

Л.М. Рабер, В.О. Єрмократьєв, І.А. Мазур

# НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОМІСЛОВИХ ТА БІЗНЕС ТЕХНОЛОГІЙ  
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**

**Л.М. Рабер, В.О. Єрмократьєв, І.А. Мазур**

# **НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ**

**Навчальний посібник**

Затверджено Вченою радою УДУНТ  
як навчальний посібник для студентів  
спеціальності 133 – галузеве машинобудування  
Протокол № 1 від 26.09.2022

**Дніпро  
«ІМА-прес»  
2023**

УДК 669.002.5

ББК

Друкується за рішенням Вченої ради  
Українського державного університету науки і технологій  
(протокол № 1 від 26.09.2022 р.)

Рецензенти:

К.В. Баюл, доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу технологічного обладнання та систем управління, Інститут чорної металургії ім. ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро.

О.С. Кабат, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедрою інноваційної інженерії, Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро.

Рабер Л.М., Єрмократьєв В.О., Мазур І.А. Несучі конструкції  
P12 металургійних агрегатів : навчальний посібник. Дніпро : ТОВ  
«ІМА-прес», 2023. 255 с.

ISBN

У навчальному посібнику розглянуті несучі конструкції металургійних агрегатів, що відносяться до трьох основних металургійним переділів. Звернута увага на використання сучасних матеріалів, вдосконалення методів розрахунку міцності, витривалості, шляхи підвищення експлуатаційної надійності.

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за напрямком 133 «Галузеве машинобудування». Він може бути корисним для інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням, виробництвом і експлуатацією металургійного обладнання.

УДК 669.002.5

ББК

ISBN

© Рабер Л.М., Єрмократьєв В.О., Мазур І.А., 2023

## ВІД АВТОРІВ

Машини та агрегати металургійного виробництва характеризуються значними габаритами і навантаженнями. Їх несучі конструкції розглядаються фахівцями як об'єкти підвищеної відповідальності.

Як правило, публікації про несучі конструкції металургійних агрегатів являють собою або окремі статті, або розосереджений матеріал в різного роду виданнях. Автори спробували систематизувати накопичений досвід з охопленням відомостей про несучі конструкції агрегатів, що відносяться до трьох основних металургійних переділів (аглодоменного, сталеплавильного, прокатного). На жаль, через обмежений обсяг підручника, деякі питання не знайшли належного відображення. До того ж ця робота є однією з перших спроб узагальнення наявних знань. Однак в роботах багатьох вчених міститься матеріал, що створює передумови для істотного доповнення знань щодо запропонованих у підручнику питань:

- загальні вимоги до несучих конструкцій металургійних агрегатів [1-4; 10-12; 15-17];
- несучі конструкції підготовки металургійної сировини [9; 14];
- несучі конструкції доменного цеху [8; 11];
- несучі конструкції сталеплавильних цехів [7; 9; 13; 18];
- несучі конструкції клітей прокатних станів [5; 6; 9; 19].

Автори висловлюють щире подяку всім колегам, з якими пов'язані багаторічним співробітництвом, насамперед інститутам «Дніпропроектстальконструкція», «Укрстальпроект», «ПКПІ», кафедри машин і агрегатів металургійного виробництва Національної металургійної академії України, а також іншим організаціям і фахівцям, дослідження і досвід яких відображені в даній роботі.

# ЗМІСТ

	стор.
ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ.....	6
1.1. Основи розрахунку несучих конструкцій.....	6
1.1.1. Розрахунок за методом допустимих напружень.....	6
1.1.2. Метод розрахунку за граничними станами.....	9
1.2. З'єднання елементів несучих конструкцій.....	13
1.2.1. Зварні з'єднання.....	13
1.2.2. Види зварних з'єднань.....	16
1.2.3. Робота і розрахунок зварних з'єднань.....	25
1.3. Болтові та клепані з'єднання.....	38
1.3.1. Види і загальна характеристика з'єднань.....	38
1.3.2. Робота і розрахунок болтових з'єднань.....	43
 ГЛАВА 2. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДГОТОВКИ МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ.....	 56
2.1. Вагоноперекидувачі.....	56
2.1.1. Загальні відомості.....	56
2.1.2. Основи розрахунку несучих конструкцій вагоноперекидачів.....	59
2.2. Рудно-грейферні перевантажувачі.....	60
2.2.1. Загальні відомості.....	60
2.2.2. Навантаження, що діють на метало- конструкції перевантажувачів.....	66
2.2.3. Матеріали, що застосовуються при проектуванні перевантажувачів.....	73
2.2.4. Типи несучих конструкцій перевантажувачів.....	75
2.2.5. Особливості розрахунку.....	90
2.2.6. Підвищення витривалості клепанних з'єднань конструкцій перевантажувачів.....	104
2.3. Конструкції коробів грохотів.....	111
2.4. Конструкції бункерних ємностей.....	113

## ГЛАВА 3. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ

ДОМЕННОГО ЦЕХУ.....	118
3.1. Розвиток сталевих конструкцій доменних печей.....	118
3.2. Конструкція доменної печі і умови її роботи.....	124
3.3. Конструкції для подачі шихтових матеріалів.....	137
3.3.1. Загальні відомості.....	137
3.3.2. Скіпові підйомники.....	140
3.3.3. Основні схеми мостів скіпових підйомників.....	144
3.3.4. Міст скіпового підйомника закритого типу.....	147
3.3.5. Міст скіпового підйомника відкритого типу.....	148
3.3.6. Конвеєрна подача матеріалів на колошник доменної печі.....	152
3.4. Допоміжні сталеві конструкції доменного цеху.....	154
3.4.1. Пиловловлювачі.....	154
3.4.2. Повітрянагрівачі.....	156
3.4.3. Забезпечення надійності кожухів повітрянагрівачів.....	159
3.4.4. Конструктивні особливості повітрянагрівачів.....	161
3.5. Основні положення з проектування сталевих конструкцій доменного цеху.....	188
3.5.1. Загальне положення.....	188
3.5.2. Навантаження і розрахункові коефіцієнти.....	192
3.5.3. Основні принципи розрахунку кожуха доменної печі.....	194
3.5.4. Основні принципи вибору матеріалу.....	202

## ГЛАВА 4. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ

СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ЦЕХІВ.....	210
4.1 Несучі конструкції стаціонарного міксеру.....	210
4.2. Несучі конструкції конвертера.....	211
4.3. Дугові сталеплавильні печі.....	222
4.3.1. Опорна конструкція дугових сталеплавильних печей.....	222
4.3.2. Несуча конструкція для пересування електрода.....	224

4.4. Основні вимоги до несучих конструкцій машин безперервного лиття заготовок.....	228
4.5. Сталерозливні стенди.....	228
4.6. Металевий каркас мартенівської печі.....	233
ГЛАВА 5. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ	
КЛІТІ ПРОКАТНИХ СТАНІВ.....	236
5.1. Характеристика станин.....	236
5.2. Розрахунок станини закритого типу на міцність і жорсткість.....	238
5.3 Залізобетонні станини прокатних клітей.....	245
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.....	251
ЛІТЕРАТУРА.....	253

# ГЛАВА 1

## ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТИВ

На несучі конструкції металургійних агрегатів монтують всі механізми, приводи і системи управління.

На виготовлення несучих конструкцій витрачається значна кількість металу. Від властивостей несучих конструкцій залежить довговічність і надійність роботи механізмів і агрегатів в цілому. Тому при проектуванні особливої уваги необхідно звертати на вдосконалення конструктивних форм і методів розрахунку конструкцій, на економію металу при одночасному забезпеченні надійності, довговічності, зручності обслуговування і ремонту. Несучі конструкції повинні мати відповідну міцність, витривалість, стійкість і жорсткість елементів з урахуванням умов виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації.

### 1.1. Основи розрахунку несучих конструкцій

#### 1.1.1. Розрахунок за методом допустимих напружень

Для забезпечення умов безпеки роботи несучих конструкцій з урахуванням мінливості факторів, що впливають на її міцність, розрахункове напруження приймається меншим максимального (руйнівного), тобто

$$\sigma_p = \frac{\sigma_0}{m}, \quad (1.1)$$

де,  $m$  – коефіцієнт запасу.

При розрахунках за методом допустимих напружень

$$\sigma_0 = \sigma_{вр}.$$

отже, вираз (1.1) приймає вигляд:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{вр}}{n}, \quad (1.2)$$

де,  $[\sigma]$  – допустима напруга, прийнята при розрахунках несучих конструкцій для відповідних матеріалів;  $\sigma_{вр}$  – тимчасовий опір, або межа міцності матеріалу (середнє статистичне значення міцності матеріалу, встановлене за експериментальними даними).

Метод розрахунку на міцність по допустимій нарузі безперечно, забезпечує міцність конструкції, проте в багатьох випадках не дозволяє раціонально використовувати всі її можливості і часто призводить до завищеної маси.

При розрахунку по допустимій нарузі небезпечним або граничним станом конструкції вважається такий її стан, при якому найбільшу напругу хоча б в одній точці матеріалу конструкції досягає небезпечної величини – межі текучості (для пластичного матеріалу) або тимчасового опору (для крихкого матеріалу). Стан решти маси матеріалу до уваги не береться.

Тим часом при нерівномірному розподілі напруг (наприклад, при вигині, крутінні) в статично невизначених конструкціях, виготовлених з пластичних матеріалів, поява місцевих напружень, рівних границі текучості, в більшості випадків не є небезпечним для всієї конструкції. Практика показує, що при появі місцевих пластичних деформацій конструкція ще може задовольняти пропонованим до неї вимогам, і для переходу її в граничний стан, потрібне подальше зростання навантаження. Таким чином, в дійсності, конструкція володіє запасом міцності більшим, ніж при розрахунку за допустимими напруженнями.

У зв'язку з цим недоліком методу розрахунку на міцність по допустимій нарузі, виникла необхідність в новому підході до оцінки міцності конструкцій. Був запропонований метод розрахунку конструкцій за граничним станом.

### 1.1.2. Метод розрахунку за граничними станами

При розрахунку за методом граничних станів приймається диференційований коефіцієнт запасу, що залежить від розрахункових коефіцієнтів перевантаження  $n_{II}$ , однорідності  $k_0$  і умов роботи  $m_y$ . Величини цих коефіцієнтів визначають методами математичної статистики на основі експериментальних даних, беручи до уваги математичне очікування (середнє значення) розглянутого параметра  $\bar{x}$ , його середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{KB}$ . При цьому ймовірність відхилення не більше ніж на  $\sigma_{KB}$  складає 68,27%, не більше ніж на  $2\sigma_{KB}$  – 95,45%, не більше ніж на  $3\sigma_{KB}$  – 99,73%.

Тобто з ймовірністю відхилення не більш ніж 99,73% можна записати:

$$x_{\frac{\max}{\min}} = \bar{x} \pm 3\sigma_{KB} = \bar{x} \cdot \left( 1 \pm \frac{3\sigma_{KB}}{\bar{x}} \right), \quad (1.3)$$

де,  $\bar{x}$ ,  $x_{\frac{\max}{\min}}$  – відповідно середнє, найбільше та найменше значення даного параметра (навантаження, межі плинності матеріалу та інше).

Множник в дужках являє собою шуканий коефіцієнт. В даному випадку з забезпеченістю 99,73%. Знаки «плюс» і «мінус» при визначенні коефіцієнта  $n_{II}$  дають можливість враховувати небезпеку відхилення величини навантаження в несприятливу сторону від її нормативного значення. Наприклад, при оцінці міцності несприятливим є збільшення навантаження, тому до уваги слід приймати знак «плюс». При визначенні маси контрвантажу в розрахунку на перекидання несприятливим є її зменшення, тому приймають знак «мінус».

При визначенні коефіцієнтів  $k_0$  і  $m_y$  до уваги беруть тільки знак «мінус», оскільки однорідність матеріалу і умови роботи конструкції не можуть бути більше одиниці, тобто 100%.

Повністю перехід на розрахунки несучих конструкцій всіх металургійних агрегатів за методом граничних станів в даний час не здійснено головним чином через відсутність обґрунтованих чисельних значень величин коефіцієнтів. Під граничним розуміють такий стан, при якому конструкція

перестає задовольняти вимогам, що пред'являються до неї при зведенні, збірці або експлуатації.

В розрахунках конструкцій на дію статичних і динамічних навантажень і впливів, яким вони можуть піддаватися протягом монтажу та заданого терміну служби, враховуються такі граничні стани:

*першої групи* – за втратою несучої здатності і (або) повної непридатності до експлуатації конструкцій;

*другої групи* – за утрудненням нормальної експлуатації конструкцій.

До граничних станів першої групи відносяться: загальна втрата стійкості форми; втрата стійкості положення; руйнування будь-якого характеру; перехід конструкції в змінну систему; якісна зміна конфігурації; стану, при яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті плинності матеріалу, зрушень в з'єднаннях, повзучості, неприпустимих залишкових або повних переміщень або надмірного розкриття тріщин.

Перша група за характером граничних станів поділяється на дві підгрупи: за втратою несучої здатності (перші п'ять станів) і по непридатності до експлуатації (шостий стан) внаслідок розвитку неприпустимих за величиною залишкових переміщень (деформацій).

До граничних станів другої групи належать стани, що утруднюють нормальну експлуатацію або знижують довговічність внаслідок появи неприпустимих переміщень (прогинів, осад, кутів повороту, коливань, тріщин і тощо). Нормальною вважається експлуатація, здійснювана (без обмежень і без позачергового ремонту) відповідно до передбачених в нормах або завданнях на проектування умовами.

Граничні стани першої групи перевіряються розрахунком на максимальні (розрахункові) навантаження і впливи, можливі при порушенні нормальної експлуатації, граничні стани другої групи – на експлуатаційні (нормативні) навантаження і впливи, що відповідають нормальній експлуатації конструкцій.

Надійність і гарантія від виникнення граничних станів конструкції забезпечуються належним урахуванням можливих найбільш несприятливих характеристик матеріалів; перевантажень і найбільш не вигідного (але реально можливого) поєднання навантажень і впливів; умов і особливостей дійсної роботи конструкцій; належним вибором розрахункових схем і передумов розрахунку, обліком в необхідних випадках пластичних і реологічних властивостей матеріалів.

Ця умова для першої групи граничних станів за несучою здатністю може бути записано в загальному вигляді:

$$\bar{N} \leq \bar{S}, \quad (1.4)$$

де,  $\bar{N}$  – зусилля, що діє в розраховується елементі конструкції (функція навантажень і інших впливів);  $\bar{S}$  – граничне зусилля, яке може сприйняти що розраховується елемент (функція фізико-механічних властивостей матеріалу, умов роботи і розмірів елементів).

Оскільки розрахунком повинна бути обгрунтована можливість нормальної експлуатації конструкції протягом всього заданого терміну її служби, значення  $\bar{N}$  нерівності (1.4) має являти собою найбільшу можливу за цей час зусилля (вплив). Це зусилля визначається від розрахункових навантажень  $F_i$ , що представляють собою можливі найбільші (при визначенні несучої здатності конструкції при одноразово діючого навантаження) або найбільш часто повторювані навантаження (при перевірці втомного руйнування). Ці навантаження визначають множенням нормативних навантажень  $F_i^H$ , що відповідають умовам нормальної експлуатації, на коефіцієнти перевантаження  $n_i$ , що враховують можливе відхилення навантажень в несприятливу сторону (більшу чи меншу), і на коефіцієнт надійності за призначенням  $\gamma_H$ , що враховує ступінь відповідальності.

При одночасній дії двох або декількох тимчасових навантажень розрахунок конструкцій з першої і другої груп граничних станів виконується з урахуванням найбільш несприятливих сполучень навантажень або зусиль.

Можливість спільної дії декількох навантажень враховують множенням навантажень або зусиль що викликаються ними, на коефіцієнт сполучень  $n_c$ . Таким чином, сила  $\bar{N}$  може бути представлена у вигляді:

$$\bar{N} = \sum F_i^H \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_H \cdot n_c, \quad (1.5)$$

де,  $\bar{N}_i$  – зусилля при  $F_i = 1$ .

Несуча спроможність – граничне зусилля  $\bar{S}$  нерівності (1.4), яке може сприйняти елемент, що розраховується множенням геометричної характеристики перетину  $\bar{A}$  (площі, моменту опору і тощо) на розрахунковий опір  $R$  і коефіцієнт умов роботи  $\gamma$ .

Розрахунковий опір  $R$  отримують діленням основної характеристики матеріалу – нормативного опору за межею текучості  $R_T^H$  або тимчасового опору розриву  $R_B^H$ , яка встановлюється стандартами на поставку металу з урахуванням статистичної мінливості, на коефіцієнт надійності за матеріалами  $\gamma_M$ , що враховує вибірковий характер контролю і можливість попадання в конструкції металу зі зниженими характеристиками.

Таким чином, гранична сила  $\bar{S}$  визначається за межею текучості по ослабленому, наприклад отвором, перетину, тобто перетину по нетто ( $\bar{A}_{HT}$ )

$$\bar{S} = \bar{A}_{HT} \cdot R_T^H \cdot \frac{\gamma}{\gamma_M} = \bar{A}_{HT} \cdot R \cdot \gamma; \quad (1.6a)$$

за тимчасовим опором

$$\bar{S} = \bar{A}_{HT} \cdot R_T^H \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_B} = \bar{A}_{HT} \cdot R_B \cdot \frac{\gamma}{\gamma_B}; \quad (1.6b)$$

де,  $\gamma_B = 1,3$  – коефіцієнт надійності для елементів конструкцій, що розраховуються на міцність за тимчасовим опором.

Відповідно формула (1.4) для першої групи граничних станів за міцністю може бути записана:

$$\sum F_i^H \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_H \cdot n_c \leq \bar{A}_{HT} \cdot R_T^H \cdot \frac{\gamma}{\gamma_M}, \quad (1.7a)$$

або

$$\sum F_i^H \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_H \cdot n_c \leq \bar{A}_{HT} \cdot R_B^H \cdot \frac{\gamma}{\gamma_M} \cdot \gamma_B. \quad (1.7b)$$

Умова для першої групи граничних станів за залишковим або повним переміщенням, при яких виникає необхідність припинення експлуатації, може бути записано в загальному вигляді

$$\sum F_1^H \cdot \bar{N}_1 \cdot n_1 \cdot \gamma_H \cdot n_c \cdot \bar{\delta}_1 \leq \delta_1, \quad (1.8)$$

де,  $\bar{\delta}_1$  – переміщення, викликане одиничним навантаженням;  $\delta_1$  – граничне залишкове або повне переміщення.

Для другої групи граничних станів гранична умова може бути записана у вигляді:

$$\sum F_1^H \cdot \bar{N}_1 \cdot n_1 \cdot \gamma_H \cdot n_c \cdot \bar{\delta}_2 \leq \delta_2, \quad (1.9)$$

де,  $\bar{\delta}_2$  – пружна деформація або переміщення конструкції, що виникають при одиничній навантаженні (функція навантажень, матеріалу і системи конструкції),  $\delta_2$  – граничні деформації або переміщення, встановлені нормами при зазначені в проектному завданні (функції призначення конструкції), що обмежують нормальну експлуатацію.

## 1.2. З'єднання елементів несучих конструкцій

### 1.2.1. Зварні з'єднання

#### Види зварювання і їх характеристика

Основним видом з'єднань металевих конструкцій є зварювання. Зварні з'єднання володіють не тільки міцністю, але і водо- і газонепроникністю, що особливо важливо для листових конструкцій.

Однак виникають при зварюванні внутрішні залишкові напруги в з'єднанні ускладнюють його роботу і в ряді випадків, при дії динамічних навантажень і низьких температур, сприяють крихкому руйнуванню.

Застосовується головним чином електродугове зварювання: ручне, автоматичне, напівавтоматичне, а також електрошлакове. Рідше застосовується контактне і газове зварювання.

1. Ручне електродугове зварювання універсальне і широко поширене, тому що може виконуватися в будь-якому просторовому положенні. Електроди, що застосовуються для ручного зварювання, поділені на кілька типів за значенням тимчасового опору металу шва. Наприклад, електрод типу E42 (E42A) дозволяє отримати шов, який має  $\sigma_B \geq 410$  МПа і застосовується для зварювання сталей, що мають  $\sigma_B \leq 430$  МПа; електрод типу E50 (E50A) дає відповідно  $\sigma_B \geq 490$  МПа і застосовується для зварювання сталей, що мають  $\sigma_B \leq 520$  МПа. Додавання до назви електрода літери А означає, що дані електроди дають метал, який володіє підвищеною пластичністю, котра характеризується відносним подовженням і підвищеною ударною в'язкістю.

У табл. 1.1 поміщені рекомендовані зварювальні матеріали для зварювання різних марок сталі.

2. Автоматична і напівавтоматична зварка під флюсом здійснюється автоматом з подачею зварювального дроту  $d = 2 \dots 5$  мм без покриття. Дуга збуджується під шаром флюсу, флюс розплавляється, легуючи розплавлений метал домішками, що містяться в ньому і надійно захищає його від контакту з повітрям. Метал виходить чистим з мізерними кількостями шкідливих домішок - кисню, азоту та ін.

До недоліків відноситься важкість виконання цього зварювання у вертикальному і стельовому положенні і в умовах обмеженого простору, що обмежує її застосування на монтажі.

