2* — зварювальні деталі, *3* — мідні електроди; *4* — місце зварювання; *5* — зварювальний трансформатор, *Р* — стискаюче зусилля

*Наприкінці XVIII століття італійський вчений Вольта створив тривало працююче джерело електричної енергії — вольтів стовп. Це послужило поштовхом для застосування електрики у зварюванні. У 1802 р. російський вчений академік Санкт-Петербурзької медико-хірургічної академії В. В. Петров відкрив явище електричної дуги і довів можливість використовувати її для розплавлення металів. Тривалий час дуга не застосовувалася через відсутність придатних джерел електричного струму. У 1849 р. вперше у світі дуга, встановлена на вежі адміралтейства, освітлювала вулиці Петербурга. У 1881 р. Бернадос винайшов спосіб дугового зварювання вугільним електродом і назвав його на честь давньогрецького бога-коваля електрогефестом. Щоб зварити деталі електричною дугою, не потребувалося нагрівати їх повністю. Металоконструкції почали з'єднувати швами. Так з'явилося електродугове зварювання. У 1885 р. Бернадос отримав патент на зварювання. Відкриття Бернадоса удосконалив його сучасник Славянов, замінивши вугільний електрод металевим плавким. Винахідник запропонував застосовувати шлак, який захищав зварюваний шов від потрапляння в нього повітря, і*

*шов ставав більш міцним і надійним. Н. Н. Бернадос і Н. Г. Славянов розробили основні положення й інших методів зварювання: з декількома електродами, в захисних газах, контактне зварювання.*

**90. Як класифікують способи зварювання?**

Способи зварювання розрізняють за видом енергії, яка застосовується для отримання зварного з'єднання: механічні, хімічні, електричні, електромеханічні, хіміко-механічні, променеві та ін. А якщо розглядати способи зварювання з позиції їх виконання, то способи ділять на ручні, механізовані, автоматичні, напівавтоматичні.

**91. У чому сутність дугового зварювання?**

Дугове зварювання — один з видів зварювання плавленням, при якому місцеве плавлення зварювальних частин здійснюється електричною дугою. Зварювальною дугою називається потужний стійкий електричний розряд, що відбувається в газовому проміжку між електродами, або між електродом і виробом. Для отримання дуги потрібен електричний ланцюг з джерелом живлення. Електричний розряд між двома електродами в іонізованій суміші газів і парів характеризується високою щільністю струму і малою напругою. Під електричним розрядом розуміють проходження струму через газове середовище. Існує кілька форм або видів електричного розряду: дуговий, тліючий, іскровий та ін. Один розряд відрізняється від іншого тривалістю, напругою, силою струму та ін. Дуга — це стійкий вид розряду, існуючий при струмі від десятих часток ампера до тисяч ампер.

**92. Як виникає електрична дуга?**

Відомо кілька способів збудження дугового розряду. За способом Петрова два електроди зводять до зіткнення і відразу ж розводять на невелику відстань. У цей момент між ними спалахує дуга. При зіткненні електродів електричний ланцюг замикається і по ньому йде струм. Відповідно до закона Джоуля — Ленца в провідниках виділяється теплота. Місце контактів двох електродів, яке має найбільший опір, нагрівається сильніше і швидше від інших учасників ланцюга. При високій температурі починається випаровування матеріалу електрода і виникає явище термоелектронної емісії — випускання електронів під дією тепла. Якщо в цей момент розірвати контакт між електродами, виникне електричне поле. Електрони, що виходять з електрода, називаються первинними. Термоелектронна емісія полягає в нагріві поверхні електрода до високої температури, при якій зв'язок електрона з ядром атома слабшає і під впливом електростатичного притягання він відривається з поверхні катода і з великою швидкістю спрямовується до анода. Зі збільшенням температури нагріву електрода число відірваних електронів збільшується. При достатній напруженості електричного поля спостерігається також явище автоелектронної емісії: електрони вириваються з поверхні катода під дією електростатичних сил. У результаті цих процесів в просторі між електродами з'являються вільні електрони. Стикаючись з молекулами й атомами газу та випареного електродного матеріалу, електрони «розколюють» їх на іони і нові електрони (таке явище називають вторинною емісією). В іонізованому таким чином просторі розвивається дуговоий розряд. Автоелектронна емісія полягає в тому, що під впливом високої напруженості електричного поля з катода вириваються первинні електрони і летять до анода. Зі збільшенням різниці потенціалів між електродами вихід з катода первинних електронів зростає.

У звичайних умовах гази не проводять електричний струм. Для утворення і підтримки горіння дуги необхідно мати в просторі між електродами електрично заряджені частинки (позитивні і негативні іони й електрони). Іони в газовому проміжку між електродами утворюються в результаті втрати або приєднання до атомів електронів, а електрони випускаються сильно нагрітим катодом. Процес утворення електрично заряджених частинок в міжелектродному просторі називається іонізацією, а енергія, витрачена на відрив електрона від атома, отже і на утворення позитивного іона — роботою іонізації. Ця робота виражається в електровольтах і називається потенціалом іонізації. Іонізація на катоді відбувається в результаті зіткнень з електронами позитивних іонів, які утворюються при іонізації в стовпі дуги. Позитивні іони рухаються до катода, вибивають з нього електрони; при цьому частина позитивних іонів, з'єднуючись з електронами, утворює нейтральні атоми. Процес утворення нейтральних атомів називається рекомбінацією. Внаслідок рекомбіна-

ції врівноважуються процеси зникнення й утворення заряджених частинок в дузі і ступінь іонізації нагрітого газу залишається незмінним.

**93. Яка будова електричної дуги?**

Зварювальна дуга складається з катодної області, стовпа дуги і анодної області (рис. 7.3). Катодна область поширюється на ділянку електродного матеріалу і на приелектродну частину дуги. На торці електрода при бомбардуванні його позитивними іонами утворюється катодна пляма, з якої відбувається при цьому додатковий вихід електронів, крім тих, що утворилися при іонізації в міжелектродному просторі.

У просторі між електродами (дуговому проміжку) знаходиться електропровідний канал, який світиться, — стовп дуги. Світяться і розпечені кінці електродів. Температура у стовпі дуги сягає десятків тисяч градусів. Довжина дуги як правило не перевищує 1–2 см. Плазма дуги концентрується в обсязі близько 1 $см^3$. Але і в цьому невеликому просторі виділяють три області. Дві з них граничні — між електродами й іонізованим газом, третя — власне електродний проміжок, заповнений іонізованим газом. Стовп дуги заповнений зарядженими частинками. Там присутні й нейтральні частинки — атоми парів речовин, з яких зроблені електроди, і газів, що оточують дугу. Найшвидше переміщаються електрони. Стикаючись з атомами та іонами, вони передають їм свою енергію. Атом, в який потрапив електрон, починає рухатися швидше — збільшується його енергія. У результаті зростає температура плазми. При сильному ударі електрон вибиває з атома його власні електрони. Атом в результаті цього стає позитивним іоном.

Складні процеси в плазмі стовпа дуги, але процеси біля поверхні електродів ще складніші. Тут переривається перебіг електронів по металевому провіднику — електроду і починається інший вид струму — струм дуги, який створюється і електронами, і іонами. Тут гаряча плазма межує з відносно холодною поверхнею електродів, нагрітих тільки до 2–3 тисяч градусів. Через активні плями нагріву у метал надходить основна частина тепла. Питомий тепловий потік в плямі нагріву перевищує 1000 $кВт / см^2$.

Катодна область це постачальник електронів. Катодна пляма займає дуже малу площу, і тому лінії струму в дузі, якщо їх умовно уявити, ніби стискаються там, де кінчається стовп і починається електрод. Анодна область дуги складається з анодної плями і приелектродної частини. На відміну від катода анод безперервно бомбардується електронами. Вдаряючись об анод, вони розігрівають його. На аноді в звичайних умовах виділяється більше тепла, ніж на катоді. У результаті бомбардування анода виникають іони. Від сильного бомбардування анодна область завжди має форму увігнутої сфери (чаші), яка називається кратером.

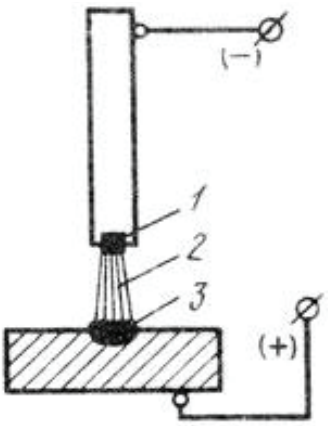



Рис. 7.3. Схема будови зварювальної дуги:
*1* — катодна область; *2* — стовп дуги; *3* — анодна область

**94. З чого складається зварювальна ванна?**

При зварюванні плавленням джерело тепла розплавляє метал на окремій ділянці з'єднання. Утворюється зварювальна ванна, що обмежена поверхнею нерозплавленого металу. Джерело теплоти (наприклад, дуга) «тисне» на метал у ванні, відтісняючи його від центру до країв і утворю-

ючи заглиблення — кратер. При переміщенні джерела тепла рідкий метал відтісняється до заднього краю ванни — в хвостову частину. Там відбувається кристалізація і формується шов.

А дуга в цей час «підмиває» передню, головну частину ванни, розплавляючи все нові й нові порції металу. Рідкий метал ванни безперервно перемішується. Від форми ванни, від її показників залежать характер кристалізації, можливість появи дефектів, розподіл домішок і багато інших процесів, що впливають на якість металу шва. При дуговому зварювання час «життя» розплавленого металу у ванні обчислюється частками і одиницями секунд. І за цей час метал взаємодіє з частками шлаку, бульбашками газу. Очевидно, що якщо шлак або газ «застрягнуть» в металі, то вони зіпсують шов — зменшать його міцність і пластичність, можуть порушити герметичність. Завдання зварника позбутися небажаних домішок. Наприклад, через меншу, ніж у металу, щільність шлак і газ спливають (при нижньому положенні ванни). Зварнику тільки потрібно допомогти їм подолати сили, що перешкоджають спливанню.

**95. Як кристалізується метал зварювальної ванни?**

Кристалізацією називається процес утворення зерен з розплавленого металу при переході його з рідкого стану в твердий. Розрізняють первинну і вторинну кристалізацію. Первинна протікає при високих швидкостях охолодження і переходу з рідкого у твердий стан з утворенням стовпчатої структури. Вторинна починається з розпаду первинної і закінчується при низьких температурах утворенням стійких мікроструктур, що не розпадаються. Частинки розплавленого металу в міру зниження температури стають менш рухливими. Тепло від ванни відводиться в стінки. Нарощування кристалів йде від країв до середини і від хвостової частині ванни до головної. Процес кристалізації закінчується при більш низькій температурі, ніж почався. Кристалізація металу шва має переривчастий характер. Під дією сил, що з'являються в процесі зварювання, метал зварювальної ванни постійно знаходиться в русі. Ці сили надають металу шва шаруватий характер при будь-яких умовах зварювання.

**96. Через що в металі шва виникають тріщини і які вони бувають?**

Під час зварювання разом з ванною нагрівається і сам виріб. При цьому нагрівається нерівномірно: поряд, на межі з ванною — майже до температури плавлення, а чим далі від ванни, тим температура нижче. Через рухомість джерела нагрівання температура змінюється безперервно. У місця, віддалені від зони зварювання, тепло доходить із запізненням. У результаті нерівномірного нагрівання зварювані вироби жолобляться — деформуються, в металі з'являються внутрішні напруження. При нагріванні метал розширюється. А якщо шматочок металу затиснутий при нагріванні в лещатах і розширюватися йому нікуди? Саме в такому становищі перебувають при зварюванні ділянки шва і біляшовної зони. При нагріванні метал прагне подовжитися, але подовжуватися нікуди — заважають сусідні не нагріті ділянки конструкції. Тоді нагріта ділянка починає «відчувати» стискаючі зусилля від сусідніх не нагрітих ділянок, що розпираються. У той же час нагрітий метал стає більш пластичним і, піддавшись стисканню, мнеться. У результаті зварені конструкції згинаються, жолобляться, витріщають задовго до додавання до них навантаження. Зварювальні напруження розтягнення або стиснення підсумовуються з напруженнями від зовнішнього навантаження. Метал в зоні зварювання і сам зварювальний шов при охолодженні прагнуть до скорочення. Там, де це неможливо (в жорстких конструкціях), виникають внутрішні напруження розтягування. При кристалізації у ванні існують одночасно тверда (кристалізована) і рідка (розплавлений, ще не кристалізований метал) фази. Настає момент при охолодженні, коли тверді кристали майже змикаються і між ними залишаються незначні прошарки рідкого металу. Такий двофазний метал має мінімальну пластичність і достатньо виникнення невеликих розтягуючих напружень, щоб не пов'язані остаточно кристали стали розходитися. А рідкого металу для заповнення з'явившихся проломів вже не вистачає. Тобто утворюються кристалізаційні тріщини, звані гарячими. Зварювальні напруження можуть викликати і серйозний дефект — холодні тріщини. Вони виникають в процесі кристалізації, при невисоких температурах, навіть після охолодження. Правда, початкові непомітні тріщини з'являються в перші ж години після зварювання, а потім, коли виріб починає навантажуватися, тріщини «вибухають» з сильним звуком і поширюються на всі перерізи з'єднання. Виріб розвалюється.

**97. Які зони утвоюються у зварному з'єднанні?**

З'єднання, що виконується зварюванням плавленням, складається з чотирьох зон: перша — метал шва, друга — зона сплаву, третя — зона термічного впливу і четверта — основний метал (рис. 7.4). Основний метал — метал, підданих зварюванню з'єднувальних частин. Зона термічного впливу — ділянка основного металу, що не піддався розплавленню, структура та властивості якого змінюються в результаті нагрівання і пластичної деформації при зварюванні. Зона сплаву — метал, що знаходиться на межі основного металу і металу шва. Під металом шва розуміють сплав, утворений переплавленим основним і наплавленим металами або тільки переплавленим основним металом.

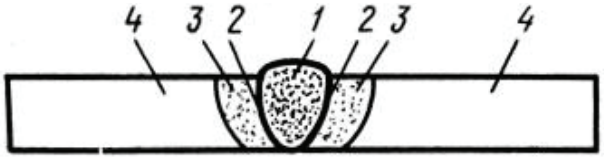



Рис. 7.4 Зони зварювального з'єднання:
*1* — шов при зварюванні плавленням; *2* — зона сплавлення; *3* — зона термічного впливу;
*4* — основний метал

*До кінця XIX століття зварюванню не вдалося потіснити клепку, тому що не вдавалося забезпечити стабільну якість зварних швів. Серйозним кроком у розвитку зварювання став винахід шведського інженера Кельберга, який в 1907 році запропонував покривати металеві плавкі електроди термостійкими неелектропровідними матеріалами. І хоча тугоплавке покриття електрода потрібно було Кельбергу для виконання зварювання в стельовому положенні для запобігання стікання електродного металу, виявилося, що воно ще й захищає розплавлений метал від кисню та азоту повітря. У 1917 році американські вчені Андрус і Стрес винайшли новий електрод. Його сталевий стрижень був обгорнутий смужкою паперу, приклеєною силікатом натрію — рідким склом. Папір став джерелом диму, відтісняючим повітря із зони зварювання. Виявилася ще одна властивість нової обмазки — дуга збуджувалася відразу, з першого торкання і не гасла при при незначному подовженні. Це було дуже важливо для зварників, яким доводилося довгий час на вазі підтримувати дугу. До кінця 20-х років електроди з обмазкою вже містили газостворюючі речовини, що захищають зону зварювання від повітря, легуючі речовини, що поліпшують склад металу шва, шлакостворюючі мінерали, що беруть участь в легуванні і прикривають ванну і остигаючий шов, і стабілізуючі речовини, що забезпечують стійке горіння дуги.*

**98. Для чого призначені електроди?**

Електродом для дугового зварювання називають металевий або неметалевий стрижень, призначений для підведення струму до зварювальної дуги. Для ручного дугового зварювання електродами застосовують стрижні круглого перерізу різної довжини та діаметру. Електроди підрозділяються на ті, що плавляться (зі сталі, чавуну, алюмінію, міді та їх сплавів), і ті, що не плавляться. Ті, що не плавляться, виготовляють з технічного вольфраму і його сплавів, вугілля і графіту. Плавкі електроди служать і присадним металом.

**99. Що собою являють зварювальний і наплавальний дріт?**

Для заповнення оброблення шва в зону дуги вводять присадний метал у вигляді прутка або дроту. При ручному дуговому зварюванні застосовують плавкі електроди у вигляді прутків або стрижнів з покриттям. При механізованому зварюванні використовують електрод у вигляді дроту, намотаний на касету. Сталевий дріт для виробництва електродів, або застосовуваний як зварювальний дріт виготовляється за ГОСТ 2246–70, який передбачає марки і хімічний склад металу, розміри з допусками, технічні вимоги, методи випробування та ін. Виготовляють сталевий холоднотягнутий дріт круглого перерізу діаметрами: 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12 мм і поставляють в бухтах з одного відрізу. Дріт перших семи діаметрів призначений в основному для напівавтоматичного й автоматичного зварювання в захисному газі. Для автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом застосовують дріт діаметром 2–6 мм. Діаметри 1,6–12 мм йдуть на виготовлення стрижнів електродів. За хімічним складом зазначені три основні

групи дротів: вуглецеві з вмістом вуглецю не більше 0,12 %, призначені для зварювання низьковуглецевих, середньовуглецевих і деяких низьколегованих сталей; леговані для зварювання низьколегованих, конструкційних, теплостійких сталей; високолеговані для зварювання хромистих, хромонікелевих, нержавіючих та інших спеціальних легованих сталей. Дріт маркується індексом Св (зварювальний), літерами і цифрами. Позначення легуючих домішок загальноприйняті: Г — марганець; С — кремній; Х — хром; Н — нікель; М — молібден; В — вольфрам; Ф — ванадій та ін. Перші дві цифри вказують вміст вуглецю в сотих частках відсотка, а цифри після літери, яка вказує легуючі домішки, — кількість даного елемента у відсотках. Відсутність цифри після літерного позначення легуючого елемента означає, що цього елемента в матеріалі дроту менше одного відсотка. Літера А в кінці марки вказує на знижений вміст шкідливих домішок (сірки і фосфору). Наприклад, зварювальний дріт Св-08ХГ2С містить 0,08 % вуглецю; до 1 % хрому; до 2 % марганцю і до 1 % кремнію. Зміст вуглецю в зварювальному дроті не перевищує 0,12... 0,15 % (за рідкісним винятком), що знижує схильність металу шва до газової пористості і утворення при зварюванні пор в металі шва. Допустимий вміст сірки і фосфору також обмежено (0,04 % кожного елемента), оскільки вони навіть при малій концентрації сприяють утворенню тріщин у зварювальному шві. Мідь і її сплави зварюють дротом і прутками з міді й сплавів на мідній основі. Алюміній та алюмінієві сплави зварюють зварювальним дротом з алюмінію і його сплавів. Замість дорогого легованого зварювального дроту застосовують порошковий електродний дріт. Порошковий дріт являє собою сталеву оболонку, наповнену запресованим в ній порошком. Вона застосовується як для зварювання, так і для наплавлення. Металева оболонка служить для підведення струму й утримання порошкового сердечника. Сердечник являє собою суміш порошків мінералів, руд, феросплавів і металевих порошків. Беручи участь в металургійному процесі при зварюванні, суміш забезпечує захист металу зварювальної ванни від кисню, азоту повітря; розкислення і легування металу шва, утворення легко видаляємого шлаку та отримання високоякісного шва.

Зварювання порошковим дротом здійснюють відкритою дугою, під флюсом або в захисних газах. Виготовляють дріт п'яти типів: 1 і 2 — проста трубка, 3 і 4 — краї стрічки заформовані у сердечнику, 5 — виконаний з двох оболонок (рис. 7.5). Порошковий дріт виготовляється діаметром від 1,6 до 3,6 мм, для нього використовується стрічка з низьковуглецевої сталі марки 08кп холодного прокату.

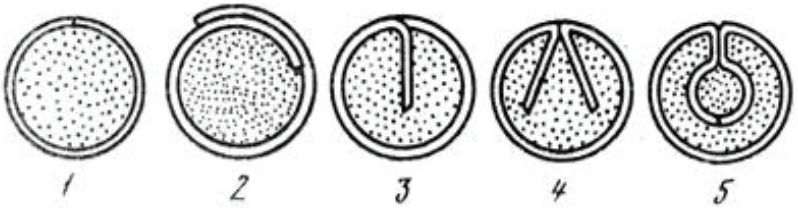



Рис. 7.5. Конструкція оболонок порошкових дротів

**100. Основні характеристики металевих електродів**

Сталевий покритий електрод являє собою стрижень, на поверхню якого пресуванням або зануренням нанесене спеціальне покриття. Електродне покриття створює при зварюванні захист розплавленого металу від кисню та азоту повітря, а також стабілізує горіння дуги, захищає метал зварювальної ванни від шкідливих домішок і легує метал шва для поліпшення його властивостей. Металеві електроди для дугового зварювання виготовляють відповідно до ГОСТ 9466–75. Розміри електродів такі: діаметр — 1,6; 2; 2,5; 3; 5; 6; 8; 10; 12 мм. Довжина 200–450 мм. За якістю (точність виготовлення, стан поверхні, суцільність металу шва, вміст сірки і фосфору в наплавленому металі) електроди поділяють на три групи. Покриття електрода має бути однорідним, щільним, міцним, без тріщин, напливів, здуття й ексцентричності відносно осі стрижня. Допускаються шорсткості і риски глибиною менше чверті товщини покриття, вм'ятини глибиною до половини товщини покриття на довжині не більше 12 мм, оголеність тільки з кінця електрода на довжині не більше половини діаметру. Міцність покриття випробовують так: при падінні електродів діаметром менше 4 мм на сталеву плиту з висоти 1 м і з висоти 0,5 м електродів діаметрів 4 мм і більше покриття не повинне руйнуватися. Електроди, виготовлені за ГОСТом, забезпечують стійке

горіння дуги і спокійне рівномірне плавлення покриття. Шлак рівним шаром покриває наплавляємий метал і легко видаляється після охолодження. Тріщини, газові пори і шлакові включення в зварному шві не утворюються. Хімічний склад металу шва і, особливо, допустимий вміст сірки і фосфору вказуються в паспорті електрода: в металі шва при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей — 0,05 %; при зварюванні легованих сталей підвищеної міцності — не більше 0,04 %, високолегованих — сірки не більше 0,025 % і фосфору не більше 0,03 %.

Сталеві покриті електроди для ручного дугового зварювання й наплавлення поділяють за призначенням:

– для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей з тимчасовим опором розриву до 60 кг / мм$^2$ — позначаються — У;

– для зварювання легованих теплостійких сталей — Т;

– для зварювання високолегованих сталей — В;

– для наплавлення поверхневих шарів — Н.

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей ГОСТом передбачені 9 типів електродів: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60, для зварки легованих сталей підвищеної і високої міцності — п'ять типів: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Також передбачені 9 типів електродів для зварювання теплостійких сталей.

Тип електрода позначається літерою Э і цифрою, що вказує гарантовану межу міцності металу шва в кг / мм$^2$. Літера ***А*** в позначенні вказує, що метал шва, наплавлений цим електродом, має підвищені пластичні властивості. Такі електроди застосовують при зварюванні відповідальних швів. Для виготовлення стрижнів електродів застосовують дріт марок Св-08 і Св-08А. Кожному типу електрода відповідає декілька марок електродів, марка — його промислове позначення, характеризує стрижень і покриття. Електродні покриття ділять на дві групи: тонкі (стабілізуючі і іонізуючі) і товсті (якісні). Призначення тонкого покриття — полегшити виникнення дуги і стабілізувати її горіння. Товщина покриття 0,1–0,25 мм. Воно не створює захисту для розплавленого металу шва. Шов виходить крихким, пористим з неметалевими включеннями, тому такі електроди використовують при виконанні невідповідальних швів. Найбільш просте таке покриття — крейдяне, що складається з дрібно просіяної крейди на рідкому склі. Електроди з товстим покриттям застосовують для одержання зварних з'єднань високої якості. Тому вони називаються якісними. Таке покриття забезпечує стійке горіння дуги, захищає розплавлений метал шва від впливу кисню й азоту повітря, вводить у метал легуючі домішки, видаляє сірку і фосфор, утворює шлакову кірку над металом шва, уповільнює його охолодження і тим самим сприяє виходу газів і неметалевих включень на поверхню металу шва.

Застосовують такі позначення за товщиною покриття в залежності від відношення діаметра електрода до діаметра сталевого стрижня:

– з тонким покриттям (D / d≤1,2) — М;

– з середнім покриттям (1,2 <D / d≤1,45) — С;

– з товстим покриттям (1,45 <D / d≤1,8) — Д;

– з особливо товстим покриттям (D / d> 1,8) — Г.

За допустимим просторовим положенням зварювання або наплавлення:

для всіх положень — 1; для всіх положень, окрім вертикального згори вниз — 2; для нижнього, горизонтального на вертикальній площині і вертикального знизу вгору — 3; для нижнього і верхнього у човник — 4.

За якістю, тобто точністю виготовлення, станом поверхні покриття, суцільністю виконаного даними електродами металу шва, за вмістом сірки і фосфору в наплавленому металі електроди діляться на групи 1, 2, 3.

У технічних документах умовне позначення електрода складається з позначення марки, діаметра, групи електродів (ГОСТ 9466–75). Наприклад: електроди Э46А по ГОСТ 9467–75 марки УОНИ-13/45, діаметром 3 мм для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей — У, з товстим покриттям — Д, 2-ї групи, з встановленою за ГОСТ 9467–75 групою індексів 43 2 (5), вказуючих характеристики наплавленого металу і металу шва. З основним покриттям для зварювання у всіх просторових положеннях — 1, на постійному струмі зворотної полярності — 0, позначаються на етикетках тари (коробках, пачках): (Э46-УОНИ-13/45–3,0-УД2) / (Е 43 2 (5)). Ті ж електроди

в технічних документах позначаються УОНИ-13/45–3,0–2 ГОСТ 9466–75. Цифри після риски означають одержувану межу міцності металу шва (кг/мм$^2$).

Неплавкі електродні стрижні виготовляються з вольфраму — тугоплавкого металу (температура плавлення 341 °С). Для зменшення окислення електрода і захисту зварювальної ванни зварювання здійснюється в інертному газі. Діаметр електродів 2–10 мм.

### 7.1.2. Зварні з'єднання і шви

**101. Що називають зварним з'єднанням?**

Зварним з'єднанням називають елемент зварної конструкції, що складається з двох або кількох деталей конструкції і зварного шва, що з'єднує ці деталі. ГОСТ 5264–80 встановлює основні типи і конструктивні елементи зварних з'єднань зі сталей, а також зі сплавів, виконаних ручним дуговим зварюванням металевим електродом при товщині зварюваного металу до 175 мм. Передбачені стикові, внапусток, таврові і кутові з'єднання.

**102. У чому особливості стикового з'єднання?**

Стикові з'єднання (рис. 7.6 а, б) найтиповіші, в яких торці або кромки деталей, що з'єднуються, розташовуються так, що поверхня однієї деталі є продовженням поверхні іншої деталі. Стикові з'єднання без скосу зварювальних кромок застосовують при з'єднанні листів товщиною до 12 мм. Кромки листів зрізають під прямим кутом до площини листа і при зварюванні розташовують з проміжком 1...2 мм. Листи товщиною до 4 мм зварюють одностороннім швом; 2...12 мм — двостороннім швом. Стикові з'єднання з V-подібним обробленням кромок застосовують при зварюванні металу товщиною 3...60 мм, при цьому оброблення крайок може бути одно- і двостороннім. Для металу товщиною в межах 15...100 мм застосовують V-подібне оброблення з криволінійним скосом однієї або двох крайок. Стикові з'єднання з X і K-образними обробленнями кромок застосовують при зварюванні металу товщиною 8...175 мм.

**103. У чому особливості з'єднання внапусток?**

З'єднання внапусток (рис. 7.7), передбачене для листів товщиною 2...60 мм, застосовують при виготовленні різних будівельних конструкцій — колон, щогл, балок, ферм. Їх виконують накладанням одного елемента з'єднання на інший. Величина перекриття повинна бути не менше подвоєної суми товщин зварюваних кромок виробу. Зварювані поверхні не обробляють (не рахуючи зачистки кромок). Листи зварюють з обох сторін, щоб не допустити проникнення вологи в проміжок між зварюваними листами.

**104. У чому особливості таврового з'єднання?**

Таврові з'єднання — з'єднання (рис. 7.6 д), при яких торець одного елемента примикає до поверхні іншого елемента зварюваної конструкції під деяким кутом (частіше під прямим). Їх застосовують для листів товщиною 2...120 мм. У залежності від призначення з'єднання і товщини елементів конструкції зварювання може бути здійснене без скосу, з одно- і двостороннім скосом кромок елементів з'єднання. Для отримання міцного шва проміжок між зварювальними елементами становить 2...3 мм.

**105. У чому особливості кутового з'єднання?**

Кутові з'єднання (рис. 7.6 г) — здійснюють при розташуванні зварюваних елементів під прямим чи довільним кутом і зварювання виконується по кромках цих елементів з однієї або з обох сторін. Кутові з'єднання застосовують при зварюванні різних коробчастих виробів, резервуарів і ємностей з металу товщиною 1...100 мм.

**106. Як класифікують зварні шви?**

Зварні шви поділяють за такими ознаками: за положенням щодо чинного зусилля — на флангові (рис. 7.7 а), лобові (рис. 7.7 б) і косі (рис. 7.7 в); за положенням в просторі — на нижні (рис. 7.8 а), горизонтальні (рис. 7.8 б), вертикальні (рис. 7.8 в) і стельові (рис. 7.8 г, за протяжністю — на безперервні або суцільні (рис. 7.9) і переривчасті.

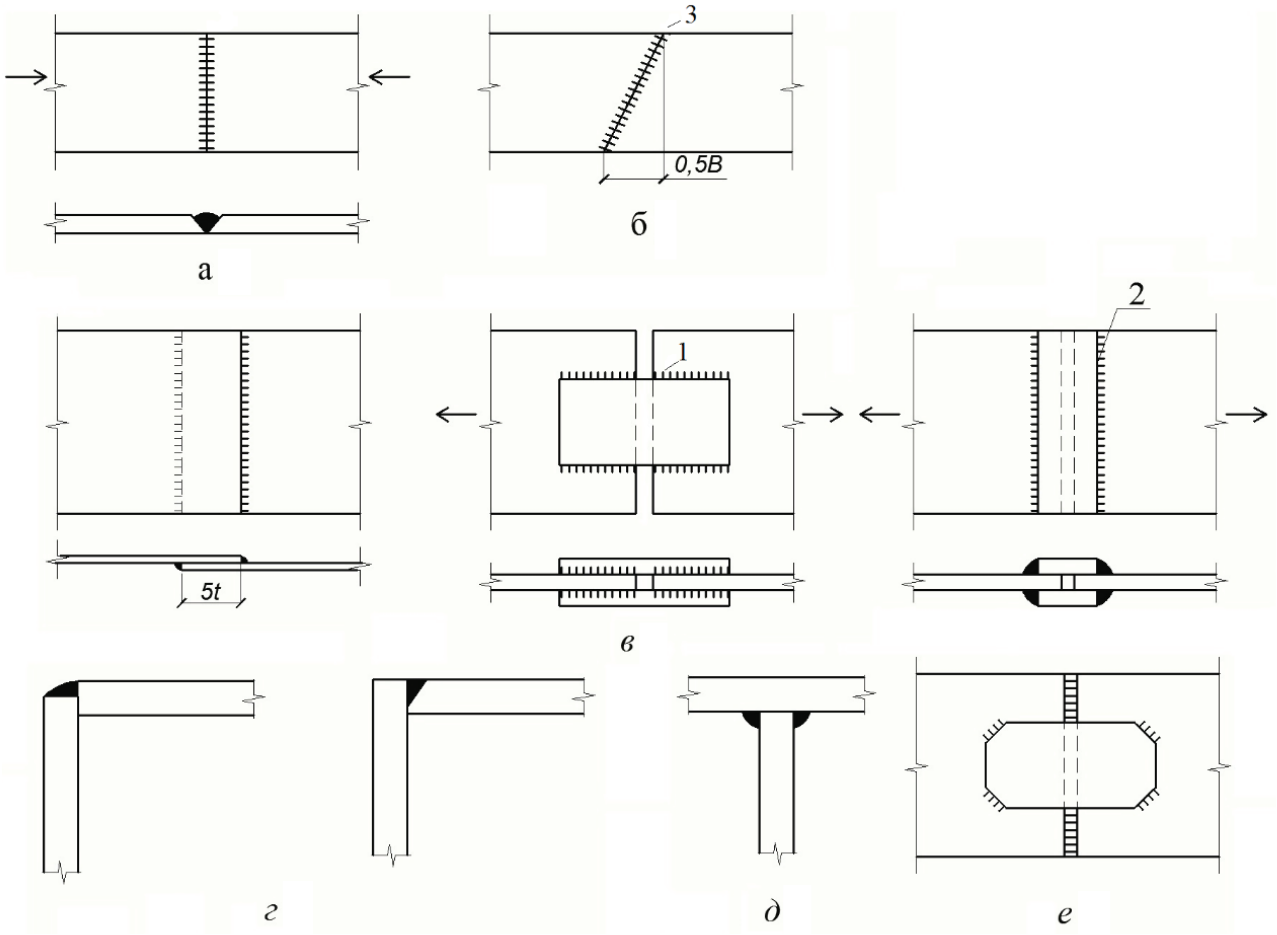



Рис. 7.6. Типи з'єднань:
*а, б* — стикові, відповідно з прямим та косим швом; *в* — внапусток; *г* — кутове; *д* — таврове; *е* — комбіноване; *1* — фланговий кутовий шов; *2* — лобовий; *3* — косий

Опуклі шви мають більший переріз і тому називаються посиленими. Однак більша опуклість для швів, що працюють при знакозмінних навантаженнях, шкідлива, тому що викликає концентрацію напружень в місцях неплавного переходу від шва до поверхні основної деталі. Увігнуті (ослаблені) шви застосовують, як правило, в кутових з'єднаннях. У стикових з'єднаннях вони не допускаються. Нормальні шви по перерізу відповідають розрахунковим і прийняті як основний вид зварного шва. Переривчасті шви застосовують у тому випадку, якщо шов не відповідальний (зварювання огороджень, настилу та ін.), або якщо за розрахунками міцності не вимагається суцільний шов. Їх застосовують з метою економії матеріалів.

Довжину проварюваних ділянок переривчастого шва приймають в межах від 50 до 150 мм, а проміжки роблять удвічі більшими. Відстань від початку попереднього шва до початку наступного шва називають кроком шва t.

Основні типи швів — стикові і кутові. Стикові шви — шви стикових з'єднань. Кутові шви, звані валиковими, — це шви кутових, таврових і з'єднань внапусток.

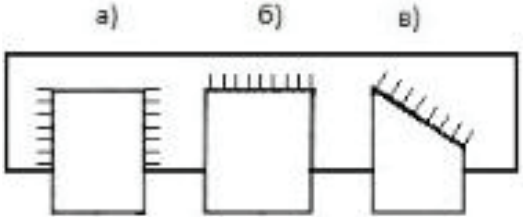



Рис. 7.7. Класифікація зварних швів за положенням щодо чинного зусилля:
*а* — флангові, *б* — лобові, *в* — косі

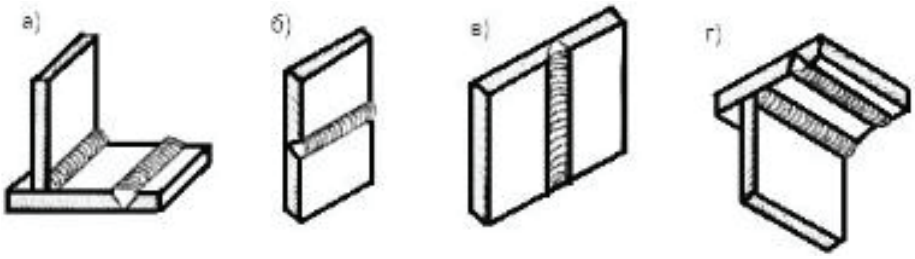



Рис. 7.8. Класифікація зварних швів за положенням в просторі:
*а* — нижні, *б* — горизонтальні, *в* — вертикальні, *г* — стельові

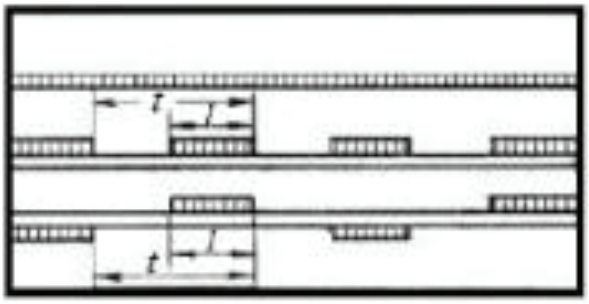


Рис. 7.9 Класифікація зварних швів за протяжністю

**107. Що розуміють під режимом зварювання?**

Режимом зварювання називається сукупність параметрів, що визначає процес зварювання: вид струму, діаметр електрода, напруження і значення зварювального струму, швидкість переміщення електрода уздовж шва та ін.

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електрода і зварювальний струм. Інші параметри вибирають залежно від марки електрода, положення зварюваного шва в просторі, виду обладнання та ін.

**108. Як обрати діаметр електрода?**

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварювальних кромок, виду зварного з'єднання і розмірів шва. Для стикових з'єднань прийняті практичні рекомендації щодо вибору діаметра електрода *d* залежно від товщини зварювальних кромок *s*.

| d, мм | <2 | 3...5 | 6...8 | 9...12 | 13...15 | 16...20 | >20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| s, мм | <2 | 3...4 | 4...5 | 5...6 | 6...7 | 7...8 | 8...10 |

При виконанні кутових і таврових з'єднань беруть до уваги розмір катета шва. При катеті шва 3...5 мм зварювання виробляють електродом діаметром 3...4 мм, при катеті 6...8 мм застосовують електроди діаметром 4...5 мм.

**109. Як запалити дугу і забезпечити стійке горіння електрода?**

Зварювальну дугу збуджують двома способами. Можна торкнутися зварюваного виробу торцем електрода і потім відвести електрод від поверхні виробу на 3...4 мм, підтримуючи горіння дуги. Можна також швидким бічним рухом торкнутися зварюваного виробу та потім відвести електрод від поверхні виробу на таку ж відстань (за методом запалювання сірника), «чирканням». Дотик електрода до виробу повинен бути короткочасним, інакше він приварюється до нього. Довжина дуги значно впливає на якість зварювання. Коротка дуга горить стійко і спокійно. Вона забезпечує отримання шва високої якості, тому розплавлений метал електрода швидко проходить дуговий проміжок і менше піддається окисленню і азотуванню. Але занадто коротка дуга викликає «примерзання» електрода, дуга переривається, порушується процес зварювання. Довга дуга горить нестійко з характерним шипінням. Глибина проплавлення недостатня, розплавлений метал електрода розбризкується і більше окислюється і азотується. Шов виходить безформеним, а метал шва містить значну кількість окислів. Для електродів з товстим покриттям довжина дуги вказана

в паспортах. У процесі зварювання електроду передаються рухи, показані на рис. 7.10 (*а* — у напрямку осі електрода 1 в зону дуги), швидкість рухів повинна відповідати швидкості плавлення електрода, щоб зберегти сталість дуги (*б* — вздовж лінії зварюваного шва 2). Швидкість переміщення не повинна бути великою, тому що метал електрода при цьому не встигає сплавитися з основним металом. При малій швидкості переміщення можливі перегрів і перепал металу, шов виходить широкий, товстий, продуктивність зварювання низька (*в* — поперечні коливальні рухи застосовують для одержання розширеного валика шириною (3...4) d). Поперечні рухи уповільнюють остигання наплавляємого металу, полегшують вихід газів і шлаків і сприяють найкращому сплавлюванню основного й електродного металів і отриманню високоякісного шва. Утворений наприкінці наплавлення валика кратер потрібно ретельно заварити.

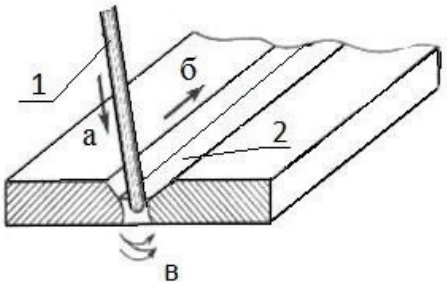



Рис. 7.10. Напрямок рухів електрода при зварюванні

**110. Як класифікують зварні шви за довжиною?**

Умовно прийнято розрізняти: короткі шви довжиною до 250 мм, середні шви довжиною 250...1000 мм і довгі шви протяжністю понад 1000 мм.

**111. Які особливості зварювання при низьких температурах?**

Зварювання при низьких температурах відрізняється такими особливостями. Сталі змінюють свої механічні властивості, знижується ударна в'язкість, погіршуються пластичні властивості, підвищується крихкість і схильність до утворення тріщин.

Зварювання металу товщиною понад 40 мм при температурі 0 °С допускається тільки з підігрівом. Підігрів необхідний для сталей товщиною 30...40 мм при температурі нижче -10 °С; для сталей товщиною 16...30 мм при температурі нижче -20 °С і для сталей товщиною менше 16 мм при температурі нижче -30 °С. Для підігріву застосовують пальники та інші пристрої. Зварювання здійснюють електродами типів Э42А, Э46А, Э50А, що забезпечують високу пластичність і в'язкість металу шва. Значення струму на 15–20 % вище від нормального.

**112. Що необхідно враховувати при зварюванні арматурної сталі в умовах монтажу?**

У монтажних умовах будівництва поширені дугове зварювання шланговими напівавтоматами і ручне зварювання покритими електродами. Арматурні стрижні діаметром до 20 мм з'єднуються з накладками. Стрижні діаметром більше 20 мм з'єднуються встик, найчастіше ванною зваркою. При ванному зварюванні утворюється рідка ванна металу, утримувана в проміжку стику формуючою підкладкою у вигляді жолоба (рис. 7.11). Суттєвою особливістю ванного зварювання є те, що розплавлення кромок стрижнів відбувається за рахунок тепла рідкої ванни, а не під безпосереднім впливом дуги. При ванному зварюванні нижні шари ванни поступово тверднуть, а верхні (на глибині до 15 мм) протягом всього процесу залишаються в рідкому стані. Процес зварювання ведеться при підвищених струмах. Для електродів діаметром до 6 мм струм 450 А замість звичайних 320 А. Величина зазору між арматурними стрижнями не менше 1,5–2 діаметра електрода.

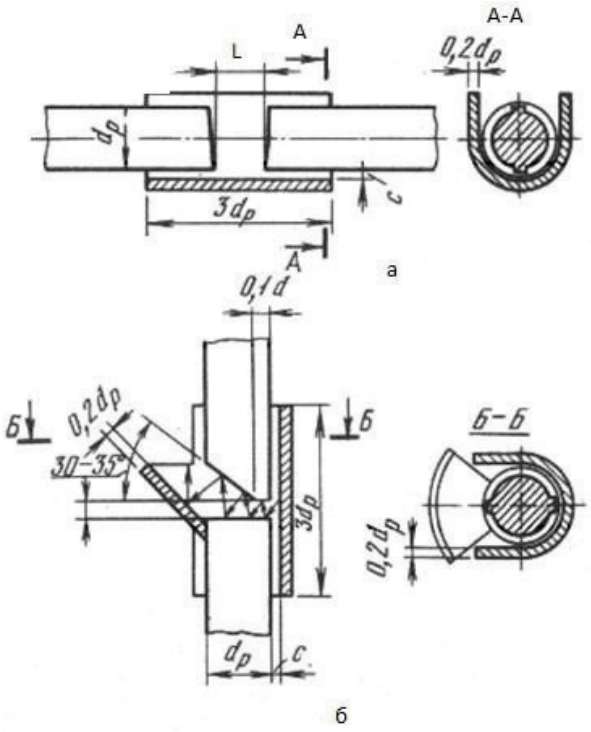



Рис. 7.11. Формуючі підкладки при зварюванні арматурних стрижнів:
*а* — стик горизонтальних стрижнів; *б* — стик вертикальних стрижнів

**113. Що необхідно враховувати при зварюванні ґратчастих конструкцій?**

Ферми та інші ґратчасті конструкції виготовляють з металу товщиною до 10 мм, рідко більшої товщини. Довжина швів мала, не більше 200–400 мм. При зварюванні кутиків тільки фланговими швами необхідні шви розподіляються по обушку і перу кутика обернено пропорційно їх відстаням до осі стрижня. Не рекомендується застосовувати переривчасті шви, а також шви з катетом менш 4 мм і довжиною менше 40 мм. Кінці флангових швів виводять на торці приварюваного елемента на довжину 20 мм. В першу чергу треба виконувати стикові шви, а потім вже кутові. Оскільки усадка металу максимальна в стикових з'єднаннях і мінімальна в кутових, то при зазначеному порядку накладення швів у зварному вузлі буде менш напружений метал. Близько розташовані один до одного шви не слід виконувати відразу. Треба охолодити ту ділянку основного металу, на якій буде виконуватися другий шов. Це виключить перегрів металу. Вузли ферми зварюють послідовно від середини до опор, що знаходяться в більш податливому стані, ніж середина ферми. У цьому випадку напруження металу у вузлах ферми будуть мінімальними. При наявності швів різного перерізу спочатку накладають шви з великим перерізом, а потім — з меншим.

**114. Що необхідно враховувати при зварюванні балкових конструкцій?**

При монтажі балок в першу чергу зварюють стикові, а потім кутові шви. Порядок зварювання монтажних стиків прокатних балок показаний на рис 7.12 *а*. Спочатку стикові шви виконують на товстому металі, а потім на тонкому. Зазвичай полки балок товщі стінки. Тому для забезпечення мінімальних напружень в металі стику слід спочатку накладати стикові шви в полках і в останню чергу стиковий шов в стінці. Зварні балки на монтажі з'єднують з поєднаним або зміщеним стиком (рис. 7.12 *б*, *в*). Поздовжні шви зазвичай не доводять до кінців балки на величину, рівну одній ширині полиці (з низьколегованої сталі), або двом (з легованої сталі). У цих випадках деформування і напруження металу в стикових з'єднаннях полиць і всього стикового з'єднання балки буде рівномірним і мінімальним. Кутові шви в монтажному стику виконуються в останню чергу. При цьому бажано, щоб кутові шви накладалися одночасно двома зварниками — від кінців до середини шва. Ребра жорсткості можна приварювати як до стінки, так і до полиці балки в будь-якій послідовності після попередньої їх прихватки. Прихватки розміщують в місцях розташування зварних швів.

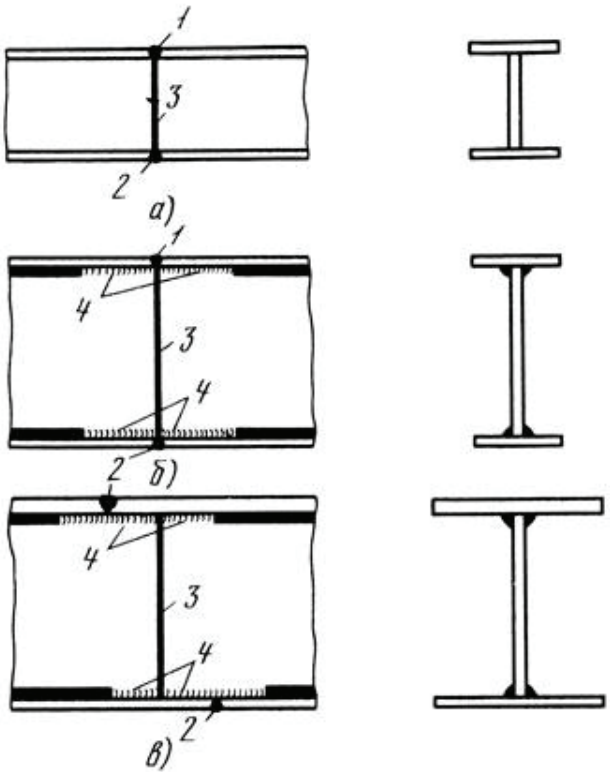



Рис. 7.12 Порядок зварювання монтажних стиків балок:
*а* — прокатних; *б* і *в* — зварних; 1–4 — послідовність виконання зварювання

**115. Які вимоги висуваються до зварних кутових швів і конструкцій з'єднань?**

Розміри зварних кутових швів і конструкція з'єднання повинні задовольняти таким вимогам (рис. 7.13):

а) катет кутового шва $\boldsymbol{\kappa_f}$ (рис. 16.1 [1]) повинен задовольняти вимогам розрахунку і бути, як правило, не меншим ніж зазначений у таблиці 16.1 [1];

– катет шва у тавровому двосторонньому, а також в напустковому і кутовому з'єднаннях допускається приймати меншим за вказаний у таблиці 16.1, але не меншим 4 мм, при цьому розміри шва повинні забезпечувати його несучу здатність, що визначається розрахунком. Виробничим контролем повинна бути установлена відсутність дефектів, у тому числі технологічних тріщин;

б) катет кутового шва $\boldsymbol{\kappa_f}$(рис. 16.1а [1]) не повинен перевищувати 1,2 *t,* де *t* — найменша з товщин зварюваних елементів;

– катет шва, прокладений вздовж закругленої кромки фасонного прокату товщиною *t*, як правило, не повинен перевищувати 0,9 *t*;

в) розрахункова довжина кутового шва повинна бути не менша $\boldsymbol{4\kappa_f}$ і не менша 50 мм;

д) розрахункова довжина флангового шва повинна бути не більшою, ніж $85\beta_f k_f$, за винятком швів, у яких зусилля діє вздовж усієї довжини шва (тут $\beta_f$ — коефіцієнт, що приймається за таблицею 16.2 — коефіцієнти $\beta_f$ і $\beta_z$ [1]);

е) розмір напуску повинен бути не менше, ніж п'ять товщин найтоншого зі зварюваних елементів;

ж) співвідношення розмірів катетів кутових швів слід приймати, як правило, 1:1; при різних товщинах зварюваних елементів допускається приймати шви з неоднаковими катетами;

з) у зварних стиках елементів, що перекриваються накладками, флангові кутові шви слід не доводити до осі стику не менше, ніж на 25 мм;

к) зварні стики з накладками слід виконувати згідно з рис. 7.14 (16.2 [1]);

л) відстань між паралельними зварними з'єднаннями елементів конструкцій слід встановлювати не меншою 10δ і 100 мм, де δ — товщина деталі; приварювання ребер жорсткості і елементів решітчастих конструкцій необхідно виконувати відповідно до рисунка 16.2 *б* — коефіцієнти $\beta_f$ і $\beta_z$ [1].

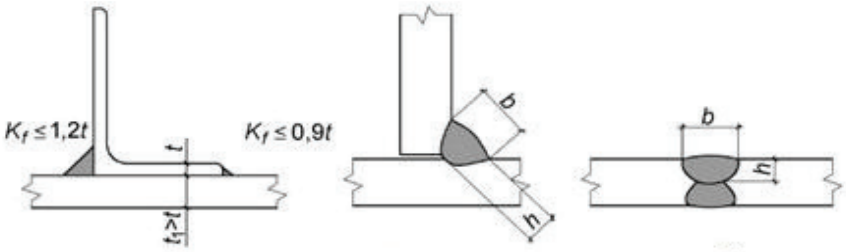



Рис. 7.13. Розміри зварних швів

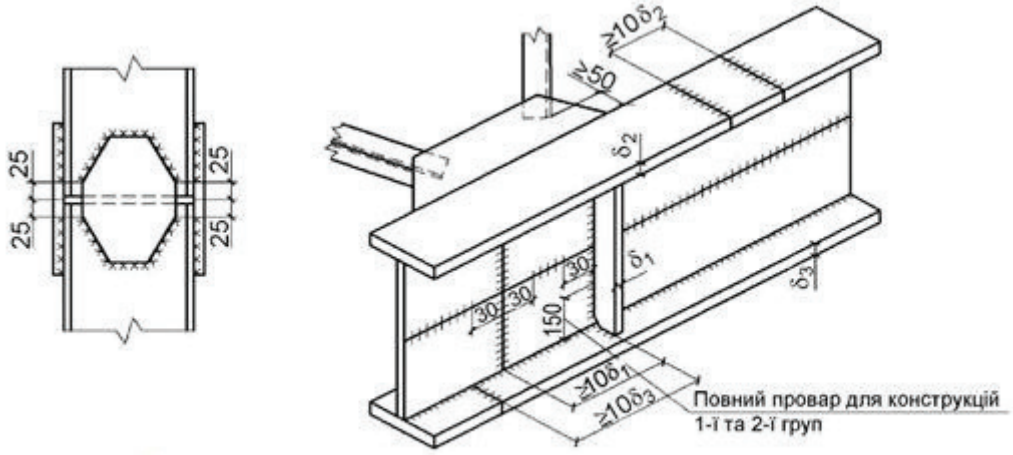



Рис. 7.14. Розміщення зварних швів

**116. Як розрахувати зварне стикове з'єднання?**

Розрахунок зварних стикових з'єднань при дії поздовжньої сили ***N,*** що проходить через центр ваги з'єднання, виконують за формулою:

$$\frac{N\gamma_n}{t_{min} l_w R_{wy} \gamma_c} \le 1,$$

де $t_{min}$ — найменша з товщин елементів у з'єднанні;

$l_w$ — розрахункова довжина стикового шва, що дорівнює його геометричній довжині за вирахуванням *2t*; $\gamma_n$ — коефіцієнт надійності за призначенням [3]. У випадку, коли кінці шва виведені за межі стика, розрахункова довжина шва приймається такою, що дорівнює його геометричній довжині.

**117. Як розрахувати зварне з'єднання з кутовими швами при дії поздовжньої сили?**

Розрахунок зварного з'єднання з кутовими швами при дії поздовжньої сили *N,* що проходить через центр ваги з'єднання, виконують на зріз (умовний) в одній з двох розрахункових площин (рис. 16.4 [1]) за формулами:

при $\frac{\beta_f R_{wf}}{0{,}45\beta_z R_{un}} \le 1$ — у площині наплавленого металу

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c} \le 1;$$

при $\frac{\beta_f R_{wf}}{0{,}45\beta_z R_{un}} > 1$ — у площині металу межі сплавлення

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_z k_f l_w R_{wz} \gamma_c} \le 1;$$

де $l_w$ — розрахункова довжина кутового шва, що дорівнює його сумарній геометричній довжині за вирахуванням двох катетів шва $2k_f$ або 1 см на кожну неперервну ділянку шва; $\gamma_n$ — коефіцієнт надійності за призначенням [3]; $\beta_z$, $\beta_f$ — коефіцієнти, значення яких приймаються за таблицею 16.2 [1]; 1 — площина наплавленого металу (металу шва); 2 — площина металу межі сплавлення.

**118. Як розрахувати зварне з'єднання з кутовими швами при дії згинального моменту?**

Розрахунок зварних з'єднань з кутовими швами при дії згинального моменту ***M*** у площині, перпендикулярній до площини розташування швів, виконують на зріз (умовний) в одній з двох умовних площин за формулами:

– у площині наплавленого металу $\frac{M\gamma_n}{W_f R_{wf}\gamma_c} \le 1;$

— у площині металу межі сплавлення $\frac{M\gamma_n}{W_z R_{wz}\gamma_c} \le 1;$

де $W_f$, $W_z$ — моменти опору розрахункових перерізів кутових швів у зварному з'єднанні відповідно за металом шва і за металом межі сплавлення.

**119. Що називають дефектами зварних швів?**

Дефектами в зварних швах називають відхилення від передбачених технічними умовами якостей швів, які погіршують механічні властивості, суцільність, геометричну форму й інші якості зварного шва.

**120. Які дефекти зварних швів відносять до зовнішніх?**

а) порушення розмірів і форм шва;
б) непровар;
в) підріз зони сплавлення;
г) поверхневе окислення;
д) пропалення;
е) напливи;
ж) поверхневі пори, включення;
з) незаварені кратери і тріщини подовжні і поперечні.

***а) Порушення розмірів і форми шва*** (рис. 7.15) виражається в неповномірности ширини і висоти шва, в надмірному посиленні та різких переходах від основного металу до наплавленого. Ці дефекти при ручній зварці є результатом низької кваліфікації зварювальника, поганої підготовки зварюваних кромок, неправильного вибору зварювального струму.

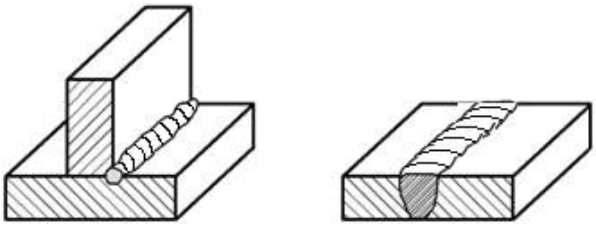


Рис. 7.15. Порушення розмірів і форми шва

***б) Непровар*** (рис. 7.16) — місцеве несплавлення зварюваних кромок основного і наплавленого металів. Є наслідком низької кваліфікації зварювальника, поганої підготовки зварюваних кромок, зсува електрода до однієї з кромок, швидкого переміщення електрода по шву.

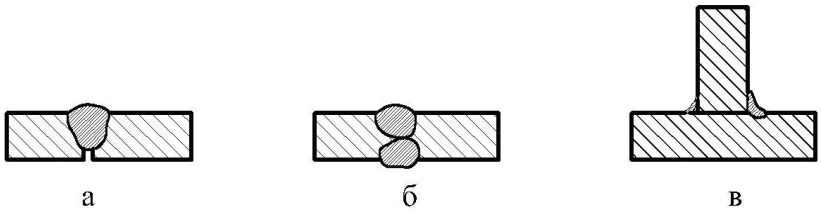



Рис. 7.16. Непровари:
*а* — по товщині шва; *б* — по кромці шва; *в* — по вершині шва

***в) Підріз*** (рис. 7.17) — вузьке поглиблення в основному металі уздовж краю зварного шва. Утворюється при зварці великим струмом або подовженою дугою.

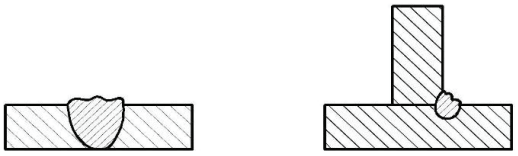


Рис. 7.17. Підріз

***г) Поверхневе окислення*** — окислення металу шва і прилеглого до нього основного металу. Причинами є сильно окислююче середовище, велика довжина дуги, великий зварювальний струм, сповільнене переміщення електрода уздовж шва.

***д) Пропалення*** — наскрізний отвір в зварному шві.

Основними причинами пропалення є великий зварювальний струм і мала товщина основного металу.

***е) Напливи*** — результат натікання металу шва на непрогріту поверхню основного металу або раніше виконаного валика без сплаву з ним. Такі дефекти виникають при низькій кваліфікації зварювальника, неякісних електродах і невідповідності швидкості зварки і зварювального струму обробленню шва.

***ж) Поверхневі пори*** (рис. 7.18) — виникають унаслідок потрапляння в метал шва газів, що утворилися при зварці.

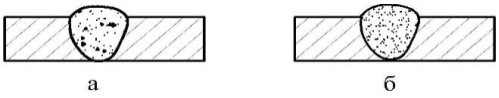



Рис. 7.18. Поверхневі пори і неметалічні включення:
*а* — пори; *б* — неметалічні включення

***з) Зовнішні тріщини*** (рис. 7.19) утворюються унаслідок напруження, що виникає в металі від його нерівномірного нагріву, охолодження й усадки. Причиною виникнення тріщин служить також підвищений вміст в сталі шкідливих домішок (сірки і фосфору).

Рис. 7.19. Зовнішні тріщини

**121. Які дефекти зварних швів відносять до внутрішніх?**

До внутрішніх дефектів відносяться:

а) внутрішні пори;

б) непровар;

у) мікротріщини;

г) неметалічні включення.

Причини виникнення внутрішніх дефектів — пор, непроварів і мікротріщин аналогічні причинам, що викликають відповідні зовнішні дефекти. Неметалічні включення утворюються при

зварці малим зварювальним струмом, вживанні неякісних електродів, зварювального дроту, флюсу, забруднених кромках, поганому очищенні шва від шлаку при багатошаровій зварці.

## 7.2. БОЛТОВІ З'ЄДНАННЯ

### 7.2.1. Болти

**122. Які переваги і недоліки мають болтові з'єднання?**

Перевагами болтових з'єднань є простота і надійність в роботі.

Однак болтові з'єднання більш металоємкі, ніж зварні, оскільки мають стикові накладки, а отвори для болтів послаблюють перерізи елементів.

**123. Як класифікують болти?**

У будівельних конструкціях застосовують болти грубої, нормальної і підвищеної точності, високоміцні, самонарізні та фундаментні (анкерні). Болт для з'єднання конструкцій має головку, гладку частину стрижня, завдовжки на 2–3 мм менше товщини з'єднувального пакету, і нарізну частину стрижня, на яку надівається шайба і нагвинчується гайка (рис. 7.20 а). Болти виготовляються діаметром 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 36, 42 и 48 мм і загальною довжиною 40–200 мм з довжиною різьблення: для болтів $d$ = 10...14 мм, $l_n$ = 20... 25 мм; $d$ = 16...20 мм, $l_n$ = 28...30 мм; $d$ = 22...30 мм, $l_n$ = 35...50 мм. Болти виготовляються з вуглецевої сталі марок ВСт3, ВСт5, низьколегованої сталі підвищеної міцності марок 14Г2, 15ГС та ін.

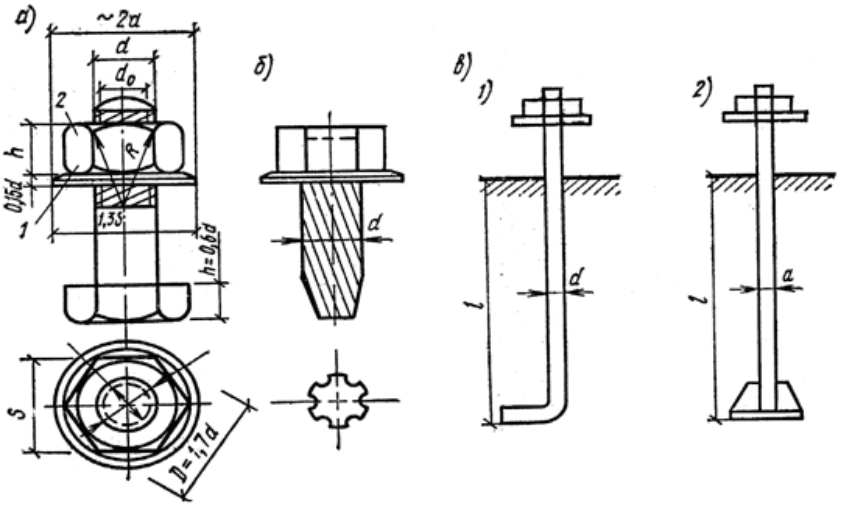



Рис. 7.20. Види болтів
*а* — болт з шайбою *(1)* і гайкою *(2)*; *б* — самонарізаючий болт; *в*, *г* — фундаментні болти, тип 1 при $d_b$ = 36 мм, тип 2 при $d_b$ = 30 мм

**124. Чим відрізняються один від одного болти різної точності?**

Болти грубої точності (клас точності С) і нормальної точності (клас точності В) розрізняються допусками на відхилення діаметра болта від номінала. Для болтів грубої і нормальної точності відхилення діаметра можуть досягати відповідно 1 і 0,52 мм (для болтів $d_b \leq$ 30 мм). Виготовляють болти з вуглецевої сталі гарячою або холодною висадкою, іноді з наступною термообробкою.

Болти класу точності А ставлять в отвори, просвердлені на проектний діаметр в зібраних елементах або продавлені по кондукторах в окремих елементах або деталях і просвердлені на менший діаметр з наступним розсвердлюванням до проектного діаметру в зібраних елементах. Діаметр отворів для таких болтів не повинен відрізнятися більш ніж на 0,3 мм від діаметра болта. Плюсовий допуск для діаметра болтів і мінусовий допуск для отворів не дозволяється. Поверхню ненарізаної частини болта обточують до строго циліндричної форми.

Болти класу точності С і В доцільно застосовувати в умовах монтажу. Будівельні норми і правила дозволяють застосовувати болти С і В в конструкціях зі сталі з межею плинності до 38 кН/см$^2$. Болти цих класів точності в з'єднанні ставлять в отвори, утворені продавлюванням або свердлінням в окремих елементах. Діаметр цих отворів повинен бути на 2–3 мм більше діаметру болта. У результаті неповного збігу осей отворів в окремих елементах отвір під болт має негладку поверхню — «чорноту» (клас точності С), що виключає щільну посадку болта в отвір. Різниця в діаметрах болта й отвору полегшує посадку болтів і спрощує утворення з'єднання; це велика перевага таких болтів. Однак нещільна посадка болта в отвір підвищує деформативність з'єднання при роботі на зсув та збільшує нерівномірність роботи окремих болтів у з'єднанні. Тому болти класів С і В не рекомендується використовувати у відповідальних з'єднаннях, що працюють на зсув. Їх широко застосовують як кріпильні елементи в конструкціях або у випадках, коли вони працюють на розтяг.

**125. Чим відрізняються високоміцні болти?**

Високоміцні болти виготовляють з легованої сталі. Готові болти піддають термічній обробці. Високоміцні болти є болтами нормальної точності. Їх ставлять в отвори більшого діаметру, ніж болт. Зазвичай їх гайки затягують тарувальним ключем, що дозволяє створювати і контролювати силу натягу болтів. Велика сила натягу болта дозволяє щільно стягувати елементи, що сполучаються, і забезпечує монолітність з'єднання. При дії на таке з'єднання зсуваючих сил між елементами, що сполучаються, виникають сили тертя, перешкоджаючи зрушенню цих елементів відносно один одного. Таким чином високоміцний болт, працюючи на осьовий розтяг, забезпечує передачу сил зсуву тертям між сполученими елементами, саме тому подібне з'єднання часто називають фрикційним. Для збільшення сил тертя поверхні елементів в місці стику очищають від бруду, масла, іржі та окалини металевими щітками, піскоструминним або дробоструминним апаратами, вогневим очищенням і не фарбують.

**126. Чим відрізняються від звичайних самонарізаючі болти?**

Самонарізаючі болти відрізняються від звичайних наявністю різьблення повного спеціального профілю на всій довжині стрижня для загвинчування в раніше утворені отвори сполучаємих деталей (рис. 7.20 *б*). Матеріалом для них служить термозміцнена сталь. Зазвичай вони мають діаметр $d_b$ = 6 мм і застосовуються для прикріплення профільованого настілу до прогонів і елементів фахверку. Великою перевагою таких болтів є необхідність доступу до конструкції тільки з одного боку.

**127. Для чого використовують анкерні болти?**

Фундаментні (анкерні) болти служать для передачі розтягуючих зусиль з колон на фундамент (рис. 7.20 *в*, *г*).

**128. Як позначається клас міцності болтів?**

У будівельних конструкціях використовують болти різних класів міцності. Клас міцності болтів позначається цифрами від 5,6 до 12,9 (табл. Д.3 — Вимоги до болтів при різних умовах застосування [1]). Перше число, множене на 10, позначає тимчасовий опір $\sigma_u$, кН/см$^2$, а множення першого числа на друге — межу плинності $\sigma_y$, кН/см$^2$.

**129. Як визначити характеристичні опори сталі болтів та розрахункові опори одноболтових з'єднань?**

Характеристичні опори сталі болтів $R_{bun}$ і $R_{byn}$ та розрахункові опори одноболтових з'єднань зрізу $R_{bs}$ та розтягу $R_{bt}$ наведені у таблиці Д.4 — характеристичні опори сталі болтів і розрахункові опори одноболтових з'єднань зрізу і розтягу, Н/мм$^2$ [1], а зминання елементів, що з'єднуються болтами у одноболтових з'єднаннях, наведені у таблиці Д.5 — розрахункові опори одноболтових з'єднань зминанню $R_{bp}$ елементів, що з'єднуються болтами [1].