Для коротких швів з успіхом застосовується напівавтоматичне зварювання шланговим напівавтоматом. Процес зварювання ведеться оголеним дротом  $d \leq 3$  мм під флюсом в нижньому положенні або порошковим дротом, згорнутої в трубочку сталевую стрічкою, всередині якої запресований флюс, в будь-якому положенні. Зварювання порошковим дротом повинне знайти собі широке застосування при монтажі конструкцій.

3. Електрошлакове зварювання явля є різновид зварювання плавленням; цей тип зварювання зручний для вертикальних стикових швів металу товщиною від 20 мм і більше. Процес зварювання ведеться оголеним електродним дротом під шаром розплавленого шлаку, зварювальна ванна за-

Таблиця 1.1.

Матеріали для зварювання сталей, тимчасові і розрахункові опори металу швів зварних з'єднань для всіх груп конструкцій

Зварювані сталі з тимчасовим опором $R_B^H$ , МПа	Автоматична і напівавтоматична			Ручна		Розрахунковий опір на зріз металу кутового шва $R_{уш}^{св}$ , МПа
	під флюсом	У вуглекислому газі		Тип електроду		
		флюсів	Марки зварювального дроту			
	АН-348-А АН-60 АН-47 АН-17М		Св-08А Св-08ГА Св-08ГА Св-10ГА	- Св-08Г2С Св-08Г2СЦ	Е42; Е42А Е46; Е46А Е46; Е46А Е50; Е50А	
$R_B^H \leq 430$	АН-348-А АН-60	Св-08А Св-08ГА	-	Е42; Е42А Е46; Е46А	410 450	180 200
$430 < R_B^H < 520$	АН-47 АН-17М	Св-08ГА Св-10ГА	Св-08Г2С Св-08Г2СЦ	Е46; Е46А Е50; Е50А	450 490	200 215
$520 < R_B^H$	АН-348-А	Св-10ГА Св-10НА Св-10Г2	Св-08Г2С Св-08Г2СЦ Св-08Г2С Св-08Г2СЦ	Е50; Е50А Е60	490 590	215 240

хищена з боків мідними повзунами що формують шов, охолоджуваними проточною водою. Якість шва, що виконується цим способом, виходить дуже високим.

4. Зварювання в середовищі вуглекислого газу ведеться оголеним електродним дротом  $d = 1,4 \dots 2$  мм на постійному струмі зворотної полярності. Вуглекислий газ при високій температурі активно взаємодіє зі сталлю, окислюючи її, що компенсується підвищенням вмістом розкислювача в електродну дріт. Зварювання в середовищі вуглекислого газу, не вимагає пристосувань для утримання флюсу, може виконуватися в будь-якому просторовому положенні. Вона забезпечує отримання високоякісних зварних з'єднань з різних металів при високій продуктивності праці (на 15-20% вище, ніж при напівавтоматичному зварюванні під флюсом).

### 1.2.2. Види зварних з'єднань

Розрізняють такі види зварних з'єднань: стикові, внахлестку, кутові і таврові (впритул) (рис. 1.1).

Стиковими називають з'єднання, в яких елементи з'єднуються торцями або крайками і один елемент є продовженням іншого (рис. 1.1, а). Стикові з'єднання найбільш раціональні, так як мають найменшу концентрацію напружень при передачі зусиль, відрізняються економічністю і зручні для контролю. Товщина зварюваних елементів в з'єднаннях такого виду майже не обмежена. Стикове з'єднання листового металу може бути зроблено прямим або косим швом. Стикові з'єднання профільного металу застосовуються рідше, так як ускладненна обробка їх крайок під зварювання.

З'єднаннями внахлестку називаються такі, в яких поверхні зварювальних елементів частково знаходять один на одного (рис. 1.1, б). Ці сполуки широко застосовують при зварюванні листових конструкцій зі сталі невеликої товщини (2-5 мм), в ґратчастих та деяких інших видах конструкцій. Різновидом з'єднань внахлестку є з'єднання з накладками, які застосовують для з'єднання елементів з профільного металу і для посилення стиків.

Іноді стикове з'єднання профільного металу підсилюють накладками, і тоді воно називається комбінованим (рис. 1.1, в).

З'єднання внахлестку і з накладками відрізняються простотою обробки елементів під зварювання, але по витраті металу вони менш економічні,

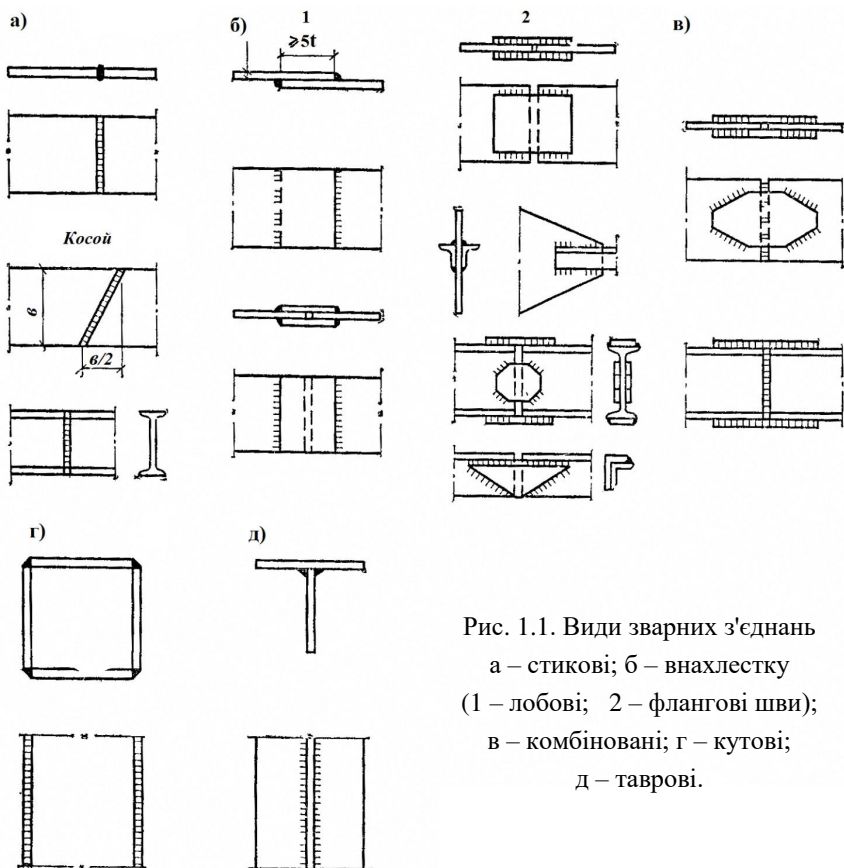


Рис. 1.1. Види зварних з'єднань  
 а – стикові; б – внахлестку  
 (1 – лобові; 2 – флангові шви);  
 в – комбіновані; г – кутові;  
 д – таврові.

ніж стикові. Крім того, ці сполуки викликають різку концентрацію напружень, через що вони небажані в конструкціях, що піддаються дії змінних або динамічних навантажень і працюють при низькій температурі.

З'єднання внахлестку і з накладками відрізняються простотою обробки елементів під зварювання, але по витраті металу вони менш економічні, ніж стикові. Крім того, ці сполуки викликають різку концентрацію напружень, через що вони небажані в конструкціях, що піддаються дії змінних або динамічних навантажень і працюють при низькій температурі.

Кутковими називають з'єднання, в яких зварювані елементи розташовані під кутом (рис. 1.1, г).

Таврові з'єднання (з'єднання впритул) відрізняються від кутових тим, що в них торець одного елемента приварюється до поверхні іншого елемента (рис. 1.1, д). Кутові і таврові з'єднання виконуються кутовими швами, широко застосовуються в конструкціях і відрізняються простотою виконання, високою міцністю і економічністю.

У відповідальних конструкціях, в таврових з'єднаннях (наприклад, в швах приєднання верхнього пояса підкранової балки до стінки) бажано повне проплавлення елементів, що з'єднуються.

**Зварні шви.** Зварні шви класифікують за конструктивною ознакою, призначенню, положенню, протяжності і зовнішньою формою.

За конструктивною ознакою шви поділяють на стикові і кутові (валикові). У табл. 1.2 показані види швів і необхідна форма оброблення кромки з'єднувальних елементів різної товщини для забезпечення якісного з'єднання при автоматичному і ручному зварюванні.

Стикові шви найбільш раціональні, так як мають найменшу концентрацію напружень, але вони вимагають додаткової обробки кромки. При зварюванні елементів товщиною більше 8 мм для проплавлення металу по всій товщині перетину необхідні зазори і обробка крайок деталей (табл. 1.2). Відповідно до форми оброблення крайок шви бувають V, U, X і K-образні. Для V- і U-образних швів, що зварюються з одного боку, обов'язкове підварювання кореня шва з іншого боку для усунення можливих непроварів (рис. 1.2, а), що є джерелом концентрації напружень.

Початок і кінець шва мають непровар і кратер, є дефектними і їх бажано виводити на технологічні планки за межі робочого перетину шва, а потім відрізати (рис. 1.2, б).

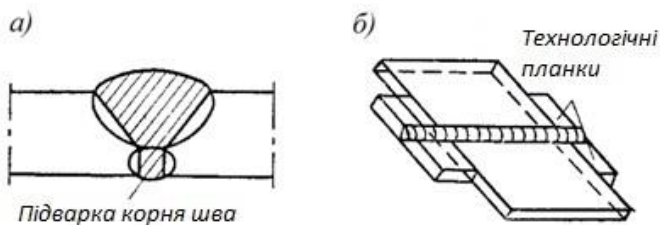
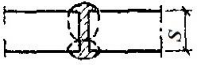
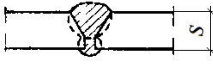
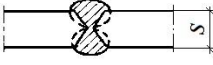
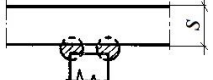
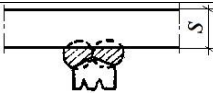


Рис. 1.2. Стикові шви

а – шов з підваркою кореня шва; б – вивід шва за межі робочого перетину (планки по закінченні зварювання зрубують)

Таблиця 1.2

## Розміри крайок при автоматичному зварюванні

Шов		Ескіз	Автомати- чна і напі- вавтомати- чна під флюсом по ГОСТ 8713-79	Електро- дугова в захисних газах по ГОСТ 14771-76	Ручна електро- дугова по ГОСТ 5264-80
			Двостороння або з підваркою кореня		
Стиковий	Без оброб- лення крайок		2-20	3-12	2-8
	V - образний		14-34	8-60	10-50
	X - образний		20-60	12-120	12-60
Тавровий	Без оброб- лення крайок		3-40	2-40	2-30
	Із суцільним проплавлен- ням		16-40	12-80	12-60

При автоматичному зварюванні приймаються менші розміри оброблення крайок швів внаслідок більшого проплавлення елементів, що з'єднуються (табл. 1.2). Щоб забезпечити повний проварена шва, одностороннє автоматичне зварювання часто виконується на флюсовій подушці, на мідній підкладці або на сталевий підкладці, яка залишається.

При електрошлаковому зварюванні оброблення крайок листів не потрібно, але зазор в стику приймають не менше 14 мм.

Кутові (валикові) шви наварюють в кут, утворений елементами, розташованими в різних площинах. При цьому оброблення крайок виробі, що застосовується показана в табл. 1.2.

Кутові шви, розташовані паралельно осьового зусилля, що діє називають фланговими, а перпендикулярно зусиллю – лобовими.

Шви можуть бути робочими або сполучними (конструктивними), суцільними або переривчастими (шпонковими). Відповідно до положення в просторі під час їх виконання вони бувають нижніми, вертикальними, горизонтальними і стельовими (рис. 1.3). Зварювання нижніх швів найбільш зручне, легко піддається механізації, дає кращу якість шва, а тому при проектуванні слід передбачати можливість виконання більшості швів в нижньому положенні. Вертикальні, горизонтальні та стельові шви в більшості своїй виконуються при монтажі. Вони погано піддаються механізації, виконати їх вручну важко, якість шва виходить гірше, а тому застосування їх в конструкціях слід по можливості обмежувати.

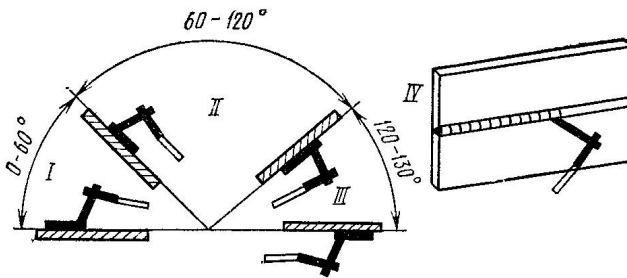


Рис. 1.3. Положення шва в просторі  
 I – нижнє; II – вертикальне; III – стельове;  
 IV – горизонтальне на вертикальній площині

**Термічний вплив зварювання на з'єднання.** Процес зварювання супроводжується структурними та хімічними змінами металу в зоні зварного з'єднання і виникненням залишкових напружень і деформацій.

**Структурні і хімічні зміни металу в зоні з'єднання.** Під час зварювання маловуглецевої сталі метал шва і околшовної зони нагрівається і зазнає різні зміни; відповідно до цього розрізняють три зони з'єднання (рис. 1.4).

У зоні розплавлення метал нагрівається вище температури розплавлення ( $\sim 1535^{\circ}\text{C}$ ). Розплавлений метал деталей і електрода перемішуються, і після припинення нагрівання починається первинна кристалізація металу. Під час кристалізації остигає метал зварного з'єднання піддається впливу розтягуючих напружень, викликаних його охолодженням. Ці напруження розтягу, діючи на гарячий метал, який ще не одержав достатньої міцності,

здатні викликати «гарячі» тріщини. Ці спочатку непомітні тріщини можуть привести в подальшому до руйнування конструкції при дії на неї зовнішніх навантажень, особливо це небезпечно при дії динамічних навантажень. Появи тріщин сприяють підвищений вміст вуглецю, сірки та інших домішок в металі, грубозерниста структура його і велика товщина зварювальних виробів. Сталі киплячі, мають внутрішні концентратори напружень (газові пори і шлакові включення), також схильні до «гарячих» тріщин. Поява «гарячих» тріщин в киплячих сталях-основна причина, що вимагає застосування в відповідальних зварних конструкціях спокійній стали.

Для зони розплавленого металу характерна стовпчаста структура литого металу. У процесі охолодження розплавлений метал зазнає структурні і фазові зміни і набуває остаточну вторинну структуру. Якість металу цієї зони покращують легуванням і правильним вибором швидкості охолодження. Легують марганцем (нейтралізує шкідливий вплив сірки і деяких інших домішок), титаном, кремнієм і іншими компонентами, вводячи їх в розплавлений метал через електродний дріт, флюси і обмазки.

Швидкість охолодження шва регулюють теплоізолюючим захистом шва шлаками, флюсом, а іноді і штучним підігрівом. Зменшення швидкості охолодження розплавленого металу сприяє його кращому рафінуванню (видалення з розплавленого металу шлакових і газових включень, здатних в подальшому стати концентраторами напружень).

Зоною термічного впливу називають прилеглий до шву ділянку основного металу, що нагрівається вище температури ( $A_{C_3} - 723^{\circ}C$ ) і нижче температури розплавлення ( $\sim 1535^{\circ}C$ ) (ділянки 1, 2, 3, 4 на рис. 1.4). Глибина цієї зони при ручному зварюванні становить приблизно 3-6 мм, а при автоматичній – 2-4 мм. Структура металу в цій зоні нерівномірна. Для маловуглецевих сталей на ділянках 1, 2, які піддавалися нагріванню вище  $1000-1100^{\circ}C$ , розташований перегрітий метал з сильно вирослим зерном. Метал тут має знижені механічні властивості в порівнянні з основним металом елемента. На ділянці 3, що піддавався дії температур  $900-1100^{\circ}C$ , метал зазнав повну перекристалізацію, має дрібне зерно і підвищені в порівнянні з основним металом механічні властивості. На ділянці 4 нагріву  $720-900^{\circ}C$  метал зазнав лише часткову перекристалізацію, та його якість не сильно відрізняється від якості основного металу.

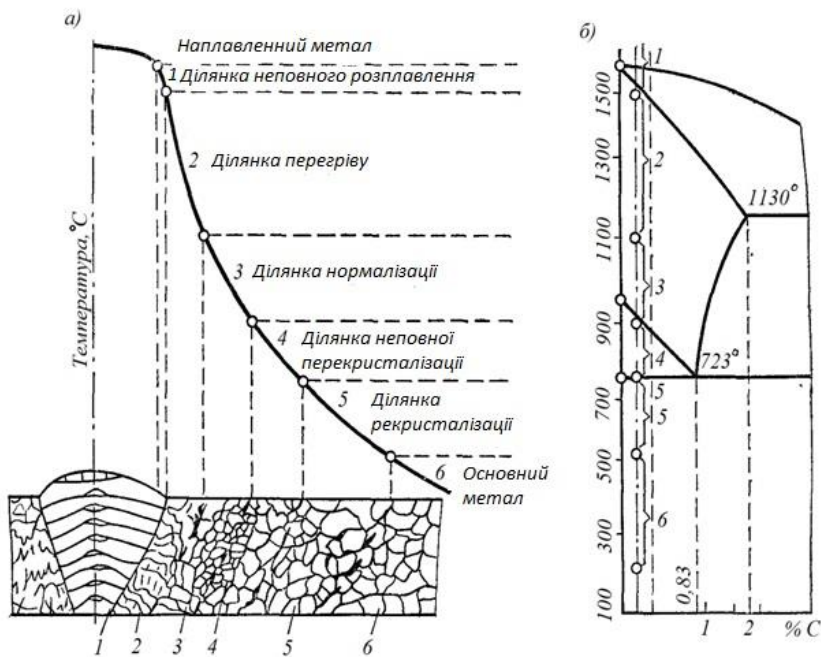


Рис. 1.4. Зона термічного впливу зварного шва маловуглецевої сталі

а – зона нагріву; б – неповна діаграма стану «залізо - вуглець»

Для низьколегованих будівельних сталей температурні інтервали зміщуються, але структурні перетворення будуть аналогічні.

У зоні термічного впливу при її посиленому охолодженні можливо також утворення гартівних структур, наприклад мартенситу, що має сильно знижені в'язкість і пластичність. В цьому випадку розтягують зварювальні напруження, що виникають при охолодженні з'єднання, часто розривають крихкий метал і утворюють тріщини, звані «холодними», розташовані найчастіше паралельно шву.

Підвищений вміст вуглецю (більше 0,2%), застосування киплячої сталі і велика товщина зварювальних виробів сприяють появі «холодних» тріщин.

Таким чином, в зоні зварного з'єднання буває кілька небезпечних ділянок, де можлива поява тріщин. Труднощі поліпшення властивостей ме-

талу зони термічного впливу легуванням і неминучі структурні перетворення роблять її найбільш вразливим місцем зварного з'єднання.

Весь інший метал виробів (ділянки 5 і 6 на рис. 1.4) зберігає свої первинні властивості, так як температура його нагрівання не досягала критичної точки  $A_{C_3} - 723^{\circ}C$ . Розмір зазначених зон і металургійні зміни, що відбуваються в них, дуже залежать від кількості тепла, що вводиться в з'єднання електричною дугою, швидкості зварювання і швидкості охолодження металу.

Проникнення зони розплавлення в зварюваний метал називають глибиною проплавлення або проваром шва. У разі ручного зварювання він становить 1,5-2 мм, при механізованому зварюванні він більше. Глибина проплавлення визначає коефіцієнт «повноти» кутових швів. Чим глибше проплавлення, тим краще шов і особливо важливо щоб необхідна глибина проплавлення була в корені кутових швів.

Відповідно до законів теплопровідності характер температурних полів при зварюванні залежить від ефективної потужності джерела нагрівання і швидкості його переміщення (рис. 1.5).