### 7.2.2. Робота болтових з'єднань

**130. Як працюють болтові з'єднання?**

При роботі болтів грубої точності на зріз, поставлених в отвори з проміжками 2–3 мм (чорні болти), з'єднання має велику деформативність. Тому болти грубої точності при роботі їх на зріз

доцільно застосовувати тільки при статичному навантаженні, де потрібно в основному забезпечити міцність, а деформативність з'єднання не має істотного значення. Ефективним, але дорогим способом зменьшення деформативності болтового з'єднання є перехід на болти підвищеної точності, які щільно заповнюють отвори.

Більш раціональним є застосування болтів при їх роботі на розтяг. Для надійної роботи болт необхідно добре затягнути, щоб зовнішня сила, що розтягує, не перевищила початкового натягу. Для зменьшення деформативності з'єднання можна або не доводити напруження в болтах до розрахункового опору, або надійно закріплювати затягнуті гайки контргайками або приварюванням до болта.

**131. На які зусилля працюють болти?**

Болти працюють на зріз, зминання і розтяг.

**132. Як потрібно розміщувати болти?**

Болти розміщують з використанням мінімальних відстаней, а з'єднувальні конструктивні болти встановлюють, як правило, з використанням максимальних відстаней.

**133. Як визначити розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом?**

Розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом, слід визначати за формулами:
– при зрізі (умовному) болта

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c \gamma_n ;$$

– при зминанні металу з'єднуваних елементів в отворі

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \sum t_{min} \gamma_b \gamma_c \gamma_n ;$$

– при розтягу болта

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn} \gamma_c \gamma_n ,$$

де $R_{bs}$, $R_{bp}$, $R_{bt}$ — розрахункові опори одноболтових з'єднань;
$A_b = 0{,}78 d_b$ — площа поперечного перерізу стрижня болта;
$n_s$ — кількість розрахункових площин зрізу одного болта, шт.;
$\gamma_c$ — коефіцієнт умов роботи, який визначається за таблицею 5.1 [1];
$\gamma_n$ — коефіцієнт надійності за призначенням [3].
$\gamma_b$ — коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання, який визначається за таблицею 16.4 — коефіцієнти умов роботи болтового з'єднання [1];
$d_b$ — зовнішній діаметр стрижня болта;
$\sum t_{\min}$ — найменша сумарна товщина елементів у з'єднанні, які зминаються в одному напрямку;
$A_{bn}$ — площа поперечного перерізу нетто болта за різьбою.

**134. Як визначити кількість болтів при дії поздовжньої сили, що проходить через центр ваги з'єднання?**

Кількість болтів у з'єднанні визначається за формулою:

$$n \geq \frac{N \gamma_n}{N_{b,min}},$$

де $N$ — поздовжня зсуваюча сила, $N_{b,min}$ — найменше зі значень розрахункового зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом на зріз, розтяг чи при зминанні металу з'єднання.

**135. Як розподіляються між болтами зусилля зрізу при дії згинального моменту?**

При дії на болтове з'єднання згинального моменту, який викликає зсув з'єднуваних елементів, зусилля зрізу розподіляються між болтами з'єднання пропорційно до відстаней від центра ваги з'єднання до розглядуваного болта.

**136. Що треба визначати при одночасній дії на болтове з'єднання поздовжньої і поперечної сили та згинального моменту?**

При одночасній дії на болтове з'єднання поздовжньої і поперечної сил та згинального моменту, що діють в одній площині і викликають зсув з'єднуваних елементів, слід визначити рівнодій-

не зусилля у найбільш напруженому болті, яке не повинно перевищувати меншого зі значень: рахункового зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом при зрізі чи при зминанні металу з'єднання.

**137. Як перевірити найбільш напружений болт при одночасній дії на болтове з'єднання зусиль, що викликають зріз і розтяг?**

При одночасній дії на болтове з'єднання зусиль, що викликають зріз і розтяг болтів, найбільш напружений болт перевіряють за формулою:

$$\gamma_n \sqrt{\left(\frac{N_s}{N_{bs}}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_{bt}}\right)^2} \le 1,$$

де і $N_s$ $N_t$ — розрахункові зусилля відповідно зрізу і розтягу, що припадають на один болт;

$N_{bs}$ $N_{bt}$ — розрахункові зусилля, які можуть бути сприйняті одним болтом.

# 8. РОЗРАХУНОК МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Як називають тих, хто проектує будівлі? Одні кажуть — архітектори, інші — інженери. Правильна відповідь полягає в тому, що кожен займається своєю справою. А початок такого поділу праці покладено дуже давно. Грецьке слово «архітектор» означало «старший будівельник» і стосувалося як будівельників храмів, так і будівельників мостів і акведуків. Слово «інженер», що зустрічається в середньовічних текстах, стосувалося осіб, які винаходили хитромудрі пристосування для військових цілей. У 1726 році французька армія створила «Корпус інженерів мостів і доріг», а в 1747 році «Школу мостів і доріг», яка стала прототипом сучасної інженерної школи. Поділ професій було узаконено заснуванням Інституту цивільних інженерів в Лондоні в 1818 році і Королівського інституту британських архітекторів в 1834 році. Різниця в професіях була пов'язана з призначенням споруд (дороги, мости, канали на противагу монументальним будівлям), а не з існуючими методами будівництва, тому що як архітектори, так і інженери використовували традиційні матеріали в традиційних формах. Як правило інженери проектували промислові будівлі, в тому числі і з нового для того часу матеріалу — чавуну. Поступово й архітектори стали використовувати чавун і почали запрошувати інженерів для консультацій. Розрахунок чавунних, а пізніше і залізобетонних конструкцій ускладнювався і, як наслідок, інженери-консультанти стали залучатися регулярно. До початку XX століття відбулося остаточне розділення: архітектор створював архітектурно-планувальне рішення і передавав креслення інженеру, який проектував несучі конструкції.*

**138. За якою методикою ведеться розрахунок металевих конструкцій?**

За методом граничних станів.

**139. У чому полягає мета розрахунку металевих конструкцій?**

Мета і призначення розрахунку — перевірка міцності, стійкості та жорсткості попередньо наміченої розрахункової моделі конструкції або споруди, яка дозволяє уточнювати її розміри і забезпечити надійність при найменших витратах металу. Розрахунок має достовірно відображати умови роботи конструкції та її напружено-деформований стан.

**140. В якому порядку необхідно виконувати розрахунок металевих конструкцій?**

Розрахунок починають зі складання розрахункової моделі конструкції (споруди), що враховує всі суттєві впливи. Визначають умови закріплення опорних елементів: шарнірні опори, опори з пружним і жорстким закріпленням і т. п. Визначивши за прийнятою розрахунковою моделю зусилля в елементах, виконують підбір перерізів. Потім перевіряють несучу здатність і конструюють закріплення так, щоб задовольнити поставленим умовам.

**141. У чому сутність розрахунку за граничними станами?**

Метод розрахунку за граничними станами вперше був розроблений в СРСР в 1955 році, завоював визнання в усьому світі і покладений в основу єврокодів, де він отримав назву «Метод приватних коефіцієнтів надійності». За різними назвами «Метод граничних станів» і «Метод приватних коефіцієнтів надійності» стоять різні трактування. З погляду граничних станів це відмова від детального аналізу всіх станів, крім граничних. Тобто, запроектувавши конструкцію з забезпеченням умови міцності, ми гарантуємо, що за весь термін служби ця умова не буде порушена. Але при цьому нічого не можемо сказати про рівень фактичних напружень, відповідних нормальному (не граничному) стану при найбільш часто реалізуємих умовах експлуатації. При використанні методу приватних коефіцієнтів надійності відбулася заміна одного загального коефіцієнта запасу кількома, кожен з яких відповідає певній проблемі: властивостям матеріалу, відповідальності об'єкта та ін. Мета розрахунку — не допускати з певною забезпеченістю настання граничних станів при експлуатації протягом усього терміну служби конструкції (а також при здійсненні робіт). Граничним називається стан конструкції, при якому вона перестає задовольняти експлуатаційним вимогам. Відповідно до характеру вимог, що висуваються до конструкції, розрізняють пер-

ший і другий граничний стан. Існує безліч чинників, що призводять конструкцію до граничного стану. Тому в нормах проектування вони фігурують як групи граничних станів.

До першої групи відносяться граничні стани, перевищення яких призводить до повної непридатності до експлуатації: руйнування будь-якого характеру, втрата стійкості, перехід конструкції в змінювану систему, досягнення неприпустимих пластичних деформацій. До другої групи відносять граничні стани, що ускладнюють нормальну експлуаатцію об'єкта: поява неприпустимих переміщень (прогинів, кутів повороту, осадок, коливань).

Граничні стани першої групи перевіряються на максимальні (розрахункові) навантаження, можливі при порушенні нормальної експлуатації. Граничні стани другої групи перевіряються на експлуатаційні (характеристичні) навантаження.

У загальному випадку формулу для розрахунку конструкцій по першій групі можна записати: $S_{max} \le S_{min}$, де $S_{max}$ — зусилля, що діє в конструкції; $S_{min}$ — мінімальний опір конструкції. Оскільки розрахунком треба обґрунтувати можливість нормальної експлуатації конструкції протягом всього терміну її служби, значення $S_{max}$ — це найбільше зусилля, можливе за цей час. $S_{max} = \Sigma\psi\gamma_f F_i\gamma_{n..}$ Це зусилля визначається від розрахункових навантажень, які отримують множенням характеристичних навантажень $F_i$, що відповідають умовам нормальної експлуатації, на коефіцієнт надійності по навантаженню $\gamma_f$, що враховує можливе відхилення навантажень в несприятливу сторону, і на коефіцієнт надійності за призначенням $\gamma_n$, що враховує ступінь відповідальності будівель і споруд. Можливість спільної дії декількох навантажень враховується множенням навантажень на коефіцієнт сполучень $\psi \le 1$, значення якого відображає зменшення ймовірності одночасного перевищення декількома навантаженнями їх розрахункових значень.

Характеристичними називають навантаження і впливи різної фізичної природи, які характеризуються своїм основним значенням, наведенним у нормах проектування, або в технічному завданні на проект. Несуча здатність — граничне зусилля $S_{min}$, яке може сприйняти розраховуваний елемент, повина визначатися множенням геометричної характеристики перерізу $A_n$ (площа, момент опору і т. п.) на розрахунковий опір $R$ і коефіцієнт умов роботи $\gamma_c$ і діленням на коефіцієнти надійності за матеріалом $\gamma_u$ і надійності за призначенням $\gamma_n$. $S_{min} = A_n R\gamma_c / \gamma_u \gamma_n$. Друга група граничних станів забезпечує умови нормальної експлуатації. Прогини, зміни положення, параметри коливання визначаються за експлуатаційними розрахунковими значеннями навантажень. У загальному випадку формулу для розрахунку конструкцій за другою групою можна записати: $\Delta \le [\Delta]$, тобто фактичні переміщення не перебільшують граничних. Граничні переміщення визначаються у відповідності до вимог ДСТУ.

**142. У залежності від чого класифікують конструкції при досягненні граничних станів?**

Залежно від призначення конструкцій і можливих наслідків при досягненні ними граничних станів розрізняють три категорії конструкцій та їх елементів:

А — конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації споруди в цілому або значної її частини;

Б — конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації споруди або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А;

В — конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

**143. Як конструкції класифікують в залежності від можливостей і причин досягнення граничних станів?**

Залежно від можливостей та причин досягнення граничних станів розрізняють три категорії конструкцій та їх елементів:

І — конструкції та елементи, досягнення граничних станів яких можливе в результаті безпосереднього впливу динамічного рухомого чи вібраційного навантаження;

ІІ — конструкції та елементи, досягнення граничних станів яких можливе лише при поєднанні несприятливих чинників (динамічного чи вібраційного навантаження, концентраторів напружень, зон напружень розтягу тощо);

ІІІ — конструкції та елементи, досягнення граничних станів яких внаслідок утоми чи крихкого руйнування неможливе через відсутність несприятливих чинників.

**144. На які класи поділяють елементи і конструкції?**

Елементи і конструкції поділяють на три класи залежно від виду напружено-деформованого стану (НДС) розрахункового перерізу, що допускається у розрахунку:

1-й клас — НДС, за якого нормальні напруження на всіх ділянках розрахункового перерізу є меншими за розрахунковий опір сталі $R_y$ і можуть досягти його лише в найбільш напружених волокнах перерізу (пружна робота перерізу, рис. 8.1 *а*);

2-й клас — НДС, за якого нормальні напруження на деяких ділянках розрахункового перерізу є меншими за розрахунковий опір сталі $R_y$, а на інших ділянках — дорівнюють йому (пружньопластична робота перерізу, рис. 8.1 *б*);

3-й клас — НДС, за якого нормальні напруження по всій площі розрахункового перерізу дорівнюють розрахунковому опору сталі $R_y$ (пластифікація всього перерізу з утворенням пластичного шарніру, рис. 8.1 *в*).

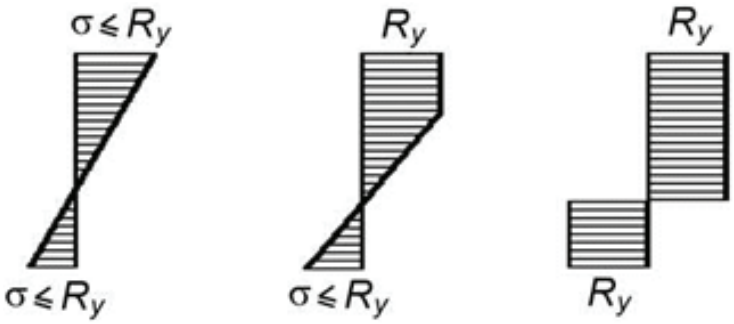



Рис. 8.1. Класифікація перерізів за видом НДС

**145. Як при розрахунку необхідно враховувати призначення і умови роботи конструкції?**

При розрахунку конструкцій і з'єднань слід враховувати:

– коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності) $\gamma_n$ відповідно до ДБН В.1.2–14;

– додатковий коефіцієнт надійності за матеріалом $\gamma_u = 1{,}3$ для елементів конструкцій, які розраховуються на міцність із використанням розрахункових опорів $R_u$, що визначаються за тимчасовим опором при розтягу;

– коефіцієнти умов роботи елементів конструкцій $\gamma_c$, що приймаються згідно з таблицею 5.1 — коефіцієнт умов роботи [1];

– коефіцієнти умов роботи болтових з'єднань $\gamma_b$ — згідно з таблицею 16.4 — коефіцієнти умов роботи болтового з'єднання [1].

**146. Як розрахувати на міцність центрально розтягнуті і стиснуті елементи?**

Розрахунок на міцність елементів зі сталі з характеристичним опором $R_{yn} < 440$ Н/мм$^2$ при центральному розтягу і стисканні слід виконувати за формулою (8.1) [1]:

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \le 1,$$

де $\gamma_n$ — коефіцієнт надійності за відповідальністю, визначається згідно з ДБН В.1.2–14; $R_y$ — коефіцієнт умов роботи; $R_y$ — розрахунковий опір сталі за межею текучості; $A_n$ — площа перерізу нетто; $N$ — поздовжня сила.

**147. Як розрахувати на стійкість центрально стиснуті елементи?**

Розрахунок на стійкість елементів суцільного перерізу при центральному стисканні слід виконувати за формулою (8.1.2) [1]:

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi A_n R_y \gamma_c} \le 1,$$

де $\varphi$ — коефіцієнт стійкості при центральному стисканні, значення якого при $\lambda > 0{,}4$ необхідно обчислювати за формулою:

$$\varphi = \frac{0{,}5}{\overline{\lambda}^2}(\delta - \sqrt{(\delta^2 - 39{,}48\,\overline{\lambda}^2)}\,.$$

Значення коефіцієнта $\delta$ у формулі слід обчислювати за формулою:

$$\delta = 9{,}87\left(1 - \alpha + \beta\overline{\lambda}\right) + \overline{\lambda}^2,$$

де $\alpha$ і $\beta$ — коефіцієнти, що характеризують початкові неправильності форми та залишкові напруження і визначаються залежно від типу поперечного перерізу стрижня та типу кривої стійкості *a*, *b* та *c*; $\overline{\lambda}$ — умовна гнучкість стрижня, яка визначається за формулою $\overline{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

**148. Як перевірити на міцність і стійкість конструкції наскрізного перерізу?**

Розрахунок на міцність елементів наскрізного перерізу при центральному розтягу і стисканні (8.2.1) [1] слід виконувати за формулою $\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \le 1$, де $A_n$ — площа розрахункового перерізу наскрізного стрижня нетто.

Розрахунок на стійкість стиснутих стрижнів наскрізного перерізу, гілки яких з'єднані планками чи решітками, слід виконувати за формулою (8.2.2) [1] $\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \le 1$; при цьому коефіцієнти $\varphi$ відносно вільної осі (перпендикулярної до площини планок чи решіток) слід визначати за формулами

$$\varphi = \frac{0{,}5}{\overline{\lambda}^2}\left(\delta - \sqrt{(\delta^2 - 39{,}48\,\overline{\lambda}^2\,)}\right) \text{ і}$$

$$\delta = 9{,}87\left(1 - \alpha + \beta\overline{\lambda}\right) + \overline{\lambda}^2.$$

**149. При яких умовах можна вважати забезпеченою місцеву стійкість стінки центрально-стиснутого елемента суцільного перерізу?**

Якщо значення умовної гнучкості стінки

$$\overline{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w}\sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

не перевіщує значення граничної умовної гнучкості стінки $\overline{\lambda}_{uw}$, де $h_{ef}$ — розрахункова висота стінки.

**150. Коли стінки центрально-стиснутих елементів суцільного перерізу треба укріплювати поперечними ребрами жорсткості?**

Стінки колон, стійок, опор і т. п. слід укріплювати з кроком від 2,5 $h_{ef}$ до 3,0 $h_{ef}$ основними поперечними ребрами жорсткості при значеннях умовної гнучкості стінки $\overline{\lambda}_w \ge 2{,}3$. На кожному відправному елементі повинно бути не менше ніж два ребра жорсткості.

**151. Коли місцеву стійкість поясного листа центрально-стиснутого елемента суцільного перерізу можна вважати забезпеченою?**

Якщо значення умовної гнучкості звису $b_{ef}$ поясу (полки)

$$\overline{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f}\sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

не перевищує значення граничної умовної гнучкості звису $\overline{\lambda}_{uf}$, що визначається за таблицею 8.4 — Граничні умови гнучкості звисів поясних листів (полиць) [1].

**152. Чи є зв'язок між вибором класу балки і урахуванням розвитку пластичних деформацій?**

Зв'язок полягає в тому, що урахування розвитку пластичних дефрмацій вимагає вибору певного класу поперечного перерізу. А балка має той самий клас, який має її розрахунковий переріз.

**153. Як розрахувати балку на міцність?**

По-перше, треба визначити, чи потрібно враховувати пластичні деформації. Якщо не потрібно, то балку слід віднести до 1-го класу, якщо ні, то до 2-го, чи 3-го. По-друге, формула розрахунку залежить від типу зусиль. Перевірка міцності полягає в тому, щоб напруження не перебільшували опір сталі. Не змінюючи суті питання в сучасних нормах, запропонована інша форма запису умови міцності. Вираз порівнюють з одиницею.

Для балки 1-го класу (9.2.1) [1]:

– при дії згинального моменту $\frac{M\gamma_n}{W_{n,min}R_y\gamma_c}\le 1$;

– при дії поперечної сили $\frac{QS\gamma_n}{I_x t_w R_s\gamma_c}\le 1$;

– при дії згинальних моментів у двох – головних площинах $\frac{M_x\gamma_n}{I_{xn}R_y\gamma_c}y\pm\frac{M_y\gamma_n}{I_{yn}R_y\gamma_c}x\le 1$.

Для балок 2-го і 3-го класів (9.2.3) [1] двотаврового перерізу, виконаних зі сталі з характеристичним опором $R_{yn}\le 440$ Н/мм$^2$ при значеннях дотичних напружень $\tau_y=\frac{|Q_y|}{A_w}\le 0,9R_s$ (окрім опорних перерізів):

– при згині у площині найбільшої жорсткості ($I_x > I_y$)

$$\frac{M_x\gamma_n}{c_{x\beta_r}W_{xn,min}R_y\gamma_c}\le 1;$$

– при згині у двох головних площинах і значеннях дотичних напружень $\tau_x=\frac{|Q_x|}{2A_f}\le 0,5R_s$ (крім опорних перерізів) $\frac{M_x\gamma_n}{c_x\beta_r W_{xn,min}R_y\gamma_c}+\frac{M_y\gamma_n}{c_y\beta_r W_{xn,min}R_y\gamma_c}\le 1$;

– при $\tau_y\le 0,5R_s$, $\beta_r=1$;

– при $0,5\ R_s<\tau_y\le 0,9R_s$ $\beta_r=1,0-\frac{0,2}{\alpha_f+0,25}\left(\frac{\tau_y}{R_s}\right)^4$,

де $\alpha_f=A_f/A_w$ — відношення площ поперечних перерізів поясу і стінки (для несиметричного перерізу $A_f$ — площа перерізу меншого поясу балки; для коробчатого перерізу $A_w$ — сумарна площа перерізу двох стінок); $c_x$, $c_y$ — коефіцієнти, значення яких приймаються згідно з додатком М [1].

**154. Як перевірити міцність стінки балки в місцях, де виникає зосереджена сила, наприклад, від колеса мостового крана чи від іншої балки?**

Якщо в цих місцях немає поперечних ребер жорсткості, то там виникають нормальні місцеві напруження. Перевірку їх дії виконують за формулою:

$$\frac{\sigma_{loc}\gamma_n}{R_y\gamma_c}\le 1,$$

де $\sigma_{loc}=\frac{F}{l_{ef}t_w}$; $F$ — зосереджене навантаження;

$l_{ef}$ — умовна довжина ділянки, через яке передається зосереджене навантаження, що визначається за додатковими формулами (9.2.2) [1].

**155. У чому полягає втрата загальної стійкості балки?**

Втрата загальної стійкості балок полягає в порушенні плоскої форми вигину і виникненні крутильних деформацій. Наявність зв'язків, що перешкоджають горизонтальному зсуву стиснутого пояса з площини балки, підвищує загальну стійкість балок.

**156. Якщо двотаврова балка 1-го класу, працююча на згин, перевірена на міцність, чи потрібно перевіряти її ще на загальну стійкість?**

Так, це потрібно, але формула перевірки залежить від форми згину (9.4.1) [1]:

– при згині у площині стінки, що збігається з площиною симетрії перерізу

$$\frac{M_x \gamma_n}{\varphi_b W_{cx} R_y \gamma_c} \le 1;$$

– при згині у двох головних площинах

$$\frac{M_x \gamma_n}{\varphi_b W_{cx} R_y \gamma_c} + \frac{M_y \gamma_n}{W_y R_y \gamma_c} \le 1,$$

де $\varphi_b$ — коефіцієнт стійкості при згині (визначається за додатком Н [1]);

$W_{cx}$ — момент опору перерізу відносно осі х–х, обчислений для стиснутої полиці двотавра;

$W_y$ — момент опору перерізу відносно осі у–у, що збігається з площиною згину.

**157. Від чого насамперед залежить коефіцієнт стійкості $\varphi_b$ для балок?**

В першу чергу він залежить від розрахункової довжини балки $l_{ef}$, яка приймається рівною відстані між точками розкріплення верхнього стиснутого поясу від горизонтальних переміщень, тобто відстані між вузлами в'язів, чи кріплення жорсткого настилу.

**158. Коли загальну стійкість балок 1-го класу можна не перевіряти?**

Не перевіряти можна в двох випадках: якщо навантаження передається на балку через неперервно обпертий суцільний жорсткий настил, наприклад, залізобетонні плити; або якщо умовна гнучкість стиснутого поясу $\bar{\lambda}_b = \frac{l_{ef}}{b}\sqrt{\frac{R_{yf}}{E}}$ не перевищує його граничної умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{ub}$. Значення граничної умовної гнучкості треба визначати за формулами таблиці 9.1 [1].

**159. Коли загальну стійкість балок 2-го і 3-го класу можна не перевіряти?**

Як і для балок 1-го класу, не перевіряти можна в двох випадках: якщо навантаження передається на балку через неперервно обпертий суцільний жорсткий настил, наприклад, залізобетонні плити; або якщо умовна гнучкість стиснутого поясу $\bar{\lambda}_b = \frac{l_{ef}}{b}\sqrt{\frac{R_{yf}}{E}}$ не перевищує його граничної умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{ub}$. Але додатково значення граничної умовної гнучкості за формулами таблиці 9.1 треба помножити на коефіцієнт. Таблиця 9.1 — Умовна гранична гнучкість стиснутого пояса [1]

$$\delta = 1 - 0{,}6(c_{1x} - 1)/(c_x - 1);$$

де $c_{1x}$ — коефіцієнт визначається за формулами $c_{1x} = \frac{M_x}{W_{xn} R_y \gamma_c}$ або $c_{1x} = \beta c_x$ і змінюється в межах $1{,}0 < c_{1x} \le c_x$ (перевірка виконується при обох значеннях $c_{1x}$);

$M_x$ — згинальний момент в розрахунковому перерізі;

$\beta$ — коефіцієнт, що визначається за формулою (9.12) [1];

$c_x$ — коефіцієнт, приймається за таблицею М1 [1].

**160. Які елементи балки і за яких умов можуть втратити місцеву стійкість?**

Під втратою місцевої стійкості розуміють місцеве випинання окремих елементів конструкцій під дією стискаючих нормальних або дотичних напружень. У балках втратити стійкість можуть стиснений пояс від нормальних напружень і стінка від дії нормальних і дотичних напружень або

їх спільної дії. Елементи балки можуть втратити стійкість, якщо діючі в балці напруження більше критичних втрати стійкості.

**161. Як забезпечують місцеву стійкість стінки двотаврової балки?**

Стінка представляє собою довгу тонку пластину, що зазнає дію нормального і дотичного напружень, які можуть викликати втрату стійкості. Але стійкість стінки забезпечують не збільшенням її товщини (перевитрата матеріалу), а зміцненням ребрами жорсткості. Ребра жорсткості ділять стінку на відсіки (панелі), які можуть втратити стійкість незалежно один від іншого.

**162. Чи є залежність місцевої стійкості балки 1-го класу від умовної гнучкості її стінки?**

Якщо умовна гнучкість стінки (9.5.3) [1], $\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w}\sqrt{\frac{R_y}{E}}$ не перевищує значень:

3,5 — при відсутності місцевого напруження у балках з двосторонніми поясними швами;

3,2 — при відсутності місцевого напруження у балках з односторонніми поясними швами;

2,5 — при наявності місцевого напруження в балках з двосторонніми поясними швами,

тоді місцеву стійкість можна вважати забезпеченою.

При цьому треба влаштовувати поперечні ребра жорсткості й опорні ребра відповідно до вимог 9.5.9, 9.5.11, 9.5.13 [1].

**163. Як перевіряється місцева стійкість стінки балки 1-го класу за наявності основних поперечних ребер жорсткості?**

Місцеву стійкість стінок балок 1-го класу симетрічного перерізу (9.5.3) [1], укріплених тільки основними поперечними ребрами жорсткості, при значеннях умовної гнучкості стінки $\bar{\lambda}_w \le 6\sqrt{\frac{R_y}{\sigma}}$ слід вважати забезпеченою, якщо виконується умова $\frac{\gamma_n}{\gamma_c}\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}+\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le 1$,

де $\sigma$ і $\tau$ — фактичні напруження в стінці балки, які виникають під впливом навантаження;

$\sigma_{cr}$ — критичне нормальне напруження, що визначається за формулою $\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2}$;

$c_{cr}$ — коефіцієнт, що визначається за п. 9.5.4–9.5.6 [1];

$\sigma_{loc,cr}$ — критичне місцеве нормальне напруження, що визначається за формулою

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 c_2 R_y}{\bar{\lambda}_w^2},$$

де $c_1$ і $c_2$ — коефіцієнти, що визначаються за 9.5.5 [1];

$\tau_{cr}$ — критичне дотичне напруження, що визначається за формулою

$$\tau_{cr} = 10{,}3\left(1+\frac{0{,}76}{\mu^2}\right)\frac{R_s}{\bar{\lambda}_d^2},$$

де $\mu$ — відношення більшої сторони відсіку (відсік — частина стінки, що відокремлена полками і ребрами жорсткості) до меньшої;

$\bar{\lambda}_d = \frac{d}{t_w}\sqrt{\frac{R_y}{E}}$, $d$ — менша сторона відсіку.

**164. Чи можна перевіряти місцеву стійкість стінок двотаврових балок 2-го і 3-го класів за методикою перевірки балок 1-го класу?**

Ні. Норми пропонують зовсім інші крітерії стійкості стінки. У випадку відсутності у розрахунковому перерезі місцевого нормального напруження ($\sigma_{loc}=0$) перевірка стійкості — це порівняння умовної гнучкості стінки з граничною умовною гнучкістю стінки $\bar{\lambda}_w < \bar{\lambda}_{uw}$. Якщо ця умова виконується, місцева стійкість забезпечена. Значення граничної умовної гнучкості визначається за таблицею 9.8 — Значення граничної умовної гнучкості стінки $\bar{\lambda}_{uw}$ [1] в залежності від середніх дотичних напружень і відносної лінійної деформації стиснутого поясу балки (9.5.8) [1].

**165. В яких місцях і за яких умов треба встановлювати основні поперечні ребра жорсткості стінок балок?**

Поперечні ребра встановлюють у місцях, де до балки прикладені значні нерухомі зосереджені навантаження. Наприклад, посилюють ребрами стінку головної балки там, де на неї обпираються другорядні балки. Умови встановлення ребер залежать від класу балок. У балках першого класу потрібно укріплювати стінку, якщо її умовна гнучкість $\bar{\lambda}_w$ не перевищує 3,2 при відсутності рухомого навантаження на пояс, або 2,2 при наявності такого навантаження. У балках 2-го и 3-го класів — при будь-яких значеннях умовної гнучкості стінки на ділянці довжини балки, в розрахункових перерізах якої враховується розвиток обмежених пластичних деформацій, а на інших ділянках, як для балок 1-го класу. Відстань між поперечними ребрами, как правило, не повинна перевищувати $2h_{ef}$ при $\bar{\lambda}_w > 3,2$ і $2,5h_{ef}$ при $\bar{\lambda}_w < 3,2$.

**166. Що треба включати в розрахунковий переріз ребра жорсткості при перевірці його на стійкість?**

Розрахункова схема ребер жорсткості — це центрально стиснута стійка — для двосторонніх ребер, або позацентрово стиснута (з ексцентриситетом, рівним відстані від серединної площини стінки до центра ваги розрахункового перерізу стінки) — для односторонніх. У розрахунковий переріз стінки треба включати переріз ребра і смуги стінки шириною $0,65t_w\sqrt{\frac{E}{R_y}}$ з кожної сторони ребра, а за розрахункову довжину стійки приймають розрахункову висоту стінки $h_{ef}$.

**167. Коли можна вважати забезпеченою місцеву стійкість стиснутого пояса балки?**

Місцеву стійкість стиснутого пояса балки можна вважати забезпеченою, якщо умовна гнучкість стиснутого пояса, або поясного листа не перевищує значень граничної умовної гнучкості.

Для балок 1-го класу гранична умовна гнучкість визначається за формулами ДБН (9.5.14) [1].

Для балок 2-го класу гранична умовна гнучкість визначається за формулами ДБН (9.5.15) [1].

**168. У чому полягає розрахунок на міцність позацентрово стиснутих і позацентрово розтягнутих стрижнів?**

Якщо стрижень позацентрово завантажений, виникають і подовжні зусилля і згинальні моменти. При відсутності динамічних навантажень та при $R_{yn} \le 440$Н/мм$^2$, $\tau < 0,5R_s$ і $\sigma = N/A_n > 0,1R_y$ перевірка на міцність має такий вигляд (10.1.1) [1]:

$$\left(\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c}\right)^n + \frac{M_x \gamma_n}{c_x W_{xn,min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y \gamma_n}{c_y W_{yn,min} R_y \gamma_c} \le 1,$$

де $N$, $M_x$, $M_y$ — абсолютні значення відповідної поздовжньої сили і згинальних моментів при найбільш несприятливій комбінації розрахункових навантажень;

$n$, $c_x$, $c_y$ — коефіцієнти, які визначають за таблицею М1 [1];

$W_{xn,min}$ — мінімальне з двох значень моментів опору поперечного перерізу елементів відносно осі х–х, разрахованих відповідно для розтягнутого та стиснутого волокна;

$W_{yn,min}$ — аналогічно відносно осі у-у.

**169. Як забезпечити загальну стійкість позацентрово стиснутих елементів при дії згинального моменту?**

Слід розрізняти втрату стійкості в площині дії моменту і з площини. При розрахунку стійкості в площині дії згинального моменту потрібно враховувати коефіцієнт стійкості при позацентровому стисканні $\varphi_e$, який визначається за таблицею Ж3 [1], залежно від умовної гнучкості $\bar{\lambda}$ та приведеного відносного ексцентриситету $m_{ef}$(10.2.2) [1]:

$$\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \le 1.$$

А при розрахунку стійкості із площини дії моменту (10.2.4) [1] враховують коефіцієнт стійкості при центральному стисканні $\varphi_y$ (8.1.3) [1]:

$$\frac{N}{\varphi_y R_y \gamma_c c A} \le 1,$$

де $c$ — коефіцієнт, що визначається за вимогами ДБН (10.2.5) [1].

# 9. ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

## 9.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

**170. У чому полягає проектування металевих конструкцій?**

Проектування — це вибір розрахункової схеми конструкції та перерізу її елементів, визначення їх розмірів, які забезпечать безпечну експлуатацію будівлі при мінімальних витратах металу.

**171. Що треба забезпечити при проектуванні металевих конструкцій?**

На весь час виготовлення, монтажу та експлуатації потрібно забезпечити надійність.

**172. Що є критеріями надійності конструкції?**

Об'єкт чи конструкція можуть вважатись запроектованими надійно, якщо вони відповідають своєму призначенню та зберігають задані експлуатаційні властивості протягом всього терміна експлуатації.

**173. Які основні умови треба враховувати при проектуванні металевих будівельних конструкцій?**

Конструкції треба запроектувати таким чином, щоб в умовах нормальної експлуатації вони мали можливість сприймати навантаження і впливи без руйнувань і недопустимих деформацій, а також мали достатній опір і живучість відносно до аварійних впливів.

**174. Як класифікують об'єкти в залежності від відповідальності будівель і споруд?**

Класифікація пов'язана з рівнем можливих матеріальних збитків і соціальних втрат при руйнуванні об'єкта, або припиненням його експлуатації. Така ситуація може скластися при виникненні небезпеки для здоров'я людей, погіршенні екологічної обстановки довкілля, втраті пам'яток історії і культури або суттєвих ушкодженнях інженерних мереж, важливих для життєзабезпечення населення.

**175. На якому етапі проектування потрібно враховувати клас відповідальності об'єкта?**

Клас відповідальності треба визначити ще перед початком проектування і вказати в технічному завданні на проектування. Визначати повинен замовник за узгодженням з генеральним проектувальником. Помилкове визначення класу відповідальності веде до суворих штрафних матеріальних санкцій до проектувальника, включаючи позбавлення сертифікатів головного архітектора і головного інженера проекту.

**176. За якою методикою треба визначати клас відповідальності об'єкта?**

Класифікація виконується згідно з вимогами таблиці 1 ДБН В.1.2–14–2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». Треба визначити всі характеристики можливих втрат і збитків від відмови об'єкта. Клас будівлі чи споруди присвоюється за найвищою характеристикою.

**177. Як визначити категорію відповідальності конструкцій?**

Визначають три категорії в залежності від наслідків, які можуть бути викликані відмовою конструкції: А — конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації будівлі; Б — відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А; В — конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

**178. Як враховується значущість конструкції при розрахунку?**

Для врахування застосовують коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності) $\gamma_n$, який враховує також можливі наслідки відмови та враховується як множник до роз-

рахункового значення навантаження і визначається за таблицею 5 ДБН В.1.2–14–2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ».

## 9.2. БАЛКИ

*Перевага використання двотаврового перерізу, який створює зосередження матеріалу на максимальному видаленні від нейтральної осі, було знайдено емпірично навіть раніше того, як була розроблена теорія вигину. Треголд рекомендував використання такого перерізу з литого чавуну в 1824 році. Генрі Корт на початку XIX століття почав виготовлення прокатних елементів з ковкого чавуну, а до початку 1850 року був уже освоєний прокат елементів двотаврового перерізу. Виробники конструкцій почали випускати таблиці з геометричними характеристиками перерізів і допустимими навантаженнями. У 1847 році Генрі Філдер отримав патент на конструкції складових балок, виготовлених зі з'єднаних на заклепках плит і кутиків з литого і ковкого чавуну, щоб використовувати литий чавун для роботи на стиск, а ковкий на розтягнення. У 1885 році фірма Дорман Лонг і Компані в Англії почала виробляти прокатні балки, а литий чавун залишався у вживанні до 1914 року при виготовленні колон.*

**179. Який тип перерізу для балок є кращим?**

Найбільш раціональним перерізом є двотавр, тому що в ньому розподіл матеріалу найкращим чином відповідає розподілу нормальних напружень від вигину балки — полиці двотавра розташовані в рівні максимальних напружень. Критерієм ефективності конструкції, що працює на згин, є ядрова відстань — відношення моменту опору до площі перерізу. Чим вона більше, тим переріз більш вигідний, а ядрова відстань двотавра в 2 рази більше прямокутного перерізу і в 3 рази більше круглого.

**180. Як класифікують балки?**

Балки класифікують за методом виготовлення: прокатні і складові — зварні, болтові, клепані; за перерізом: двотаврові, швелерні і складові з декількох двотаврів, швелерів, кутиків і т. п.; за кількістю прольотів — одно- й багатопрольотні; за конструктивною схемою — розрізні, нерозрізні та консольні; за умовами закріплення — шарнірно-обперті і жорстко затиснені, а також тонкостінні, з гнутих профілів, бістальні (з двох марок сталі), попередньо напружені.

**181. Як компонують балочне перекриття?**

Балочне перекриття компонується у вигляді балочної клітки, що складається з системи несучих балок і обпертого на них настилу, який, як правило, виконують металевим або залізобетонним. Розрізняють три типи балкових клітин: спрощений, нормальний і ускладнений. У спрощеному варіанті навантаження передається через настил на балки настилу, розташовані з рівним кроком, паралельно короткій стороні перекриття і далі на стіни. У нормальному — навантаження від настилу передається на балки настилу, які спираються на балки, звані головними, а від них на стіни або колони. В ускладненому — навантаження від балок настилу передається на розташовані під ними допоміжні балки, а від них на головні.

**182. Як вибрати спосіб обпирання балок?**

Існує три способи взаємного обпирання чи, інакше, сполучення балок. Найбільш простим вважається поверховий, коли балки настилу обпираються на верхній пояс головних балок. Фіксація балок настилу в проектному положенні здійснюється болтами, встановленими конструктивно. Однак при цьому отримуємо велику будівельну висоту перекриття (будівельна висота — відстань від низу головної балки до верху настилу). Для зменшення будівельної висоти застосовують обпирання в рівень — коли верхні пояси головної балки і балки настилу знаходяться на одному рівні, а обпирання балок забезпечується болтами, що з'єднують стінку балки настилу і ребро жорсткості головної балки. Кількість і діаметр болтів визначається розрахунком на зріз болта і зминання сталі

стінки балки настилу і ребра головної балки від опорної реакції балки настилу. Іноді зустрічається і знижене обпирання. Воно застосовується при ускладненій балочній клітці, коли необхідно зберегти велику висоту головних балок. У цьому випадку допоміжні балки розташовуються нижче рівня верхнього поясу головних, а на допоміжні поверхово спирають балки настилу.

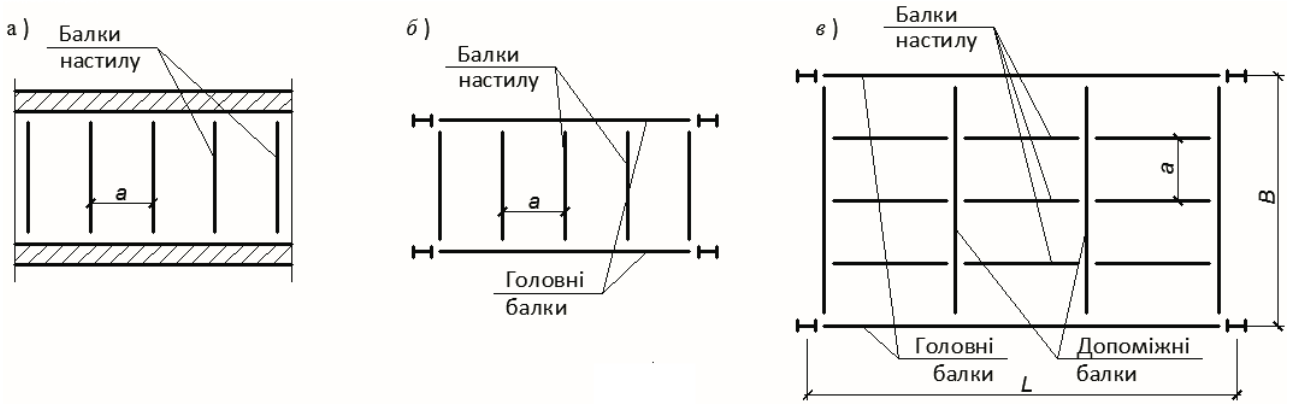



Рис. 9.1. Типи балкових клітин:
*а* — спрощений; *б* — нормальний; *в* — ускладнений

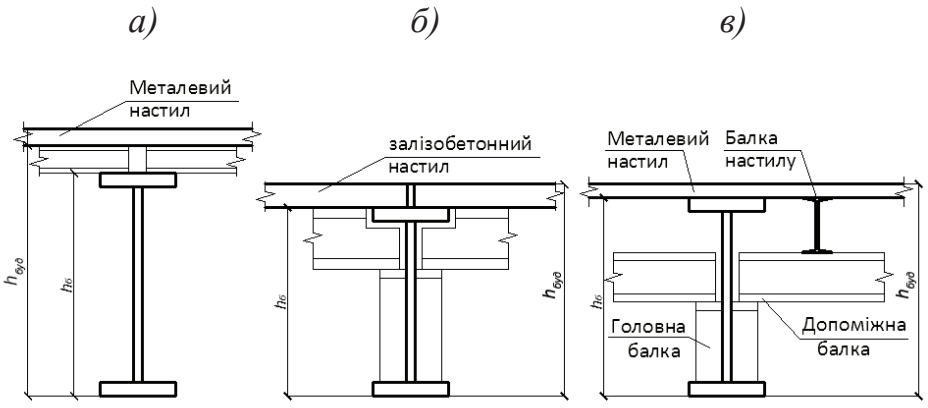



Рис. 9.2. Сполучення балок:
*а* — поверхове; *б* — в рівень; *в* — знижене; $h_{буд}$ — висота перекриття; $h_b$ — висота балки

**183. Як визначити відстань між балками?**

Відстань між балками називають кроком балок і визначають розрахунком. Очевидно, що при збільшенні відстані між балками збільшується і вантажна площа і відповідно навантаження на балку. При проектуванні балок настилу необхідно вибрати такий крок, щоб їх кількість була мінімальною і при цьому вони повинні бути прокатними. Зазвичай їх крок знаходиться в межах від 0,6 до 3–4 метрів залежно від несучої здатності настилу. Крок допоміжних балок призначають від 2 до 5 метрів. Крок як допоміжних, так і балок настилу повинен бути кратним довжині головної балки.

**184. Як спроектувати ефективний сталевий настил для балочної клітки?**

Під ефективним слід розуміти настил, що має необхідну несучу здатність і мінімальну витрату сталі. Конструктивне рішення настилу можливе у двох варіантах: сталевий лист, приварений до балок настилу, або той же сталевий лист, посилений ребрами з кутиків. Завдання проектувальника в зменшенні товщини сталевого листа, тому що в двотаврових балках настилу, що працюють на вигин, матеріал працює краще, ніж в настилі прямокутного перерізу. Для цього необхідно зменшувати крок балок настилу, але до певної межі, з урахуванням діючого навантаження. Тому для настилів слід використовувати листи товщиною 6–8 мм при навантаженні $q \le 10$ кН/м$^2$; 8–10 мм при $11 \le q \le 20$ кН/м$^2$; 10–12 мм при $21 \le q \le 30$ кН/м$^2$; 12–14 мм при $q > 30$ кН/м$^2$. Приварка настилу до балок унеможливлює зближення опор настилу при його про-

гині під навантаженням, що викликає в ньому розтягуючі ланцюгові зусилля, що зменшують згинальний момент і тим поліпшують роботу настилу в прольоті. Корисне рівномірно розподілене навантаження на настил перекриття задається до 40 кН/м$^2$. А граничний відносний прогин не більше $[f / l] \leq 150$.

**185. Які прокатні балки рекомендується використовувати?**

В якості прокатних балок, що працюють на вигин, рекомендуються двотаври по ГОСТ 8239–89, нормальні двотаври по ГОСТ 26020–83 типу Б, широкополочні двотаври типу Ш, і для прокатних прогонів скатних покрівель — швелери по ГОСТ 8240–89.

**186. Який порядок розрахунку прокатної балки, що працює на згин, під дією рівномірно розподіленого навантаження?**

Розрахунок починається з визначення розрахункової схеми, потім обчислюють погонне (на 1 погонний метр балки) навантаження, виходячи з вантажної площі балки. Визначають максимальний згинальний момент і максимальну поперечну силу. Потім обчислюють необхідний момент опору перерізу (як найкращий переріз для балки — прокатний двотавр). За моментом опору з сортаменту вибирають двотавр, момент опору якого найближчий більший необхідного, і виписують геометричні характеристики вибраного перерізу, включаючи вагу одного метра двотавра. Наступний етап розрахунку — перевірки по першій і другій групі граничних станів. За першою групою перевірка міцності полягає у визначенні максимальних нормальних і дотичних напружень, що виникають у балці під дією навантаження і порівнянні їх, відповідно, з розрахунковим опором текучості сталі і розрахунковим опором сталі зрізу. По другій групі перевірка нормальної експлуатації — визначення фактичного прогину балки і порівняння з граничним нормативним. Далі необхідно перевірити загальну стійкість балки. Вона забезпечена у випадку, якщо на верхній стиснений пояс балки обпирається жорсткий настил, надійно з ним пов'язаний, або якщо умовна гнучкість стиснутого пояса менше його граничної умовної гнучкості. Місцеву стійкість стінки і поясів не перевіряють, оскільки вона забезпечена при проектуванні сортаменту прокатних двотаврів.

**187. Яка розрахункова схема у балки настилу в балочній клітці нормального типу?**

Однопролітна шарнірно обперта балка під дією рівномірно розподіленого навантаження.

**188. Як визначити рівномірно розподілене навантаження на балку настилу?**

Спочатку визначають суму постійного і корисного навантаження на один квадратний метр настилу. Постійне навантаження — це власна вага балки і настилу. Вагу одного метра балки виписують з сортаменту, власну вагу настилу залежно від матеріалу настилу і його товщини визначають шляхом множення обсягу одного квадратного метра настилу на його щільність. Величина корисного навантаження залежить від призначення будівлі і може визначатися або за ДБН В.1.2–2: 2006 «Навантаження и впливи», або за паспортами обладнання, яке буде розміщено на перекритті, або відповідно з технічним завданням на проектування. Для розрахунку потрібне погонне рівномірно розподілене навантаження на балку. Воно залежить від кроку балок. При рівному кроці погонне навантаження отримують множенням сумарного навантаження на один квадратний метр на крок балок. Якщо крок змінний, то погонне навантаження отримують множенням сумарного навантаження на суму половин кроків з двох сторін балки. Отримане навантаження є нормативним або характеристичним, для отримання розрахункового при обчисленні постійного і корисного навантажень необхідно врахувати значення коефіцієнтів надійності по навантаженню.

**189. Чому дорівнює вантажна площа балки?**

Множенню кроку балок на довжину балки.

**190. Що робити, якщо не виконуються перевірки прокатної балки за першою або другою групою граничних станів?**

1. Вибрати з сортаменту наступний номер двотавра і повторити перевірки.

2. Якщо не виконується перевірка по першій групі, тобто по міцності, можна збільшити розрахунковий опір сталі.

**191. При перевірці за другою групою граничних станів критерієм нормальної експлуатації балки служить її абсолютний прогин в одиницях довжини або відносний в частках?**

Критерієм, зазначеним у нормах, служить відносний прогин — відношення абсолютного прогину балки, отриманого в одиницях довжини (метрах, сантиметрах, міліметрах), до довжини балки. Зі збільшенням довжини балки збільшується і допустимий прогин, і навпаки, зі зменшенням довжини балки зменшується і допустимий прогин. Абсолютний прогин (конкретне число в метрах, сантиметрах або міліметрах) не може служити нормативним критерієм, загальним для балок будь-якої довжини.

**192. Який настил в балочній клітці можна вважати жорстким і надійно пов'язаним з балками настилу?**

Жорсткою і надійно пов'язаною з балками настилу можна вважати монолітну залізобетонну плиту, обперту на верхній стиснений пояс балки настилу. Якщо в якості настилу використовуються збірні залізобетонні плити, то їх можна вважати жорсткими. Ступінь надійності зв'язку між ними і балками настилу залежить від відстані між закладними деталями плит, які приварюються до балок. Загальна стійкість балок настилу в цьому випадку буде забезпечена відповідно до вимог норм: якщо умовна гнучкість стиснутого пояса балки, величина якої залежить від розрахункової довжини балки — відстані між точками закріплення стиснутого пояса (закладними деталями плит) від горизонтальних зміщень, буде менше граничної умовної гнучкості. У випадку, якщо настил являє собою сталевий лист, приварений до балок настилу, то надійність зв'язку з балками визначається товщиною настила і відстанню між точками приварювання.

**193. Чи є відмінність у розрахунку балок різних класів (1-го, 2-го і 3-го), що працюють на вигин, під дією рівномірно розподіленого навантаження?**

Методика розрахунку, в цілому, однакова. Відмінність полягає в необхідності для балок 2-го та 3-го класів враховувати пружно-пластичний характер роботи сталі, для чого в розрахунок вводять додаткові коефіцієнти.

**194. Від чого залежить умовна гнучкість стиснутого пояса балки і як її ефективно зменшити?**

Вона залежить від розрахункової довжини балки, ширини пояса, модуля пружності і розрахункового опору сталі. Найбільший ефект для зменшення гнучкості дає зменшення розрахункової довжини балки.

**195. Як збільшити умовну граничну гнучкість стиснутого пояса балки?**

Для цього необхідно збільшити відношення ширини пояса до його товщини і відношення ширини пояса до висоти балки.

**196. Що робити, якщо перевірка прокатної балки за другою групою граничних станів не виконується, а балок з великим номером немає?**

У такому випадку жорсткість балки можна підвищити шляхом приварювання до поясів додаткових листів або створивши в балці попереднє напруження.

**197. Як забезпечити стійкість балок настилу під збірним настилом, якщо перевірка не виконується, а замінити залізобетонні плити неможливо?**

У такому випадку необхідно встановити додаткові зв'язки у вигляді сталевих прокатних балок, розкріплюючих балки настилу, тобто зменшуючих їх розрахункову довжину.

**198. Чи можуть головні балки бути прокатними?**

Головними можуть бути як прокатні, так і складові балки. Застосування складових доцільно тільки у випадку, якщо прокатні не можна застосувати через обмеженість сортаменту.

**199. Яка розрахункова схема головної балки?**

Однопрольотна шарнірно обперта балка, завантажена зосередженим навантаженням. Як варіант можлива і багатопрольотна нерозрізна балка, завантажена зосередженим навантаженням.

**200. Що є навантаженням для головної балки?**

Опорні реакції балок настилу.

**201. Чи є відмінність у розрахунку складових головних балок і прокатних балок настилу?**

Методика розрахунку однакова — за двома групами граничних станів. Відмінності полягають в наступному: геометричні характеристики поясів і стінки головної балки потрібно розраховувати, а не виписувати з сортаменту; потрібно забезпечити місцеву стійкість елементів головної балки.

**202. Чи є відмінність у розрахунку прокатних головних балок і прокатних балок настилу?**

Ні, методика розрахунку однакова. Відмінністю можна вважати тільки навантаження: у балок настилу воно рівномірно розподілене, у головних — зосереджене.

**203. З чого починається підбір перерізу головної складової балки?**

З визначення висоти балки. Визначають мінімально допустиму висоту й оптимальну висоту. Зі зміною висоти функції маси поясів і стінки змінюються неоднаково — одна спадає, а інша зростає. Тому існує висота, при якій сумарна маса поясів і стінки буде мінімальною. Ця висота називається оптимальною по металоємності. Мінімальна висота визначається жорсткістю балки, її граничним прогином. Тобто приймати висоту менше мінімальної не можна, тому що не буде виконано вимогу нормальної експлуатації балки (друга група граничних станів).

**204. Як призначити висоту складової балки?**

Спочатку призначають висоту стінки складової балки. Вона повинна бути близькою до оптимальної та не менше мінімальної, з обов'язковим погодженням з номенклатурою сортаменту листової сталі. При визначенні надалі висоти балки треба буде врахувати товщини поясів. Також необхідно пам'ятати, що сума висоти складової балки і товщини настилу при спрощеній балочній клітці, або сума висоти складової балки, балки настилу і товщини настилу, при нормальній балочній клітці не повинні перевищувати заданої будівельної висоти перекриття.

**205. Що таке будівельна висота перекриття?**

При спрощеній балочної клітці це відстань від низу балки настилу до верха настилу; при нормальній балочній клітці — це відстань від низу головної балки до верха настилу.

**206. Що робити, якщо сума висоти головної балки, балки настилу і товщина настилу перевищує задану будівельну?**

При поверховому обпиранні необхідно перейти до обпирання балок в рівень. При обпиранні балок в рівень можна спробувати змінити переріз балки, наприклад, замість одного двотавра прийняти два спарених меншої висоти.

**207. Як забезпечити загальну стійкість головної балки?**

Вона забезпечена, якщо на верхній стиснений пояс балки спирається жорсткий настил, надійно з ним пов'язаний (такий варіант можливий при обпиранні балок в рівень), або якщо умовна гнучкість стиснутого пояса менше його граничної умовної гнучкості. Розкріпляють головну балку, забезпечуючи її загальну стійкість, балки настилу. Зміна кроку балок настилу зменшує (збільшує) умовну гнучкість стиснутого пояса головної балки. При необхідності між балками настилу можна встановити додаткові зв'язки з прокатних профілів.

**208. Чи є додаткові умови при призначенні розмірів поясів і стінки складової балки, крім розрахунку на дію згинального моменту і поперечної сили?**

Розміри $h_w$, $b_f$ і $t_f$ повинні відповідати стандартам прокату універсальної широкоштабової сталі і відповідати умовам:

технології зварюваності

$$t_f \le 3 \cdot t_w;$$

місцевої стійкості стиснутого поясу

$$\frac{b_f}{t_f} \le \sqrt{\frac{E}{R_y}};$$

рівномірного розподілу напружень по ширині поясу

$$b_f = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5}\right) \cdot h_w;$$

конструктивності

$$b_f \ge 180 \text{ мм};$$

$$t_f \le 40 \text{ мм};$$

$$t_w \ge 6 \text{ мм}.$$

**209. Під впливом яких чинників може статися втрата місцевої стійкості стінки складової балки?**

Стінка складової балки — це довга тонка пластина, що знаходиться під впливом нормальних і дотичних напружень, які можуть привести до втрати її стійкості (місцевого випинання).

**210. Як забезпечити місцеву стійкість стінки складової балки?**

Місцеву стійкість стінки складової балки можна забезпечити зменшенням її гнучкості, тобто збільшенням її товщини. Проте подібне рішення призводить до значної перевитрати сталі та невиправданого дорожчання конструкції. Більш раціональним вважається посилення стінки ребрами жорсткості, встановленими в місцях розташування зосереджених навантажень, по усій висоті стінки.

**211. Що розуміють під відсіком складової балки?**

Частину стінки, обмежену поясами і ребрами жорсткості. Довжина відсіку (відстань між ребрами жорсткості) $a_r$ обмежується залежно від величини умовної гнучкості стінки балки:

$$\overline{\lambda_w} = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

де $h_{ef}$ – розрахункова висота стінки,

$$h_{ef} = h_w - 2 \cdot k_f,$$

$k_f$ — катет шва, яким приварюють пояси до стінки.

Відстань між поперечними ребрами жорсткості $a_r$ не повинна перевищувати:

$$a_r = 2 \cdot h_{ef} \text{ при } \overline{\lambda_w} > 3,2;$$

$$a_r = 2,5 \cdot h_{ef} \text{ при } \overline{\lambda_w} \le 3,2.$$

При невиконанні цих умов встановлюють додаткові ребра жорсткості між допоміжними балками, посередині відсіку, зменшуючи його довжину в два рази.

**212. Чому умовну гнучкість стінки складової балки порівнюють з цифрою 3,2 при визначенні відстані між проміжними ребрами жорсткості?**

Поблизу від опори балки стінка піддається впливу значних дотичних напружень, внаслідок чого вона перекошується й у напрямку траєкторій головних стискаючих напружень стискається. Під впливом стиснення стінка може випинатись, утворюючи хвилі, нахилені до балки під кутом близьким до 45°.

Для балки, стінка якої не укріплена ребрами жорсткості, критичне дотичне напруження, одержане з урахуванням пружного защемлення стінки в поясах, виражається формулою: $\tau_{cr} = 10,3\frac{R_y}{\overline{\lambda_w^2}}$. З рівності $\tau_{cr} = R_y$ отримуємо граничну гнучкість стінки $\overline{\lambda_w} = \sqrt{10,3} = 3,2$ при якій втрата стійкості стінки від дії одних дотичних напружень раніше втрати міцності відбутися не може.

**213. Коли застосовують односторонні, а коли двосторонні ребра жорсткості стінки складової балки?**

Ребра жорсткості, можуть бути одно- і двосторонніми. Односторонні ребра застосовуються при поверховому сполученні балок, а двосторонні при сполученні в одному рівні, тому що в цьому випадку до ребер жорсткості прикріплюються балки настилу.

**214. У чому полягає розрахунок проміжних ребер жорсткості стінки складової балки?**

Двосторонні ребра жорсткості розраховують як центрально стиснутий умовний стрижень. У розрахунковий переріз стрижня $A_r$ необхідно включати переріз ребер жорсткості і смуги стінки шириною $0,65 \cdot t_w \cdot \sqrt{E/R_y}$ з кожного боку ребра, а розрахункову довжину ребра приймати рівній розрахунковій висоті стінки $h_{ef}$:

$$A_r = 2 \cdot b_r \cdot t_r + 2 \cdot 0,65 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} \cdot t_w.$$

**215. Як перевіряється місцева стійкість складової балки 1-го класу симетричного перерізу?**

Місцева стійкість стінок балок першого класу забезпечена при виконанні умови

$$\frac{\gamma_n}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le 1,$$

при $\overline{\lambda_w} \le 6\sqrt{\frac{R_y}{\sigma}}$.

Перевірку місцевої стійкості стінок балок 1-го класу слід виконувати для розрахункових перерізів, де найбільші стискуючі нормальні напруження $\sigma$, середні дотичні напруження $\tau$ і місцеві нормальні напруження $\sigma_{loc}$, обумовлені зосередженим навантаженням, прикладеним до пояса балки; $\sigma_{cr}$, $\sigma_{loc,cr}$, $\tau_{cr}$ — відповідно критичне нормальне напруження, критичне місцеве напруження, критичне дотичне напруження. Тобто перевірка полягає в порівнянні фактичних напружень в розрахунковому перерізі з критичними (критичні — напруження, при досягненні яких стінка балки втрачає стійкість). Якщо фактичні перебільшують критичні, треба зменшити гнучкість стінки за рахунок зменшення відстані між проміжними ребрами жорсткості. На практиці рекомендується встановити додаткові ребра жорсткості в середині кожного з відсіків балки, зменшивши довжину відсіків в два рази, і повторити розрахунок місцевої стійкості стінки з початку.

**216. Як забезпечити місцеву стійкість стиснутого пояса складової балки?**

Для балок 1-го класу місцева стійкість стиснутого пояса вважається забезпеченою, якщо умовна гнучкість звису пояса не перевищує значень граничної умовної гнучкості: $\overline{\lambda_f} < \overline{\lambda_{uf}}$ (9.5.14) [1]; для балок 2-го і 3-го класів, якщо $\overline{\lambda_f} < \overline{\lambda_{uf}}$ (9.5.15) [1].

**217. Як забезпечити місцеву стійкість стінки складової балки?**

Місцева стійкість стінок балок 1-го класу забезпечена, якщо виконані вимоги 9.4.1–9.4.5, 9.5.1–9.5.5 [1] і умовна гнучкість стінки $\overline{\lambda_w} = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ не перевищує значення 3,5 — за відсутності місцевого напруження у балках з двосторонніми поясними швами; значення 3,2 — те саме у балках з односторонніми поясними швами; значення 2,5 — за наявності місцевого напруження у балках з двосторонніми поясними швами (9.5.1) [1].

Місцева стійкість стінок балок 2-го і 3-го класів двотаврового перерізу вважається забезпеченою, якщо значення умовної гнучкості стінки не перевищують значення граничної умовної гнучкості стінки $\overline{\lambda_w} < \overline{\lambda_{uw}}$ (9.5.8) [1].

**218. Якими способами можна з'єднати пояси зі стінкою складової балки?**

У зварних балках поясними швами, а в балках з фрикційними болтовими з'єднаннями нижній пояс кріплять швами, а верхній — високоміцними болтами. Таке з'єднання запобігає зсуву поясів щодо стінки при згині балки.

**219. Чи допускається застосовувати односторонні поясні шви при з'єднанні поясів зі стінкою балки?**

Допускається в зварних двотаврових балках, несучих статичне навантаження, симетрично розташоване щодо поперечного перерізу балки, що працює в пружній стадії, при забезпеченні стійкості стиснутого пояса і відсутності місцевих зосереджених навантажень.

**220. На яку силу ведеться розрахунок з'єднань поясів і стінки?**

На силу зсуву стінки щодо пояса. У зварних балках її визначають через дотичні напруження $T = \tau t_w = QS_f / I$.

Зсувна сила прагне зрізати поясні шви і тому для забезпечення міцності з'єднання опір цих швів зрізу повинен бути не менше сили $T \le n\left(\beta k_f R_w\right) min$.

З цієї формули визначають необхідний катет кутового шва

$$k_f \le \frac{QS_f}{In\left(\beta R_w\right) min},$$

де $Q$ — поперечна сила, $n$ = 1 (2) — при односторонніх (двосторонніх) швах; $(\beta Rw)_{\min}$ — менше з множень глибини проплавлення на розрахунковий опір по умовному зрізу шва або по зрізу металу на межі сплавлення шва; $S_f$ — статичний момент пояса відносно нейтральної осі перерізу балки; $I$ — момент інерції перерізу балки.

**221. Як виконати стик балок?**

Розрізняють два типи стиків: заводські й монтажні (укрупнювальні).

Стики окремих частин будь-якого з елементів балки (стінки або поясу), що виконуються на заводі, називають заводськими. Для зменшення ослаблення перерізу заводські стики різних елементів розташовують по довжині балки «врозбіжку», тобто в різних місцях. При виборі місця стику по довжині балки керуються конструктивними міркуваннями. Наприклад, стик в елементах головних балок не повинен збігатися з місцем примикання балок настилу або розташуванням ребер жорсткості. Коли розміри і маса конструкції не дозволяють доставити її на будмайданчик цілком, то балку ділять на відправні марки (як правило, однакової довжини), які з'єднують в умовах монтажу за допомогою монтажних стиків. Такі стики рекомендується розташовувати в середині прольоту або симетрично щодо середини прольоту. І заводські, і монтажні стики прокатних балок зазвичай виконують за допомогою зварювання. Для з'єднання рекомендується простий спосіб — встик.

Для зменшення зварювальних напружень починати варити треба з менш жорсткого елемента — стінки. Однак на монтажі при ручному зварюванні розтягнутий пояс в стику матиме меншу міцність, ніж поза стику, через те, що розрахунковий опір зварного шва встик на розтяг $R_{wy}$ менше розрахункового опору основного металу $R_y$.

$$M_{стику} = M\left(R_{wy} / R_y\right) \approx 0{,}85M$$

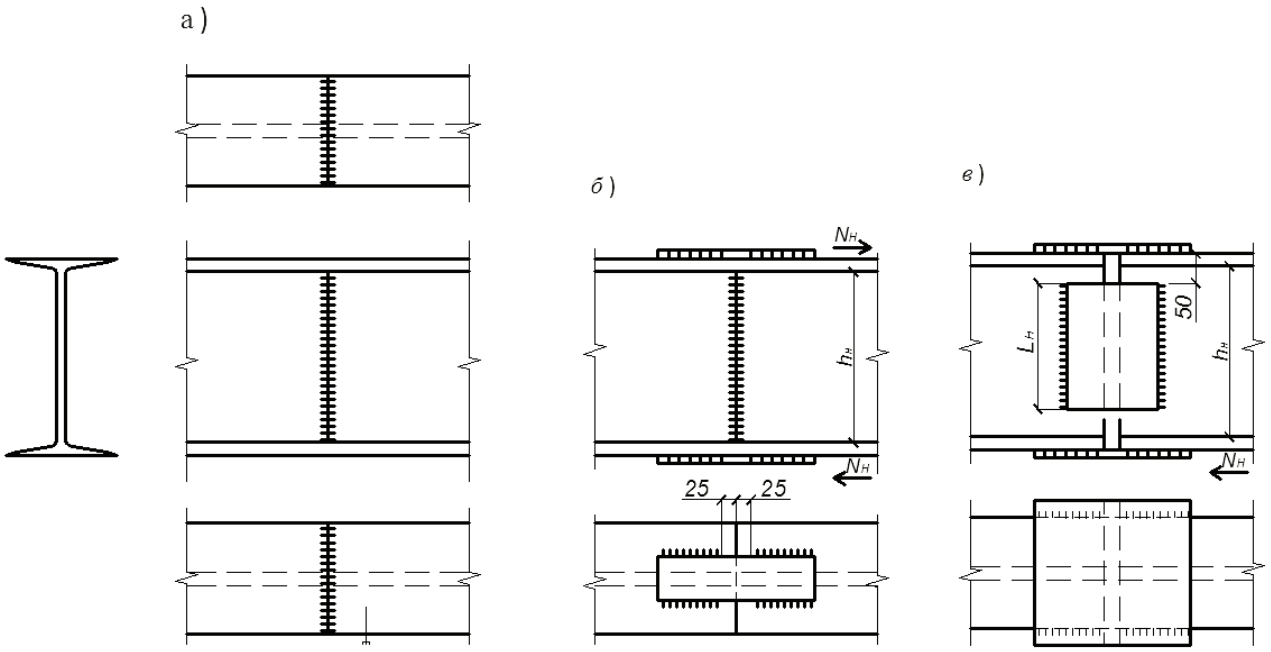



Рис. 9.3. Стики прокатних балок:
*а* — встик; *б* — встик з накладками; *в* — тільки з накладками

Тому при стиковому з'єднанні балок полки підсилюють накладками. Довжину накладки визначають по довжині необхідного зварного кутового шва, який розраховують по зусиллю, діючому в накладці. Ширину і товщину накладки задають конструктивно, виходячи з геометричних розмірів поясів балки.

Згинальний момент у стику сприймається стиковими швами і накладками $M = WR_{wy} + N_n h_n$.

Розрахункове зусилля в накладці $N_n = (M\text{-}WR_{wy}) / h_n$.

Площа поперечного перерізу накладки $A_n = N_n / R_{wy}$.

Щоб зменшити зварювальні напруження, кутові шви, що прикріплюють накладку до балки, не доводять до осі стику на 25 мм з кожного боку. Виконання заводського стику складених балок починають зі з'єднання листів поясів і стінки ще до з'єднання їх в балку. Як правило, для стиснених поясів застосовують з'єднання встик при повному проварюванні, для чого використовуються технологічні планки, на які виводять кінці швів. Таке з'єднання не розраховують, вважаючи рівноміцним основному металу. Стики розтягнутих поясів вважають равноміцними основному металу тільки при перевірці спеціальними методами контролю. Якщо перевірку здійснити неможливо, то такі шви подовжують, роблячи їх косими під кутом 60° до вісі балки. Заводські стики стиснутого пояса і стінки балки завжди роблять прямими.