Зниження теплової потужності дуги (ручне зварювання) або збільшення швидкості охолодження зменшує величину зон розплавлення і термічного впливу, збільшує температурний градієнт (крутизну кривої падіння температури) і сприяє появі гартівних структур, а отже, і появі холодних тріщин. Так само діють підвищення швидкості зварювання (без збільшення теплової потужності дуги) і зварювання при низькій температурі. Під час зварювання при низькій температурі можливість крихких руйнувань посилюється зменшенням в'язкості і пластичності основного металу. Однак зварювання гарної якості при низьких температурах цілком можлива. Для цього необхідно: застосовувати метал з малим вмістом сірки, фосфору і вуглецю (не більше 0,2%), краще спокійною плавки; застосовувати ретельно розроблений технологічний процес зварювання, гарантує відсутність непроварів шва; вести зварювання електродами типів E42A, E50A і т. п. або під флюсом, що забезпечує підвищення пластичних властивостей шва; створювати конструктивну форму з мінімальною концентрацією швів і пов'язаних з цим великих зварювальних напружень. Досить істотне значення має ретельне виконання решт шва без підрізів та інших місць концентрації напружень. Більшість пошкоджень зварних конструкцій при низь-

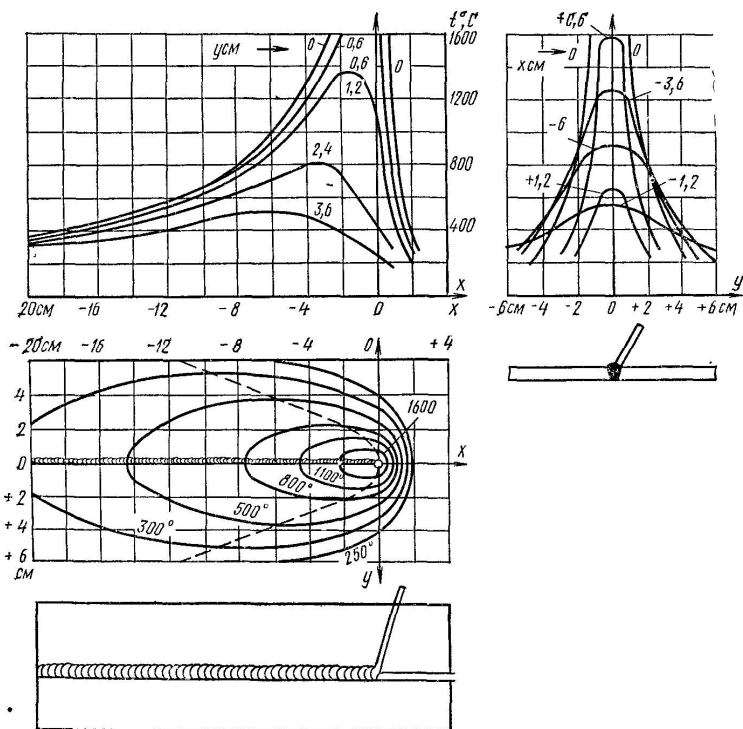


Рис. 1.5. Ізотерми основного металу при зварюванні зі швидкістю 0,1 м/с

ких температурах під час зварювання або після зварювання пов'язано з концентрацією напружень у підрізів металу та неповарів, а також з появою холодних тріщин. Зварювання при низьких температурах знижує ударну в'язкість металу, не відбиваючись на його тимчасовому опорі.

Однією з перевірок зварного з'єднання крім випробувань на розтяг служить технологічна проба на вигин, виконувана зазвичай при зварюванні на монтажі. Це випробування дає просту можливість виявити пластичність зварного шва. Для хороших швів кут загину  $\alpha$  досягає  $180^\circ$ .

### 1.2.3. Робота і розрахунок зварних з'єднань

Міцність зварних з'єднань залежить від: міцності основного металу, що з'єднуються, міцності наплавленого металу шва, форми і види з'єднання і пов'язаного з цим розподілу напружень в з'єднанні, характеру силового впливу на з'єднання, технології зварювання.

Міцність наплавленого металу шва визначається складом електродного дроту, складом обмазки або флюсу при механізованому зварюванні і технологією зварювання. Рекомендація застосування зварювальних матеріалів при дуговому зварюванні конструкції із сталі різних класів розташована в табл. 1.1. Застосування цих матеріалів при правильному технологічному процесі забезпечує отримання міцності металу з'єднання не нижче характеристик основного металу, що видно з табл. 1.1.

**Робота і розрахунок з'єднань стикових швів.** У стиковому шві в дії на нього центрально-прикладеної сили  $N$  розподіл напружень по довжині шва приймається рівномірним, робоча товщина шва приймається рівною меншій з товщини елементів, що сполучаються. Тому напруга в шві, розташованому перпендикулярно осі елемента (рис. 1.6, а), визначається за формулою

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{t \cdot l_{\text{ш}}} \leq R^{\text{св}} \cdot \gamma, \quad (1.10)$$

де:  $N$  – розрахункове зусилля;  $t$  – робоча товщина шва - найменша товщина з'єднувальних елементів;  $l_{\text{ш}}$  – розрахункова довжина шва, що дорівнює його повній довжині, якщо початок і кінець шва виведені за межі стику, в іншому випадку  $l_{\text{ш}} = l - 2t$ , де  $l$  – фактична довжина шва;  $R^{\text{св}}$  – розрахунковий опір зварного стикового з'єднання стиску або розтягу,  $\gamma$  – коефіцієнт умов роботи елемента.

Для стикових з'єднань, в яких неможливо забезпечити повне проварення по товщині зварюваних елементів шляхом підварки кореня шва або застосування сталевий підкладки, що залишається у формулі (1.10) замість  $t$  слід приймати  $0,7t$ .

Розрахунковий опір стикового з'єднання, виконаного автоматичним, напівавтоматичним або ручним зварюванням матеріалами, які запропоновані в табл. 1.1, приймається: при стисканні з'єднання незалежно від методів контролю  $R^{CB} = R$ ; при розтягуванні (осьовим або при вигині) з'єднання, перевіреного фізичними методами контролю,  $R^{CB} = R$ ; при розтягуванні з'єднання, що не перевіреного фізичними методами контролю,  $R^{CB} = 0,85R$ , при зсуві з'єднання  $R_{cp}^{CB} = R_{cp}$ , де  $R$  і  $R_{cp}$  – розрахунковий опір основного металу.

Якщо розрахунковий опір зварювання в стиковому з'єднанні  $R^{CB}$  менше розрахункового опору основного металу і в елементів, що стикуються діючі напруги перевищують  $R^{CB}$ , то для збільшення довжини шва його роблять косим (рис. 1.6, б). Косі шви з нахилом різку  $\text{tg}\alpha = 2:1$ , як правило, рівнопрочні з основним металом і тому не вимагають перевірки.

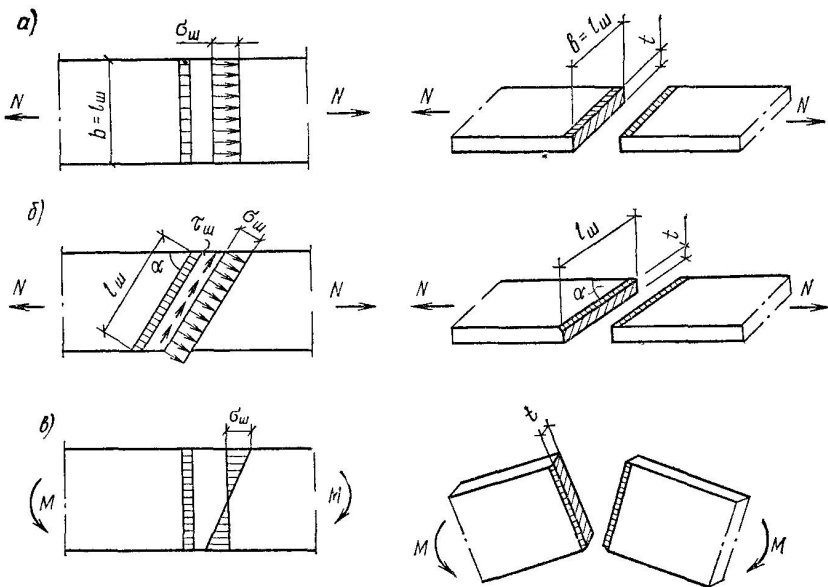


Рис. 1.6. До розрахунку стикових швів  
а і б – на поздовжню силу; в – на вигин

В окремих випадках, коли необхідно знизити напругу, наприклад при вібраційному навантаженні, доводиться розраховувати і косі шви. Розклавши чинне зусилля на напрямок, перпендикулярний до осі шва, і уздовж шва, знаходимо напруги:

$$\text{перпендикулярно шву } \sigma_{\text{ш}} = \frac{N \cdot \sin \alpha}{t \cdot l_{\text{ш}}}, \quad (1.11)$$

$$\text{вздовж шва } \tau_{\text{ш}} = \frac{N \cdot \cos \alpha}{t \cdot l_{\text{ш}}}, \quad (1.12)$$

де,  $l_{\text{ш}} = \frac{b}{\sin \alpha} - 2t$  – розрахункова довжина косого шва.

При дії згинального моменту на з'єднання (рис. 1.6, а) напруги в шві

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M}{W_{\text{ш}}} \leq R^{\text{св}} \cdot \gamma, \quad (1.13)$$

де,  $W_{\text{ш}} = \frac{t \cdot l_{\text{ш}}^2}{6}$  – момент опору шва.

Зварні з'єднання встик, що працюють одночасно на нормальні напруги і зріз, перевіряють за формулою:

$$\sqrt{\sigma_{\text{ш.х}}^2 + \sigma_{\text{ш.у}}^2 - \sigma_{\text{ш.х}} \cdot \sigma_{\text{ш.у}} + 3\tau_{\text{ш.ху}}^2} \leq 1,15R^{\text{св}} \cdot \gamma, \quad (1.14)$$

де,  $\sigma_{\text{ш.х}}$  і  $\sigma_{\text{ш.у}}$  – нормальні напруження в зварному з'єднанні по двох взаємно перпендикулярним напрямкам;  $\tau_{\text{ш.ху}}$  – напруга в зварному з'єднанні від зрізу.

**Робота і розрахунок з'єднань, виконаних кутковими швами.** Кутковими швами виконуються з'єднання внахлестку, і вони можуть бути як фланговими, так і лобовими.

Флангові шви, розташовані по краях прикріплюється елемента паралельно діючому зусиллю, викликають велику нерівномірність розподілу напружень по ширині з'єднання. Нерівномірно працюють вони і по довжині, так як крім безпосередньої передачі зусилля з елемента на елемент кінці шва відчувають додаткові зусилля внаслідок різної напруженості і неоднакових деформацій елементів, що з'єднуються в області шва (рис. 1.7, а).

Нерівномірність роботи шва по довжині змушує обмежувати розрахункову довжину шва на величину не меншу  $4k_{ш}$ , або 40 мм і не більше  $85 \cdot \beta \cdot k_{ш}$  (за винятком швів, в яких зусилля виникає на всьому протяжі шва, наприклад поясні шви в балках).

Таким чином фланговий шов, який дуже змінює силовий потік, викликає значну нерівномірність розподілу напружень в з'єднанні. Відповідно за характером передачі зусиль флангові шви працюють одночасно на зріз і вигин. Руйнування шва зазвичай починається з кінця і може відбуватися як по металу шва, так і по основному металу на кордоні його сплавлення з металом шва, особливо якщо наплавлений метал міцніше основного.

Лобові шви передають зусилля рівномірно по ширині елемента, але вкрай нерівномірно по товщині шва внаслідок різкого викривлення силового потоку при переході зусилля з одного елемента на інший (рис. 1.8).

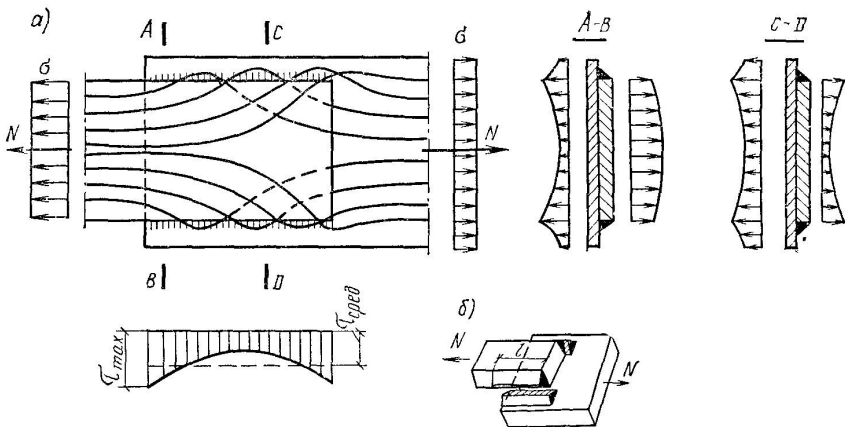


Рис. 1.7. Флангові шви

а – розподіл напружень у флангових швів; б - руйнування шва.

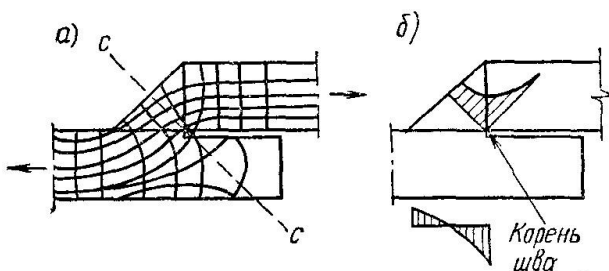


Рис. 1.8. Робота лобового шва

а – траєкторії силових ліній; б – концентрація напруг

Особливо великі напруги в корені шва. Зменшення концентрації напружень в з'єднанні може бути досягнуто плавним примиканням деталі, що приварюється механічною обробкою (згладжуванням) поверхні шва і кінця накладки, збільшенням пловності шва (наприклад, шов із співвідношенням катетів 1: 1,5), застосуванням увігнутого шва і збільшенням глибини проплавлення (рис. 1.9).

Ці прийоми зменшення концентрації напружень в з'єднанні особливо бажано застосовувати в конструкціях, що працюють на змінні навантаження і при низькій температурі.

Руйнування лобових швів від спільної дії осьових, згинальних і зрізуючих напружень, що виникають при роботі сполуки, відбувається аналогічно фланговим швам за двома перетинами.

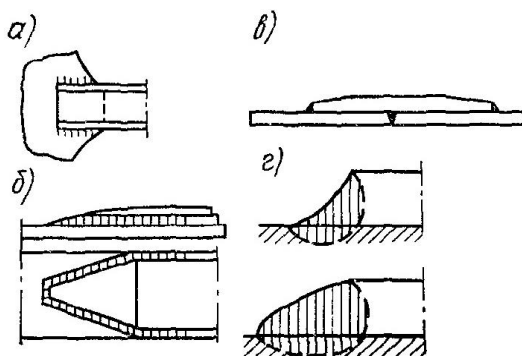


Рис. 1.9. Заходи щодо зменшення концентрації напружень у швів

а – плавний підхід листа; б – обробка та обріз кінця листа;

в – острожка накладок; г – обробка поверхні шва.

Зважаючи на складність дійсної роботи кутових швів розрахунок їх носить умовний характер і добре підтверджений експериментальними даними. Вони розраховуються незалежно від орієнтації шва по відношенню до діючого зусиллю (флангові і лобові); зусилля приймається рівномірно розподіленим уздовж шва і розглядається можливість руйнування шва від умовного зрізу по одному з двох перетинів (рис. 1.10, а).

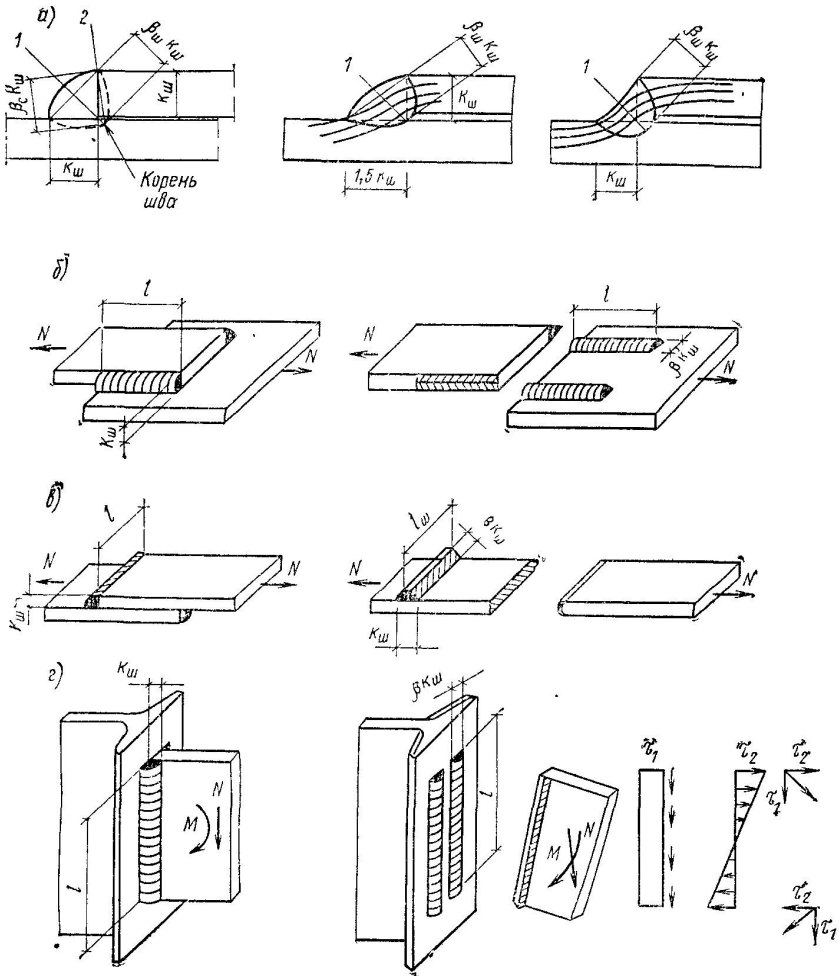


Рис. 1.10. До розрахунку кутових швів  
 а – розрахункова висота шва; 1 – по шву; 2 – по межі сплавлення; б – флангові шви; в – лобові шви; г – кутові шви, що працюють на зріз і вигин.

По металу шва (перетин 1, рис. 1.10, б)

$$\frac{N}{\beta_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}} \leq R_{\text{уш}}^{\text{CB}} \cdot \gamma_{\text{уш}}^{\text{CB}} \cdot \gamma, \quad (1.15)$$

По основному металу по межі його сплаву з металом шва (перетин 2, рис. 1.10, а)

$$\frac{N}{\beta_{\text{с}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}} \leq R_{\text{ус}}^{\text{CB}} \cdot \gamma_{\text{ус}}^{\text{CB}} \cdot \gamma, \quad (1.16)$$

де:  $k_{\text{ш}}$  – катет шва;  $\beta_{\text{ш}}$  і  $\beta_{\text{с}}$  – коефіцієнти глибини проплавлення шва, що приймаються в залежності від виду зварювання і положення шва для сталей з межею плинності  $\sigma_{\text{T}} \leq 580$  МПа (табл. 1.3);  $l_{\text{ш}}$  – розрахункова довжина шва, приймається менше його фактичної довжини на 10 мм за рахунок непровару і кратера на кінцях шва;  $\gamma_{\text{уш}}^{\text{CB}}$  і  $\gamma_{\text{ус}}^{\text{CB}}$  – коефіцієнти умов роботи зварного з'єднання, що дорівнюють 1 для з'єднань, що працюють при мінусовій температурі більше  $-40^{\circ}\text{C}$ ; при  $t < -40^{\circ}\text{C}$  див. СНіП (в підручнику вони рівні 1);  $R_{\text{уш}}^{\text{CB}}$  – розрахунковий опір зрізу (умовному) металу шва (див. табл. 1.1);  $R_{\text{ус}}^{\text{CB}}$  – розрахунковий опір зрізу (умовному) металу кордону сплаву шва, приймається рівним  $R_{\text{в}}^{\text{H}}$ .

При розрахунку слід попередньо визначити яка з двох перевірок - по металу шва або по металу кордону сплаву - матиме вирішальне значення, для чого треба порівняти добуток  $\beta_{\text{ш}} \cdot R_{\text{уш}}^{\text{CB}}$  і  $\beta_{\text{с}} \cdot R_{\text{ус}}^{\text{CB}}$ ; менше з них буде мати вирішальне значення.

Часто зручніше визначити необхідну довжину швів, задаючись їх товщиною  $k_{\text{ш}}$ :

$$l_{\text{ш}} = \frac{N}{k_{\text{ш}} \cdot \left( \beta \cdot R_{\text{y}}^{\text{CB}} \right)_{\text{min}} \cdot \gamma}, \quad (1.17)$$

де,  $(\beta \cdot R_y^{CB})_{\min}$  – менше із значень тобто  $\beta_{ш} \cdot R_{уш}^{CB}$  або  $\beta_c \cdot R_{yc}^{CB}$ .

У з'єднаннях (рис. 1.10, б і в) зазвичай товщину швів  $k_{ш}$  задають рівній меншій з товщини елементів, що сполучаються, а розрахункова довжина швів з'єднання дорівнює сумі розрахункових довжин двох швів.

Якщо,  $l_{ш}$  отримане за формулою (1.16), перевищує допустиму розрахункову довжину шва  $85\beta k_{ш}$ ; то доводиться визначати вже не довжину, а товщину шва  $k_{ш}$  виходячи з його можливої розрахункової довжини:

$$k_{ш} \geq \left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \sqrt{\frac{N}{85 \cdot R_y^{CB} \cdot \gamma}}. \quad (1.17a)$$

Таблиця 1.3

Коефіцієнт глибини проплавлення кутових швів  $\beta$

Вид зварювання при діаметрі зварювального дроту d, мм	Положення шва	Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів $\beta_{ш}$ і $\beta_c$ при катетах швів, мм			
			3...8	9...12	14...16	$\geq 18$
Автоматична при $d = 3...5$ (поясні шви в балках і колонах)	В човник	$\beta_{ш}$	1,1			0,7
		$\beta_c$	1,1			1,0
Автоматична і напівавтоматична при $d = 1,4...2$ (ребра жорсткості, стики балок і колон, вузли ферм)	Нижнє	$\beta_{ш}$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_c$	1,05	1,0		
Ручна, напівавтоматична суцільним дротом $d \leq 1,4$ або порошковим дротом (вузли балок, колон, ферм)	В човник, нижнє, горизонтальне, вертикальне, стельове	$\beta_{ш}$	0,7			
		$\beta_c$	1,0			

При дії сили на «фасонку», прикріплену двома кутковими швами до елемента (рис. 1.10, г), на шви будуть діяти зсувна сила і згинальний момент. Напруги від сили зсуву і моменту, що діють на одну площадку, але в перпендикулярних напрямках повинні геометрично підсумовуватися.