На монтажу стиснутий пояс і стінку з'єднують прямим швом встик, а розтягнутий пояс — косим під кутом 60° до вісі балки. Такий стик вважається рівноміцним основному металу і не розраховується. Щоб зменшити зварювальні напруження, спочатку зварюють поперечні стикові шви стінки (рис. 9.4 1) і поясів (2), маючих найбільшу поперечну усадку. Залишені не заварені ділянки поясних швів по 500 мм дають можливість поясним листам витягуватися при усадці швів (2). Останніми заварюють кутові шви (3), що мають невелику поздовжню усадку.

Стики складених балок можуть виконувати і за допомогою високоміцних болтів з накладками. Зусилля в елементі на накладки передаються силами тертя, що виникають при щільному притисненні накладок до балки болтами. Кожний пояс балки перекривають трьома накладками з двох сторін, а стінку двома вертикальними накладками. Площа перерізу накладок повинна бути не менше площі перерізу перекриваємого елемента балки. Для зменшення розмірів і маси накладок болти в стику треба ставити на мінімально допустимих відстанях один від іншого. Розрахунок стику кожного елемента балки ведеться окремо, а згинальний момент розподіляється рівномірно між поясами і стінкою пропорційно їх жорсткості.

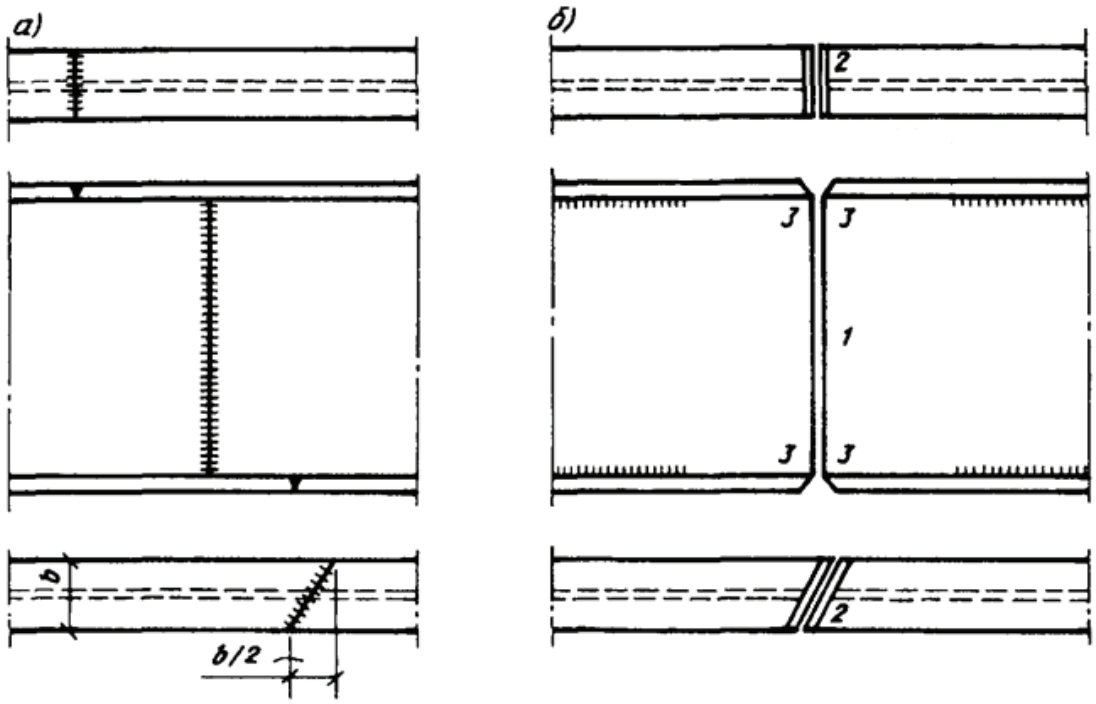



Рис. 9.4. Стики складених балок. Заводський (а) і монтажний (б) стики балок

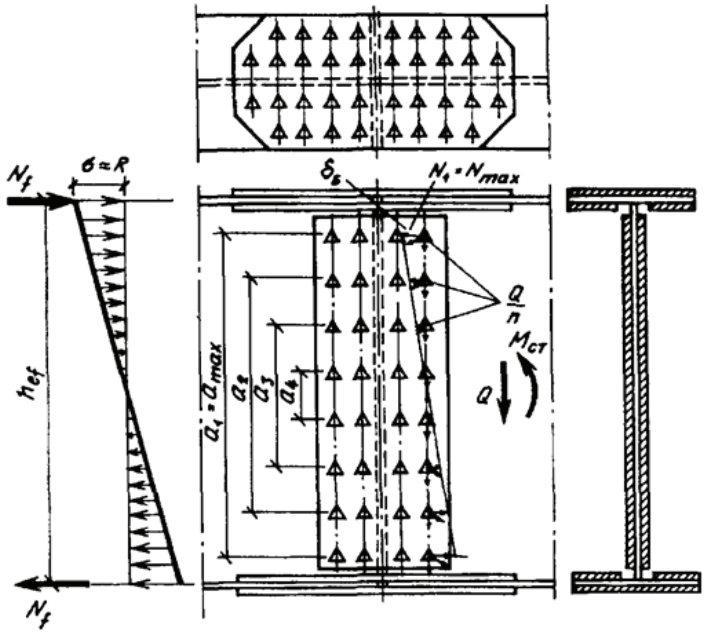



Рис. 9.5. Монтажний стик складової балки на високоміцних болтах

**222. Які особливості конструювання і розрахунку опорного вузла балки при її обпиранні на колону крайнього ряду?**

Опорний тиск в головних балках передається на крайні колони через два опорні ребра, розташовані по осі колони. Нижні торці ребер в цьому випадку фрезеруються для щільного пригону до нижнього поясу балки, а для пропуску поясних швів в опорних ребрах зрізують кути, що зменшує їх ширину по торцю на 40 мм.

Опорні ребра перевіряють: на зминання торців, на загальну втрату стійкості. Ділянку стінки балки в опорному перерізі слід розраховувати на втрату загальної стійкості, як центрально стиснутий стрижень, навантажений опорною реакцією головної балки.

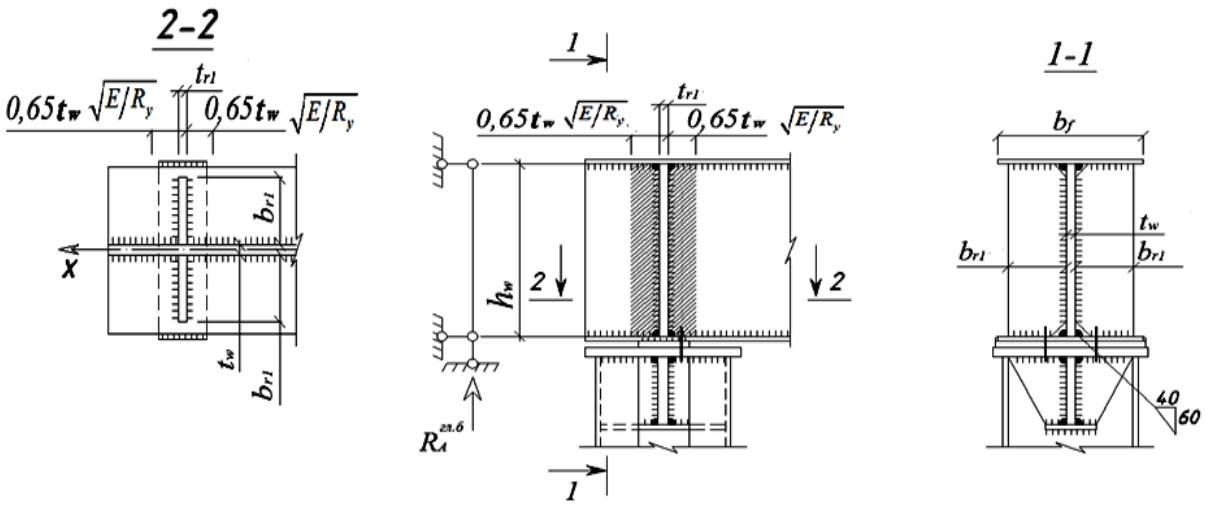



Рис. 9.6. Вузол обпирання головних балок на колони крайнього ряду

У разі зміцнення стінки опорними ребрами з шириною виступаючої частини $b_{r1}$ в розрахунковий переріз цього стрижня слід включати переріз опорних ребер і смуги стінки шириною не більше ніж $0,65 \cdot t_w \sqrt{E/R_y}$ з кожного боку ребра (9.5.13) [1].

Необхідна ширина опорного ребра: $b_{r1} \le 0,5 \cdot (b_f - t_w)$.

Дійсна ширина приймається кратною 5 мм. Товщина опорного ребра $t_{r1}$ повинна бути не менша, ніж $3 \cdot b_{r1} \sqrt{R_y / E}$, де $b_{r1}$ — ширина частини, що виступає. Остаточну товщину ребер пов'язуємо з сортаментом листової сталі.

Площа перерізу такого умовного вертикального стрижня включає опорні ребра і ділянку стінки з кожного боку ребра. Розрахункова довжина стрижня приймається рівною висоті стінки $h_w$.

Площа перерізу умовного стрижня: $A_{r,1} = 2 \cdot b_{r1} \cdot t_{r1} + 2 \cdot 0,65 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} \cdot t_w$.

Момент інерції, радіус інерції і гнучкість такого стрижня будуть відповідно рівні:

$$I_{r,x1} = \frac{t_{r1} \cdot (2 \cdot b_{r1} + t_w)^3}{12}; \; i_{r,x1} = \sqrt{\frac{I_{r,x1}}{A_{r,1}}}; \; \lambda_{r,x1} = \frac{h_{ef}}{i_{r,x1}} \le [120].$$

Умовна гнучкість стиснутого стрижня $\overline{\lambda}_{r,1} = \lambda_{r,x1} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

Коефіцієнт стійкості $\varphi_1$ при центральному стисканні визначається по т. Ж. 1 Додатка [1] залежно від умовної гнучкості $\overline{\lambda}_{r,1}$ і типу кривої стійкості (перерізу «*b*») т. 8.1 [1].

Розрахунок на стійкість елементів суцільного перерізу при центральному стисканні виконується за формулою: $\frac{N}{\varphi_1 \cdot A_{r1} \cdot R_c \cdot \gamma} \le 1$.

Розрахунок на зминання торців опорних ребер: $\sigma = \frac{R_A^{гл.б}}{2 \cdot (b_{r1} - 1,5 \; cm) \cdot t_{r1} \cdot R_P} \le 1$; $R_P$ — розрахунковий опір сталі зминанню торцевої поверхні (за наявності пригонки): $R_P = \frac{R_{un}}{\gamma_m}$; $R_{un}$ — характеристичний опір листового прокату.

**223. Які особливості конструювання і розрахунку опорного вузла балки при її обпиранні на колону середнього ряду?**

На колоні середнього ряду встановлюються дві головні балки, що призводить до необхідності компактнішого рішення їх вузлів обпирання (рис. 9.7). У цьому випадку єдине опорне ребро приварюється до торця балки, нижню частину якого стругають.

Ширина ребра призначається з умови: $b_{r2} \le b_f$, частина опорного ребра, що виступає: $b_r = (b_{r2} - t_w)/2$.

Товщина опорного ребра $t_{r2}$ повинна бути не менша, ніж $3 \cdot b_r \sqrt{R_y / E}$, де $b_r$ — ширина частини, що виступає.

Остаточно товщину ребра пов'язуємо з сортаментом листової сталі.

Опорне ребро перевіряють:

– на зминання торця

$$\sigma = \frac{N\gamma_n}{b_{r,2} \cdot t_{r,2} \cdot R_P} \le 1.$$

Опорне ребро (рис. 9.7) приварене до торця головної балки і повинне виступати вниз не більше ніж на $1{,}5 \cdot t_r$;

– на загальну втрату стійкості.

У середній частині по довжині опорного ребра можлива його втрата стійкості.

Стійкість опорного ребра перевіряється з урахуванням участі в роботі примикаючої частини стінки балки (рис. 9.7). В цьому випадку площа, момент інерції, радіус інерції поперечного перерізу і гнучкість умовного стрижня будуть рівні:

$$A_{r,2} = b_{r2} \cdot t_{r2} + 0{,}65 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} \cdot t_w; \; i_{r,x2} = \sqrt{\frac{I_{r,x2}}{A_{r,2}}} \; \lambda_{r,x2} = \frac{h_{ef}}{i_{r,x2}} \le [120].$$

Умовна гнучкість стиснутого стрижня:

$$\overline{\lambda}_{r,2} = \lambda_{r,x2} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}.$$

Коефіцієнт стійкості $\varphi_2$ при центральному стисканні визначається по т. Ж. 1 Додатка [1] залежно від умовної гнучкості $\overline{\lambda}_{r,2}$ і типу кривої стійкості (перерізу «*c*») т. 8.1 [1].

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi_2 \cdot A_r \cdot R_y \cdot \gamma_c} \le 1.$$

Нижні торці опорних ребер повинні бути фрезеровані або щільно пригнані чи приварені до нижнього пояса балки (9.5.13) [1]. Напруження в розрахунковому перерізі опорного ребра при дії опорної реакції не повинні перевищувати розрахункового опору сталі у випадках влаштування опорного ребра:

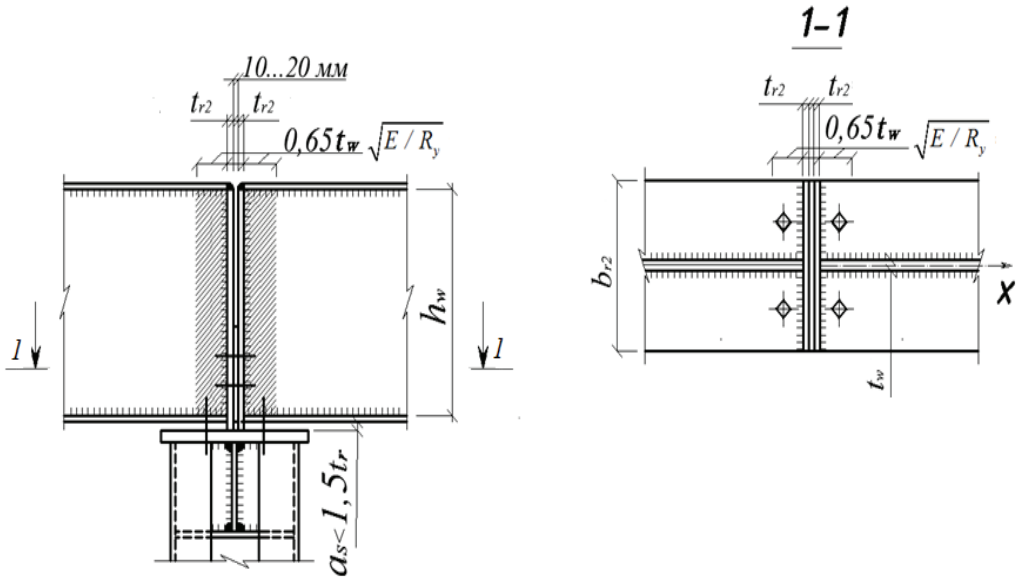



Рис. 9.7. Вузол обпирання головних балок на колони середнього ряду

– у торці із застосуванням фрезерування — зминання $R_p$ при $a \le 1{,}5 \cdot t$ і стискання $R_y$ при $a > 1{,}5 \cdot t$;
– зі зміщенням від торця із застосуванням щільної пригонки або приварювання — зминання $R_p$.

**224. У чому полягає розрахунок поясних швів стінки і полиць складової балки?**

Поясні кутові шви виконуються напівавтоматичним зварюванням і розраховуються на зсувні зусилля на погонний сантиметр в місці з'єднання полиці зі стінкою.

Зсувні зусилля визначаються за формулою: $T=Q_{max}S_f/I_x$, де $Q_{max}$ — максимальна поперечна сила складової балки, $S_f$ — статичний момент полиці складової балки відносно нейтральної осі, см$^3$, $I_x$ — момент інерції перерізу складової балки, см$^4$.

Кожен поясний шов розраховується на умовний зріз по двох перерізах:

1. По металу шва (переріз 1, рис. 9.8): $\dfrac{T\gamma_n}{\beta_f \cdot k_f \cdot n \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} \le 1.$

2. По металу межі сплавлення (переріз 2, рис. 9.8): $\dfrac{T\gamma_n}{\beta_z \cdot k_f \cdot n \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} \le 1;$

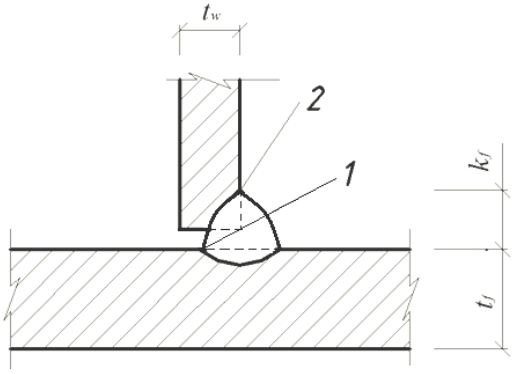



Рис. 9.8. Переріз умовного зрізу поясних швів

$\beta_f$ $\beta_z$ — коефіцієнти, визначені по т. 16.2 [1] залежно від виду зварювання і положення шва;

$k_f$ — катет шва, мінімальне значення якого визначається по т. 16.1 — Мінімальні катети зварних швів [1];

n — кількість швів, для односторонніх і двосторонніх, відповідно до 1 або 2;

$R_{wf}$ — розрахунковий опір кутових швів зрізу (умовного) у площині наплавленого металу т. Д2 — Характеристичні та розрахункові опори металу кутових швів [1],

$R_{wz}$ — розрахунковий опір кутових швів зрізу (умовного) у площині металу межі сплавлення $R_{wz}=0{,}45R_{un}$;

$R_{un}$ — характеристичне значення тимчасового опору сталі розриву т. Г2 — Характеристичні та розрахункові опори при розтягу, стиску і згині для листового, широкосмугового універсального і фасонного прокату [1].

**225. У чому полягають особливості сполучення балок?**

***Поверхове сполучення***

При поверховому сполученні (рис. 9.2) болти ставляться конструктивно з урахуванням вимог т. 16.3 [1].

Мінімальна відстань між торцем допоміжної балки і центрами болтів має бути не менша, ніж 1,5 *d*. Болти призначені для фіксації проектного положення допоміжних балок і розкріплювання верхнього стиснутого поясу головної балки від горизонтальних переміщень, що ведуть до втрати загальної стійкості конструкції. Діаметр болтів приймається 16...20 мм.

***Сполучення в один рівень***

У разі потреби сполучення балок в одному рівні (рис. 9.2) стінка допоміжної балки кріпиться до ребра жорсткості головної балки на болтах, для чого у допоміжній балці вирізують кінцеві ділянки полиць. Опорна реакція допоміжної балки сприймається сполучними болтами, працюючими на зріз.

Залежно від номера використовуваного прокатного двотавра визначається максимально допустимий діаметр отвору в стінці допоміжної балки $d_{отв}$.

Визначаємо діаметр болтів. Діаметр болтів класу точності В приймається на 3 мм менше діаметру отвору, тобто: $d_b \le d_{отв}$ — 0,3 см і пов'язуємо з існуючими діаметрами болтів т. Д. 8 Додатка Площа перерізів болтів [1].

Відповідно до прийнятого діаметру болтів уточнюється діаметр їх отворів: $d_{отв} = d_b + 0{,}3$ см.

Можливі два види руйнування болтового з'єднання:

– зріз болтів при досить товстих ребрах і стінці допоміжної балки;

– зминання поверхні отворів найбільш тонкого з листів (стінки допоміжної балки або ребра жорсткості головної балки), що сполучалися.

Розрахункове зусилля, яке повинно бути сприйняте одним болтом (п. 16.2.9 [1]) при умовному зрізі болта: $N_{bs}=R_{bs}A_b n_s \gamma_b \gamma_c \gamma_n$.

Розрахункове зусилля, яке повинно бути сприйняте одним болтом при зминанні металу, сполучених елементів в отворах: $N_{bp}=R_{bp}d_b \sum t_{min} \gamma_b \gamma_c \gamma_n$.

З двох знайдених розрахункових зусиль $N_{bs}$ і $N_{bp}$ вибираємо менше значення $N_{b,min}$, за яким і визначаємо необхідну кількість болтів 16.2.10 [1]): $n \ge \dfrac{N\gamma_n}{N_{b,\min}}$;

$R_{bs}$ — розрахунковий опір зрізу болта, т. Д. 4 Додатку [1];

$R_{bp}$ — розрахунковий опір зминанню елементів, що сполучаються, в одноболтовому з'єднанні, т. Д. 5 [1], клас точності болтів В і С (16.2.3) [1];

$n_s$ — кількість розрахункових площин зрізу одного болта, шт.;

$d_b$ — зовнішній діаметр болта, см;

$A_b$ — площа поперечного перерізу болта по різьбленню, т. Д8 [1], см$^2$;

$\gamma_b$ — коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання, т. 16.4 [1];

$\gamma_c$ — коефіцієнт умов роботи, який визначається за таблицею 5.1[1];

$\gamma_n$ — коефіцієнт надійності.

## 9.3. КОЛОНИ

**226. З яких елементів складається колона?**

Колони призначені для передачі навантаження з вище розташованих конструкцій на фундаменти і складаються з трьох основних елементів: оголовка, на який обпирається вище розташована конструкція, навантажуюча колону; стрижня — головного конструктивного елемента, що передає навантаження від оголовка до бази; бази, нижньої частини колони, що передає навантаження від стрижня до фундаменту.

**227. Які типи перерізів застосовують при проектуванні суцільних колон?**

Переріз суцільної колони проектують найчастіше у вигляді прокатного або складового двотавра. Треба, щоб колона була рівностійкою. Для цього її гнучкість в площині осі *X* повинна бути рівною гнучкості в площині осі *У*. Тобто $\lambda_x = \lambda_y$. Якщо розрахункова довжина колони в площині осі *X* рівна розрахунковій довжині в площині осі *У*, це означає, що повинні бути рівними радіуси інерції $i_x=i_y$. Але для двотаврів ця умова не виконується (рис. 9.9, 9.10): $i_x=0{,}43h$; $i_y=0{,}24b$; де *h, b* — висота та ширина двотаврового перерізу. Тобто $0{,}43h=0{,}24b$, або $b=2h$, що приводить до значних незручностей в конструюванні і тому практично не застосовується. Звичайний прокатний двотавр має вузькі полиці і не є рівностійким. У прокатного широполичного двотавра $b=h$, що не задовольняє вимогам рівностійкості, але дає переріз, прийнятний до застосування в практиці будівництва. Рівностійкими у двох напрямках та простими у виготовленні є колони хрестового перерізу: легкі колони складаються з двох кутиків, важкі — з трьох листів. За умови місцевої стійкості виступ листа хрестової колони не повинен перебільшувати 15–22 товщини листа. Використовують і перерізи, які складаються з трьох прокатних профілів. Ці перерізи прості, але вимагають більшої витрати сталі. Найбільш раціональні колони трубчатого перерізу з радіусом інерції $i=0{,}35d$, *d* —

діаметр окружності. Якщо заповнити трубу бетоном, то отримуємо ефективну трубобетону конструкцію, де труба є оболонкою, що унеможливлює поперечні деформації внутрішнього бетоного циліндра. У цих умовах міцність бетону при стисканні підвищується, а місцева стійкість труби і корозія її внутрішньої поверхні виключаються. У такій комплексній конструкції бетон працює на стискання, а сталева труба на поперечне розтягнення.

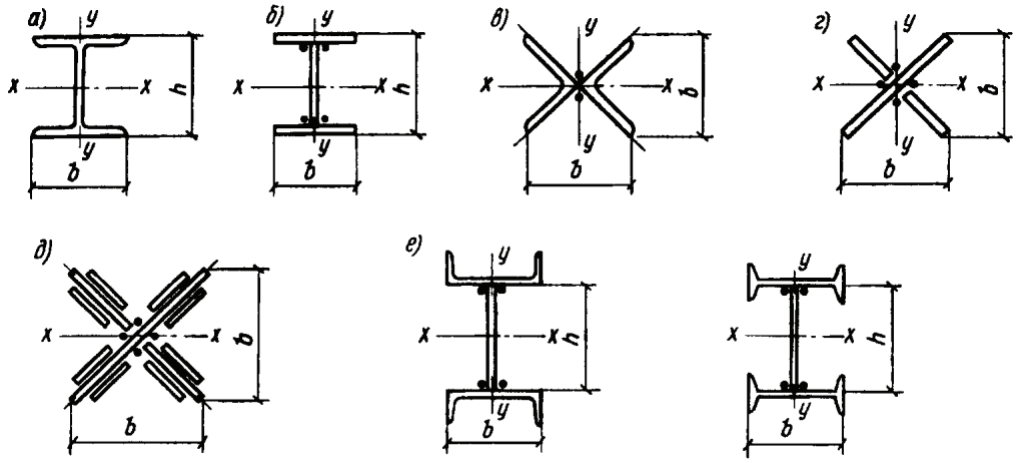



Рис. 9.9. Відкриті перерізи суцільних стрижнів

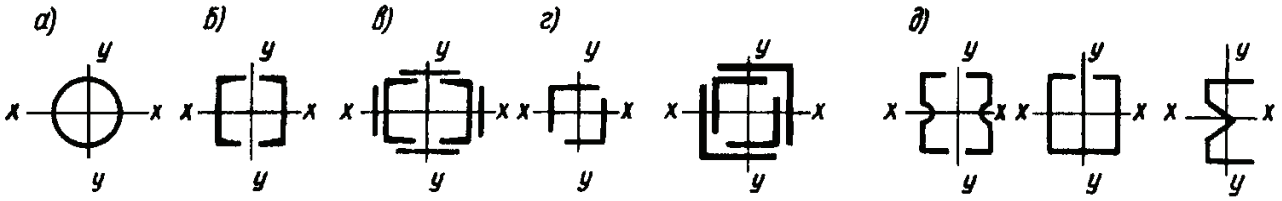



Рис. 9.10. Замкнуті перерізи суцільних стрижнів

**228. З чого складається стрижень наскрізної центрально стиснутої колони?**

Стрижень зазвичай складається з двох гілок, об'єднаних решіткою. Вісь, яка пересікає гілки, називається матеріальною, а вісь паралельна гілкам — вільною. Відстань між гілками визначається з умов рівностійкості стрижня колони. Відстань між полками гілок колони при виконанні їх з прокатних чи зварних двотаврів чи швелерів назначають не менше 100–150 мм для можливості фарбування внутрішніх поверхонь. Решітка забезпечує сумісну роботу гілок стрижня і суттєво впливає на стійкість колони в цілому. Застосовують решітки з розкосів, розкосів і розпірок та безрозкісного типу з планок. Планки утворюють в площині грані колони безрозкісну систему з жорсткими вузлами і елементами, працюючими на згин. Тому така решітка менш жорстка ніж розкісна. Якщо відстань між гілками значна — 0,8–1 м і більше, то планки безрозкісної решітки утворюються важкими і перевагу віддають розкісній решітки (рис. 9.11).

**229. На що впливає решітка наскрізної колони?**

Решітка зв'язує гілки стрижня наскрізної колони і забезпечує їх спільну роботу і загальну стійкість стрижня.

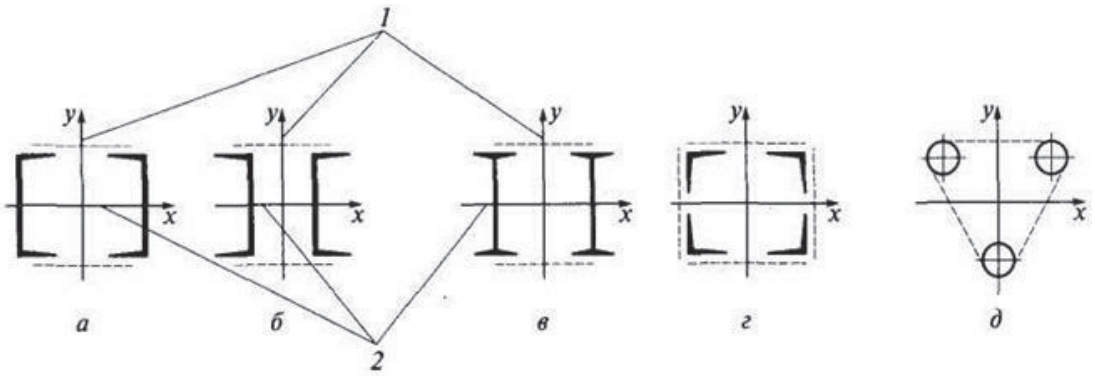



Рис. 9.11. Перерізи наскрізних стрижнів:
*1* — вільна вісь; *2* — матеріальна вісь

**230. Як визначити розрахункову схему колони?**

Розрахункову схему одноярусної колони визначають з урахуванням закріплення її в фундаменті, а також способу прикріплення до неї балок, що передають на колону навантаження. Сполучення колони з фундаментом може бути шарнірним чи жорстким. Якщо балка обпирається на колону зверху, то таке сполучення з колоною вважається шарнірним. Більш жорстким є сполучення балки з колоною збоку. Але для забезпечення суттєвої жорсткості такий вузол вимагає відповідного конструктивного рішення із застосуванням «рибки» і «столика».

**231. Як вибрати переріз колони?**

При виборі перерізу треба отримати найбільш економічне рішення з урахуванням навантаження, зручності сполучення примикаючих до колони конструкцій, умов експлуатації, можливостей сортаменту. Спочатку треба визначитись, буде колона наскрізна чи суцільна. Максимальне навантаження для наскрізних колон з двох швелерів 3500 кН, з двох двотаврів 5600 кН. При збільшені навантаження наскрізні колони стають складними і важкими і рекомендується проектувати більш ефективні — суцільні. При значних навантаженнях раціональними стають трубобетонні колони.

**232. Як визначити необхідну площу перерізу суцільної колони?**

Після визначення типу перерізу необхідну площу визначаємо за формулою

$$A = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c},$$

де $N$ — розрахункове зусилля, $\gamma_c$ — коефіцієнт умов роботи, $\varphi$ — коефіцієнт стійкості, $\gamma_n$ — коефіцієнт надійності.

Для визначення коефіцієнта стійкості треба задатись гнучкістю колони $\lambda$. Для суцільних колон з розрахунковим навантаженням до 2500 кН і довжиною 5–6 м можливо прийняти гнучкість в межах 100–70, для більш завантажених колон до 4000 кН гнучкість слід прийняти 70–50. Далі за таблицею Ж1 додатка [1] визначаємо коефіцієнт гнучкості в залежності від кривої стійкості та умовної гнучкості колони $\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

**233. Як визначають поясні шви в центрально стиснутих колонах?**

Зсуваючі зусилля між стінкою і поясами незначні, тому що поперечна сила, виникаюча від випадкових впливів, має невелике значення. Тому поясні шви приймають конструктивно в залежності від марки сталі і товщини зварюваних елементів.

**234. Як назначити товщину стінки колони?**

Товщину стінки колони слід приймати якомога меншою, тому що площа перерізу стінки, не збільшуючи моменту інерції відносно осі *y* в площині стінки, збільшує площу перерізу і зменшує радіус інерції, що приводить до збільшення гнучкості колони. Одночасно, якщо до колони при-

кріплюються балки, стінка не повинна бути занадто тонкою, тому що вона отримує перенапруження в місці кріплення балки.

**235. Виходячи з чого приймають мінімальну товщину стінки?**

Мінімальну товщину стінки приймають з умови забезпечення її місцевої стійкості. Стійкість стінок центрально стиснутих елементів суцільного перерізу вважають забезпеченою, якщо умовна гнучкість стінки $\overline{\lambda_w} = \frac{h_{ef}}{t_w}\sqrt{\frac{R_y}{E}}$ не перебільшує умовної граничної гнучкості $\overline{\lambda_{uw}}$ 8.3.2 [1].

**236. Коли стінку колони треба укріплювати поперечними ребрами?**

Стінку укріплюють односторонніми ребрами жорсткості з одиночних кутиків, приварених до стінки пером. При $\frac{h_{ef}}{t_w} \geq 2{,}3\sqrt{\frac{E}{R_y}}$ поперечні ребра ставлять на відстані (2,5–3,0) $h_{ef}$, але не менше ніж 4 м одне від другого; на кожному відправному елементі повинно бути не менше ніж два ребра 8.3.3 [1].

**237. Як перевіряється стійкість наскрізної колони відносно вільної осі?**

Стійкість наскрізної колони відносно вільної осі перевіряється не за гнучкістю $\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y}$, а за приведеною гнучкістю $\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$, де $\lambda_1$ — гнучкість гілки. Приведена гнучкість залежить від відстані між гілками. Ця відстань відповідає вимогам рівностійкості наскрізної колони відносно осей X та У.

**238. В якому порядку треба виконувати розрахунок наскрізної колони?**

Треба задати гнучкість колони і з таблиці Ж1 [1], в залежності від кривої стійкості, отримати коефіцієнт стійкості φ. Для наскрізних колон з розрахунковим навантаженням до 1500 кН і довжиною 5–7 м можливо приймати гнучкість в межах 90–60, для більш міцних колон з навантаженням 2500–3000 кН можливо приймати гнучкість 60–40. Отримавши коефіцієнт гнучкості, визначаємо необхідну площу перерізу $A_{mp} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c}$ і радіус інерції відносно матеріальної осі. Далі підбираємо за сортаментом відповідний профіль двотавра чи швелера і перевіряємо за формулою $\sigma = \frac{N\gamma_n}{\varphi_x A} \leq R_y\gamma_c$, коефіцієнт $\varphi_x$ визначаємо в залежності від дійсної гнучкості $\lambda_x = \frac{l}{i_x}$. Якщо переріз підібраний задовільно, то наступним кроком визначають відстань між гілками *b* з умови рівностійкості $\lambda_{ef} = \lambda_x$. Приведена гнучкість $\lambda_{ef}$ визначається додатково в залежності від типу решітки. Для решітки з планками, задавшись гнучкістю гілки $\lambda_1$ (як правило, 30–40), знаходимо необхідне значення гнучкості відносно вільної осі $\lambda_y = \sqrt{\lambda_{ef}^2 - \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2}$. Необхідно, щоб $\lambda_1 < \lambda_y$, тому що в протилежному випадку можлива втрата несучої здатності гілки раніше втрати стійкості колони в цілому. Визначивши гнучкість $\lambda_y$, знаходимо відповідний радіус інерції $i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda_y}$ і відстань між гілками $b = \frac{i_y}{k_2}$, $k_2$ — коефіцієнт, що залежить від типу перерізу гілок. Значення *b* повинно бути ув'язаним з габаритами колони і необхідним зазором між полицями гілок. Після остаточного підбору перерізу, колону перевіряють на стійкість відносно осі *y*:

$$\sigma = \frac{N\gamma_n}{\varphi_y A} \leq R_y\gamma_c .$$

## 9.4. БАЗИ КОЛОН

**239. Чим відрізняється робота бази колони при шарнірному сполученні від роботи при жорсткому сполученні з фундаментом?**

При шарнірному сполученні база при дії випадкових моментів повинна мати можливість деякого повороту відносно фундаменту, при жорсткому сполученні необхідно забезпечити сполучення бази з фундаментом без повороту.

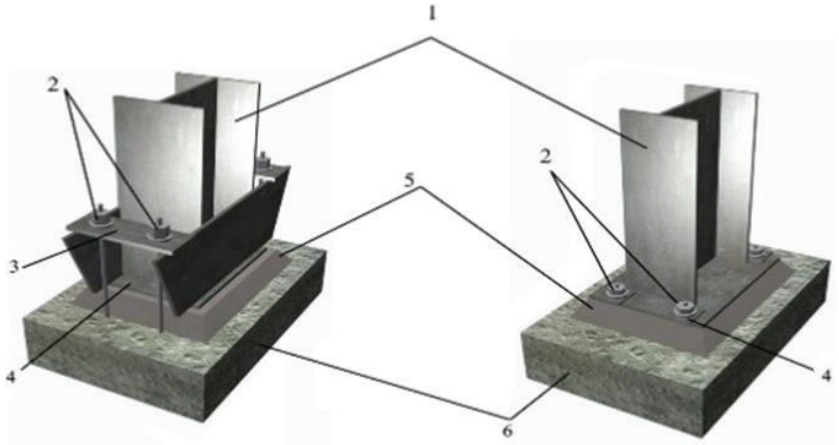



Рис. 9.12. Бази колон
*1* — колона постійного перерізу; *2* — анкерні болти; *3* — анкерні плитки; *4* — опорна плита; *5* — цементна підливка; *6* — залізобетонний фундамент

**240. Яка існує класифікація баз колон за конструктивним рішенням?**

Бази можуть бути з траверсою, з фрезерованим торцем та з шарнірним пристроєм.

**241. З яких елементів може складатись база колони?**

Обов'язкові елементи — опорна плита та анкерні болти. Крім того до складу можуть входити траверси, ребра жорсткості, анкерні плитки.

**242. У яких випадках в базі колони застосовують ребра жорсткості?**

Якщо треба підвищити жорсткість опорної плити.

**243. Чим відрізняється конструктивне рішення бази колони при невеликих розрахункових зусиллях від рішення при великих зусиллях?**

При розрахункових зусиллях до 5000 кН звичайно застосовують бази з траверсами. Траверси сприймають навантаження від стрижня колони і передають її на опорну плиту. Для підвищення рівномірності передачі тиску з плити на фундамент жорсткість плити збільшують постановкою додаткових ребер. В колонах із зусиллями 6000–10000 кН і більше доцільно фрезерувати торець бази. В цьому випадку траверси і ребра відсутні, а для забезпечення рівномірності передачі навантаження на фундамент плита повинна мати значну товщину. Бази з шарнірним пристроєм найкраще відповідають розрахунковій схемі, проте застосовуються рідко внаслідок складності монтажу.

**244. Яку функцію виконують анкерні болти при шарнірному сполученні колон з фундаментом?**

При шарнірному сполученні анкерні болти лише фіксують проектне положення колони і закріплюють колону під час монтажу. У цьому випадку анкери закріплюють безпосередньо до опорної плити бази. Завдяки гнучкості плити забезпечується необхідна податливість сполучення при дії випадкових моментів.

**245. Як закріплюють анкерні болти при жорсткому сполученні колони і фундаменту?**

При жорсткому сполученні анкерні болти прикріплюють до стрижня колони через анкерні плитки, які розташовують на траверсах і затягують з напруженням, близьким до розрахункового опору, що унеможливлює поворот колони.

**246. Від чого залежить вимагаєма площа опорної плити бази колони?**

$$A_{пл.вим.} = \frac{N\gamma_n}{R_{зм.бет}},$$

де $N$ — розрахункове навантаження на колону; $R_{зм.бет}$ — розрахунковий опір зм'яттю бетона.

**247. Від чого залежить ширина $B$ і довжина $L$ опорної плити бази колони?**

Розміри плити в плані залежать від конструктивних вимог по розміщенню на плиті перерізу колони, траверс та ребер жорсткості.

**248. Як розподіляється тиск під опорною плитою бази колони?**

Плита працює як пластинка на пружній основі, що сприймає тиск від колони, траверс і ребер. Дослідження показали, що тиск розподіляється нерівномірно, але для спрощення розрахунку тиск під плитою вважається рівномірно розподіленим.

**249. За якою розрахунковою схемою розраховують опорну плиту бази колони?**

Плиту розраховують як пластину, навантажену знизу тиском фундаменту і обперту на переріз колони і елементи бази колони — траверси і ребра. В залежності від конструкції бази плита може мати ділянки, які обпираються на 4, 3 чи 2 канти, а також консольні. Ділянки утворюються між перерізом колони і елементами бази — траверсами і ребрами. Таким чином, ділянки відрізняються між собою розмірами і умовами обпирання.

**250. Як визначається товщина опорної плити бази колони?**

На кожній ділянці опорної плити отримуємо згинальні моменти. За більшим з них визначаємо товщину плити: $t_{пл} \geq \sqrt{\frac{6M_{max}\gamma_n}{R_y}}$. Звичайно товщину назначають в межах 20–40 мм з урахуванням вимог сортаменту листової сталі.

**251. Від чого залежать висота і товщина траверси бази колони?**

Зусилля в стрижні колони передається на траверсу через зварні шви, довжина яких і визначає висоту траверси. Якщо траверса прикріплюється до колони за допомогою 4 швів, то вимагаєма висота дорівнює: $t_{пл} \geq \sqrt{\frac{6M_{max}\gamma_n}{R_y}}$. Висота кутового шва приймається не більше 1–1,2 товщини траверси, яка з конструктивних вимог приймається 10–16 мм. Висоту траверси слід приймати не більше $85k_ш$, де $k_ш$ — катет кутового шва.

## 9.5. ОГОЛОВКИ КОЛОН І З'ЄДНАННЯ БАЛОК З КОЛОНАМИ

**252. З'єднання балок з колонами може бути двох типів...**

Вільне (шарнірне) та жорстке.

**253. Чим відрізняється розрахункова схема і розподілення зусиль при вільному з'єднанні від жорсткого?**

Вільне з'єднання передає тільки вертикальні навантаження. В цьому випадку колони повинні бути закріпленими під час експлуатації і монтажу від горизонтальних зміщень затисканням у фундаменті чи системами вертикальних зв'язків. Жорстке з'єднання балок з колонами утворює

рамну систему, здатну сприймати горизонтальні впливи і зменшувати розрахунковий пролітний момент в балках. У цьому випадку балка примикає до колони збоку.

**254. З чого складається оголовок колони при шарнірному з'єднанні балок з колонами?**

При вільному сполучені балки звичайно ставлять на колону зверху. В цьому випадку оголовок складається з плити і ребер, які підтримують плиту і передають навантаження на стрижень колони. Якщо навантаження передається на колону через фрезеровані торці опорних ребер балок, розташованих близько до центру колони, то плита оголовка підтримується знизу ребрами, розташованими під опорними ребрами балок.

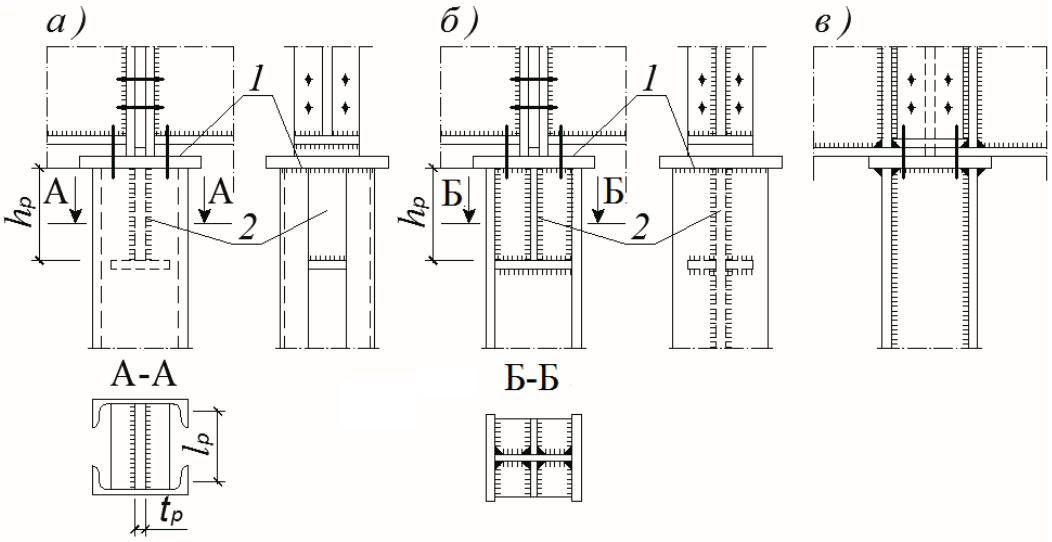



Рис. 9.13. Оголовки колон при обпиранні балок зверху:
*а* — з одним опорним ребром; *б* — з трьома опорними ребрами; *в* — без опорних ребер (функцію ребра виконує стінка двотавра); *1* — опорна плита; *2* — опорні ребра

**255. Від чого залежать висота і товщина оголовка колони?**

Висоту ребра оголовка визначає необхідна довжина зварних швів, що передають навантаження на стрижень колони. Товщину ребра визначають з умови опору на зм'яття опорного ребра від повного розрахункового навантаження. $t_p = \frac{N\gamma_n}{l_{зм}R_p}$, де $l_{зм}$ — довжина зминаємої поверхні, що дорівнює ширині опорного ребра балки плюс дві товщини плити оголовка колони. Призначивши товщину ребра, перевіряють його на зріз за формулою: $\tau = \frac{0{,}5N\gamma_n}{2h_p t_p} \le R_s$.

**256. Яку функцію виконує опорна плита оголовка колони?**

Вона передає тиск від вище розташованої конструкції на ребра оголовка і служить для скріплення балок з колонами монтажними болтами, фіксуючими проектне положення балок. Товщина опорної плити приймається конструктивно в межах 20–25 мм.

**257. Як зазвичай закріплюється балка при жорсткому сполученні з колоною?**

В цьому випадку балка закріплюється до колони збоку. Вертикальна опорна реакція балки передається через опорний столик, приварений до полиць двотавра — стрижня колони. Торець опорного ребра балки і верхню кромку столика стругають для забезпечення щільного обпирання по всій поверхні торця опорного ребра. Товщину столика приймають на 20–40 мм більше за товщину опорного ребра балки. Рекомендується столик приварювати до колони з трьох сторін.

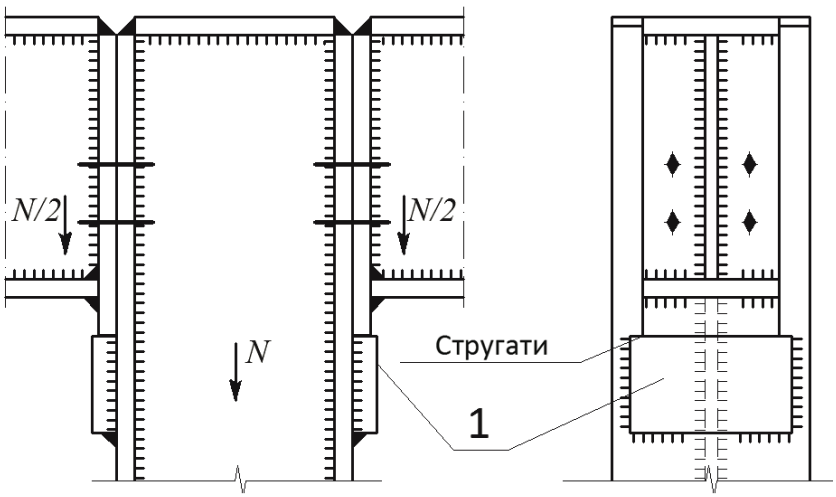



Рис. 9.14. Обпирання балки на колону збоку:
*1* — опорний столик з листа t = 25–40 мм; *2* — торець опорного ребра балки стругати

**258. Чому при розрахунку зварних швів, якими приварюють столик до колони, розрахункову повздовжню силу збільшують на 30 %?**

Коефіцієнт 1,3 враховує можливу непаралельність торців опорного ребра балки і столика внаслідок неякісного виготовлення, що може привести до нерівномірного розподілення реакції між вертикальними швами. Для того, щоб балка не зависла на болтах і щільно стала на столик, опорні ребра балки притягують до стрижня колони болтами, діаметр яких повинен бути на 3–4 мм меншим, ніж діаметр отворів. Зварні шви, якими приварюють столик до колони, розраховують за формулою: $\sigma = \frac{1.3N\gamma_n}{k_f \sum l_w} \le \gamma_c \left(\beta_f R_{wf}\right)$, $l_w$ — довжина зварних швів; $k_f$ — катет кутового шва; $\beta_f$ — коефіцієнт, значення якого приймається за таблицею 16.2 [1]; $R_{wf}$ — характеристичний опір металу кутових швів т. Д.2 [1].

## 9.6. ФЕРМИ

*Перша залізниця була побудована в Англії в 1825 році. Розвиток залізниць призвів до активного будівництва мостів. Найбільш дешевими конструкціями для мостів виявилися трикутні ферми. Теорія розрахунку трикутних ферм була створена в США і Росії. Перші залізничні мости в США виконували з дерева. Найбільш відомим типом моста є ферма Хау, що складається з верхнього та нижнього поясів, з'єднаних стійками з ковкого чавуну. Перший суцільнометалевий фермовий міст побудовано в США у 1840 році. Уіппл у 1847 році в США і Д. І. Журавський у 1850 році у Росії розробили незалежно один від одного перші методи розрахунку ферм. Сьогодні цей метод відомий під назвою «метод вирізання вузлів». Наступним кроком у розвитку проектування став метод перерізів, опублікований у 1862 році німецьким вченим Ріттером. Найбільш популярним став третій, графічний метод. Максвелл опублікував його у 1864 році, але прийнятий він був після того, як Роберт Бау в своїй книзі «Економіка каркасних будинків» у 1873 році ввів систему позначень, де літерами позначаються простори між елементами ферми і силами. У всіх трьох методах визначали внутрішні зусилля в елементах ферми.*

**259. Класифікація ферм за конструктивною схемою**

Найпростіші у виготовлені і монтажу ферми розрізні. Також є нерозрізні й консольні.

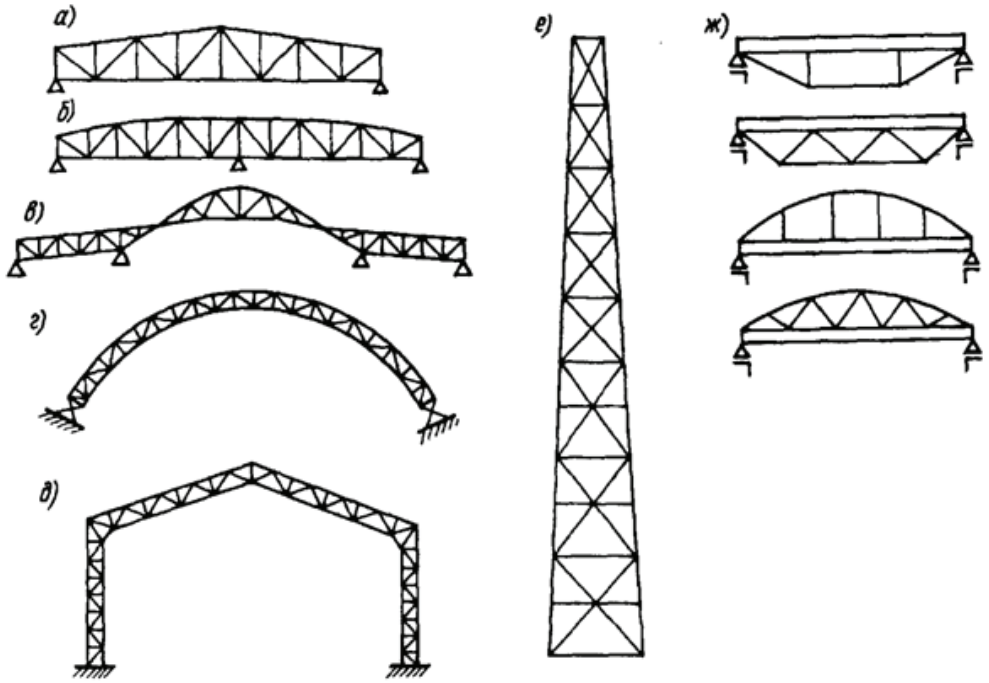



Рис. 9.15. Системи ферм:
*а* — балочна розрізна; *б* — нерозрізна; *в*, *е* — консольна; *г* — арочна; *д* — рамна; *ж* — комбінована

**260. З чого починають проектування ферм?**

З вибору їх контуру, який залежить в першу чергу від призначення споруди і повинен відповідати прийнятій конструкції сполучення з прилеглими елементами. Також суттєвий вплив на вибір контуру справляють тип покрівлі, вид навантаження і статична схема ферми.

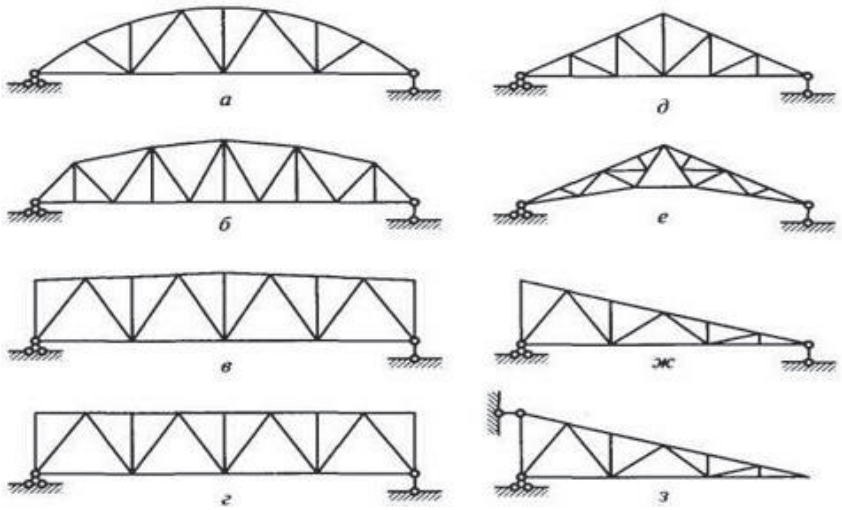



Рис. 9.16. Обрис поясів ферми:
*а* — сегментний; *б* — полігональний; *в* — трапецеїдальний; *г* — з паралельними поясами; *д*–*з* — трикутні

**261. Коли застосовують ферми трикутного контуру?**

При значному ухилі покрівлі, якого вимагають умови експлуатації або тип покрівлі. Ці ферми мають ряд недоліків: гострий опорний вузол дозволяє тільки шарнірне з'єднання ферми і колони, що знижує поперечну жорсткість поперечної рами. Стрижні решітки утворюються надзвичайно довгими, і їх переріз отримують по граничній гнучкості, що у свою чергу веде до зайвої витрати сталі. Трикутними виконують кроквяні ферми, консольні навіси, башти.

**262. Які переваги мають ферми трапецеїдального контуру перед трикутними?**

Трапецеїдальні ферми краще відповідають епюрі згинальних моментів і мають конструктивні переваги. При сполученні з колонами дозволяють утворювати жорсткі рамні вузли, що підвищує жорсткість рами і споруди в цілому. Стрижні решітки цих ферм не такі довгі, як у трикутних.

**263. Де застосовують полігональні ферми?**

При конструюванні важких ферм великих прольотів. Контур цих ферм найкраще відповідає епюрам згинальних моментів, що приводить до економії сталі.

**264. Які конструктивні переваги мають ферми з паралельними поясами?**

Однакові довжини стрижнів поясів і решітки, однакова схема вузлів і мінімальна кількість сполучень поясів приводять до найбільшої повторюваності елементів і уможливлюють максимальну уніфікацію конструктивних схем та індустріалізацію виготовлення.

**265. Як назначається розрахунковий проліт ферм?**

Проліт визначається за технологічними або архітектурними вимогами в залежності від сполучення з опорами (колонами, стінами і т. п.). При вільному обпиранні на опори зверху розрахунковий проліт (відстань між осями опорних частин) для розрізних ферм дорівнює відстані між внутрішніми чвертями ширини опор, тобто $l_o=l+a/2$, де $l$ відстань «у світлі» між опорами, $a$ — ширина опори; для середніх прольотів нерозрізних ферм $l_o=l+a$. У випадку сполучення колон і ферм збоку розрахунковий проліт ферми приймається рівним відстані між колонами «у світлі» на відмітці сполучення ферм.

**266. Як визначається висота трикутних ферм?**

У трикутних фермах висота є функцією прольоту й ухилу покрівлі, що залежать від матеріалу покрівлі. Звичайно трикутні ферми проектують під покрівлі зі значними ухилами (25–45°), що приводить до висоти ферм $(1/4–1/2)l$.

**267. Коли вага поясів і решітки трапецеїдальних ферм і ферм з паралельними поясами буде мінімальною?**

Тоді, коли висота цих ферм буде оптимальною. З підвищенням висоти ферми вага поясів зменшується, тому що зусилля в поясах обернено пропорційне висоті $N_п=M/h$, а вага решітки зростає, тому що збільшується довжина розкосів і стойок. Тобто можна знайти оптимальну висоту ферми, при якій загальна вага поясів і решітки буде мінімальною.

**268. На що працює решітка ферм?**

На поперечну силу. Решітка виконує функцію стінки суцільної балки. Від схеми решітки залежить вага ферми, трудомісткість її виготовлення, зовнішній вигляд. Решітка повинна відповідати схемі розташування навантажень, тому що навантаження передаються до ферми у вузлах.

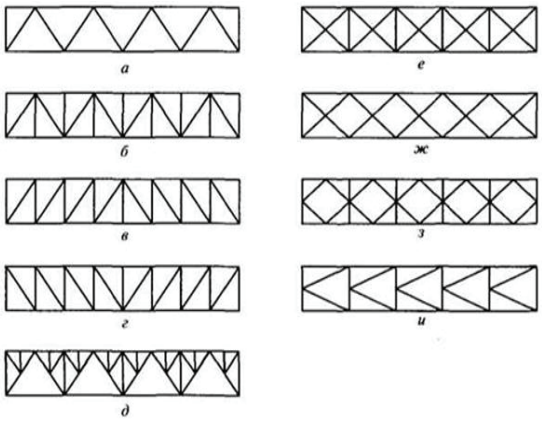



Рис. 9.17. Системи решітки ферм:
*а* — трикутна; *б* — трикутна з додатковими стійками; *в* — розкісна з висхідними розкосами; *г* — розкісна зі низхідний розкосами; *д* — шпренгельна; *е* — хрестова; *ж* — перехрестна; *з* — ромбічна; *и* — напіврозкісна

**269. Особливості трикутної системи решітки**

Така решітка дає найменшу сумарну довжину стрижнів і найменшу кількість вузлів при найкоротшому шляху зусилля від місця прикладення навантаження до опори. При необхідності до розкосів додаються стійки, що дозволяють зменшувати відстань між вузлами ферми.

**270. Які переваги і недоліки у розкісної системи решітки ферми?**

При її використані слід прагнути, щоб найбільш довгі елементи — розкоси були розтягнутими, а стійки — стиснутими. Ця вимога задовольняється при висхідних розкосах в трикутних фермах, і спадних в фермах з паралельними поясами. Але в трикутних фермах висхідні розкоси утворюють незручні для конструювання вузли і мають велику довжину, тому що йдуть за більшою діагоналлю. Тому в трикутних фермах рекомендують низхідні розкоси. І навіть вони стиснуті, але їх довжина менше і вузли більш компактні. Застосовувати розкісні решітки доцільно при малій висоті ферм, а також коли на стійки передаються великі зусилля. Розкісна решітка більш трудомістка, ніж трикутна, і вимагає більшого витрачення матеріалу, тому що при рівній кількості панелей загальна довжина розкісної решітки більша і більша кількість вузлів.

**271. Спеціальні системи решіток**

У випадку занадто великих панелей (при висоті ферм 4–5 м і нахилі розкосів 35–45°) незручно розташовувати покрівельні прогони й інші елементи покриття. Тому для зменшення довжини панелей застосовують шпренгельну решітку. Незважаючи на додаткову витрату сталі така решітка дає можливість отримати раціональну відстань між елементами поперечної конструкції та зменшити розрахункову довжину стиснутих стрижнів.

У фермах, працюючих на двостороннє навантаження, зазвичай влаштовують хрестову решітку. До таких ферм відносяться горизонтальні в'язові ферми покриттів промислових будівель, мостів, вертикальні ферми башт і щогл, ферми високих будівель.

Ромбічна і напіврозкісна решітки завдяки двом системам розкосів мають велику жорсткість, ці системи застосовують у мостах, баштах, щоглах для зменшення розрахункової довжини стрижнів і особливо вони раціональні при роботі конструкцій на значні поперечні сили.

**272. Як визначають розміри панелей ферм?**

У зв'язку з тим, що навантаження прикладається до вузлів ферм, панелі повинні відповідати відстані між елементами, які передають навантаження на ферму. Розміри панелей повинні також відповідати оптимальному куту нахилу розкосів. В трикутній решітці це 45°, в розкісній — 35°. Виходячи з конструктивних вимог — раціонального контуру фасонок — найбільш сприятливий кут — 45°. При малих кутах фасонки виходять занадто витягнутими, при великих кутах — не економними за витратою сталі. Розміри панелей визначаються системою покрівельного покриття. Якщо по фермах укладають прогони, панель дорівнює відстані між прогонами та її довжина змінюється від 1,5 до 4 метрів. При безпрогоній покрівлі залізобетонні панелі шириною1,5–3 м укладають безпосередньо на верхній пояс кроквяних ферм. Але найбільш поширений, уніфікований розмір панелі верхнього пояса — 3 м. При ширині панелей 1,5 м розмір панелі зменшують за допомогою шпренгельної решітки.

**273. Завдяки чому забезпечується стійкість ферм?**

Ферма — плоска система і вона легко може втратити стійкість з площини. Для забезпечення стійкості її потрібно приєднати до жорсткої конструкції або об'єднати в'язями з іншою фермою, внаслідок чого утворюється просторовий стійкий блок (брус).

**274. З чого складається просторовий стійкий блок покрівлі?**

Грані блоку утворюються двома вертикальними площинами сусідніх ферм і двома перпендикулярними їм горизонтальними площинами в'язей, розташованими по обох поясах ферм і не менше ніж двома вертикальними площинами вертикальних в'язей (як правило по торцях ферм).

**275. Чи можна забезпечити стійкість ферм покрівлі з площини завдяки тільки прогонам по верхніх поясах ферм?**

Ферми, пов'язані тільки прогонами, не утворюють незмінну стійку систему, тому що вони мають вільну довжину з площини, що дорівнює прольоту, і тому можуть легко втратити стійкість. В цьому випадку стійкість покриття в цілому й окремих елементів ферм забезпечується тим, що в конструкції покриття утворюється кілька просторових стійких блоків з двох сусідніх ферм, пов'язаних горизонтальними і вертикальними в'язами. До цих жорстких блоків інші ферми прикріплюються горизонтальними елементами, які перешкоджають горизонтальному зміщенню поясів ферм і забезпечують їх стійкість (звичайно ці елементи — прогони, розташовані у вузлах ферм). Щоб прогон міг закріпити вузол ферми в горизонтальному напрямку, він сам повинен бути прикріпленим до нерухомої точки — вузла горизонтальних в'язей.

**276. Які основні показники уніфікації ферм з рулонною покрівлею?**

Це модуль прольоту виробничих будівель і панель 3000 мм, ухил покрівлі 1,5 %, висота ферм на опорі 3150 мм по зовнішніх краях поясів, трикутна решітка з можливостю додатка шпренгеля, якщо покрівельні плити мають ширину 1,5 м.

**277. Навіщо в кроквяних фермах утворюють будівельний підйом?**

У фермах, як у конструкціях, працюючих на згинання, виникають прогини. Провисанню ферм запобігають утворенням будівельного підйому, тобто виготовленням ферм зі зворотним вигином, котрий під дією навантаження компенсується, внаслідок чого ферми приймають проектне положення. Будівельний підйом приймають рівним прогину від постійного навантаження.

**278. Як прикладається навантаження до ферми?**

Навантаження прикладається до вузлів ферми. Якщо потрібно прикласти навантаження безпосередньо до панелі, потрібно враховувати місцевий прогин елемента пояса.

**279. Які спрощення допускаються при визначенні зусиль у стрижнях ферм?**

Передбачають, що у вузлах ідеальні шарніри, осі всіх стрижнів прямолінійні, розташовані в одній площині і пересікаються у вузлі в одній точці (центрі вузла). Стрижні такої ідеальної системи працюють тільки на осьові зусилля — стискання або розтягування. Напруження, знайдені по цих зусиллях, є основними. У зв'язку з фактичною жорсткістю вузлових з'єднань в стрижнях ферми виникають додаткові напруження, які при відношенні висоти перерізу стрижня до його довжини не менше ніж 1/15 розрахунком не враховуються, тому що вони не впливають на несучу здатність конструкції.

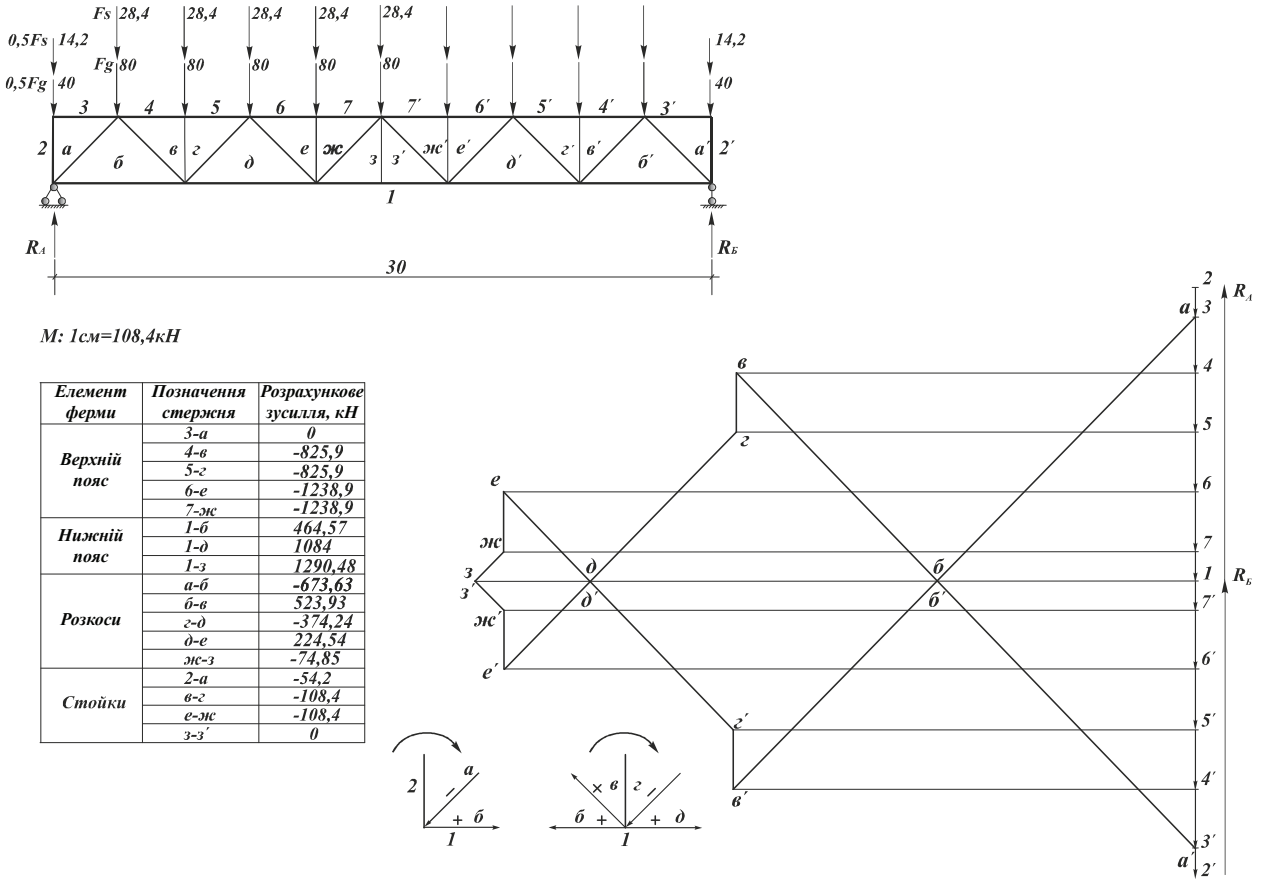
**280. Як визначаються навантаження на ферму?**

Навантаження, діючі на ферму, звичайно прикладені до вузлів. При дії вузлових навантажень в елементах ферми виникають тільки осьові зусилля розтягування чи стискування. Якщо навантаження прикладене до поясів, між вузлами, то виникає згинаючий момент, який треба враховувати при визначенні перерізу. Основними навантаженнями на ферму є постійне від ваги покрівлі і несучих конструкцій покриття і змінне — навантаження від снігу, тиск вітру, навантаження від підвісного транспорту і таке інше.