По металу шва

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}^2}\right)^2} \leq R_{\text{уш}}^{\text{св}} \cdot \gamma. \quad (1.18)$$

По металу границі сплавлення

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \beta_{\text{с}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}^2}\right)^2} \leq R_{\text{ус}}^{\text{св}} \cdot \gamma. \quad (1.18a)$$

При прикріпленні кутковими швами несиметричних профілів, наприклад куточків (рис. 1.11), бажано, щоб лінія дії зусилля проходила через центр ваги з'єднання, тобто площі швів повинні бути розподілені обернено пропорційно відстаням від шва до осі елемента.

Таким чином, при загальній необхідній площі швів

$$A_{\text{ш}} = (\beta \cdot k_{\text{ш}})_{\text{min}} \cdot l_{\text{ш}} = \frac{N}{R_{\text{у}}^{\text{св}} \cdot \gamma}. \quad (1.19)$$

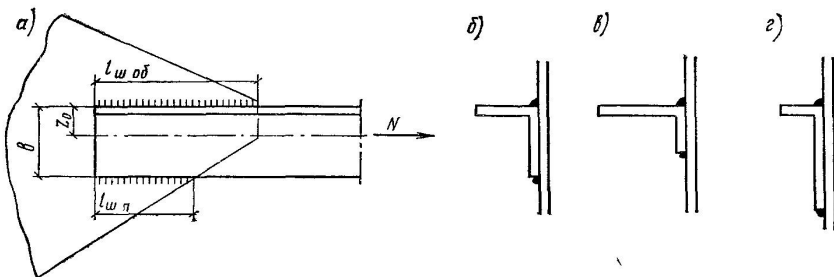


Рис. 1.11. Прикріплення куточків  
а – довжини швів; б – рівнополочні куточки;  
в, г – з різними полками куточки.

Площа більшого шва на «обушку» куточка

$$A_{\text{ш}}^0 = A_{\text{ш}} \cdot \frac{(b - z_0)}{b}. \quad (1.20)$$

Площа меншого шва на «перо» куточка

$$A_{\text{ш}}^0 = A_{\text{ш}} \cdot \frac{z_0}{b}. \quad (1.20a)$$

При рівних товщинах швів по «перо» і «обушку» куточка співвідношення площ відповідає співвідношенню довжин швів. Для рівнополичного куточків (рис. 1.11, б)  $l_{\text{ш}}^0 \approx 0,75 \Sigma l_{\text{ш}}$ , для нерівнополичного (рис. 1.11, в, г) – відповідно  $l_{\text{ш}}^0 \approx 0,75 \Sigma l_{\text{ш}}$  і  $l_{\text{ш}}^0 \approx 0,6 \Sigma l_{\text{ш}}$

**Робота і розрахунок комбінованих з'єднань.** Стикові шви розтягнутих елементів іноді підсилюють накладками (рис. 1.12), і тоді виходить комбіноване з'єднання. Таке підсилення не дуже ефективно, так як у місці потовщення розтину виникає концентрація напружень і, отже, можливе руйнування елемента. Однак таке підсилення застосовується в разі особливої необхідності, коли напруги в основному металі більше допустимих для зварних швів і не можна запроєктувати рівнопрочний стикового шов. З точки зору зменшення концентрації напружень, більш раціональні ромбичні накладки з незавареними кутами. Заварка кутів і особливо обварка накладок по контуру не стільки зменшують концентрацію напружень, але і різко збільшують усадочні напруги при зварюванні, які, підсумовуючись з напругою від навантаження, легко можуть викликати появи тріщин і навіть крихке руйнування з'єднання.

Приварка різного роду деталей до елемента конструкції утворює місцеву зміну перерізу і викликає в місцях приварки концентрацію напружень. Несприятливий вплив концентрації напружень часто посилюється неминучим виникненням усадочних зварювальних напружень. Обидва види напруг несприятливо позначаються на міцності конструкції, особливо при дії динамічних і вібраційних навантажень, тому приварка деталей без особливої потреби не повинна допускатися.

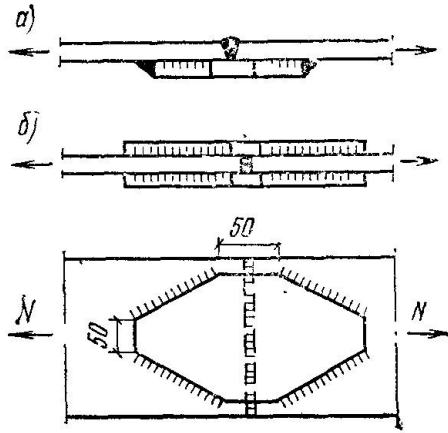


Рис. 1.12. Підсилення стикового шва накладками  
а – односторонній; б – двосторонній

При розрахунку комбінованого з'єднання по рис. 1.12 умовно приймається, що напруга в стиковому шві і накладці однакова. Тоді при розташуванні накладок з двох сторін напруга в стиковому шві визначиться за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{(A_{\text{л}} + \sum A_{\text{н}})} \leq R^{\text{CB}} \cdot \gamma. \quad (1.21)$$

де,  $A_{\text{л}}$  – площа перетину листів, що з'єднуються;  $\sum A_{\text{н}}$  – сумарна площа перетину накладок;  $R^{\text{CB}}$  – розрахунковий опір стикового шва стиску або розтягу.

Зусилля в накладці  $N_{\text{н}} = A_{\text{а}} \cdot \sigma$  повинне бути прийнято приваркою накладки, звідки можна визначити необхідну довжину кутових швів, приварюють накладку з одного боку стику:

$$\sum l_{\text{ш}} = \left[ \frac{N_{\text{н}}}{\left( \beta \cdot R_y^{\text{CB}} \right)_{\text{min}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot \gamma} \right]. \quad (1.22)$$

Такий розрахунок носить умовний характер, так як велика податливість кутових швів внаслідок меншого модуля пружності їх порівняно зі стиковими призводить до деякого зменшення фактичного зусилля, що припадає на накладки, і відповідно до збільшення зусилля на стиковий шов.

Для зменшення концентрації напружень ширина накладок не повинна дуже відрізнятись від ширини листів, що з'єднуються.

**Особливості роботи і розрахунку зварних з'єднань при дії динамічних і вібраційних навантажень.** Для зварних з'єднань характерні загальні закономірності роботи конструкцій на витривалість і міцність з урахуванням крихкого руйнування. Однак концентрація напружень, сильно впливає на витривалість і крихку міцність конструкцій, в зварних з'єднаннях часто посилюється підсумовуванням робочих напруг з початковими зварювальними.

Таким чином, витривалість і крихка міцність конструкції в зоні зварного з'єднання буде сильно залежати від типу з'єднання і форми шва.

Так, для стикових зварних з'єднань, виконаних з виведенням кінців швів на технологічні планки і з підваркою кореня шва, витривалість і крихка міцність близька до відповідної витривалості і міцності основного металу, а при відсутності підварки кореня шва вона знижується в кілька разів. Вібраційна міцність з'єднань з кутовими швами значно нижче, ніж з'єднань стикових. Тому для з'єднань, що працюють на вібраційні навантаження, можливе застосування кутових швів тільки поліпшеної форми (пологих, увігнутих, з обробленою поверхнею і т.п.).

Вібраційна міцність К-образних швів вище, ніж у звичайних кутових, і нижче, ніж у стикових швів. Таку ж міцність мають парні кутові шви в таврових з'єднаннях, виконаних автоматичним зварюванням, при повному проплавленні стінки. Приварка до елемента додаткових деталей (виступаючих фасонки, ребер і т.п.) негативно позначається на вібраційній роботі елемента. Оброблення кромки не впливає на вібраційну міцність, але для конструкцій, що працюють на вібраційне навантаження, цілком обов'язкова підварювання кореня шва.

Підвищенню вібраційної міцності служать всі заходи щодо зниження концентрації напружень в з'єднаннях, наведені вище. Крім форми і виду шва на вібраційну міцність дуже впливають дефекти зварювання та основного металу, а відповідно до цього – і технологія зварювання. В якості ос-

новного металу зазвичай застосовують стали спокійній плавки, що поставляються з гарантією як за механічними властивостями, так і за хімічним складом.

Непровари і пористість швів сильно знижують вібраційну міцність з'єднань, і тому слід робити шви більш щільними, тобто застосовувати автоматичне зварювання. Таким чином, автоматичне зварювання повинне бути основним видом з'єднань конструкцій, що працюють на вібраційне навантаження.

Вібраційна міцність знижується зі збільшенням областей напружених (переохолоджених) структур в околшовній зоні. Відповідно до цього слід так підбирати технологічний процес, щоб розмір цих зон був найменшим; при низьких температурах слід уникати зварювання.

Ударна в'язкість металу шва, для електродів E42 і E46 складає 80 Дж/см<sup>2</sup>, а для електродів E42A і E50A – відповідно 140 Дж/см<sup>2</sup>. Однак ударна в'язкість зварних швів неоднакова для різних точок зони термічного впливу шва; для деяких зон з переохолодженої або крупнозернистою структурою вона має досить низькі значення. Зварні з'єднання, виконані на морозі, мають зазвичай знижені значення ударної в'язкості, що ще раз підтверджує необхідність спеціальної технології зварювання на морозі.

До заходів по збільшенню вібраційної міцності швів можна віднести їх попередню «тренування» - завантажені конструкції навантаженнями вище номінальних, а також необхідність повного проплавлення швів в таврових з'єднаннях (наприклад, поясах підкранових балок).

Розрахунок зварних з'єднань на витривалість і тендітну міцність слід виконувати за формулами (1.1, 1.6, 1.7) з підстановкою в них значень  $\sigma_{\max}$  замість  $R^{cb}$ ,  $R_{уш}^{cb}$ ,  $R_{уc}^{cb}$ .

## 1.3. Болтові та клепані з'єднання

### 1.3.1. Види і загальна характеристика з'єднань

**Болтові з'єднання.** Для з'єднання металевих конструкцій крім зварювання застосовують болти і заклепки. Болтові з'єднання конструкцій з'явилися раніше зварних. Простота з'єднання і надійність в роботі сприяли їх широкому поширенню в будівництві при монтажі металевих конструкцій.

Однак болтові з'єднання більш металоемні, ніж зварні, так як мають стикові накладки і послаблюють перетину елементів отворами для болтів. Остання обставина частково компенсовано допущенням пружно-пластичної роботи елементів і введенням коефіцієнта умов роботи  $\gamma > 1$ , а для елементів стику на високоміцних болтах – зменшенням фактичного ослаблення за рахунок сприйняття частини чинного зусилля тертям між елементами що сполучаються за межами ослабленого перерізу.

У металевих конструкціях застосовують болти грубої, нормальної і підвищеної точності, високоміцні, самонарізаючі і фундаментні (анкерні). Болт для з'єднання конструкцій має головку, гладку частину стержня довжиною на 2-3 мм менше товщини пакета що з'єднується і нарізну частину стержня, на яку надівається шайба і нагвинчується гайка (рис. 1.13, а).

Болти грубої (ГОСТ 15589) і нормальної (ГОСТ 7798) точності розрізняються допусками на відхилення діаметра болта від номіналу. Для болтів грубої і нормальної точності відхилення діаметра можуть досягати відповідно 1 мм і 0,52 мм (для болтів  $d \leq 30$  мм). Виготовляють болти з вуглецевої сталі гарячою або холодною висадкою, іноді з наступною термообробкою. Залежно від процесу виготовлення розрізняють кілька класів міцності болтів від 4.6 до 10.9. Клас міцності болтів позначений числами. Перше число, помножене на 10, позначає тимчасовий опір ( $\sigma_B$ , МПа), а добуток першого числа на друге – межу плинності матеріалу ( $\sigma_T$ , МПа).

Болти в з'єднанні ставлять в отвори на 2-3 мм більше діаметру болта, утворені продавлюванням або свердлінням в окремих елементах. В результаті неповного збігу отворів в окремих елементах отвір під болт має негладку поверхню – «чорноту» (тип С), що виключає щільну посадку болта в отвір. Різниця в діаметрах болта і отвори полегшує посадку болтів і спрощує створення з'єднання; це велика перевага таких болтів. Однак це з'єднання при роботі на зсув збільшує нерівномірність роботи окремих болтів.

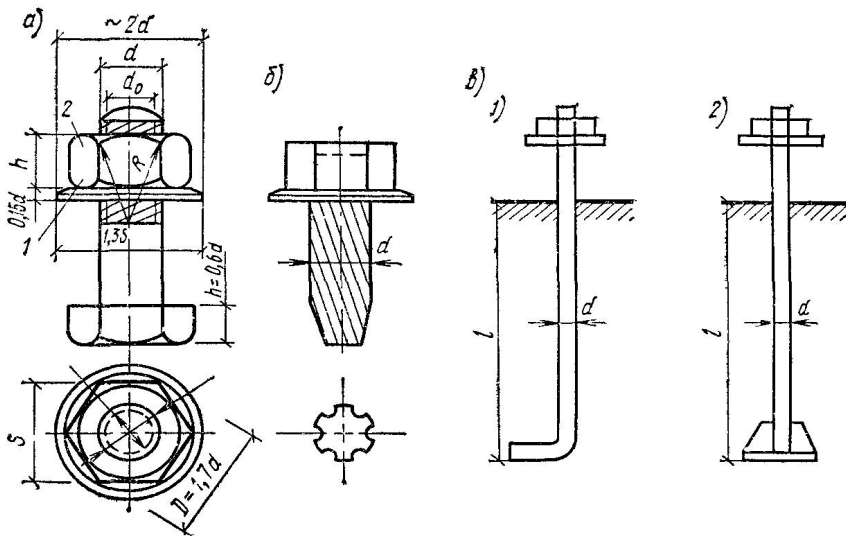


Рис. 1.13. Види болтів

а – болт з шайбою (1) і гайкою (2); б – самонарізаючий болт;  
 в – фундаментні болти: тип 1 при  $d \leq 36$  мм, тип 2 при  $d > 30$  мм.

Тому болти нормальної (і особливо грубої) точності не рекомендується застосовувати в конструкціях із сталі з межею текучості більше 380 МПа і в відповідальних з'єднаннях, які працюють на зрушення. Вони знаходять широке застосування в монтажних з'єднаннях, де болти працюють на розтяг або є кріпильними елементами.

Болти підвищеної точності (ГОСТ 7805) виготовляють також з вуглецевої сталі, і вони мають ті ж класи міцності, що і болти нормальної точності.

Поверхня ненарізних частин тіла болта обточується і має сувору циліндричну форму. Діаметр отвору для таких болтів не повинен відрізнятися більш ніж на +0,3 мм від діаметра болта (плюсовий допуск для діаметра болта і мінусовий допуск для отвори не допускаються); поверхня отвору повинна бути гладкою, що може бути досягнуто свердлінням отворів в елементах що з'єднуються через спеціальні кондуктори-шаблони, розсвердлюванням отворів до розрахункового діаметра після складання елементів з раніше утвореними отворами меншого діаметра і, нарешті, свердлінням отворів на проєктний діаметр в зібраних елементах (тип В).

Таблиця 1.4

Розрахункові опори зрізу і розтягання одноболтовому з'єднанню

Напружений стану	Умовне позначення	Розрахунковий опір болтів зі сталі класів міцності, МПа					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8
Зріз	$R_{ср}^b$	150	160	190	200	230	320
Розтягування	$R_p^b$	175	160	210	200	250	400

Таблиця 1.5.

Механічні властивості високоміцних болтів

Діаметр болтів, d, мм	Нормативний тимчасовий опір $R_B^H$ матеріал болтів з сталей, МПа			
	40X «селект»	38XC «селект»	40XФА	30X3МФ
16-27	1100	1350	1350	1550
30	950	-	-	1200

Болти в таких отворах сидять щільно і добре сприймають зсувні сили; проте недостатність сил, що стягають пакет, погіршує його роботу в порівнянні з сполуками на високоміцних болтах або на заклепках. Складність виготовлення та постановки болтів підвищеної точності привела до того, що з'єднання на таких болтах застосовуються рідко.

Високоміцні болти (ГОСТ Р52643-2006 і ГОСТ Р 52646-2006) виготовляють з легованої сталі, готові болти термічно обробляють табл. 1.4 і табл. 1.5. Високоміцні болти є болтами нормальної точності, їх ставлять в отвори більшого, ніж болт, діаметра, але їх гайки затягують таріровочним ключем, що дозволяє створювати і контролювати силу натягу болтів. Велика сила натягу болта щільно стягує елементи які сполучаються і забезпечує монолітність з'єднання. При дії на таке з'єднання сил, що зсувають між елементами виникають сили тертя, що перешкоджають зсуву цих елементів відносно один одного. Таким чином, високоміцний болт, працюючи на осьовий розтяг, забезпечує передачу сил зсуву тертям між елементами які сполучаються, саме тому подібне з'єднання часто називають фрикційним.

Щоб з'єднання з накладками з двох сторін працювало надійно, необхідна суворо однакова товщина з'єднувальних елементів, так як навіть при невеликій різниці їх товщини щільного прилягання елементів домогтися не вдається і сили тертя, а отже, і несуча здатність болта різко зменшуються.

Іноді між поверхнями, що сполучаються, очищеними металевими щітками, вставляють тонку сталеву прокладку, що має з двох сторін покриття полімерним клеєм з корундовим порошком. Таке рішення дозволяє вирівнювати перепад площин, що стикаються деталі і одночасно дає високий коефіцієнт тертя.

Крім зсувостійкості фрикційних з'єднань на високоміцних болтах існують сполуки з «несучими» високоміцними болтами, що відрізняються передачею зсувних зусиль спільною роботою сил тертя, зминання і зрізу болта. Ці сполуки будуть мати залишкові переміщення, що з'являються при подоланні початкового тертя і залежні від щільності посадки болтів в отвори, але зате їх несуча здатність істотно в 1,5-2 рази збільшується і спрощується підготовка контактних поверхонь. Однак такі з'єднання не можуть бути рекомендовані в конструкціях, де залишкові переміщення небажані, і обмежені при вібраційних навантаженнях.

Для поліпшення роботи з'єднання іноді також застосовують комбіноване клеєболтове з'єднання, в якому поверхні, що сполучаються склеюють спеціальними клеями, а потім стягують високоміцними болтами. З'єднання на високоміцних болтах мають переваги звичайних болтових з'єднань по простоті складання з'єднання; за якістю роботи вони не поступаються звичайним з'єднанням, але поступаються їм по витраті металу. Застосовуються вони в монтажних з'єднаннях, на які діють великі зсувні сили, і при динамічних і вібраційних навантаженнях.

Самонарізаючі болти (ТУ 34-5815-70) відрізняються від звичайних наявністю різьблення повного спеціального профілю на всій довжині стрижня для нарізування різьблення і загвинчування в раніше утворені отвори деталей, що з'єднуються (рис. 1.13, б). Матеріалом для них служить сталь 10кп термозміцнена. Застосовуються вони в основному  $d = 6$  мм для прикріплення профільованого настилу до прогонів і елементів фахверка, і їх великою перевагою є необхідність доступу до конструкції тільки з одного боку.

Фундаментні (анкерні) болти (ГОСТ 24379.1-80) служать для передачі розтягуючих зусиль з колон на фундамент. Їх конструкція показана на рис. 1.13, в, а матеріалом служать сталі марок СтЗкп2, 09Г2С і 10Г2С1.

**Заклепувальні з'єднання.** Заклепувальні з'єднання, які були в минулому основним видом з'єднань металевих конструкцій, через незручності технологічного процесу клепок (необхідність нагріву заклепок до температури  $800^{\circ}\text{C}$ ) і перевитрати металу на з'єднання в даний час майже повністю витіснені зварюванням і високоміцними болтами при монтажі. Вони зберегли досить обмежене застосування лише у важких конструкціях, що піддаються впливу динамічних і вібраційних навантажень, а також при використанні важкозварювальних матеріалів – деякі термооброблені сталі і алюмінієві сплави. Заклепки виготовляють зі спеціальної вуглецевої або низьколегованої сталі, що мають підвищені пластичні властивості (рис. 1.14, а). Отвори в елементах, що з'єднуються утворюють так само, як в болтових з'єднаннях. В утворені отвори вставляють стрижень, ударами пневматичного молотка або клепальним тиском скоби його осаджують, збільшуючи в діаметрі, щільно заповнюючи отвір з одночасним утворенням замикаючої головки (рис. 1.14, б).

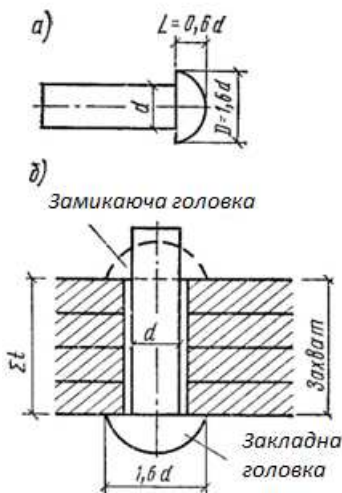


Рис. 1.14 Заклепувальні з'єднання  
а – заклепка з напівкруглої голівкою;  
б – постановка заклепки в з'єднання.

Клепання ведуть гарячим і холодним способами. При гарячому клепанні розігріту до яскраво-червоного каління ( $t \approx 800^\circ\text{C}$ ) заклепку вставляють в отвір і клепкою утворюють замикаючу головку. Поставлена заклепка, остигаючи, стягує елементи, які сполучаються що істотно покращує роботу з'єднання на зсувні сили завдяки силам тертя, які при цьому виникають.

При холодному клепанні, виконуваної тільки на заводі, метал заклепки пластично деформується клепальною скобою, утворюючи замикаючу головку. Сила стягування заклепкою елементів, що з'єднуються при цьому виходить значно меншою, проте сам процес клепки більш простий.

Робота клепаних з'єднань на зсув носить проміжний характер між роботою звичайних і високоміцних (зсувостійкість) болтів, так як сили стягування пакета значні, але недостатні для сприйняття сил зсуву тільки тертям. Тому розрахунок їх аналогічний розрахунку звичайних болтів, а наявність сил тертя враховується підвищенням розрахункових опорів. Нормативні документи не дають розрахункових вказівок про клепані з'єднання, і при посиленні існуючих клепаних конструкцій треба користуватися нормативними вказівками минулих років.

### 1.3.2 Робота і розрахунок болтових з'єднань

***Робота і розрахунок на зрушення при дії статичного навантаження.*** Робота на зрушення є основним видом роботи більшості з'єднань, причому в різних з'єднаннях вона має свої особливості.

У з'єднаннях на болтах з неконтрольованою силою затяжки гайки грубої, нормальної і підвищеної точності, сили стягування пакета болтами, а отже, і сили тертя між елементами, що сполучаються, не визначені і в більшості випадків недостатні для повного сприйняття сил, що зсувають. Роботу такого з'єднання можна розбити на чотири етапи (рис. 1.15). На 1-му етапі, поки сили тертя між елементами, що сполучаються не подолані, самі болти не відчують зсувних зусиль і працюють тільки на розтягування, все з'єднання працює пружно. Так працюють зсувостійкі з'єднання на високоміцних болтах. При збільшенні зовнішньої сили, яка зрушує деталі пакету, сили внутрішнього тертя виявляються подоланими і настає 2-й

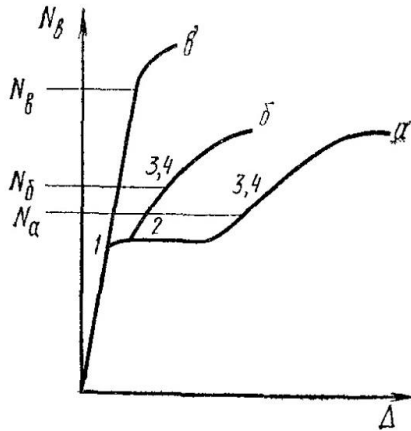


Рис. 1.15. Робота болтового з'єднання на зсув

- а – болти грубої і нормальної точності; б – болти підвищеної точності;  
 в – високоміцні болти в зсувостійких з'єднаннях;  
 1, 2, 3, 4 – етапи роботи з'єднань.

етап – зсув всього з'єднання на величину зазору між поверхнею отвору і стрижнем болта. На 3-му етапі зсувне зусилля в основному передається тиском поверхні отвори на стрижень болта; стрижень болта і краю отвори поступово обминаються; болт згинається, розтягується, так як головка і гайка перешкоджають вільному вигину стрижня. Поступово щільність з'єднання розбудовується, сили тертя зменшуються і з'єднання переходить в 4-й етап, який характеризується його пружнопластичною роботою. Руйнування з'єднання відбувається від зрізу болта, зминання і виколю одного з елементів, що з'єднуються або відриву головки болта.

Робота ця сильно ускладнена через неправильність форми болта і стілки отвору, тому розрахунок з'єднання носить умовний характер.

Розрізняють також роботу одноболтвого і багатоболтвого з'єднання. У багатоболтовому з'єднанні ті ж самі ж неправильності форми болта і отвору, а також можливі зазори між болтом і отвором неминуче призводять до нерівномірної роботи окремих болтів з'єднання, що враховують призначенням відповідного коефіцієнта умов роботи з'єднання.

Розрахунок ведуть виходячи з можливого виду руйнування з'єднання по зрізу болта при товстих листах, що з'єднуються або по зім'яттю поверхні отвору при тонких листах:

а) розрахункове зусилля, яке сприймається одним болтом по зрізу:

$$N_{\text{ср}}^{\text{б}} = R_{\text{ср}}^{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot A_{\text{б}} \cdot n_{\text{ср}}, \quad (1.23)$$

де,  $R_{\text{ср}}^{\text{б}}$  – розрахунковий опір болтів по зрізу (табл. 1.5);  $\gamma_{\text{б}}$  – коефіцієнт умов роботи з'єднання: для болтів грубої і нормальної точності у багатоболтовому з'єднанні  $\gamma_{\text{б}} = 0,9$ , для болтів підвищеної точності  $\gamma_{\text{б}} = 1,0$ ;  $A_{\text{б}} = \left(\pi d^2/4\right)n_{\text{ср}}$  – площа перерізу болта по ненарізній частини,  $d$  – діаметр стержня болта;  $n_{\text{ср}}$  – число розрахункових зрізів одного болта (рис. 1.16, а);

б) розрахунок болта на зминання носить умовний характер, так як в містах передачі зусилля з болта на листи що сполучаються відзначається складнонапруженний стан (рис. 1.16, б).

На цьому ж малюнку видно, що в точці (а) різко зростають напруги зминання  $\sigma_x^{\text{с}}$  і розтягування  $\sigma_y$ . Напруги зминання  $\sigma_x^{\text{с}}$  можуть викликати передчасну плинність матеріалу, а розтягуючі напруги  $\sigma_y$  – розрив елемента, що зеднується тоді болт «проріже» його. У той же час в точці (в) болт практично не передає зусиль на лист, і в цьому місці зростання напружень  $\sigma_x$  пояснюється лише звичайною концентрацією напружень по краях отвору. Труднощі обліку дійсного складнонапруженого стану призвела до того, що в розрахунку приймається рівномірний тиск болта на стінку отвору по всьому діаметру болта. Ця невідповідність розрахунку дійсній роботі враховується умовним характером розрахункових опорів. Розрахункове зусилля, яке може бути сприйнято одним болтом по з'єднанню елементів, розраховується за формулою

$$N_{\text{см}}^{\text{п}} = R_{\text{см}}^{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot d \cdot \sum t, \quad (1.24)$$

де,  $R_{\text{см}}^{\text{б}}$  – розрахунковий опір зминанню елементів, що з'єднуються болтами;  $\gamma_{\text{б}}$  і  $d$  – див. примітку до формули (1.17);  $\sum t$  – найменша сумарна товщина елементів, м'ятих в одному напрямку.

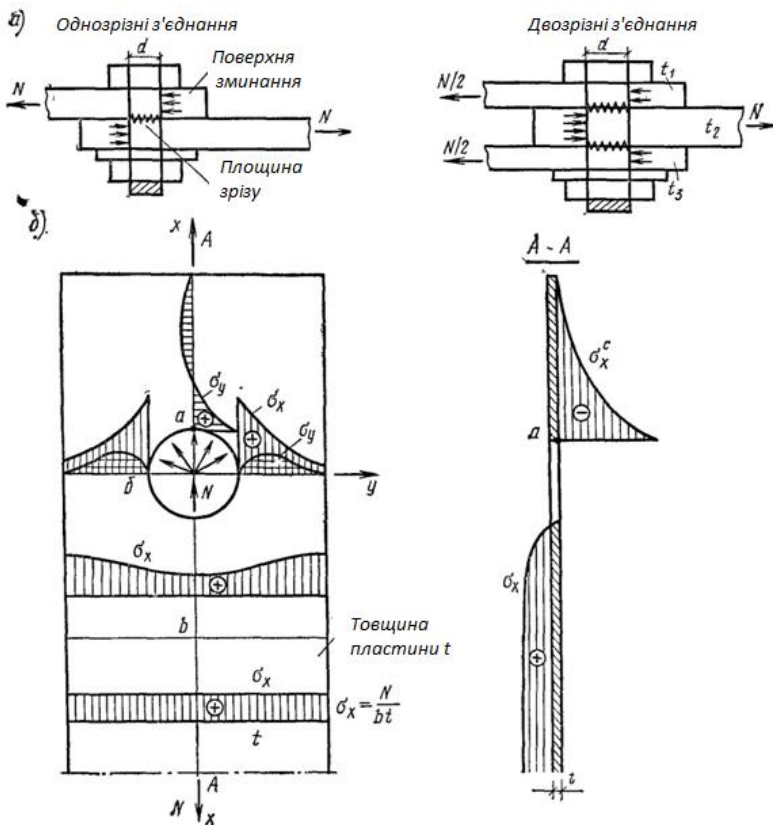


Рис. 1.16 Робота болтів  
а – зріз болта; б – змінання отворів

Число болтів  $n$  в з'єднанні при дії зрушуючої сили  $N$ , яка додається до центру тяжіння з'єднання, визначають, припускаючи роботу всіх болтів однаковою

$$n = \frac{N}{N_{\min}^{\bar{b}} \cdot \gamma}, \quad (1.25)$$

де,  $N_{\min}^{\bar{b}}$  – менше із значень розрахункового зусилля для одного болта, обчислене за формулами (1.23) і (1.24),  $\gamma$  – коефіцієнт умов роботи конструкції.

Розрахунок самих елементів, що з'єднуються на міцність ведуть з урахуванням ослаблення перерізу отворами по площі нетто  $A_{\text{нт}}$ , але з допущенням пружнопластичної роботи матеріалу, що з'єднується, яка обліковується коефіцієнтом умов роботи  $\gamma$ . Він приймається: для суцільних балок, колон і стикових накладок  $\gamma=1,1$ , для стрижневих конструкцій  $\gamma=1,05$  і враховується одночасно з коефіцієнтом умов роботи всієї конструкції  $\gamma$ ;

Таблиця 1.6 Площа перетину болтів

d, мм	16	18	20	22*	24	27*	30	36	42	48	56	64	72	80	90	100
$A^{\text{б}}$ , см <sup>2</sup>	2,01	2,54	3,14	3,8	4,52	5,72	7,06	10,2	13,8	18,1	24,6	32,2	40,7	50,3	63,6	78,5
$A_{\text{нт}}^{\text{б}}$ , см <sup>2</sup>	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,6	8,2	11,3	14,8	20,5	26,9	34,7	43,5	56,0	70,2

в) в з'єднаннях на високоміцних болтах з контрольованою силою натягу болта (зсувостійких, фрикційних) сили стягування елементів болтами настільки великі, що при дії сил, що зсувають в з'єднанні виникають сили тертя, які повністю сприймають ці зсувні сили і все з'єднання працює пружно (рис. 1.15, в).

Вирішальне значення в роботі такого з'єднання мають сила натягу болта  $P = R_p^{\text{вб}} \cdot A_{\text{нт}}^{\text{б}}$  (рівна розрахункового зусилля болта на розтяг) і якість поверхонь тертя. Розрахункова зсувне зусилля, яке може бути сприйнято в з'єднанні елементів, стягнутих одним високоміцним болтом, може бути визначено за формулою

$$Q^{\text{вб}} = R_p^{\text{вб}} \cdot A_{\text{нт}}^{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot \left( \frac{\mu}{\gamma_{\text{н}}} \right) \cdot k, \quad (1.26)$$

де,  $R_p^{\text{вб}} = 0,7 \cdot R_{\text{в}}^{\text{н}}$ ;  $R_{\text{в}}^{\text{н}}$  – найменший тимчасовий опір матеріалу болта на розрив по табл. 1.4;  $A_{\text{нт}}^{\text{б}}$  – площа перерізу болта нетто (по нарізці) по табл. 1.6;  $\gamma_{\text{б}}$  – коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання; при динамічному навантаженні і при різниці номінальних діаметрів отворів і

болтів більше 1 мм  $\gamma_G = 0,85$ , у всіх інших випадках  $\gamma_G = 1$ ;  $\mu$  – коефіцієнт тертя по табл. 1.7;  $\gamma_H$  – коефіцієнт надійності по табл. 1.7;  $k$  – число розрахункових площин тертя одного болта.

Таблиця 1.7.

Таблиця коефіцієнтів тертя для з'єднань високоміцними болтами

Способи обробки поверхонь, що з'єднуються	Коефіцієнт тертя $\mu$	Коефіцієнт надійності $\gamma_H$
Піскоструминний або дробеметний двох поверхонь	0,58	1,02
Те ж, з консервацією металізацією цинком або алюмінієм	0,5	1,02
Піскоструминний або дробеметний однієї поверхні з консервацією її епоксидним клеєм з корундовим порошком, інша поверхня очищається сталевими щітками, без консервації	0,5	1,02
Газополум'яний двох поверхонь	0,42	1,02
Сталевими щітками двох поверхонь	0,35	1,06
Без обробки	0,25	1,2

Аналогічно формулі (1.25) необхідне для передачі зрушує сили число болтів  $n$  в з'єднанні знаходять, вважаючи розподіл сили між болтами рівномірним:

$$n = \frac{N}{Q^{вб} \cdot \gamma} \quad (1.27)$$

Фактично ділянки на кінцях з'єднання відчувають декілька більші зусилля через різну напружність, а отже, і різні пружні подовження ділянок між болтами вздовж зусилля суміжних елементів, що з'єднуються.

Розрахунок елементів в місцях стиків і з'єднань високоміцними болтами на відміну від сполук на звичайних болтах ведуть без допущення пружнопластичної роботи, так як з'єднання не має непружних деформацій (рис. 1.15, в) при  $\gamma = 1$ .

Однак ослаблення перетинів отворами враховується частково, так як частина зсувного зусилля сприймається тертям поверхонь, що з'єднуються, що знаходяться поза місцем ослаблення перетину отворами. При цьому зусилля  $N_i$ , що діють в перерізі, ослабленому отворами під болти, визначається за формулою.

$$N_i = N \cdot \left( 1 - 0,5 \cdot \frac{m_i}{n} \right), \quad (1.28)$$

де,  $N$  – розрахункове зусилля в елементі (перетині);  $m_i$  – кількість болтів в перерізі;  $n$  – загальна кількість болтів прикріплення елемента конструкції.

Перевірку ослаблених перерізів необхідно проводити при статичних навантаженнях – за площею перерізу брутто  $A$  при  $A_{HT} \geq 0,85 \cdot A$ , а при  $A_{HT} < 0,85 \cdot A$  – по умовній площі  $A_{HT} = 1,18 \cdot A$ , при динамічних навантаженнях – по площі перерізу нетто  $A_{HT}$ .

**Робота і розрахунок з'єднань на розтяг.** Якщо зовнішня сила, що діє на з'єднання, спрямована паралельно поздовжньої осі болтів, то вони будуть працювати на розтягування. При статичній роботі такого з'єднання якість отворів і поверхні болта не має ніякого значення і болти нормальної і підвищеної точності працюють на розтягнення однаково (їх розрахункові опори рівні).

Цікаво відзначити, що початкові натяги болтів не позначаються на їх несучої здатності на розтягнення. Пояснюється це тим, що початкові напруги є напруженнями внутрішніми, врівноваженими силами стиснення між елементами які сполучаються (рис. 1.17, а). Прикладаючи зовнішні сили  $N$  до з'єднувальних елементів, будемо поступово замінювати ними сили стиснення між елементами, не порушуючи рівноваги болт – елемент. При цьому щільність з'єднання порушена не буде. Тоді, коли зовнішні сили  $N$  почнуть перевищувати внутрішні початкові зусилля стягування болта, монолітність з'єднання порушиться і розтяжне зусилля в болті почне збільшуватися. Таким чином, міцність з'єднання визначається міцністю

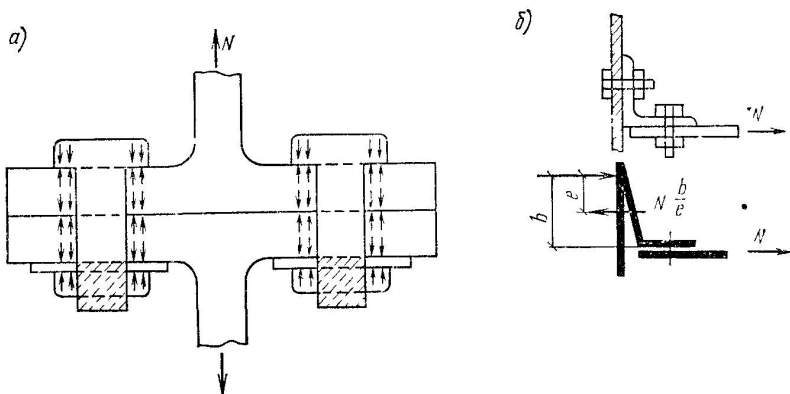


Рис. 1.17. Робота болтів на розтягнення

а – фланцеве симетричне з'єднання; б – не симетричне з'єднання.

матеріалу болтів на розтягнення незалежно від сил початкового натягу болта.

У з'єднаннях, що працюють на розтяг, застосовуються болти з тих же сталей, що і для з'єднань, що працюють на зрушення і зазначених в табл. 1.5, а для фундаментних болтів – в табл. 1.6. У цих з'єднаннях зусилля до болтів часто бувають прикладені з ексцентриситетом (рис. 1.17, б), що змушує знижувати їх розрахункові опори.

У фундаментних болтах зниження розрахункових опорів матеріалу болтів проти номіналу пояснюється ще й тим, що ступінь натягу суміжних болтів бази колони в процесі монтажу колони може бути різна, а тому в дійсності можлива деяке перевантаження окремих болтів. Зусилля, яке може бути сприйнято одним болтом, визначають за формулою

$$N_p^b = R_p^b \cdot A_{нт}^b, \quad (1.29)$$

де:  $R_p^b$  – розрахунковий опір болтів розтягуванню який слід приймати: для звичайних болтів по табл. 1.5, для фундаментних болтів по табл. 1.8;  
 $A_{нт}^b$  – площа перерізу болта нетто, по табл. 1.6.

Аналогічно формулі (1.25) необхідну кількість болтів у з'єднанні, що працює на дію центрально прикладеної сили, що розтягує, визначають:

Розрахункові опори  $R_p^b$  розтяганню фундаментних болтів, МПа.

Діаметр болтів, мм	Марка сталі		
	ВСтЗкп2	09Г2С	10Г2С1
12-32	145	185	190
33-60	145	180	180
61-80	145	175	170
81-100	145	170	170

$$n = \frac{N}{N_p^b \cdot \gamma}. \quad (1.30)$$

При одночасній дії сил, що зсувають і розтягують з'єднання, міцність його перевіряють окремо на зрушення за формулами (1.23) – (1.25), а на розтягнення за формулами (1.28) і (1.29).

Розрахунок фундаментних болтів не відрізняється від розрахунку звичайних болтів і проводиться за формулами (1.28) і (1.29), однак для належного закріплення болта в фундаменті (визначення довжини його закладення в бетон  $l$ ) необхідно додатково перевірити його на виривання з фундаменту.

**Робота і розрахунок з'єднань на зсув при повторних навантаженнях.** Робота з'єднань при навантаженні з перервами. Робота з'єднань на дію повторних навантажень має кілька різновидів.

1. Якщо сили стягування з'єднання болтами великі і зовнішні повторні навантаження не долають сил тертя, що виникають при цьому між елементами які сполучаються, то з'єднання зберігає свою монолітність і працює пружно, як основний метал. Так працюють з'єднання на високоміцних болтах.

2. Якщо сили стягування з'єднань на болтах нормальної, підвищеної точності і несучих високоміцних недостатні і сили внутрішнього тертя  $E$  долаються в з'єднанні зовнішніми зсувними силами, то з'єднання починає працювати як пружнопластичне тіло (рис. 1.18). Якщо таке з'єднання довести до розвитку пластичних деформацій (подолати сили внутрішнього тертя), а потім розвантажити то поки не буде подолано внутрішнє тертя в зворотному напрямку, розвантаження відбудеться по пружному закону (поча-

ткові залишкові деформації з'єднання при цьому зберуться). Пружний закон буде поширюватися не на розвантаження  $F$ , як при першому навантаженні, а на  $2F$ , що може бути пояснено особливостями природи сухого тертя (рис. 1.18, б), тобто з'єднання при повторних навантаженнях і розвантаженнях зрушує силою  $N$ , що не перевищує подвоєної сили тертя  $2F$ , зазнавши перші непружні зрушення, в подальшому буде працювати пружно. Таким чином, повторні навантаження як би збільшують область пружної роботи з'єднання в 2 рази. Це суттєво зменшує деформативність з'єднань після перших навантажень.