**281. Як визначаються зусилля в стрижнях ферми?**

Існують різні методи. Розглянемо розрахунково-графічний метод побудовою діаграми Максвела — Кремони. Викреслюємо геометричну схему ферми, обчислюємо довжину всіх стрижнів і визначаємо місце прикладення навантажень. Визначаємо опорні реакції. Літерами і цифрами визначаємо полігони (поля), тобто площі, обмежені стрижнями чи силами, включаючи опорні реакції. Задаємось масштабом сил і будуємо силовий багатокутник, обходячи ферму за годинниковою стрілкою, починаючи з верхнього пояса, визначаємо початок сили цифрою, проставленою на схемі ферми зліва від сили, а кінець сили — цифрою, проставленою справа від розглядаємої сили. Якщо багатокутник побудований вірно, він повинен замкнутися, тобто ми повернемось в початкову точку побудови багатокутника. Побудова діаграми полягає у прове-

денні ліній, паралельних обраним стрижням ферми. Кожний стрижень і кожна сила називаються двома символами — літерами чи цифрами, за назвою полігонів, примикаючих до відповідних стрижня чи сили. Будування діаграми починається з вибору двох стрижнів, в назвах яких один символ загальний і не побудований на діаграмі, а два інших вже побудовані. Оскільки багатокутник сил вже побудований, це означає, що побудовані вже всі цифри і необхідно побудувати літери. Виходячи з цього, першими вибраними стрижнями будуть 2-а і 3-а. Символи 2 і 3 вже побудовані, символ «а» загальний і не побудований. Через точку 2 проводимо лінію, паралельну стрижню 2-а, через точку 3 проводимо лінію, паралельну стрижню 3-а. На перерізі цих ліній отримаємо точку, яку позначимо символом «а». Аналогічно отримуємо точку, названу символом «б», вибираючи стрижні а-б і 1-б. Повторюємо цю методику для інших символів — літер, поки всі вони не будуть побудовані на діаграмі. Величини зусиль в стрижнях ферми визначаються по діаграмі згідно з прийнятим масштабом сил, тобто заміряємо довжину кожного стрижня на діаграмі і помножуємо її на масштаб. Наприклад, для стрижня б-в довжина дорівнює 10 см, вибраний нами масштаб 1 см — 54,2 кН, тобто зусилля дорівнює 10×54,2=542 кН. Для визначення знаку зусилля в стрижнях необхідно «вирізати» вузол ферми і «обійти» його за годинниковою стрілкою для визначення назви стрижнів, що сходяться в даному вузлі. Рухаючись по діаграмі у напрямі, заданому назвою стрижня (наприклад, стрижень може мати назву «а-б» чи «б-а»), визначаємо знак зусилля: якщо напрям до даного вузла — стрижень стислий (–), якщо від вузла — стрижень розтягнутий (+). Необхідно вирізати стільки вузлів, скільки потрібно для визначення знаку зусилля у всіх стрижнях.




| Елемент ферми | Позначення стержня | Розрахункове зусилля, кН |
|---|---|---|
| Верхній пояс | 3-а | 0 |
| | 4-в | -825,9 |
| | 5-г | -825,9 |
| | 6-е | -1238,9 |
| | 7-ж | -1238,9 |
| Нижній пояс | 1-б | 464,57 |
| | 1-д | 1084 |
| | 1-з | 1290,48 |
| Розкоси | а-б | -673,63 |
| | б-в | 523,93 |
| | г-д | -374,24 |
| | д-е | 224,54 |
| | ж-з | -74,85 |
| Стойки | 2-а | -54,2 |
| | в-г | -108,4 |
| | е-ж | -108,4 |
| | з-з′ | 0 |

Рис. 9.18. Діаграма Максвела — Кремони

**282. Чим відрізняються геометричні і розрахункові довжини стрижнів ферми?**

Розрізняють геометричні $l$ і розрахункові $l_{ef}$ (в площині ферми) і $l_{ef,1}$ (з площини ферми) довжини стрижнів. Геометрична довжина — це довжина, яку вимірюють мірним інструментом. Розрахункова довжина стрижнів в площині ферми може дорівнювати геометричній, бути більшої чи меншої і залежить від ступеня защемлення кінців стрижнів у вузлах, що враховується

коефіцієнтом розрахункової довжини $\mu$. Розрахункова довжина стрижнів з площини ферми дорівнює відстані між в'язами. Розрахункові довжини стиснутих елементів ферм приймаються за таблицею 13.1 [1].

**283. З чого виконуються елементи легких ферм?**

Елементи ферм можуть виконуватись з: двох рівнополочних чи нерівнополочних кутиків, зіставлених тавром, з широкополочних таврів, з труб прямокутного чи круглого перерізів, з одиничних кутиків і т. п.

**284. Як визначають товщину вузлових фасонок для ферм з поясами з двох кутиків?**

Товщина вузлових фасонок визначається в залежності від найбільшого зусилля в решітці ферми. Рекомендовані товщини фасонок наведені у довідниках. Товщини вузлових фасонок для ферм з поясами з таврів приймаються рівними товщині стінки поясів. Допускаються в фермах фасонки двох товщин в межах однієї відправної марки. Допустима різниця в товщинах фасонок суміжних вузлів 2 мм.

**285. Як підібрати переріз стиснутого стрижня ферми?**

Визначаємо необхідну площу перерізу:

$$A_{mp} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c},$$

де: $R_y$ – розрахунковий опір в кН/см,$^2$ приймається за таблицею Г2 Додатку [1];

$\varphi$ — коефіцієнт стійкості при центральному стисканні визначається за таблицею Ж1 Додатку [1] в залежності від умовної гнучкості $\bar{\lambda}$ и типу кривої стійкості.

Умовна гнучкість стрижня визначається за формулою:

$$\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

де $\lambda$ — гнучкість стрижня.

Гнучкість стрижня визначається для двох варіантів:

– в площині ферми: $\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x}$;

– з площини ферми: $\lambda_y = \frac{l_{ef,1}}{i_y}$,

де $i_x$ та $i_y$ — радіуси інерції перерізу стрижня.

Типи кривої стійкості визначаються за таблицею 8.1 [1] в залежності від типу поперечного перерізу. Для первинного визначення $\varphi$ необхідно задатись гнучкістю стрижня, яка повинна бути менше граничної, за таблицею 13.9 [1]: для поясів, опорних розкосів і стояків $\lambda_u = 180 - 60\alpha$, для інших елементів $\lambda_u = 210 - 60\alpha$.

$N$ — розрахункове зусилля, *кН*;

$\gamma_c$ – коефіцієнт умов роботи;

$\gamma_n$ — коефіцієнт надійності

$$\alpha = \frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c}.$$

***Приклад:*** *N=1238,9 кН; переріз верхнього пояса ферми — тавр; $R_y$=24 Кн/м$^2$; розрахункова довжина стрижня в площі та з площі дорівнює $l_{ef}=l_{ef1}$=300 см.*

Задаємось гнучкістю, що дорівнює 100. Звідси умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda} = 100\sqrt{\frac{24\,кН/м^2}{20600\,кН/м^2}} = 3{,}41.$$

Потім за таблицею Ж1 [1], інтерполюючи, отримуємо коефіцієнт стійкості $\varphi = 0,49$ для кривої стійкості «с» і визначаємо вимагаєму площу перерізу:

$$A_{вим} = \frac{1238,9\ кН \cdot 1}{0,49 \cdot 24 кН/см^2 \cdot 0,8} = 131,58\ см^2.$$

З сортаменту обираємо тавр Т30ШТ3 $A = 130,27\ см^2$, $i_x = 8,54\ см$, $i_y = 7,18\ см$.

Визначаємо гнучкості $\lambda_x$ и $\lambda_y$. Оскільки розрахункові довжини для стрижня однакові в обох площинах, гнучкість визначаємо за меншим радіусом інерції ($i_y = 7,18\ см$).

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,1}}{i_y} = \frac{300\ см}{7,18\ см} = 41,78.$$

Гранично допустима гнучкість:

$$\overline{\lambda_u} = 180 - 60\alpha;$$

$$\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R_y}{E}} = 41,78\sqrt{\frac{24 кН/см^2}{20600\ кН/см^2}} = 1,43 \Rightarrow \varphi = 0,837;$$

$$\alpha = \frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{1238,9\ кН \cdot 1}{0,837 \cdot 130,27 см^2 \cdot 24 кН/см^2 \cdot 0,8} = 0,59;$$

$$\overline{\lambda_u} = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0,59 = 144,6;$$

$$\lambda_y \le \overline{\lambda_u},\ 41,78 < 144,6.$$

Виконуємо перевірку стійкості:

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \le 1,\quad \frac{1238,9\ кН \cdot 1}{0,837 \cdot 130,27 см^2 \cdot 24 кН/см^2 \cdot 0,8} = 0,59 < 1.$$

Стійкість забезпечена, але з дуже великим запасом, тому такий переріз слід вважати неефективним за витратою сталі.

Якщо умова виконується, переріз підібрано задовільно, в протилежному випадку (тобто ліва частина нерівності більша 1), збільшуємо переріз та виконуємо розрахунок знову.

**286. Як підібрати переріз розтягнутого стрижня ферми?**

***Приклад:*** *N=1290,48 кН; переріз нижнього поясу ферми — тавр; $R_y$=24 Кн/м²; розрахункова довжина стрижня в площі та з площі дорівнює $l_{ef} = l_{ef1} = 600$ см.*

Визначаємо вимагаєму площу перерізу:

$$A_{тр} = \frac{N\gamma_n}{R_y \gamma_c} = \frac{1290,48\ кН \cdot 1}{24 кН/см^2 \cdot 1} = 53,77 см^2.$$

З сортаменту обираємо тавр Т17,5ШТ3 $A = 57,78\ см^2$; $i_x = 4,45\ см$; $i_y = 6,01\ см$:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{600\ см}{4,45\ см} = 134,83 < \overline{\lambda_u} = 400.$$

Граничну гнучкість визначаємо за таблицею 13.10 — Граничні гнучкості елементів при розтягу [1], $\overline{\lambda_u} = 400$.

Виконуємо перевірку міцності за формулою 8.1 [1]:

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \le 1,\quad \frac{1290,48\ кН \cdot 1}{57,78 см^2 \cdot 24 кН/см^2 \cdot 1} = 0,93 < 1.$$

Міцність забезпечена.

**287. Як запроектувати проміжні вузли зварних ферм?**

***Приклад:***

Вихідні данні: зварювання полуавтоматичне; зварний дріт $C_в$ — *08Г2С* диаметром $d = 1,2...2$ *мм*; $\gamma_c = 1$. $R_{\omega f} = 18$ кН / *см*$^2$;

$R_{\omega z} = 0,45$, $R_{un} = 0,45 \cdot 37$ кН / *см*$^2$ $= 16,65$ кН / *см*$^2$, таблиці Д2, Д5 Додатку [1].

$\beta_f = 0,9$; $\beta_z = 1,05$, , таблиця 16.2 [1].

Елементи решітки в зварних фермах кріпляться до поясів і до фасонок зварними кутовими швами (рис. 9.19), що розраховуються на міцність при умовному зрізі по металу шва і металу межі сплавлення. Шви виконуються напівавтоматичним або ручним зварюванням. Типи зварювального дроту й електродів приймаються відповідно до вибраної марки сталі за таблицею Д1 Додатку [1].

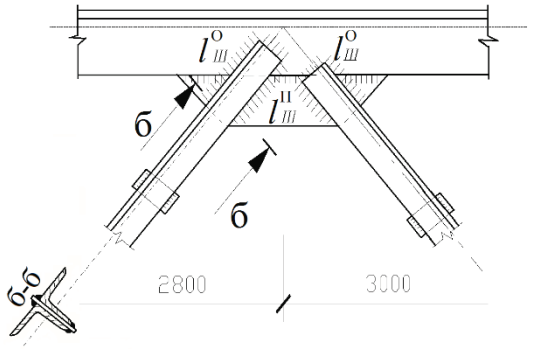



Рис. 9.19. Кріплення елементів решітки в фермах до поясів

При розрахунку необхідно визначити катет $k_f$ і $l_w$ — довжину зварного шва. Рекомендується задатися катетами швів і розраховувати їх довжину.

Розміри зварних кутових швів і конструкція з'єднання повинні задовольняти таким вимогам п.16 [1]:

а) катет кутового шва (рис. 16.1) [1] повинен задовольняти вимогам розрахунку і бути, як правило, не менше відміченого в таблиці 16.1 [1], катет шва в тавровому двосторонньому, а також у напусковому і кутовому з'єднаннях допускається приймати менше вказаного в таблиці 16.1, але не менше 4 мм, при цьому розміри шва повинні забезпечувати його несучу здатність, що визначається розрахунком. Виробничим контролем має бути встановлена відсутність дефектів, у тому числі технологічних тріщин;

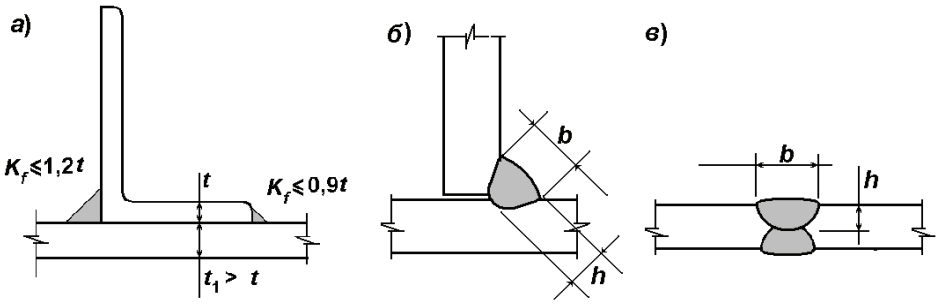



Рис. 9.20. Розміри кутових швів

б) катет кутового шва $k_f$ не повинен перевищувати *1,2 t*, де *t* — найменша з товщини зварюваних елементів; катет шва, прокладений уздовж закругленої кромки фасонного прокату товщиною *t*, як правило, не повинен перевищувати 0,9 *t* (рис. 9.20 *а*);

в) розрахункова довжина кутового шва має бути не меншою, ніж $4\,k_f$ і 40 мм;

г) режим зварювання слід вибирати так, щоб форма шва задовольняла таким умовам: для кутового шва — $b/h \geq 1,3$; для стикового однопрохідного шва — $b/h \geq 1,5$ (рис. 9.20 *б*, *в*);

д) розрахункова довжина флангового шва має бути не більше, ніж $85\beta_f k_f$, за винятком швів, в яких зусилля діє уздовж всієї довжини шва (тут $\beta_f$ — коефіцієнт, який приймається за таблицею 16.2 [1]);

е) розмір напуску має бути не менше, ніж п'ять товщин найтоншого зі зварюваних елементів;

ж) співвідношення розмірів катетів кутових швів слід приймати, як правило, 1:1; при різній товщині зварюваних елементів допускається приймати шви з неоднаковими катетами; при цьому катети, які прилягають до тоншого елемента, в з'єднанні повинні задовольняти вимоги п. б), а катети, які прилягають до товстішого елемента, в з'єднанні — вимоги п. а);

з) у зварних стиках елементів, які перекриваються накладками, флангові кутові шви слід не доводити до осі стику не менше ніж на 25 мм;

і) у конструкціях 1-ї і 2-ї груп кутові шви слід, як правило, виконувати без посилення з плавним переходом до основного металу;

к) зварні стики з накладками слід виконувати за рекомендаціями п.16 рис. 16.2 [1];

л) відстань між паралельними зварними з'єднаннями елементів конструкцій слід встановлювати не менше 10δ мм і 100 мм, де δ — товщина деталі.

Розрахунок зварного з'єднання з кутовими швами при дії подовжньої сили, що проходить через центр тяжіння з'єднання, слід виконувати на зріз (умовний) в одній з двох розрахункових площин (рис. 9.21) за формулами:

– при $\dfrac{\beta_f R_{\omega f}}{0,45\beta_z R_{un}} \le 1$

розрахунок виконується в площині наплавленого металу

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f l_w R_{wf}\gamma_c} \le 1; \qquad (16.2\ [1])$$

– при $\dfrac{\beta_f R_{\omega f}}{0,45\beta_z R_{un}} > 1$ – у площині металу межі сплавлення

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_z k_f l_w R_{wz}\gamma_c} \le 1, \qquad (16.3[1])$$

де, $l_w$ — розрахункова довжина кутового шва.

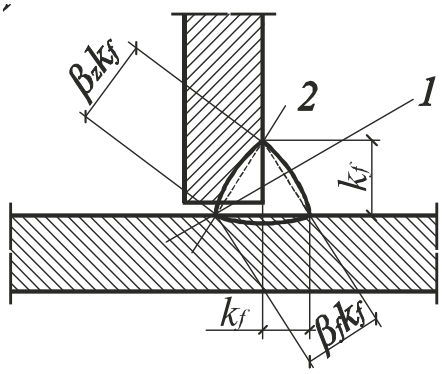



Рис. 9.21. Розрахункові перерізи кутових швів:
*1* — по металу шва; *2* — по металу межі сплавлення

Довжини швів (якщо решітка виконана з кутиків) визначаємо за формулою:

• для обушка (кутик має два пера і обушок, відповідно зварний шов по обушку $l_w^o$ і по перу $l_w^n$, рис. 9.19).

а) по металу шва

$$l_w^0 = \frac{\alpha \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_f \cdot R_{\omega f} \cdot \gamma_c \cdot k_f^0} + 1\ см;$$

в) по металу межі сплавлення

$$l_w^0 = \frac{\alpha \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_z \cdot R_{\omega z} \cdot \gamma_c \cdot k_f^0} + 1 \text{ см};$$

• для пера

а) по металу шва

$$l_w^n = \frac{(1-\alpha) \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_f \cdot R_{\omega f} \cdot \gamma_c \cdot k_f^n} + 1 \text{ см};$$

в) по металу границі сплавлення

$$l_w^n = \frac{(1-\alpha) \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_z \cdot R_{\omega z} \cdot \gamma_c \cdot k_f^n} + 1 \text{ см},$$

де $\alpha$ —коефіцієнт, що визначає долю зусилля, що сприймається швом по обушку, $\alpha = \frac{b - z_0}{b}$ (для рівнобоких кутиків $\alpha = 0,7$ );

$b$ — ширина полки кутика;

$z_0$ —відстань від обушка до центра ваги кутика;

$n$ — кількість швів по обушку (по перу), $n = 2$ — для парних кутиків;

$R_{wf}$ — розрахунковий опір кутових швів зрізу по металу шва, *кН/см²*, таблиця Д2 Додатка [1];

$R_{\omega z} = 0,45R_{un}$ — розрахунковий опір кутових швів зрізу по межі сплавлення;

$R_{un}$ — характеристичний опір сталі.

***Приклад:***

***Опорний розкіс:***

Товщина фасонки 14 *мм*, $N$= 673,63 *кН*.

Товщина кутиків 10 *мм*; $t_{\min} = 10$ *мм*.

Максимальні катети по обушку і перу кутика:

$$\max k_f^0 = 1,2t_{\min} = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ мм};$$

$$\max\ k^n = 0,9t = 0,9 \cdot 10 = 9 \text{ мм}.$$

*Приймаємо* $k_f^0 = 12$ *мм*; $k_f^n = 9$ *мм*.

Довжина шва по обушку:

$$l_w^0 = \frac{\alpha \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_f \cdot R_{\omega f} \cdot k_f^0} = \frac{0,7 \cdot 673,63 \text{ кН} \cdot 1}{2 \cdot 0,9 \cdot 18 \text{ кН} / \text{см}^2 \cdot 1,2 \text{ см}} + 1 \text{ см} = 13,13 \text{ см},$$

$n = 2$ — кількість швів для парних кутиків.

Приймаємо $l_w^0 = 14$ *см*.

Довжина шва по перу:

$$l_w^n = \frac{(1-\alpha) \cdot N\gamma_n}{n \cdot \beta_f \cdot R_{\omega f} \cdot k_f^n} = \frac{0,3 \cdot 673,63 \text{ кН} \cdot 1}{2 \cdot 0,9 \cdot 18 \text{ кН} / \text{см}^2 \cdot 0,9 \text{ см}} + 1 \text{ см} = 7,93 \text{ см}.$$

*Приймаємо* $l_w^n = 8$ *см*.

**288. Навіщо в стрижнях ферми, виконаних з парних кутиків, між ними ставлять листові прокладки?**

Елементи ферм, складені з двох кутиків, з'єднуються між собою прокладками «сухариками», для забезпечення їх спільної роботи. Відстані між прокладками призначають: для стислих елементів не більш *40i,* для розтягнутих не більш *80i*, де *i* радіус інерції одного кутика відносно осі, паралельної площині прокладок. Прокладки встановлюють в стрижні на рівних відстанях. Для стислих елементів кількість прокладок призначається не менше двох на елемент. Товщина прокладки $t_n$ дорівнює товщині фасонки або товщині стінки тавра в безфасоночному вузлі; ширина прокладки $b_n$ = (0,5...0,8) $b$, але не менше 50 мм; довжина прокладки $l_n = b$ + 30 мм (де $b$ — ширина полиці кутика).

**289. Що треба враховувати при конструюванні ферм?**

Осі стрижнів ферм мають бути центровані в усіх вузлах. При вимушеній розцентровці необхідно додатково вводити в розрахунок перерізів і швів вузлові моменти. Центрування стрижнів в зварних фермах відбувається по центрах тяжіння перерізів (з округленням до 5 мм). Відстань між краями елементів ґрат і пояса у вузлах зварних ферм з фасонками приймають не меншою за $a = 6t\text{-}20$ мм, але не більшою *80* мм, де *t* товщина фасонки в мм. Між торцями стикуємих елементів поясів ферм, що перекриваються накладками, слід залишати зазор 50 мм. Зварні шви, що прикріплюють елементи ґрат до фасонок, слід виводити на торець елемента на довжину 20 мм. У вузлах ферм з поясами з таврів кріплення фасонок до стінок поясів встик здійснюється з проваром на повну товщину фасонки. При конструюванні ферми розбивають на відправні марки, довжина яких диктується умовами транспортування. При прольоті до 18 м ферми складаються з однієї відправної марки, при великих прольотах з двох відправних марок. У легких кроквяних фермах, прольотом до 30м, для зменшення трудомісткості виготовлення пояси приймають постійного перерізу, підібраного за максимальним зусиллям в поясі. Зміну перерізу поясів у фермах великих прольотів виробляють у вузлах зі значною різницею зусиль в поясах, причому стикувальний вузол слід винести в панель з меншим зусиллям на відстань не менше 500 мм від центру вузла. Зміну перерізу поясів з кутиків доцільно регулювати за рахунок ширини полиці, не міняючи, по можливості, товщину. В цілях зменшення трудомісткості виготовлення і комплектування зазвичай для ферм призначають 4...6 різних калібрів профілів. Для забезпечення жорсткості при транспортуванні і монтажу для елементів ферм приймаються кутики з розмірами полиці не менше 50 мм і товщиною не менше 5 мм. При призначенні контурів фасонок ферми слід прагнути до простоти контурів і мінімальної кількості операцій при вирізанні фасонки.

**290. Як розраховується опорний вузол нижнього пояса ферми?**

Якщо треба запроектувати жорсткий вузол з'єднання ферми з колоною, то необхідно ферму прикріпити до колони збоку. При жорсткому з'єднанні у вузлі виникає крім опорного тиску опорний момент. Передача цих зусиль робиться окремо. Опорний тиск передається через опорний вузол ферми на опорний столик. Опорний столик — це лист, приварений до колони, товщиною на 30–40 мм більше, ніж товщина опорного листа. Опорний вузол ферми складається з опорного листа (торцевого листа або фланця), який притягується до колони болтами (тільки для фіксації положення, тому болти ставлять в отвори на 3...4 мм більше діаметра болтів, щоб унеможливити сприйняття опорної реакції ферми у випадку нещільного обпирання опорного листа на опорний столик), і фасонки, привареної до опорного листа і до нижнього поясу. Розміри опорного листа часто задають уніфікованими — ширина 180 мм, товщина 20 мм, висота 680 мм, а потім перевіряють на зім'яття торцевої поверхні опорного листа і на зріз кутових швів, котрими приварена фасонка до опорного листа. Опорний момент розкладається на пару сил $H=M/h_{оп}$, які передаються на верхній і нижній пояси ферми. Зазвичай опорний момент має знак мінус, тобто спрямований проти годинникової стрілки, і в цьому випадку зусилля *H* притискує опорний лист вузла нижнього пояса ферми до колони. Напруження на поверхні контакту незначні, їх можливо не перевіряти. Болти ставлять конструктивно (6...8 штук, діаметром 20...24 мм). Якщо в опорному вузлі виникає позитивний момент, то зусилля *H* відриває опорний лист від колони і болти слід перевіряти на розтяг. Розраховується вузол на дію опорної реакції ферми.

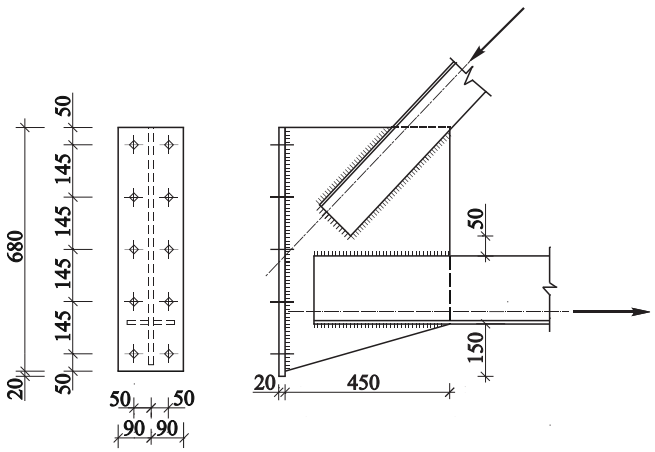



Рис. 9.22. Опорний вузол ферми

*Перевірка на зім'яття торцевого листа:*

Напруження зім'яття біля торця:

$$\sigma_p = \frac{R_A}{b\delta} < R_p \quad R_p = \frac{R_{un}}{\gamma_m},$$

де $R_A$ — опорна реакція, $R_p$ — розрахунковий опір зм'яттю торцевої поверхні;

$\gamma_m = 1{,}025$, таблиця 7.2 [1];

$b$ — ширина опорного листа; δ — товщина опорного листа.

*Перевіряємо опорний лист на зріз:*

$$\tau = \frac{R_A}{h \cdot \delta} < R_s;$$

$$R_s = 0.58 R_{yn} / \gamma_m,$$

де $h$ — висота опорного листа; δ — товщина опорного листа; $R_s$ — розрахунковий опір зрізу.

Додатково слід перевірити зварні кутові шви що прикріплюють опорний лист до опорної фасонки на зріз у площині наплавленого металу та у площині металу межі сплавлення.

**291. Для чого потрібен опорний столик під нижнім поясом ферми?**

На нього передається опорний тиск від ферми. Його виконують з листа товщиною 30...40 мм (цей лист повинен бути товще, ніж товщина опорного листа ферми), шириною в залежності від ширини грані колони (при не дуже розвинутих перерізах колон, можливо приймати на 2 см (2 см на кутові зварні шви по боках столика) менше, ніж ширина грані. Довжина столика приймається рівною необхідній довжині зварного кутового шва. Або задаємося довжиною столика і вираховуємо вимагаємий катет шва:

$k_f = \dfrac{1{,}3 R_A}{\beta_f l_\omega R_{\omega f} \gamma_c}$, коефіцієнт 1,3 враховує можливий ексцентриситет передачі навантаження, виникаючий завдяки нещільному обпиранню опорного листа і його перекосу в своїй площині, $l_w$ — довжина зварного шва дорівнює довжині столика.

**292. Як розраховується коньковий вузол ферми?**

Розрахунок полягає у визначенні геометрічних характеристик листової накладки. Як правило, товщиною накладки задаються (12...20 мм), ширину приймають на 2 см більше, ніж ширина пояса, а довжину приймаємо рівною вимагаємій довжині зварних кутових швів.

***Приклад***

Листову накладку приймаємо відповідно до сортамента листової сталі, на 20 мм ширше и на 5 мм товще пояса прийнятого тавра, переріз накладки приймаємо 320 х 20 мм.

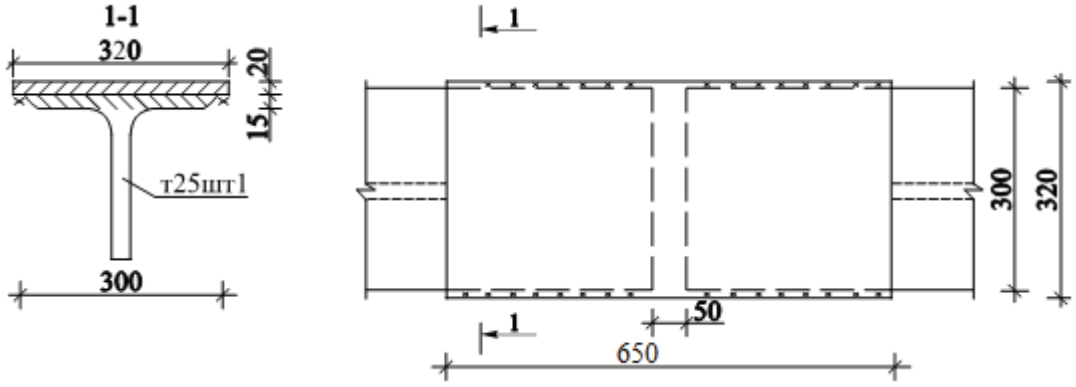



Рис. 9.23. Коньковий вузол

Визначаємо напруження в стику

$$\sigma = \frac{1,2N_{7-ж}}{A_{усл}} = \frac{1,2 \cdot 1238,9\,\text{kH}}{32\ см \cdot 2,0\ см + 30\ см \cdot 1,5\ см} = 13,7\,\text{kH}/см^2,$$

де $A_{усл} = A_{накл} + A_{п.т.}$ — умовна площа, яка складається з площі перерізу накладки и площі перерізу верхньої полки тавра.

Зусилля в листовій накладці:

$$N_{p,s} = A_{p,s} \cdot \sigma = 32\ см \cdot 2,0\ см \cdot 13,7\,\text{kH}/см^2 = 876,8\ \text{kH}.$$

Сумарна довжина швів (з однієї сторони), прикріплюючих накладку до поясу при катеті швів 12 мм, складає:

$$\sum l_{\omega} = \frac{N_{p,s}}{\beta k_f R_{\omega f}} = \frac{876,8\,\text{kH}}{0,7 \cdot 1,2\ см \cdot 18\,\text{kH}/см^2} = 60\ см.$$

Довжина накладки $60см + 5см = 65см$, де 5см — проміжок між відправними марками ферми.

# 10. КАРКАСИ ОДНОПОВЕРХОВИХ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

*Першу будівлю з чавунним каркасом було побудовано в 1880 році в Чикаго. У 1854 році була винайдена безпечна кабіна, яка дозволила використовувати підйомники для транспортування пасажирів. Перший пасажирський ліфт був побудований в Нью-Йорку в 1857 році. Проектовані архітекторами будівлі з використанням чавуну до 1880 року були в основному ринки і бібліотеки. Традиційно при будівництві житлових будинків чавун не застосовувався. Перші каркасні будівлі з'явилися в Чикаго після великої пожежі 1871 року. Більшість нових будівель мало внутрішній каркас з колонами з литого чавуну, що підтримують ферми або балки з ковкого чавуну. Еволюція каркасного будинку значною мірою є результатом роботи Вільяма Дженні. Свій перший семиповерховий каркасний будинок він побудував в 1872 році. Перший повний каркас він застосував у дев'ятиповерховому будинку в 1885 році. У 1891 році з'явилася назва «хмарочос».*

**293. Що називається каркасом промислової будівлі?**

Це основна несуча конструкція, сприймаюча навантаження від ваги огороджувальних конструкцій будівлі, атмосферні навантаження, навантаження від кранів і технологічного обладнання.

**294. Яким вимогам повинна задовольняти запроектована споруда?**

Вимогам міцності, стійкості, просторової жорсткості. В промисловій будівлі повинні бути нормальні умови для працівників по освітленню, аерації, опаленню. Треба забезпечити необхідну жорсткість підкранових шляхів, можливість догляду за несучими конструкціями і таке інше.

**295. Що є основою несучого сталевого каркаса промислової будівлі?**

Основою каркаса є плоскі поперечні рами, які утворюються з колон і кроквяних ферм (ригелів). На рами в повздовжньому напрямку обпираються підкранові балки, ригелі стінового каркасу, прогони покрівлі, ліхтарі. Каркас будівлі повинен мати просторову жорсткість, що досягається влаштуванням в'язів в повздовжньому і поперечному напрямках.

**296. Які розміри відносяться до генеральних розмірів цеху?**

Це проліт, висота до рівня головки підкранової рейки і повна висота цеха до низу ригеля рами. Ці розміри назначаються в залежності від габаритів обладнання і характеру технологічного процесу проектованого цеха. За умов уніфікації в будівлях з мостовими кранами висота приміщення від рівня підлоги до низу несучих конструкцій покриття повинна бути кратна 1,2 м (ширині збірної стінової панелі) до висоти 10,8 м, вище — кратна 1,8 м. Висота цеху до низу ригеля складається з висоти від рівня підлоги до головки кранової рейки, кранового габариту над рейкою, який визначається за ГОСТом на мостові крани і можливим прогином (200–250 мм) кроквяних ферм.

**297. Що таке модуль і модульна система?**

При проектуванні каркаса цеху в першу чергу визначають сітку колон. Для отримання найбільшої повторюваності елементів конструкцій крок колон слід приймати постійним, кратним певній величині, яка називається модулем. Модульна система є основою уніфікації і типізації конструкцій. Для одноповерхових промислових будівель в якості основного модуля прийнятий розмір 3 м. У відповідності з цим рекомендується приймати прольоти до 18 м кратними 3 м, а більше 18 м — кратними 6 м. Крок колон рекомендується приймати кратним 6 м. Найчастіше приймається 6 або 12 м.