При повторних навантаженнях і розвантаженнях з'єднання зусиллям  $N > 2F$  тертя в з'єднанні буде кожен раз долатися і на діаграмі «навантаження – деформація» утворюється петля гістерезиса циклічної роботи з'єднання (рис. 1.18, а). Якщо фіксувати тільки початкову і кінцеву точки петлі гістерезису, то виходить враження, що з'єднання працює пружно, але його наведений модуль пружності  $E'$  менше модуля пружності матеріалу, тобто з'єднання виявляється більш податливим, ніж матеріал конструкції. Природно, що чим більше сили внутрішнього тертя в з'єднанні  $F$ , тим більше зона пружною роботи з'єднання і менше його податливості. Це ще раз показує бажаність збільшення сил стягування з'єднання болтами. Явище це розрахунком не враховується, але може бути враховано при визначенні деформативності конструкції в цілому.

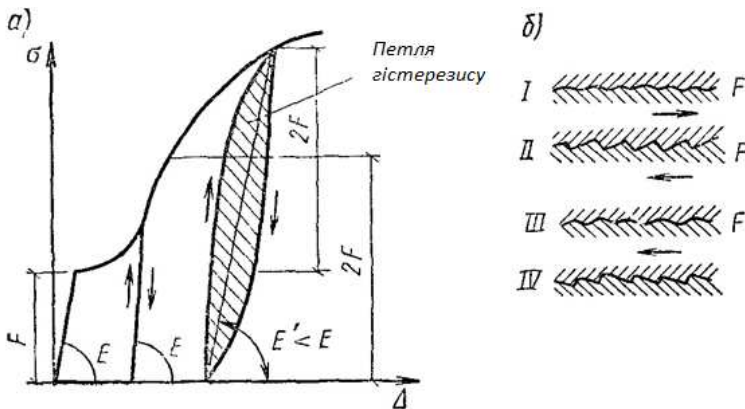


Рис. 1.18. Робота болтового з'єднання при повторних навантаженнях  
а – діаграма роботи;  
б – I ... IV схеми переміщень двох смуг при сухому терті

*Робота і розрахунок з'єднань при вібраційному навантаженні.* У з'єднаннях, які працюють на вібраційне навантаження, застосовують заклепки або високоміцні болти.

При безперервному повторному вібраційному навантаженні з'єднання працює пружно, так як розмір зміни зусиль зазвичай менше значення опорів тертя. Пружна робота з'єднання не сприяє вирівнюванню зусиль між болтами з'єднання, і крайні болти навантажені більш ніж середні.

Отвори в з'єднанні і складнонапружений стан матеріалу близько отворів (рис. 1.16, б) сприяють концентрації напружень і появи пікових напруг. Обидва ці явища знижують вібраційну міцність з'єднання в порівнянні з вібраційною міцністю основного матеріалу поза з'єднання і створюють умови для прояви втоми металу.

З'єднанням з несучими болтами властиві підвищені деформації, а також дещо більша, ніж у фрикційних з'єднаннях, концентрація напруг у отворів. Тому витривалість елементів, що з'єднуються, займає проміжне положення між витривалістю фрикційних з'єднань і заклепкових.

Як показали результати експериментальних досліджень, найбільш істотний вплив на витривалість елементів, що з'єднуються, зусилля напруги високоміцних болтів  $P$  і ступінь безпосереднього перекриття перерізів  $\xi = \frac{A_{\Pi}}{A}$  ( $A$  і  $A_{\Pi}$  – площі поперечного перерізу брутто стикуючого елемента і безпосередньо перекритої його частини). Стики та прикріплення з прямою передачею зусиль є однією із суттєвих особливостей конструкцій руднорейферних кранів-перевантажувачів.

Елементи головних ферм цих конструкцій мають Н-подібний поперечний переріз у вигляді широкополочного двутавра. У стиках поясів основних ферм перекрито лише вертикальні полиці двутавра, тобто, частина перерізу, що становить у середньому близько 40% від усієї площі поперечного перерізу пояса (рис. 1.19).

Стик перекритий вузловими фасонками та накладками. Площа поперечного перерізу накладок відповідає повній площі пояса, але горизонтальні листи не перекриті накладками.

Залежність витривалості сполук від зазначених параметрів виражена у вигляді які відносяться до площі перерізу нетто (для з'єднань на несучих високоміцних болтах) та брутто (фрикційних з'єднань) ефективних коефіцієнтів концентрації напруги  $\beta$ .

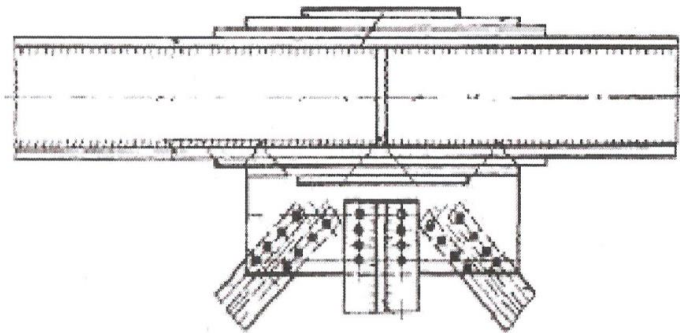


Рис. 1.19. Конструкція стику пояса головних ферм

$$\beta = K_1 \cdot K_2 \cdot (1,34 - 1,45 \cdot 10^3 \cdot P) \cdot (3,5 - 1,99 \cdot \xi) \quad (1.31)$$

де,  $P$  – зусилля напруги в кН;  $K_1 = 1,13$  і  $1,0$  – для конструкцій з вуглецевої і низьколегованої сталей зі з'єднаннями на несучих високоміцних болтах і  $0,85$  для фрикційних з'єднань;  $K_2 = 1,0$  і  $1,1$  – для двох- і однозрізних з'єднань відповідно.

Підвищені значення  $\beta$  для елементів з вуглецевої сталі обумовлені падінням зусиль  $P$  і збільшенням через це концентрації напруг у отворів. Зменшення  $P$  є наслідком зношування контактних поверхонь з'єднань, що проявляються помітно, як показали досліди, тільки в з'єднаннях з вуглецевої сталі, яка чинить опір стирання менше низьколегованих. Однак розлад з'єднань на болтах в результаті зношування на відміну від заклепувальних з'єднань не відбувається. У фрикційних з'єднаннях, коли процес навантаження супроводжується набагато меншими, ніж у з'єднаннях на несучих болтах зсувами, падіння зусиль  $P$  практично не виявляється.

Рідше руйнуються від втоми заклепочні або болтові стрижні (крім високоміцних). Вони руйнуються в місцях концентрації напружень, тобто в місцях примикання стрижня до голівки або в середній, обминають краями аркуша частини стержня.

Реальна небезпека втомних руйнувань високоміцних болтів у фрикційних з'єднань не виникає. У з'єднаннях на несучих високоміцних болтах така небезпека виникає у разі наявності прокладок, розташованих між спо-

лучаються елементами і накладками, і не беруть участь в передачі поперечної навантаження на болти, а також при знижених зусиллях натягу болтів, коли частка навантаження, що сприймається силами тертя, зменшується і силами смяття збільшується.

Значення меж обмеженою витривалості гладкої частини стрижня болта зі сталі 40Х, 40ХФА і 30ХЗМФ  $\sigma_{\max}$ , і різьби  $\sigma_{\max,k}$  визначені у вигляді емпіричних функцій коефіцієнта асиметрії циклу  $p$ .

$$\sigma_{\max} = \frac{225}{1 - 0,39 \cdot (1 + p)}, \text{ МПа} \quad (1.32)$$

$$\sigma_{\max,k} = \frac{225}{1 - 0,39 \cdot (1 + p)}, \text{ МПа} \quad (1.33)$$

Відношення  $\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max,k}}$  при  $p = -1$  дає значення ефективного коефіцієнта концентрації напружень  $\beta = 1,8$ .

Зниження вібраційної міцності з'єднання враховують зниженням розрахункового опору матеріалу.

## ГЛАВА 2

# НЕУЧІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДГОТОВКИ МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ

### 2.1. Вагоноперекидачі

#### 2.1.1. Загальні відомості

Вагоноперекидачі призначені для вивантаження з вагонів сипучих і кускових вантажів шляхом нахилу або повороту вагона в відповідне положення з застосуванням іноді додаткових пристроїв, що сприяють висипанню вантажу.

На металургійних підприємствах застосовують вагоноперекидачі пересувного і стаціонарного типів (рис. 2.1). Баштовий вагоноперекидач обладнують механізмом кантування люльки з канатною передачею, а роторний – механізмом кантування ротора з канатною або зубчастою передачею. Роторні вагоноперекидачі легше і компактніше баштових, при цьому витрачають в два – три рази менше електроенергії для кантування. Тип вагоноперекидача вибирають виходячи з конкретних умов розташування заводу, доменного цеху і системи механізації складу сировини.

Вагоноперекидачі є металомісткими спорудами. Їх несучі конструкції (вежа, ротор, люлька) сприймають великі навантаження. Загальна маса вагоноперекидача, наприклад баштового, може досягати 600 т.

Як приклад на рис. 2.2 наведено роторний вагоноперекидач, а на рис. 2.3 – бічний.

Основними несучими конструкціями вагоноперекидачів є ротор і люлька, призначена для установки, закріплення і кантування вагонів.

Ротор пересувного або стаціонарного роторного вагоноперекидача є просторовою зварену металоконструкцію, що складається з двох приводних полуроторів, з'єднаних за допомогою поздовжніх балок.

Люлька, як правило, виконана у вигляді L - образних поперечних балок, з'єднаних поздовжніми барками.

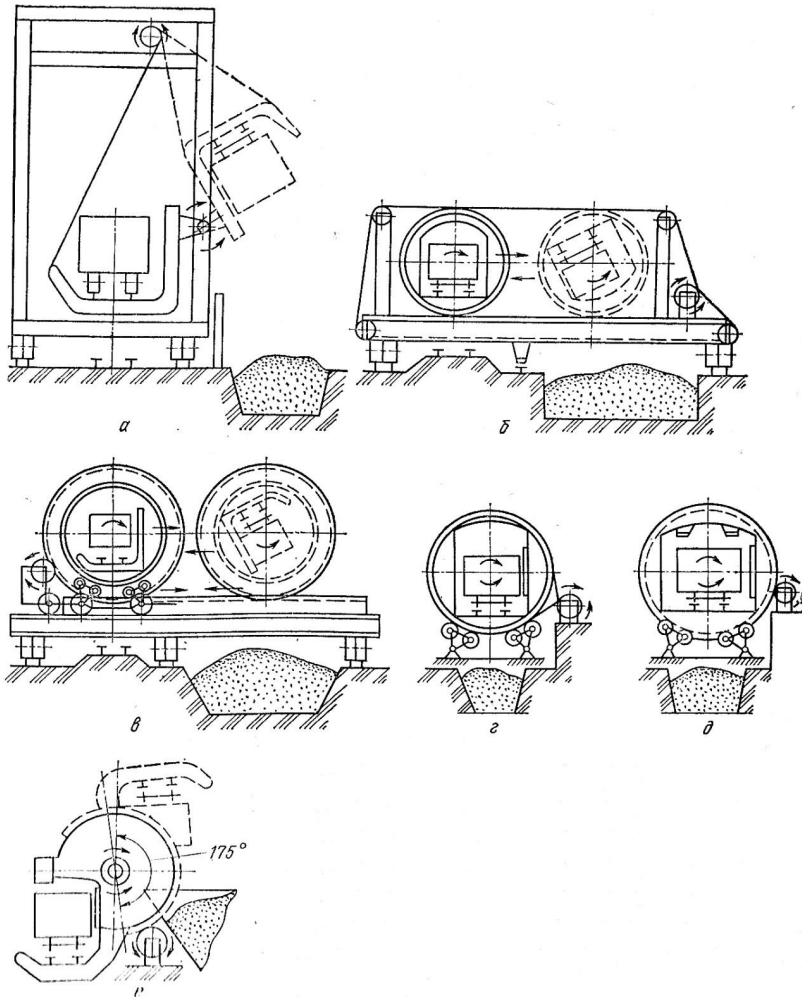


Рис. 2.1. Типи вагоноперекидачів:

- а – пересувний баштовий; б – пересувний роторний з канатною передачею механізму кантування ротора; в – пересувний роторний з зубчатою передачею механізму кантування і переміщення ротора; г – стаціонарний роторний з канатною передачею механізму кантування ротора; д – стаціонарний роторний з зубчатою передачею механізму кантування ротора; е – стаціонарний бічний з зубчатою передачею механізму кантування



Рис. 2.2 Роторний вагоноперекидач.



Рис. 2.3. Бічний вагоноперекидач.

### 2.1.2. Основи розрахунку несучих конструкцій вагоноперекидачів

Розрахунки несучих конструкцій вагоноперекидачів мають специфічну особливість, яка полягає в тому, що їх розрахункова схема залежить від положення в просторі.

Металоконструкція роторів з ланцюговою передачею в попередніх розрахунках може бути оцінена по куту закручування за умови обриву одного ланцюга

$$\theta = \frac{10^6 \cdot T_{\text{рот}}}{G \cdot I_{\rho}} \cdot \frac{180}{\pi} \leq [\theta], \quad (2.1)$$

де,  $\theta$  – відносний кут закручування, град/м;  $T_{\text{рот}}$  – крутний момент на валу ротора, Н·м;  $G$  – модуль зсуву, МПа,  $G = 8 \cdot 10^4$ ;  $I_{\rho} = I_x + I_y$  – полярний момент інерції площі поперечного перерізу відносно двох взаємно перпендикулярних вісей, що проходять через вісь обертання ротора ( $I_x, I_y$ ) і визначається за правилами курсу «Опору матеріалів»;  $[\theta] = 0,15 \dots 2,0$  – допустимий відносний кут закручування, град/м. Для забезпечення жорсткості ротора приймається менше значення  $[\theta]$ .

При розрахунку на міцність, як правило, розглядаються три випадки навантаження ротора:

Випадок 1 – Початкове положення ротора, кут повороту  $\varphi = 0^\circ$ .

Випадок 2 – Ротор повернутий на  $90^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ .

Випадок 3 – Ротор повернутий на  $180^\circ$ ,  $\varphi = 180^\circ$ .

Для визначення максимальних зусиль в рамі люльки, наприклад, бічного стаціонарного вагоноперекидача розглядають 3 комбінації навантажень:

I Комбінація. Вагон наїжджає на платформу. Люлька спирається на опору нижню і відчуває максимальний тиск з боку платформи.

II Комбінація. Ротор повернутий на  $55^\circ$ , люлька відривається від опори нижньої і спирається на ротор.

III Комбінація. Ротор з навантаженим вагоном повернутий на  $90^\circ$ , матеріал не висипався.

Підбір поперечних перерізів елементів і деталей несучих конструкцій виконують за правилами курсу «Опір матеріалів» та інших нормативних вимог з проектування сталевих конструкцій.

## **2.2. Рудно-грейферні перевантажувачі**

### **2.2.1. Загальні відомості**

У сучасних конструкціях перевантажувачів на металоконструкцію припадає близько 65%, а на механізми і електрообладнання відповідно 30 і 5% загальної маси. Основні розміри (проліт, висота, довжини консолей, підмостовий габарит і то що.) перевантажувачів визначаються умовами їх експлуатації.

Металоконструкція перевантажувача складається з моста і двох опор, одна з яких жорстка, інша – гнучка або шарнірна. Жорстка опора сприймає і передає на рейки кранових шляхів вертикальні реакції, а також реакції від поздовжніх і поперечних, горизонтальних навантажень. Гнучка опора призначена для того, щоб сприймати і передавати на кранові колії вертикальні навантаження, а також горизонтальні навантаження, які діють впоперек перевантажувача. При однаковій жорсткості опор навантаження, що діють уздовж моста, розподіляються між обома опорами порівну.

Міст являє собою просторову конструкцію замкнутого або незамкнутого типу.

Опори перевантажувача в залежності від його типу виконуються у вигляді плоских або просторових конструкцій висотою 15-25 м. Опорні вузли їх з'єднуються стяжками і прикріплюються до балансирих візків механізму пересування. Стяжки використовують для установки автоматичних і ручних протиугінних закріплень, а також для розташування на них електроустаткування.

Залежно від типу грейферного візку розрізняють металоконструкції перевантажувачів: з їздом по низу з грейферним візком нормального (опорного) типу, розташованого в межах внутрішніх габаритів моста, або підвісного типу, який встановлюється зовні моста; з їздом по верху з двохконсольним грейферним візком опорного типу або з поворотним грейферним краном.

За типом конструктивних схем металоконструкції перевантажувачів поділяють на ґратчасті, трубчасто-балкові, комбіновані і коробчасто-балкові (рис. 2.4).

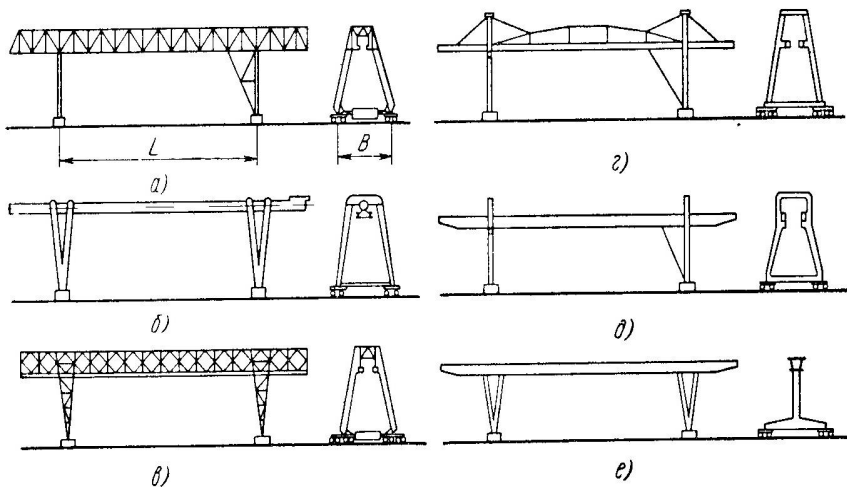


Рис. 2.4. Схеми металоконструкцій перевантажувачів:

- а – ґратчаста; б – трубчасто-балочна; в – комбінована ґратчаста;
- г – комбінована шпренгельна; д – коробчасто-балочна двохбалочна;
- е – коробчасто-балочна однобалочна.

Схеми металоконструкцій перевантажувачів в залежності від типу з'єднання моста з опорами показані на рис. 2.5.

*Металоконструкції перевантажувачів з центральним приводом, і жорстким сполученням моста з опорами* (рис. 2.5, а). У металоконструкціях цих перевантажувачів міст жорстко з'єднані з жорсткою опорою 5, що представляє собою вертикальну плоску наскрізну раму з затяжкою, пов'язану підкосами з вузлами головних ферм. Шарнірна опора 4, яка та-

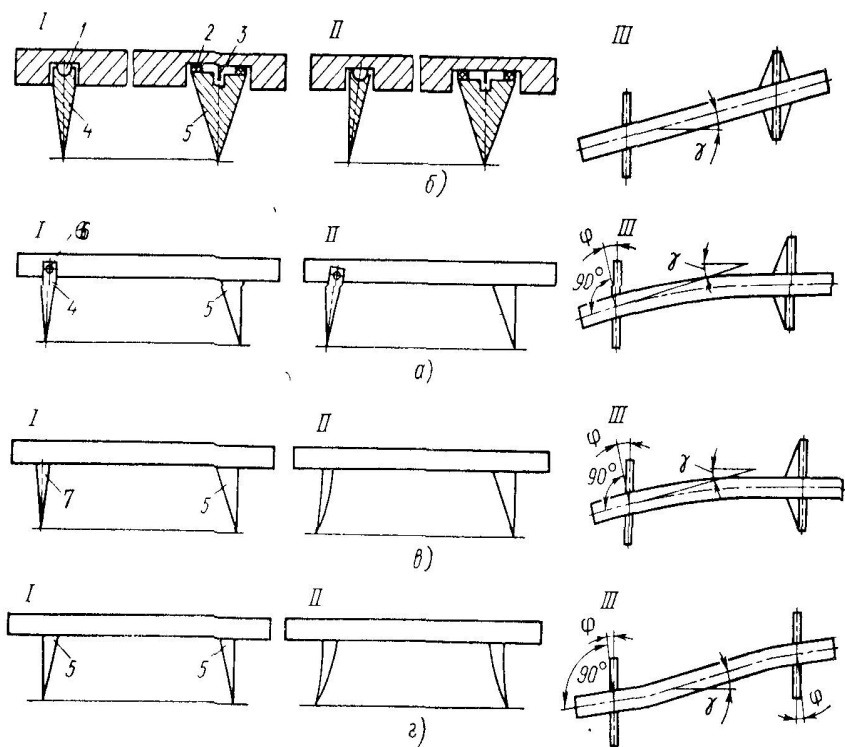


Рис. 2.5. Схеми металокопструкцій перевантажувачів:

а – з центральним приводом і жорстким сполученням моста з опорою;  
 б – з рухомо-шарнірним з'єднанням моста з опорами; в – з роздільним  
 приводом і жорстким сполученням моста з опорами; г – жорсткої  
 системи трубчато-балкової копструкції з опорами рівній жорсткості;  
 I – схема перевантажувача; II, III – взаємне положення моста і опор  
 відповідно при поздовжньої деформації моста і при перекосі (вид в плані);

1 – кульовий шарнір (лінза); 2 – опорна плита; 3 – направляючий  
 штир (шкворень); 4 – шарнірна опора; 5 – жорстка опора;

б – циліндричний шарнір; 7 – гнучка опора;

$\gamma$  – максимальний кут перекоосу моста;  $\phi$  – кут закручування опори.

кож представляє собою вертикальну плоску раму, з'єднується з мостом шарнірами 6.

Центральний привід, розташований в середній частині мосту, дозволяє зменшити забігання опор перевантажувача при його пересуванні, однак через громіздкість в сучасних конструкціях перевантажувачів він не застосовується.

**Металоконструкції перевантажувачів з рухомо-шарнірним з'єднанням моста з опорами** (рис. 2.5, б). Міст цієї системи перевантажувачів спирається в чотирьох точках на ригель просторової жорсткої опори 5 за допомогою опорних плит 2 і шарнірно з'єднується з нею по осі моста вертикальним шкворнем 3. Сполучення з шарнірної опорою 4 здійснюється через опорну лінзу (кульовий шарнір) 1 в одній точці, розташованій по осі моста. Подібна система обпирання забезпечує поворот жорсткої опори і моста навколо осі вертикального шкворня.

Жорстка опора являє собою дві плоскі похилі двошарнірні рами, з'єднані системою фасадних і горизонтальних зв'язків в пірамідальну просторову конструкцію. Верхня частина жорсткої опори складається з декількох подовжніх і поперечних ферм або суцільностінчастих балок, що мають в рівнях верхнього і нижнього поясів горизонтальні зв'язки. У місцях перетину балок ригеля з опорними вузлами головних ферм розташовуються чотири опорні плити, на які спирається міст. У центрі просторової конструкції ригеля розташований вертикальний шкворень, закріплений в конструкціях моста і ригеля. Шарнірна опора 4 складається з двох плоских рам, з'єднаних системою фасадних і поперечних зв'язків. Поперечною балкою міст спирається на шарнірну опору через чечевицеподібну лінзу в середині ригеля.

Горизонтальні реакції у всіх напрямках сприймаються шкворнем 3 на жорсткій опорі і лінзою 1 на шарнірної опорі. Обидві опори закріплюються на балансірних візках механізму пересування.

У шарнірної системі з роздільним приводом і рухомошарнірним зчленуванням моста з опорами допускається перекис моста в плані до 10 °.

Дослідженнями ЦНДПроектстальконструкція, СКМЗ і ВНДПТМА-Ша виявлені переваги жорсткої системи металоконструкції перед шарнірної: вище експлуатаційна надійність, простіше і легше конструкція, менша трудомісткість виготовлення і монтажу. Однак механізм пересування з роздільним приводом, застосований при шарнірній системі, має більшу на-

дійність, простий по устрою, відрізняється малою вагою, невеликою трудомісткістю і вартістю виготовлення і монтажу, меншими експлуатаційними витратами, більш високим к.п.д., ніж механізми пересування з центральним приводом.

При порівняльному дослідженні позитивні характеристики металокопункції перевантажувача жорсткої системи і переваги механізму пересування з роздільним приводом зробили доцільним розробку нової комбінованої конструкції жорсткої системи, забезпеченою механізмом пересування з роздільним приводом.

**Перевантажувач з роздільним приводом і жорстким сполученням моста з опорами** (рис. 2.5, е). Обидві опори даної системи жорстко з'єднуються з відповідними вузлами головних ферм моста. Жорстка 5 і гнучка 4 опори являють собою дві вертикальні рами, скріплені з опорними вузлами моста на рівні нижнього пояса. Рама жорсткої опори зв'язується з мостом підкосом, що йде від опорного вузла опори до одного з нижніх вузлів головних ферм.

Пересування перевантажувача здійснюється роздільними, синхронно працюючими приводами, встановленими на кожній з ходових балансирних візків механізму пересування. В процесі переміщення уздовж складу одна опора може забігати щодо іншої. Величина цього забігання для перевантажувача з прольотом 76,2 м становить 250-300 мм.

Надійність при пересуванні забезпечується системою обмежувачів перекоосу.

**Перевантажувач жорсткої системи, трубчасто-балкової конструкції з опорами рівної жорсткості** (рис. 2.5, г). Особливостями цієї конструкції є великогабаритні трубчасті елементи і опори рівної жорсткості 5. Суцільнозварна металокопункція складається з двохконсольного моста, виконаного у вигляді звареної труби з підвішеними до неї їзовими балками, і двох просторових опор трикутної форми з основними елементами з зварних труб. Останні сполучаються з мостом коробчастими ригелями і з'єднуються над візками механізму пересування в опорні коробки, пов'язані одна з іншого трубчастими стяжками. Перевантажувач пересувається роздільними, синхронно працюючими приводами, розташованими на кожному з чотирьох балансирних агрегатів (візків) механізму пересування.

Забігання однієї опори відносно іншої контролюється системами обмежувачів перекоосу. Однакова жорсткість опор призводить до вирівню-

ванню горизонтальних поперечних навантажень на ходові візки. Сумарна поперечне навантаження на ходовий візок в даній системі з урахуванням распора що виникає не перевищує подібною навантаження в системі з одною жорсткою і одною гнучкої опорою. Перевагою трубчасто-балкової конструкції є можливість використання при монтажі металоконструкцій великогабаритних заводських блоків зі стикуванням їх монтажним зварюванням.

***Перевантажувачі жорсткої системи комбінованої конструкції.***  
У всіх комбінованих конструкціях використовується спільна робота нижніх поясів головних ферм з їздовими балками. Нижні пояси виконані у вигляді коробчастої конструкції, що сприймає вертикальні навантаження і крутний момент. Одна з модифікацій цієї конструкції є просторовий ґратчастий міст, з'єднаний з двома опорами рівної жорсткості. Металоконструкція мосту складається з двох головних ферм з трикутними або ромбічними ґратами, у яких нижній пояс має коробчасті перетини, а інші елементи (верхній пояс, розкоси, стояки) Н-образне, таврове або хрестове.

Нижній пояс грає роль балки жорсткості і використовується для укладання піддежечних рейок рейферного візку. Обидві головні ферми з'єднані між собою системами поздовжніх і поперечних зв'язків. Обидві опори мають рівні жорсткості, однакові принципові геометричні схеми і жорстко з'єднуються з мостом.

Особливістю іншого типу металоконструкцій є шарнірне з'єднання шарнірної опори з мостом і відсутність поздовжніх зв'язків по поясах шпренгелю. Металоконструкція мосту виконується з двох головних ферм з коробчастою балкою жорсткості, посиленою шпренгельною конструкцією знизу або зверху. Балка жорсткості використовується для укладання піддежечних рейок.

Обидві головні ферми з'єднуються розпірками, встановленими в площині вертикальних стійок. Поздовжні зв'язки по поясах шпренгелів відсутні. Як жорстка, так і шарнірна опори мають однотипну коробчасту конструкцію. Жорстка опора з'єднана з мостом підкосом, шарнірна-шарніром. Перевантажувач пересувається від роздільних синхронно працюючих двигунів.

## 2.2.2. Навантаження, що діють на металоконструкції перевантажувачів

Навантаження, які діють на металоконструкції перевантажувачів, поділяються на постійні, тимчасові і особливі. До постійних відносяться навантаження, що зберігають своє значення протягом всього експлуатаційного періоду (маса металоконструкції, попереднє напруження конструкції). До тимчасових відносяться навантаження, що змінюють своє значення в різні періоди експлуатації (маса матеріалу в перевантажувальних пристроях; навантаження при пересуванні грейферного візка; навантаження на обслуговуючі майданчики від маси людей, ремонтних матеріалів, деталей; навантаження при пересуванні перевантажувача; інерційні і перекосові навантаження; вітрові навантаження; маса обмерзання конструкцій; температурні впливи; навантаження, що виникають під час перевезення, монтажу або реконструкції). До особливих відносяться навантаження, що виникають рідко, частіше в аварійних ситуаціях (сейсмічні впливи; навантаження при ударі грейферного візка або крана у буфер; перекосні навантаження при аварійному перекосе перевантажувача).

**Важові навантаження металоконструкції.** Маса перевантажувача, в тому числі і металоконструкцій, в значній мірі залежить від його конструктивної схеми. Із застосуванням жорсткої системи замість шарнірної маса перевантажувача зменшується на 14%, при цьому маса металоконструкцій знижується на 26%.

Залежність маси металоконструкцій перевантажувачів від типів перевантажувачів і довжини їх мостів показана на рис. 2.6.

Для попередніх ескізних підрахунків масу металоконструкцій з достатнім ступенем точності можна визначати, використовуючи існуючі аналогії і графіки маси, зображені на рис. 2.7. При цьому маса в % по окремих вузлах розподіляється так: міст – 80 (70); жорстка опора – 10 (15); гнучка опора – 7 (12); сходи і майданчики – 3. Перші цифри відносяться до перевантажувачі жорсткої системи з гратчастою конструкцією, цифри в дужках – до перевантажувачі трубчасто-балкової конструкції.

Більш точним є спосіб підрахунку маси за допомогою коефіцієнта

$$\mu = \frac{G}{G_T}, \quad (2.2)$$

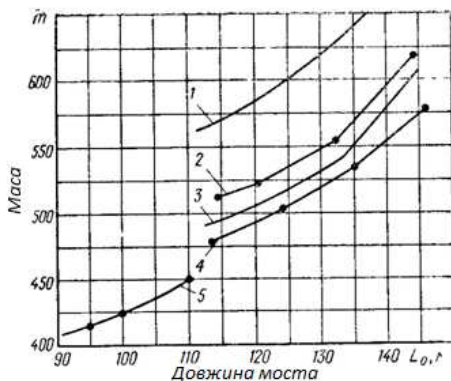


Рис. 2.6. Залежність маси металоконструкції перевантажувачів від типів перевантажувачів і довжини їх мостів:

1 –  $L = 76,2$  м, вантажопідйомність 30 т, шарнірної системи, ґратчастої конструкції,  $G_T = 150$  т, сталь клас С 38/24; 2 –  $L = 76,2$  м, вантажопідйомність 32 т, жорсткої системи трубчасто-балкової конструкції,  $G_T = 134$  т, сталь клас С 46/33; 3 –  $L = 76,2$  м, вантажопідйомність 32 т, жорсткої системи трубчасто-балкової конструкції,  $G_T = 125$  т, сталь клас С 46/33; 4 –  $L = 76,2$  м, вантажопідйомність 30 т, жорсткої системи ґратчастої конструкції,  $G_T = 146$  т, сталь клас С 46/33; 5 –  $L = 60$  м, вантажопідйомність 15 т, шарнірної системи ґратчастої конструкції,  $G_T = 77$  т, сталь клас С 38/24;

де,  $G$  – дійсна маса конструкції;  $G_T = \sum_{i=1}^n F \cdot l \cdot \gamma$  – теоретична маса конструкції;  $n$  – кількість елементів конструкції;  $F$  – площа перерізу елемента;  $\gamma$  – об'ємна маса матеріалу.

У цьому випадку на підставі обчислених зусиль підбирають перетини елементів конструкції і розраховують їх площі.

Фактична маса конструкції, як правило, декілька (до 5%) перевищує проектну в результаті заміни сортаменту, додаткових технологічних деталей і плюсових допусків на розміри прокатної сталі. Це перевищення маси при розрахунку за граничними станами враховується коефіцієнтом перевантаження  $n$ .

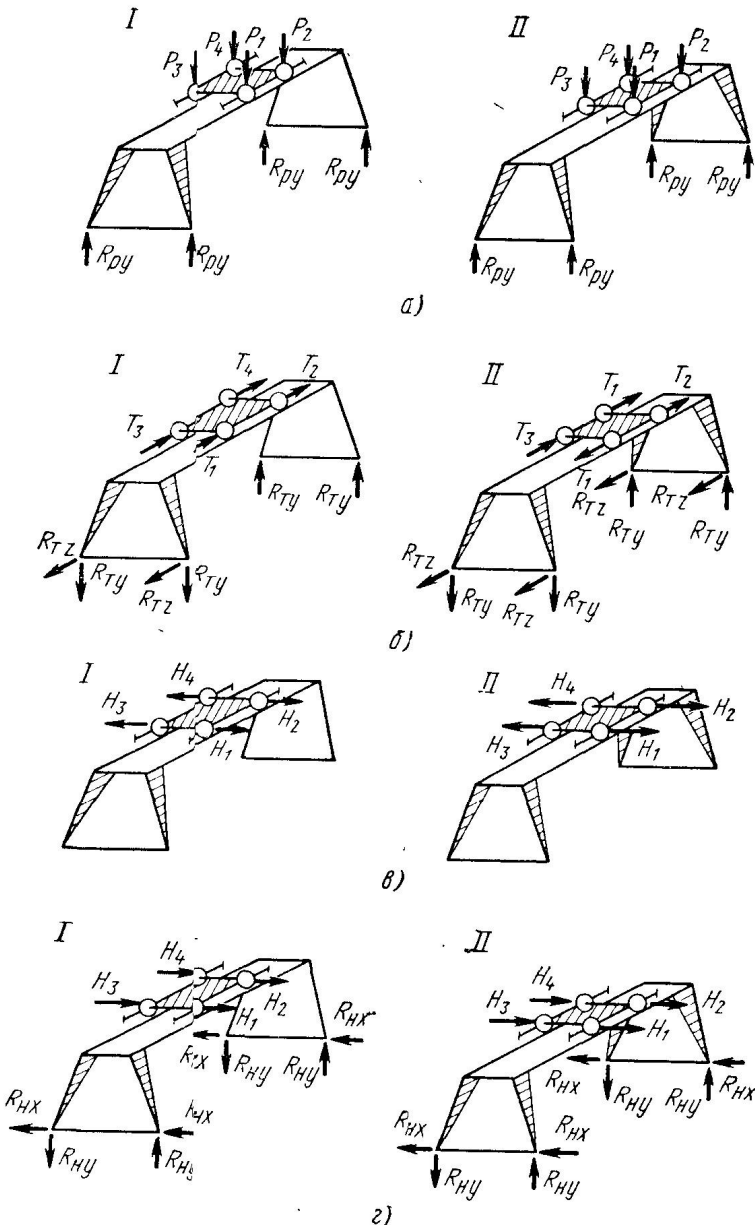


Рис. 2.7. Схема моста перевантажувача при дії:

а – маси грейферного візку і вантажу; б – поздовжніх навантажень (бічних ударів); І – жорстка і гнучка опори; ІІ – опори рівної жорсткості.

**Впливи грейферного візку.** Тиск від маси металокопструкцій грейферного візку, обладнання та вантажу передається на підвізкові рейки через ходові колеса (рис. 2.7, а).

Динамічний вплив грейферного візка (з вантажем або без нього) на металокопструкції враховується динамічним коефіцієнтом  $\psi$ . Так, для металокопструкцій мосту і опор  $\psi = 1,2$ , для металокопструкцій їздових балок і елементів їх кріплень до мосту крана  $\psi = 1,5$ . Наведені значення динамічних коефіцієнтів поширюються на повну масу грейферного візка з вантажем.

Горизонтальні поздовжні навантаження  $T$ , що виникають при пересуванні грейферного візка в період пуску і гальмування, приймаються рівними  $0,1$  суми тиску  $P$  всіх її ходових коліс і прикладені на рівні головки підтележечних рейок (рис. 2.7, б).

Горизонтальні поперечні навантаження  $H$ , що виникають внаслідок конусности поверхонь ходових коліс грейферного візка, обчислюються як  $0,1$  величини тиску  $P$  на колесо і прикладені на рівні головки підтележечних рейок (рис. 2.7, в).

В результаті ударів ходових коліс по виступаючі частини підтележечних рейок на стиках, нещільного закріплення рейок, а також бічний інерції візка при великих швидкостях пересування виникають бічні сили (бічні удари). Величини цих сил приймаються рівними  $0,1$  вертикального тиску на ходове колесо. Ці сили прикладені поперек рейки на рівні його головки (рис. 2.7, г).

**Навантаження, що виникають при пересуванні перевантажувача.** При пересуванні перевантажувача в періоди пуску і гальмування, а також внаслідок поштовхів і ударів виникають інерційні сили

$$H_i = \frac{(G_M + G_0 + G_T) \cdot v_{II}}{g \cdot t_T} \quad (2.3)$$

Інерційні сили від ваги металокопструкцій і обладнання прикладені в центрах ваги відповідних вузлів, а від ваги грейферного візка на рівні головки рейок підвізкових шляхів.

Підкранові колії зазвичай мають нерівності, перепади в стиках, ухили і інші дефекти, що викликають вертикальні динамічні дії від вагових нава-

нтажень. Подібні додаткові навантаження від ваги металоконструкцій, обкладання та грейферного візку враховуються коефіцієнтом поштовхів  $k_T$  (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Коефіцієнт поштовхів  $k_T$

стики рейок	Швидкість пересування в м/хв			
	менш 60	60...90	91...150	більше 150
болтові	1,0	1,1	1,2	1,3
зварні	1,0	1,05	1,1	1,15

Під час руху перевантажувача одна з опор прагне випередити іншу, викликаючи тим самим перекіс конструкції. Для орієнтовних розрахунків перекосне навантаження  $H_s$ , яке діє на металоконструкцію, може бути прийняте рівною 5...20 кг на тонну маси перевантажувача в залежності від конструктивної схеми, прольоту, висоти, жорсткості опор, якості укладання підкранових колій і стану вузлів механізмів пересування (балансирів, ходових коліс і т. п.). Схеми навантажень, що діють на металоконструкцію, показані на рис. 2.8.

Вплив перекоєсних навантажень прийнято враховувати зміцненням однієї опори відносно іншої. Перекоєсна деформація в робочому стані приймається рівною 0,3...0,8% величини прольоту. Металоконструкції розраховують при максимальній перекоєсній деформації (при прольоті 76,2 м вона становить 600 мм).

**Вітрові навантаження.** При розрахунку металоконструкцій перевантажувачів нормативне вітрове навантаження приймається рівномірно розподіленим. Навітряну площу елементів перевантажувача можна визначити як добуток теоретичної площі і коефіцієнта заповнення. При цьому теоретичну площу обчислюють по осьовим геометричним розмірам, а коефіцієнт заповнення приймають 0,4 – 0,6 для ґратчастих конструкцій і 1,0 – для суцільностінчатих.

**Температурні навантаження.** Вплив коливань температури приймається однаковим для всіх частин металоконструкцій незалежно від їх географічної орієнтації при температурному перепаді 70°С і коефіцієнті ліній-

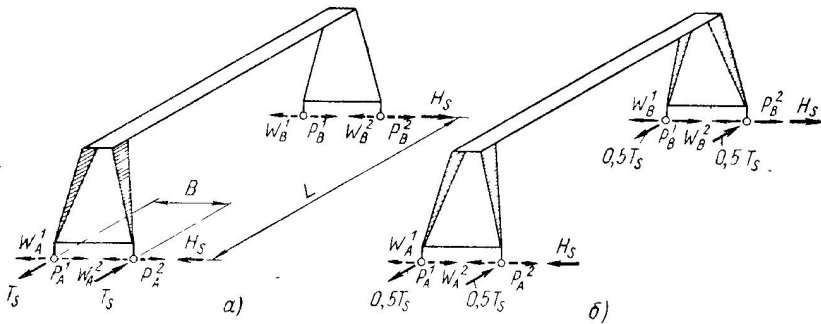


Рис. 2.8. Схеми навантажень, що діють при перекосі:  
 а – перевантажувач з жорсткою і гнучкою опорами; б – перевантажувач з опорами рівної жорсткості;  $W_a$ ,  $W_b$  – сумарні сили опору пересуванню опор перевантажувача;  $P_a$ ,  $P_b$  – тягові сили двигунів;  $H_s$  – навантаження, що виникає при перекосі;  $T_s$  – бічне навантаження.

ного розширення  $a_t = 0,000012$ . Температурні навантаження враховуються тільки для систем, статично невизначених (рамних схем).

**Особливі навантаження.** До категорії особливих навантажень відносяться впливу, пов'язані найчастіше з тимчасовою несправністю чи відмовою систем обмеження.

При несправності кінцевих вимикачів пересування грейферного візка остання може вдаритися об буфера, розташовані в торцях моста. Горизонтальна поздовжня сила, що виникає під час такого удару об притискний буфер за умови поглинання всієї кінетичної енергії удару буфером,

$$T_0 = \frac{(G_T + Q) \cdot v_{т.у.}^2}{g \cdot a}, \quad (2.4)$$

де,  $v_{т.у.}$  – швидкість пересування грейферного візка в момент удару, рівна 50% робочої швидкості;  $a$  – хід поршня.

При гідравлічному буфері сила удару вдвічі менше. При несправності обмежувачів перекоосу можливий вихід мостового перевантажувача на буферні упори в кінці складу або наїзд на сусідній перевантажувач. В цьому

випадку горизонтальна поперечна навантаження, що виникає при раптовій зупинці перевантажувача

$$H_0 = \frac{(G_M + G_0 + G_T) \cdot v_{п.у.}^2}{g \cdot a}, \quad (2.5)$$

де,  $v_{п.у.}$  – швидкість пересування перевантажувача в момент удару, рівна 50% робочій швидкості пересування, при цьому перекис перевантажувача приймається рівним 1,2% величини прольоту і при прольоті у 76,2 м становить 1000 мм.