**298. Навіщо промислові будівлі ділять на окремі блоки?**

Якщо будівля має значну довжину чи ширину, можуть виникнути суттєві деформації її окремих елементів внаслідок зміни температури влітку і взимку. Температурна деформація $\Delta = \alpha l t$, де $\alpha$ — коефіцієнт лінійного розширення сталі (0,000012), $l$ — довжина елемента, $t$ — різниця

температур. Довгі цеха слід ділити на окремі блоки (відсіки), виконуючи між ними температурні шви. Відстань між температурними швами, при якій можливо не враховувати температурні впливи, визначається за вимогами ДБН.

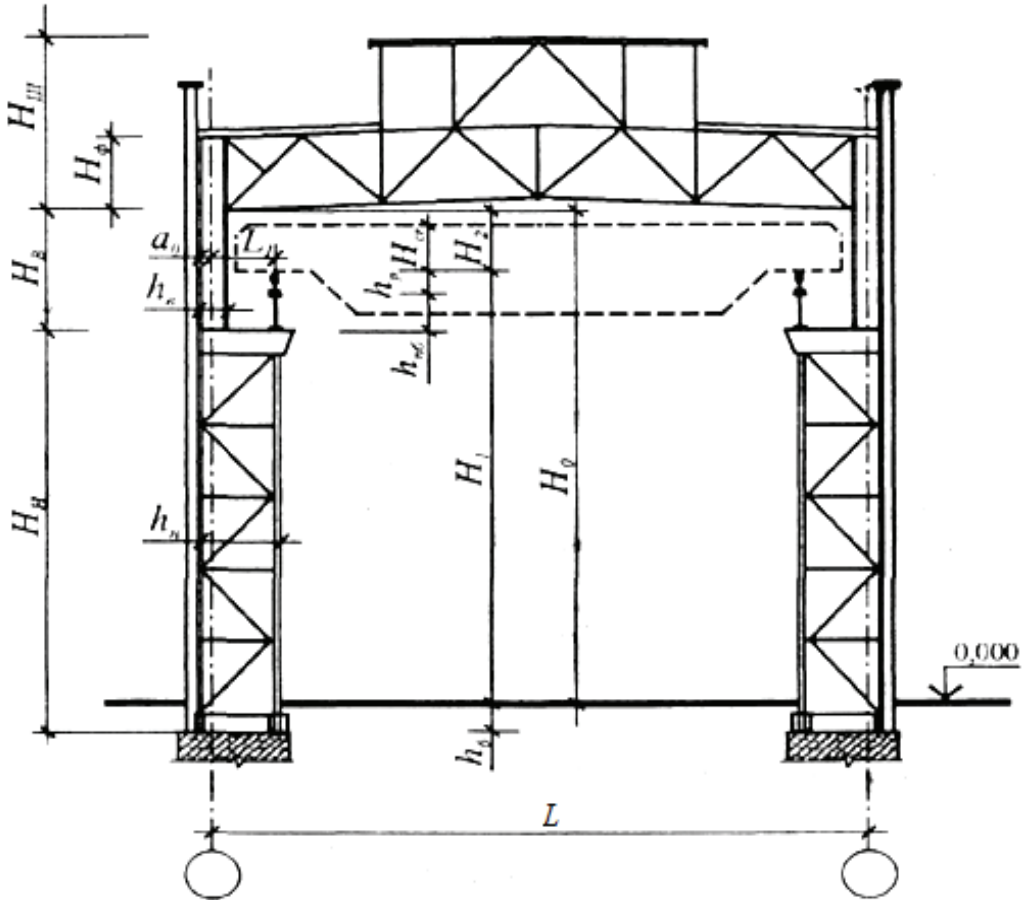



Рис. 10.1. Поперечна рама сталевого каркасу промислової будівлі:

$L$ — проліт рами; $L_1$ — відстань між віссю колони та підкрановою балкою; $H_н$ — висота нижньої частини колони; $H_в$ — висота верхньої частини колони; $H_ш$ — висота шатра; $H_ф$ — висота ферми; $H_1$ — відмітка головки кранової рейки; $H_2$ — відстань між головкою кранової рейки і нижнім поясом ферми в рівні обпирання на колону; $H_0$ — корисна висота цеху; $H_{кр}$ — висота мостового крану; $h_н$ — переріз нижньої частини колони; $h_в$ — переріз верхньої частини колони; $h_{пб}$ — висота підкранової балки; $h_р$ — висота кранової рейки; $h_б$ — заглиблення бази колони; $a_0$ — прив'язка колони

**299. Яка конструкція є основою каркаса?**

Основа каркаса — поперечні рами, які складаються з колон і ригелів. Рами однопрольотної будівлі бувають трьох типів: двошарнірні з шарнірами у місцях сполучення ригелів і колон; двошарнірні з шарнірними опорними вузлами колон та безшарнірні.

**300. З якою метою в цеху влаштовують в'язі і які вони бувають?**

Для забезпечення просторової жорсткості й стійкості елементів рам утворюють в'язі. Розрізняють в'язі горизонтальні — в площині верхніх та нижніх поясів кроквяної ферми і ферми ліхтаря і вертикальні — між фермами і між колонами. Головне призначення в'язей по верхніх поясах ферм забезпечити стійкість верхнього поясу з площини ферми. В безпрогонних покриттях, де залізобетонні плити приварюються до верхніх поясів, жорсткість покрівлі досить велика. Незважаючи на це, під час монтажу плит необхідні в'язі по верхніх поясах ферм по краях температурних відсіків, а також розпірки у коньку ферм і біля опор. Ці розпірки зв'язують верхні пояси всіх ферм. Горизонтальні в'язі по нижніх поясах ферм розміщуються поперек (поперечні в'язі) і вздовж цеху (повздовжні в'язі). Поперечні в'язі, розташовані у торців цеху, використовуються у якості вітрових

ферм. На них обпираються стійки торцевого фахверку. Поясами вітрової ферми служать нижні пояси кроквяних ферм. Подібні поперечні в'язі по нижніх поясах ферм влаштовують у температурних швах. При значній довжині температурного відсіку поперечні в'язі ставляться також в середній частині відсіку.

**301. Яке призначення горизонтальних в'язей по верхніх поясах ферм?**

Забезпечення стійкості верхнього пояса з площини. Горизонтальні в'язі по верхніх поясах потрібні навіть при безпрогоному покриттю з залізобетонними плитами, тому що потрібно забезпечити стійкість під час монтажу плит. У цьому випадку ставлять в'язі по краях температурних відсіків та між коньками ферм.

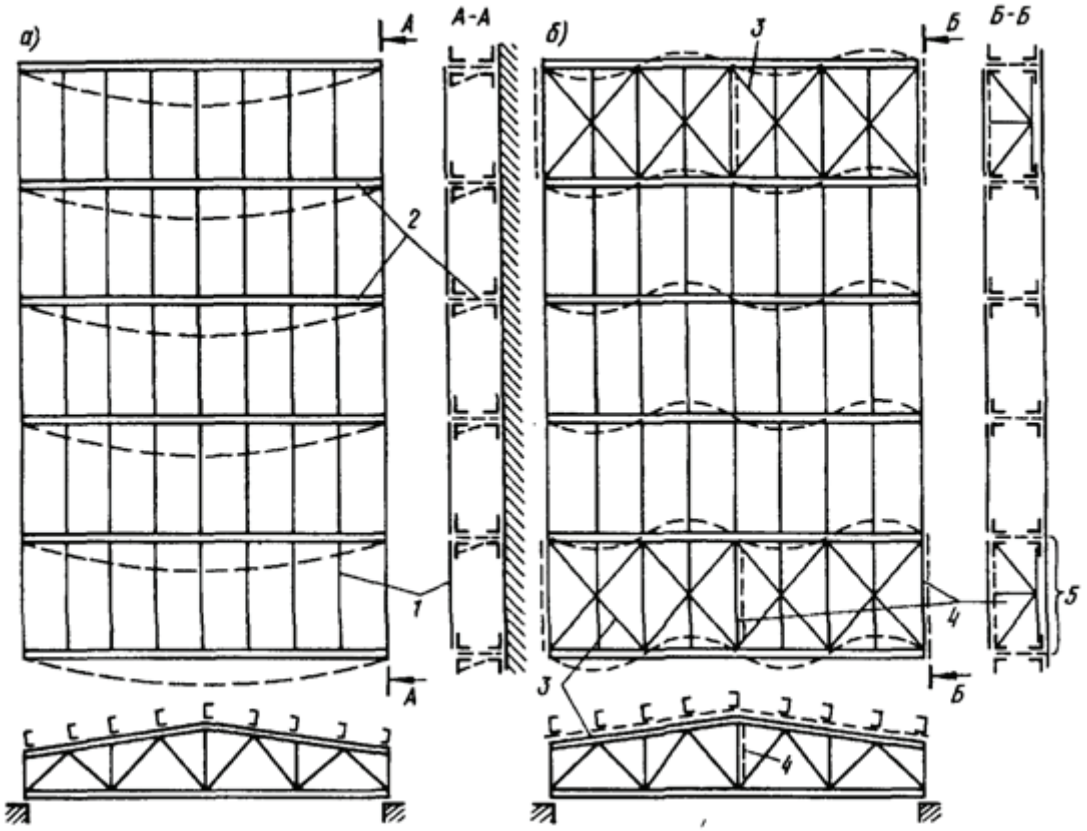



Рис. 10.2. В'язі, що забезпечують стійкість кроквяних ферм:
*а* — план прогонів; *б* — план в'язей
*1* — прогони; *2* — ферми; *3* — горизонтальні в'язі; *4* — вертикальні в'язі; *5* — просторовий блок

**302. Навіщо ставлять горизонтальні повздовжні в'язі по нижніх поясах ферм?**

Вони включають у просторову роботу сусідні рами при дії місцевих навантажень (наприклад, кранових), що зменшує деформації рами і збільшує поперечну жорсткість цеху. Особливе значення такі в'язі мають в цехах з важким режимом праці. А також при легких не жорстких покрівлях (наприклад з профільованого настилу).

**303. В яких місцях звичайно встановлюють вертикальні в'язі між фермами?**

Біля опор ферм і в середині прольоту, або під стійками ліхтаря, розташовуючи їх по довжині цеху в місцях розташування поперечних в'язей по поясах ферм.

**304. Головне призначення вертикальних в'язей між фермами**

Забезпечити незмінний стан просторової конструкції з двох кроквяних ферм і поперечних в'язей по верхньому і нижньому поясах ферм. Конструкція вертикальних в'язей приймається звичайно у вигляді хреста з одиночних кутиків.

**305. В яких місцях і навіщо встановлюють вертикальні в'язі між колонами?**

Вздовж цеху для забезпечення стійкості будівлі у повздовжньому напрямку, а також для сприйняття сил повздовжнього гальмування кранів і тиску вітру на торець будівлі (рис. 10.3).

**306. Чи потрібно встановлювати вертикальні в'язі на краях температурного відсіку?**

Свобода температурних повздовжніх деформацій каркаса забезпечується розташуванням вертикальних в'язей в середині температурного блоку (відсіку). Але тому що монтаж колон починають з країв, то бажано, щоб перші дві колони були зв'язані у раму для забезпечення стійкості. Тому в крайніх панелях слід встановлювати в'язі тільки в межах верхньої частини колон. Такі в'язі допускають деформацію згину нижніх частин колон при змінах температури. В той же час один з розкосів, працюючи від вітрового навантаження на розтягування, передає ці зусилля на підкранову балку. Далі вітрові зусилля передаються по жорстких підкранових балках до середніх в'язей і по них до землі.

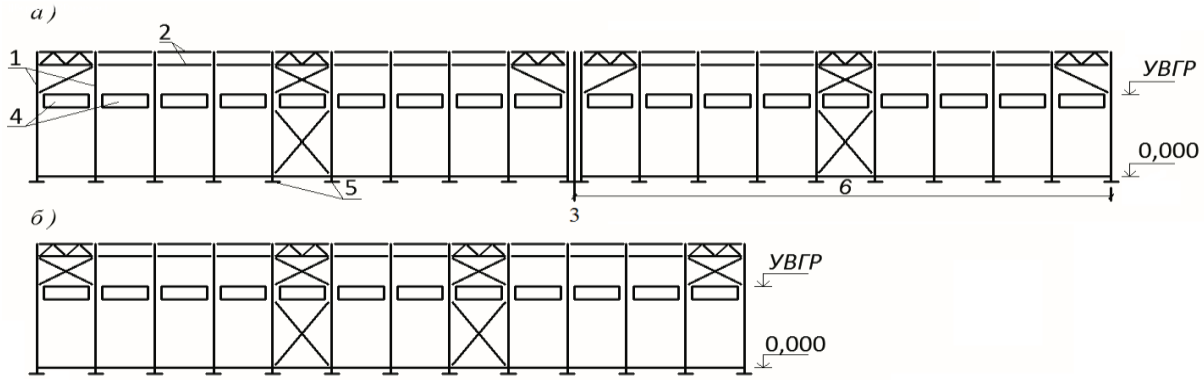



Рис. 10.3. Розміщення в'язей між колонами:
*а* — при незначній довжині будівлі (температурного блоку), *б* — при значній довжині будівлі (блоку);
*1* — колони; *2* — розпірки; *3* — вісь температурного шва; *4* — підкранові балки; *5* — в'язєвий блок;
*6* — температурний блок

**307. Для чого призначені ліхтарі в промислових будівлях і які в них конструктивні особливості?**

Ліхтарі розташовують на кроквяних фермах. Вони призначені для освітлення й аерації приміщень. Розрізняють ліхтарі з зовнішнім и внутрішнім водостоком. Ліхтарі розташовують вздовж цеху (повздовжні ліхтарі) и поперек нього (поперечні ліхтарі). Найбільш розповсюджені повздовжні ліхтарі. Висота ліхтаря залежить від світлової площі и визначається світлотехнічним розрахунком. Типові ліхтарні палітурки мають висоту 1250 и 1750 мм і встановлюються в один чи два яруси. Для ліхтарів шириною 6 м застосовують одну стрічку скління висотою 1250 мм, для ліхтарей шириною 12 м — одну стрічку висотою 1750 мм, чи дві стрічки висотою по 1250 мм. Повна висота ліхтаря складається з висоти палітурки скління та висот борту ліхтаря і карнизу. Борт під палітурками повинен мати висоту 600–800 мм, щоб скління не заносило снігом, карниз ліхтаря — висоту 300–400 мм. Повздовжні ліхтарі за умов експлуатації покрівлі не повинні мати розриви рідше 80 метрів и не повинні доходити до торців будівлі. Для загальної стійкості конструкції ліхтарів встановлюються горизонтальні і вертикальні в'язі.

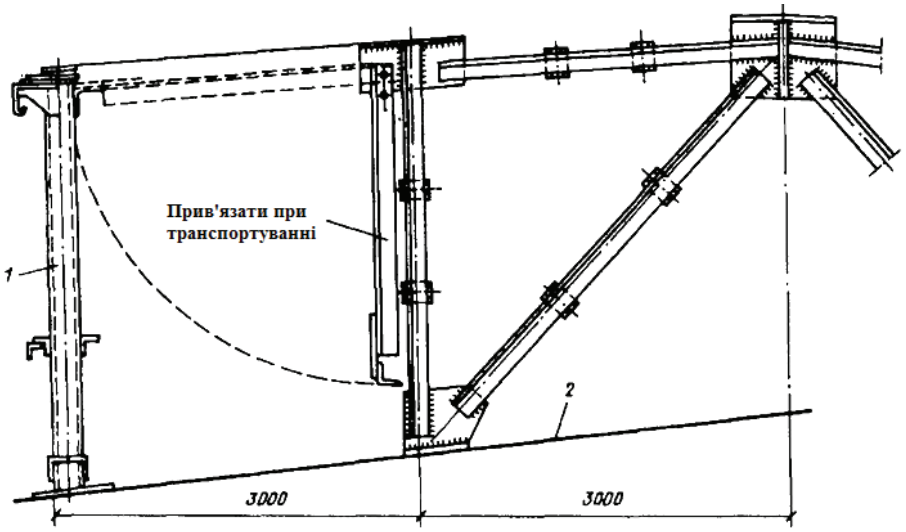



Рис. 10.4. Поперечна рама світлоаераційного ліхтаря:
*1* — ліхтарна панель; *2* — грань верхнього поясу кроквяної ферми

# 11. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЄВРОКОДОМ [4]

**308. Коли і чому з'явилися Єврокоди?**

Рада країн Європейського Союзу 21 грудня 1988 року випустила директиву, яка стосується стандартизації будівельної продукції. Цією директивою були встановлені шість найважливіших вимог для будівельних об'єктів: міцність і стійкість; вогнестійкість; гігієна, здоров'я і охорона навколишнього середовища; безпека експлуатації; захист від шуму; економія енергії та збереження тепла. Керуючись цією директивою, Європейська комісія зі стандартизації утворила 60 Технічних комітетів для розробки Європейських стандартів, що відповідають зазначеним вище вимогам. Результатом роботи одного з комітетів стало створення документів з проектування будівельних конструкцій — дев'яти Єврокодів:

1 — Основи проектування і впливу на конструкції
2 — Проектування залізобетонних конструкцій
3 — Проектування сталевих конструкцій
4 — Проектування композитних сталебетонних конструкцій
5 — Проектування дерев'яних конструкцій
6 — Проектування кам'яних конструкцій
7 — Основи і фундаменти
8 — Проектування конструкцій в сейсмічних районах
9 — Проектування алюмінієвих конструкцій

**309. Склад і призначення Єврокоду 3**

Єврокод 3 призначений для проектування будівель і споруд зі сталі. В його основу покладено методику розрахунку конструкцій за граничними станами. Єврокод складається з таких частин:

1. Загальні правила і правила проектування будівель
2. Мости і конструкції з листової сталі
3. Вежі, щогли і труби
4. Резервуари, силоси і трубопроводи
5. Сталеві палі
6. Кранові конструкції

**310. З чого складається перша частина Єврокоду 3?**

Перша частина складається з 11 розділів:

1. Загальні правила і правила проектування будівель
2. Вогнезахист будівель
3. Тонкостінні сталеві конструкції
4. Конструкції з нержавіючої сталі
5. Конструкції з елементів у вигляді пластин
6. Міцність і стійкість сталевих оболонок
7. Міцність і стійкість плоских конструкцій під навантаженням, що не лежить в їх площині
8. Проектування з'єднань
9. Розрахунок на втому
10. Розрахунок конструкцій при утворенні тріщин
11. Розрахунок конструкцій з розтягнутими елементами зі сталі

**311. Яка структура Єврокоду 3?**

Матеріал розташований за видом роботи конструкції: розтягнуті елементи, стислі, згинальні і т. п.

**312. Чим відрізняються принципові положення Єврокодів від загальноприйнятих правил?**

Принципові положення надруковані прямим світлим шрифтом. Вони містять визначення, що не допускають іншого тлумачення. Загальноприйняті правила проектування і розрахунку надруковані курсивом. Вони допускають використання альтернативних методів.

**313. Що позначають величини в рамках?**

Дані величини наводяться як орієнтовні. Конкретні їх значення можуть бути встановлені державами — членами Євросоюзу.

**314. Чи є відмінності в розташуванні осей від загальноприйнятого?**

У Єврокоді 3 позначення осей відрізняються від загальноприйнятого. Вісь X спрямована вздовж елемента, вісь У — поперек, вісь Z — вертикально.

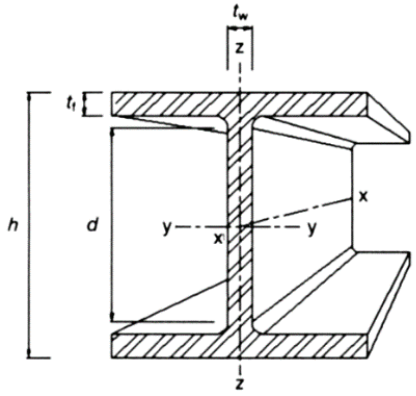



Рис. 11.1. Визначення осей у Єврокоді 3

**315. Що покладено в основу Єврокоду 3?**

Він базується на методі граничних станів: граничні стани повної непридатності конструкцій і граничні стани експлуатаційної придатності конструкцій. Перша група пов'язана з руйнуванням, коли небезпека загрожує людям, що їх експлуатують, друга група — стани, при яких перестають задовольнятися експлуатаційні критерії. Розглядаються такі граничні стани першої групи:

– втрата статичної рівноваги конструкції;

– руйнування або незворотні переміщення конструкції;

– перетворення конструкції в механізм;

– нестійкість, викликана ефектами другого роду — неточністю виготовлення, монтажу, впливом температури, прогинів;

– втомні руйнування;

– випадкові руйнування (в тому числі від пожежі).

До другої групи граничних станів відносяться:

– переміщення і деформації, що впливають на зовнішній вигляд і використання конструкції;

– вібрації й коливання (викликані динамічними впливами), що впливають на людей, які знаходяться в середині будівель, або на внутрішнє обладнання;

– пошкодження оздоблення і огороджувальних елементів в результаті деформацій, переміщень і динамічних ефектів.

В якості додаткового граничного стану розглядається стан з довговічності конструкцій.

У Єврокоді передбачено три набори розрахункових передумов для розрахунку будівельних конструкцій:

1. Прості конструкції — з шарнірним сполученням всіх елементів між собою і розвиненою системою зв'язків.

2. Нерозрізні конструкції — з жорстким сполученням всіх елементів між собою, здатним передавати згинальні моменти і повздовжні зусилля.

3. Нерозрізні конструкції з податливими вузлами — жорсткість вузлів і сполучень повинна відповідати їх фактичній величині.

**316. У чому суть розрахунку за граничними станами?**

Граничним називається стан, після якого конструкція більше не відповідає мінімальним проектним вимогам. Граничні стани визначають межу між допустимими і недопустимими станами. Недопустимий стан відповідає відмові, а самі граничні стани поділяються на дві групи:

– граничні стани за несучою здатністю (перша група граничних станів, ultimate limit state) — включає стани, перехід конструкції через які призводить до втрати несучої здатності або повної непридатності до будь-якої подальшої експлуатації, що зазвичай відбувається в результаті вичерпання міцності або втрати стійкості;

– граничні стани з експлуатаційної придатності (друга група граничних станів, service ability limit state) — стани, що ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта і виникають найчастіше, коли деякі експлуатаційні критерії досягають граничних, неприйнятних значень. В основному в якості таких критеріїв уявляють переміщення і деформації будівлі, пошкодження захисних покриттів та інші.

Розрахунок за граничними станами гарантує, що при заданих фізико-механічних характеристиках матеріалів, а також прогнозованих навантаженнях і впливах несучі конструкції не втратять своїх нормованих властивостей і відповідатимуть критеріям, які висуваються до їх цілісності і безпеки, а також мають відповідати своєму функціональному призначенню.

Перехід від характеристичних параметрів матеріалів і зовнішніх впливів до їх розрахункових значень відбувається в результаті застосування окремих коефіцієнтів надійності. Розрахунок за граничними станами враховує міцнісні властивості, працездатність і довговічність конструкції.

**317. Які розрахункові ситуації необхідно розглянути при проектуванні?**

При проектуванні несучих елементів конструкцій повинні бути розглянуті всі можливі розрахункові ситуації і комбінації зовнішніх впливів на різних етапах життєвого циклу конструкцій з метою виявити найбільш несприятливі, але реалістичні їх поєднання. У Єврокодах розглядаються такі проектні розрахункові ситуації:

– постійні розрахункові ситуації, відповідні нормальним умовам експлуатації несучої конструкції;

– перехідні розрахункові ситуації, які стосуються станів несучої конструкції, обмежених у часі, наприклад, етапу будівництва або ремонту;

– аварійні розрахункові ситуації, які стосуються надзвичайних умов або їх впливів, наприклад, пожежа, вибух або наслідки локальної відмови;

– сейсмічні розрахункові ситуації, які застосовуються до конструкцій при землетрусі.

**318. Як визначаються навантаження?**

За термінологією Єврокоду вплив (action) — це навантаження, що викликає деформацію. Постійні (permanent) і тимчасові (variable) навантаження визначаються відповідно до Єврокоду 1. Розрахункові величини впливів ($F_d$) визначаються множенням нормативних значень ($F_k$) на коефіцієнт надійності по навантаженню (partial safety factor) $\gamma_f$.

**319. Як визначають розрахункові опори сталі?**

Розрахункові опори ($X_d$) отримують діленням нормативних ($X_k$) на коефіцієнт надійності за матеріалом $\gamma_m$.

**320. Як визначають нормативні опори сталі?**

Нормативні опори в залежності від марки сталі та її товщини визначають за таблицями Єврокоду 3. Мінімальна межа плинності $f_y$ дорівнює 235 Н/мм $^2$.

**321. Чому дорівнюють коефіцієнти надійності при визначенні несучої здатності?**

Повинні застосовуватися такі окремі коефіцієнти надійності для різних характеристичних значень несучої здатності перерізу:

- несуча здатність по міцності будь-якого класу перерізів: $\gamma_{m0} = 1{,}00$;
- несуча здатність по стійкості: $\gamma_{M1} = 1{,}00$;
- несуча здатність на розтягнення, що визначається за межею міцності сталі: $\gamma_{M2} = 1{,}25$.

**322. Які критерії експлуатаційної придатності конструкції?**

Експлуатаційна придатність щодо допустимих прогинів і переміщень формулюється, виходячи з таких умов:

– технологічних (забезпечення нормальних умов експлуатації обладнання та приладів);

– конструктивних (забезпечення цілісності конструкцій і вузлів, збереження заданих ухилів);

– фізіологічних (забезпечення комфорту людей і належних умов роботи);

– естетико-психологічних (забезпечення належного зовнішнього вигляду конструкцій).

**323. Чому дорівнюють основні характеристики сталі?**

Модуль пружності — $E = 210000$ Н/мм$^2$;

Модуль зсуву — $G = E / 2\,(1 + \upsilon)$ Н/мм$^2$;

Коефіцієнт Пуассона — $\upsilon = 0{,}3$;

Коефіцієнт температурного розширення — $\alpha = 12 \times 10^6$ 1/ °С;

Щільність — $\rho = 7850$ кг/м$^3$.

**324. Як класифікуються поперечні перерізи?**

При розрахунку поперечний переріз кожного елемента має бути класифікований в залежності від своїх геометричних параметрів і фізико-механічних характеристик матеріалів. Мета класифікації полягає у визначенні меж, при досягненні яких несуча здатність поперечного перерізу обмежується втратою місцевої стійкості.

Розрізняють 4 класи поперечних перерізів:

1 — поперечні перерізи, в яких може утворюватися повний пластичний шарнір з обертальною здатністю, необхідною для пластичного розрахунку без зниження несучої здатності від втрати місцевої стійкості;

2 — поперечні перерізи, в яких можуть розвиватися пластичні деформації, але в котрих обертальна здатність обмежена внаслідок місцевої втрати стійкості;

3 — поперечні перерізи, в яких при пружній роботі напруження в стислій зоні можуть досягати межі текучості, але втрата місцевої стійкості не дозволяє розвиватися пластичним деформаціям;

4 — поперечні перерізи, в яких втрата місцевої стійкості настає до досягнення межі текучості в одній або декількох частинах перерізу.

Класифікація поперечних перерізів залежить від співвідношення ширини до товщини частин перерізу, в котрих діють напруження стиснення. Різні стислі ділянки поперечного перерізу, наприклад, стінка або полиця, можуть відноситися до різних класів. Стислі зони включають всі частини поперечного перерізу, які повністю або частково стиснуті під дією даного сполучення навантажень. Поперечний переріз класифікується за найвищим (найменш сприятливим) класом його стислих частин.

**325. Як класифікують балки?**

Балки поділяють на балки, закріплені від втрати загальної стійкості, і балки, не закріплені від втрати загальної стійкості.

**326. Які перевірки виконуються для балок, закріплених від втрати загальної стійкості?**

1. Перевірка несучої здатності на дію згинального моменту і поперечної сили.
2. Перевірка місцевої стійкості при дії дотичних напружень.
3. Перевірка місцевої стійкості стислої полиці.
4. Перевірка стінки на дію зосереджених сил.
5. Перевірка деформацій.

**327. Якій вимозі повинне задовольняти розтягуюче зусилля?**

Розрахункове значення розтягуючого зусилля для кожного перерізу має задовольняти вимозі: $N_{ed} / N_{t.Rd} \le 1$, де $N_{t.Rd}$ — розрахункова несуча здатність на розтягнення.

**328. Якій вимозі повинне задовольняти зусилля стиснення?**

Розрахункове значення зусилля стиснення для кожного перерізу має задовольняти вимозі:

$$N_{ed} / N_{c.Rd} \leq 1,$$

де $N_{c.Rd}$ — розрахункова несуча здатність поперечного перерізу для осьового стиснення.

**329. Як перевірити несучу здатність балки на чистий вигин?**

Перевірка полягає в порівнянні розрахункового згинального моменту з граничним $M_{Ed} / M_{c.Rd} \leq 1$.

При розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій $M_{c.Rd} = M_{pl.Rd} = W_{plfy} / \gamma_{Mo}$ для перерізів 1 і 2 класу, де $W_{pl}$ — пластичний момент перерізу брутто. При розрахунку за пружною стадією $M_{c.Rd} = M_{el.Rd} = W_{el\cdot min} f_y / \gamma_{Mo}$ для перерізу 3-го класу, де $W_{el.min}$ — відповідає найбільш напруженим волокнам, $\gamma_{Mo}$ — коефіцієнт надійності.

**330. Як перевіряють балку на дію поперечної сили?**

Розрахункове значення поперечної сили ($V_{Ed}$) не повинно перевищувати несучої здатності поперечного перерізу балки $V_{Ed} / V_{c.Rd} \leq 1$, де $V_{c.Rd}$ — несуча здатність на зсув з урахуванням розвитку пластичних деформацій $V_{pl.Rd}$:

$$V_{pl.Rd} = A_{\upsilon} (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{MO},$$

де $A_{\upsilon}$ — частина площі перерізу, що працює на зсув.

**331. Коли необхідно перевіряти стійкість стінки двотавра при дії дотичних напружень?**

Перевірка необхідна при $d/t_w > 69\varepsilon$. Для більшості прокатних перерізів ця умова виконується.

$d$ — висота стінки; $t_w$ — товщина стінки; $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y; f_y}$ — нормативний опір за межею текучості.

**332. Як забезпечити місцеву стійкість полиці двотаврової балки в площині стінки?**

Стисла полиця може втратити стійкість в площині стінки при її невеликій товщині й великій висоті. Єврокод обмежує співвідношення висоти і товщини стінки: $d/t_w \leq k(E/f_{yf}) \sqrt{A_w/A_{fc}}$, де $A_w$ — площа стінки, $A_{fc}$ — площа стиснутої полиці, $f_{yf}$ — межа плинності матеріалу стислій полиці. Коефіцієнт $k$ дорівнює:

– для полиць перерізів 1-го класу — 0,3;

– для полиць перерізів 2-го класу — 0,4;

– для полиць перерізів 3 і 4-го класів — 0,55.

**333. Скільки випадків вичерпання несучої здатності стінки балки розглядається при дії зосередженого навантаження?**

Розглядаються чотири випадки: 1, 3 — зм'яття стінки в безпосередній близькості до стиснутої полиці, що супроводжується пластичними деформаціями полиці; 2 — вигин стінки у формі локалізованої хвилі витріщення і зім'яття в безпосередній близькості до стиснутої полиці, що супроводжується пластичними деформаціями полиці; 4 — втрата стійкості (випинання) стінки по всій висоті.

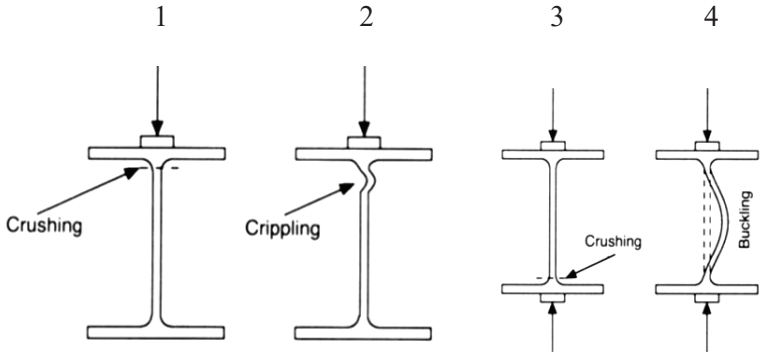



Рис. 11.2. Чотири випадки вичерпання несучої здатності стінки:
*1*, *3* — зім'яття (crushing); *2* — місцевий вигин стінки (crippling); *4* — втрата стійкості стінки (buckling)

# ЛІТЕРАТУРА


1. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. — К.: Мінрегіон України, 2014.
2. ДБН В.1.2–2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. — К.: Мінрегіон України, 2014.
3. ДБН В.1.2–14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. — К.: Мінрегіон України, 2009.
4. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. — К.: Мінрегіон України, 2012.
5. Веденików Г. С. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов. — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1998. — 760 с.
6. Горев В. В. Металлические конструкции: в 3 т.: учеб. для строит. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 551 с.
7. Нілов О. О. Металеві конструкції. Загальний курс: підручник для вищих навчальних закладів. — Вид. 2-е, перероб. і доп. — К.: Сталь, 2010. — 869 с.
8. Коун Г. Дж. Строительная наука XIX–XX вв. Проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / пер. с англ. Косаковского В. А.; под ред. Килимника Л. Ш. — М.: Стройиздат, 1982. — 359.
9. Ягнюк Б. Н. Проектирование элементов стальных конструкций по методике евросоюза: учебное пособие. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2009. — 58 с.

*Навчальне видання*

**ГІЛОДО Олександр Юрійович**

# МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ У ПИТАННЯХ ТА ВІДПОВІДЯХ

Навчальний посібник

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Редактор *Н. Я. Рихтік*
Технічний редактор *М. М. Бушин*
Дизайнер обкладинки *О. А. Кунтарас*
Коректор *І. В. Шепельська*

---

Формат 60х84/8. Ум. друк. арк. 13,95.
Тираж 300 прим. Зам. № 299 (96).

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
*Тел.: (0482) 37-14-25, 33-07-17, (048) 7-855-855*
**e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua; www.stranichka.in.ua**
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.