При розрахунку металоконструкцій перевантажувачів розглядають наступні експлуатаційні стани перевантажувача:

- 1) робочий стан «підйом і переміщення вантажу». При цьому грейферних візок піднімає вантаж і переміщається з вантажем вздовж крана; перевантажувач знаходиться в нерухомому стані, грейферних візок розташовується в межах прольоту або в крайніх положеннях на консолях;
- 2) робочий стан «пересування крана». При цьому перевантажувач пересувається, грейферний візок без вантажу розташовується в межах прольоту або на опорах;
- 3) неробочий стан. Перевантажувач застопорений, грейферний візок без вантажу розташовується над однією з опор.

Дія зазначених навантажень враховується відповідно до табл. 2.2. При розрахунку металоконструкцій з урахуванням додаткових і особливих сполучень навантажень розрахункові навантаження (або відповідні їм зусилля в конструкції) слід множити на коефіцієнт сполучень  $k_c$ , значення якого також наведено в табл. 2.2. Розрахункові навантаження визначаються як добуток нормативної навантаження (або відповідного їй зусилля) і коефіцієнта  $n$ .

Таблиця 2.2

Коефіцієнт перевантаження  $n$ 

Навантаження	Значення
Вага:	
металоконструкцій	1,1
матеріалу в воронках і бункерах	1,5
механічного та електричного обладнання	1,2
візки з вантажем	1,3
Горизонтальна сила:	
від ваги вантажу при відхиленні вантажних каналів	1,2
поздовжня і поперечна при пересуванні вантажного візка	1,2
інерцеонная при пересуванні крана	1,2
при перекосі крана	1,2
Вітрова:	
робочого стану	1,0
неробочого стану	1,1
Температурна	1,1
Тимчасова що пов'язана з обслуговуванням	1,4

### 2.2.3. Матеріали, що застосовуються при проектуванні перевантажувачів

Робота металоконструкцій перевантажувача в значній мірі залежить від правильності вибору марок сталей. При цьому враховують конструктивні особливості споруди, кліматичні умови району установки перевантажувача, режим його роботи, а також небезпека виникнення втомного та крихкого руйнування.

При виборі марки сталі з урахуванням небезпеки виникнення крихкого руйнування можна користуватися непрямими показниками, такими як ударна в'язкість, проби зразків з ексцентричним розтягуванням, холодний загин з надрізом, а також холодноломкість. Режиму і умовам експлуатації перевантажувачів задовольняють багато сталей. Так, для основних розрахункових елементів, схильних до безпосереднього впливу рухомого вібраційного навантаження, при температурі експлуатації вище  $-40^{\circ}\text{C}$  застосо-

вуються низьколеговані сталі марок 09Г2С, 15ХСНД, 10ХСНД по ГОСТу 5058-65 і вуглецева сталь марки ВСтЗспб по ГОСТу 380-71, а для розрахункових елементів, які не піддаються впливу рухомого і вібраційного навантаження – вуглецева сталь марки ВСтЗпс5 по ГОСТу 380-71.

Конструкції, що працюють при температурі від  $-40$  до  $-65^{\circ}\text{C}$ , виготовляють з термічно поліпшеної сталі марок 09Г2С, 15ХСНД, 10ХСНД.

Для допоміжних нерозрахованих або недостатньо навантажених елементів (сходів, площадок, огорож то що) використовують вуглецеву сталь марки ВСтЗкп2 по ГОСТу 380-71.

Перераховані низьколеговані сталі відрізняються хорошою зварюваністю, високими механічними властивостями, сприятливим хімічним складом, а також гарантованою ударною в'язкістю при  $t = -40^{\circ}\text{C}$  і після механічного старіння не менше 0,3 МПа або для випадків «північного виконання» ( $< -40^{\circ}\text{C}$ ) з гарантованою ударною в'язкістю при  $t = -70^{\circ}\text{C}$  і після механічного старіння також не менше 0,3 МПа. Для вуглецевої сталі марки ВСтЗсп5 гарантуються зварюємість, хімічний склад, механічні властивості, холодний загин, ударна в'язкість при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$  і після механічного старіння.

Ефективність застосування низьколегованих сталей в елементах металоконструкцій перевантажувачів починає зростати для прольотів більше 76,2 м.

Практика показала, що кипляча сталь непридатна для основних розрахункових елементів металоконструкцій перевантажувачів внаслідок неоднорідності її структури, схильності до ліквіації окремих елементів, високого порогу холодноламкості (від  $-10$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) і більшою у порівнянні зі спокійною сталлю чутливості до старіння.

У перевантажувачах ґратчастої конструкції низьколеговану сталь застосовують для головних ферм, їздових балок, стійок жорсткої і гнучкої опор; для перевантажувачів трубчасто-балкової конструкції таку сталь використовують майже для всіх основних елементів.

В даний час для конструкцій перевантажувачів застосовують зварні елементи, що з'єднуються у вузлах високоміцними болтами. Такі сполуки мають технологічні переваги перед монтажними з'єднаннями на заклепках: знижується трудомісткість і вартість їх влаштування, поліпшуються умови праці робітників, знижуються вимоги до кваліфікації складальників, потрі-

бна менша кількість робочих, відсутні гарячі процеси, а також розсверлювання і прочищення отворів, підвищується втомна міцність з'єднань.

#### 2.2.4 Типи несучих конструкцій перевантажувачів

Як відомо, металоконструкція перевантажувача має дві основні частини: міст і опори; для обслуговування окремих вузлів і підходів до них, перевантажувач обладнується майданчиками і сходами, а для подачі сипучих матеріалів на конвеєри чи інші транспортуючі пристрої передбачаються перевантажувальні пристрої з відповідними комплексами несучих металоконструкцій.

Габаритні розміри мосту визначаються величиною прольоту і консолей, а також числом грейферних візків, що паралельно пересуваються. Загальна довжина моста  $L_0$  призначається залежно від умов обслуговування складської площі. На проліт крана впливають ширина складу, розташування під'їзних шляхів і інші фактори.

Консоль, на якій розміщується ремонтне приміщення з ремонтним обладнанням, називається ремонтною, інша консоль – вільною.

Для одноконсольної схеми моста оптимальним слід вважати  $L \approx 0,72 \cdot L_0$ , для двуконсольної схеми  $L \approx 0,6 \cdot L_0$ . Висота головної ферми  $h = \left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{20}\right) \cdot L$ , але іноді, щоб зменшити прогин кінців головних ферм, її збільшують до  $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}$  довжини консолі.

Ширина  $B$  моста залежить від колії грейферного візка. Для мостів з їздою попереху  $B = \left(\frac{1}{12} \dots \frac{1}{15}\right) \cdot L$ . Для мостів з їздою понизу відстань між головними фермами призначається залежно від числа грейферних візків, їх ширини і необхідності влаштування проходів.

Грати головних ферм можуть мати різну схему розташування розкосів, стійок і підвісок. Найчастіше застосовуються трикутна система з додатковими підвісками і стійками, трикутна система з підвісками і стійками і з додатковим середнім поясом, трикутна система зі стійками і додатковими шпренгелів, ромбічна система решітки (рис. 2.9).

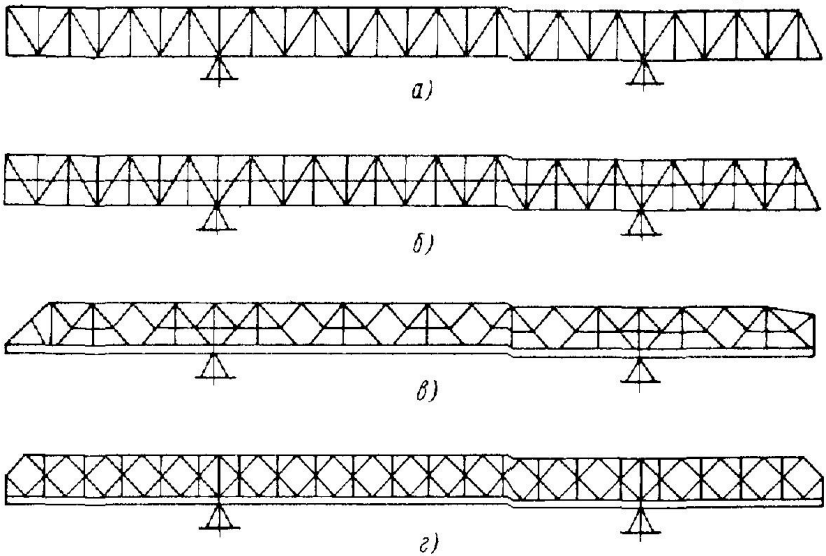


Рис. 2.9. Схеми решіток головних ферм:

а – трикутна; б – трикутна з додатковим поясом; в – трикутна з додатковими шпренгелями; г – ромбічна.

Додаткові елементи решітки у вигляді середнього пояса і шпренгелів використовують при високих головних фермах, коли з'являється необхідність зменшити розрахункову довжину, а отже, і гнучкість розкосів і стійок

Ромбічна решітка раціональна при одностінчатих елементах поясів і решітки. Типи поясів і елементів решіток головних ферм зображено на рис. 2.10.

Останнім часом найбільш широко використовується Н-образний перетин. На рис. 2.11 зображений вузол головної ферми з Н-образними перетинами, на рис. 2.12 – 2.14 – з коробчатими, тавровими і двотавровими елементами.

Вузол формується на накладних або вбудованих фасонках з з'єднанням на монтажних заклепках або високоміцних болтах, що створюють завдяки попередньому натягу болтів зсувостійке з'єднання. Монтажні стики поясів і розкосів, як правило, розміщують в вузлі головних ферм і розташовують їх по центру вузла або виносять на край вбудованої фасонки.

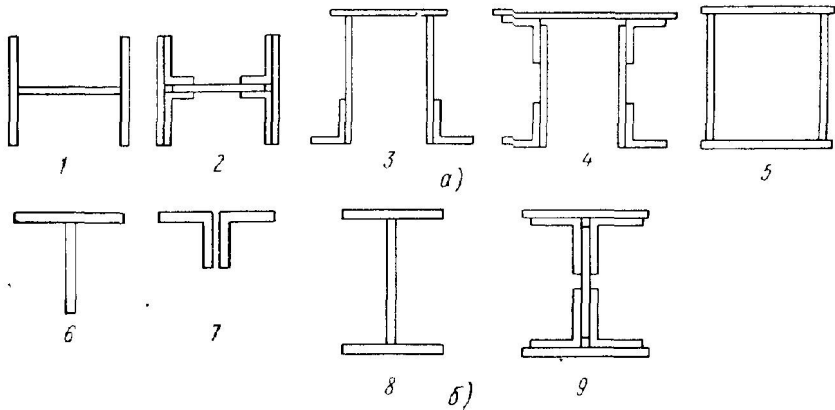


Рис. 2.10. Типи перерізів елементів головних ферм:

а – двохстінні; б – одностінні;

- 1 – Н-образне зварне; 2 – Н-образне клепані; 3 – П-образне зварне;  
 4 – П-образне клепання; 5 – коробчаст зварне; 6 – таврове зварне;  
 7 – таврове клепане; 8 – двотавровий зварне; 9 – двотавровий клепане

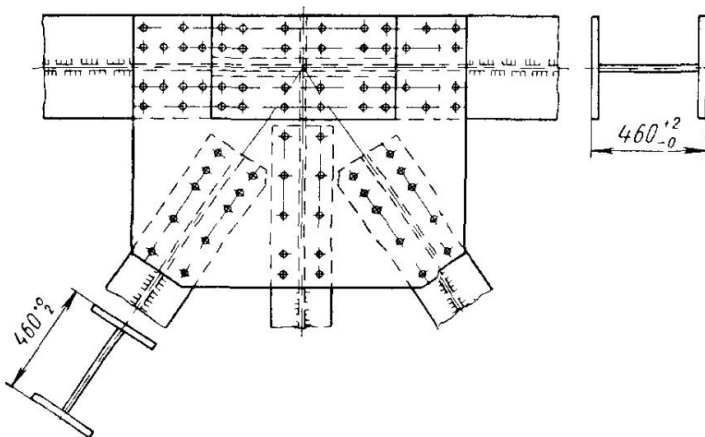


Рис. 2.11. Вузол головної ферми з Н-образними перетинами поясів і розкосів

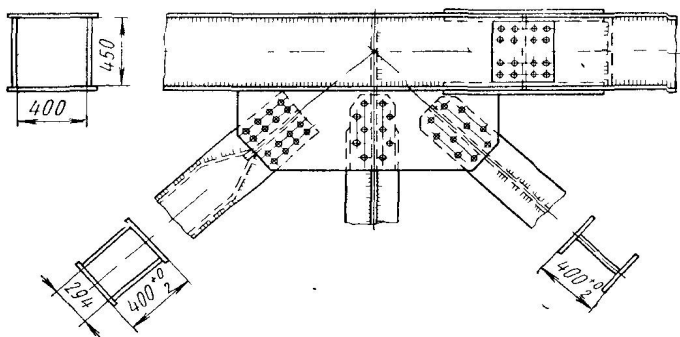


Рис. 2.12. Вузол головної ферми з коробчастим перетином поясів і розкосів

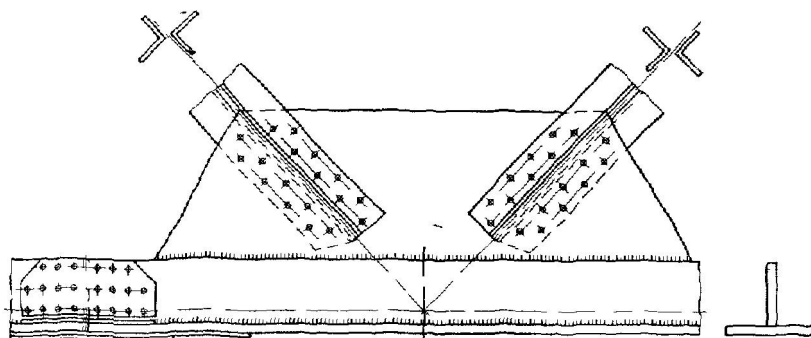


Рис. 2.13. Вузол головної ферми з тавровими перетинами поясів.

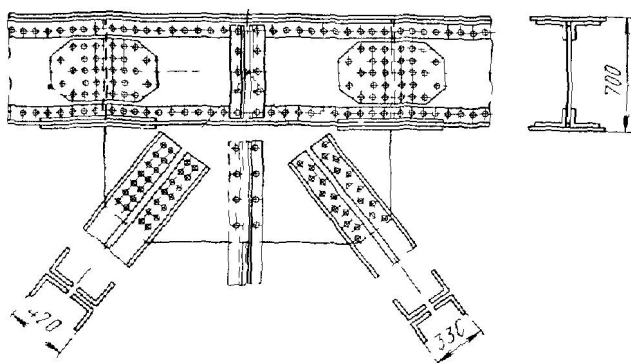


Рис. 2.14. Вузол головної ферми з двутаровими перетинами поясів

В основних вузлах обидві головні ферми з'єднують між собою поперечними зв'язками. Такі зв'язки забезпечують просторову жорсткість мостового бруса і підтримують їздові балки або конструкції, на яких встановлюються конвеєри.

Схеми поперечних зв'язків залежать від кількості шляхів під грейферні візки. Для одноколієних мостів найбільш поширені схеми, зображені на рис 2.15.

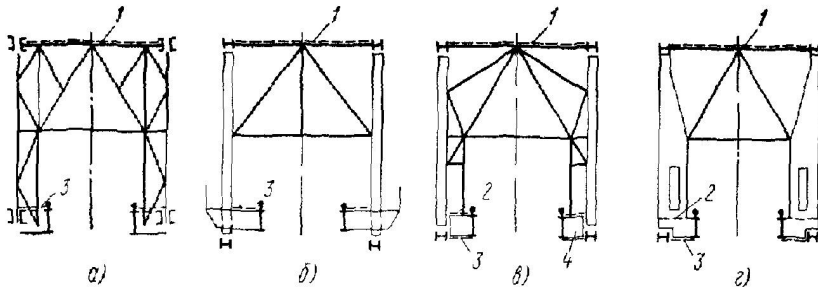


Рис. 2.15. Схеми поперечних зв'язків одноколієних мостів:

а – нижні поздовжні зв'язки розташовані на рівні верхнього пояса їздових балок; б – підвищене розташування нижніх поздовжніх зв'язків та їздових балок; в – нижні поздовжні зв'язки розташовані на рівні верхнього і нижнього поясів їздовий балки; г – поперечний переріз типового мостового перевантажувача ґратчастої конструкції;

1 – верхні зв'язки; 2 – гальмівні зв'язки; 3 – нижні зв'язки.

До консолей поперечних рам кріпляться їздові балки. Конструкція цього вузла розробляється з урахуванням сприйняття консолю і елементами поперечних зв'язків вертикальних і горизонтальних (поперечних і поздовжніх) впливів грейферного візка. Внаслідок обмежених розмірів цього вузла, викликаних примиканням великого числа конструктивних деталей (їздових балок, підтележечних рейок, стикових елементів, перехідних майданчиків і то що), особлива увага повинна бути спрямована на виключення осередків концентрації напружень.

Їздові балки безпосередньо сприймають динамічні дії грейферного візка під час його пересування, а також при підйомі і переміщенні грейфера з вантажем. Характер впливу грейферного візка – безперервний, майже завжди з максимальним завантаженням грейфера. Навіть при пересуванні

грейферного візка з порожнім грейфером вертикальний тиск на колеса зменшується тільки на 10-12%.

Їздові балки для сучасних перевантажувачів виконують в клепаному та звареному варіантах з монтажними стиками на заклепках або високоміцних болтах. Перетин балки роблять двотавровим або коробчастим.

Висоту їздовий балки призначають в межах  $\frac{1}{8} \dots \frac{1}{12}$  відстані між поперечними рамами, до яких кріпиться їздова балка.

Монтажні стики влаштовують в межах  $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$  прольоту їздової балки або поєднують з вузлом кріплення її до поперечних рам. Найбільш часто виходять з ладу верхні пояси їздових балок і вузли кріплення її до поперечних рам. Нормальна робота верхніх поясів їздових балок досягається, якщо:

- 1) при варіанті на заклепках верхній пояс виконують з двох перавнобоких куточків з вертикальним розташуванням великої полки, з'єднаних горизонтальним листом; ребра жорсткості розміщують на відстані, що дорівнює приблизно висоті балки, і приторцьовують їх до полиць поясних куточків; вертикальний лист пристроюють врівень з обухками верхніх поясних куточків;
- 2) при зварному варіанті верхній пояс приварюють до стінки двосторонніми зварними швами ввігнутої форми із забезпеченням повного провару; ребра жорсткості розміщують на відстанях, рівних висоті балки, і приварюють їх до верхніх поясних листів;
- 3) матеріалом для їздових балок служить сталь спокійної плавки з гарантією вимог ГОСТу по ударної в'язкості при мінусовій температурі і після механічного старіння. Це в рівній мірі відноситься як до вуглецевої, так і до низьколегованої сталі;
- 4) при укладанні підвізкових рейок вісь рейки збігається з віссю стінки їздовий балки; забезпечується плавний прохід коліс грейферного візка над стиками; кріплення рейок дозволяють щільно притискати підшви рейки до верхнього поясу їздовий балки.

Поздовжні ферми, що зв'язують розташовуються в площині верхніх і нижніх поясів головних ферм.

У мостах з їздою по низу верхні зв'язки сприймають основну частину горизонтальних навантажень. Нижні зв'язки головним чином сприймають

поздовжні і поперечні навантаження від коліс грейферного візка. У мостах з їздою поверху верхні і нижні зв'язки порівну сприймають зовнішні горизонтальні навантаження, але, крім того, верхні зв'язки працюють на поздовжні і поперечні навантаження від коліс візка. Системи решітки зв'язків залежать від схеми головних ферм і поперечних зв'язків. Найбільш часто застосовуються схеми решіток зображені на рис. 2.16.

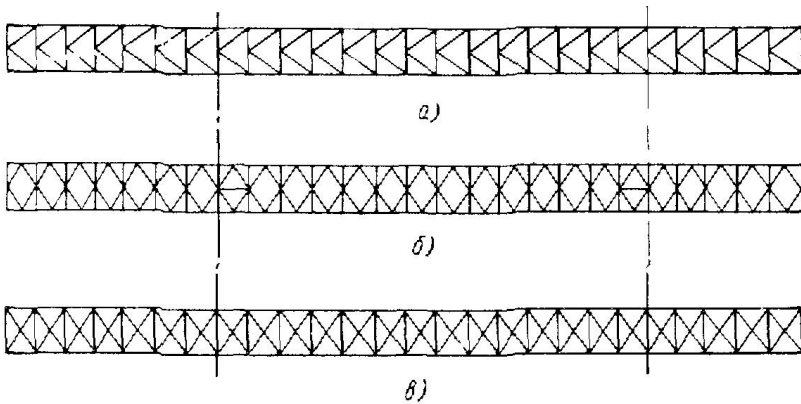


Рис. 2.16. Схеми решіток поздовжніх зв'язків:  
а – напіврозкісної; б – ромбічної; в – хрестової.

Розрізняють рухоме з'єднання моста з жорсткою і гнучкою опорами; жорстке з'єднання моста з жорсткою опорою і шарнірне з гнучкою; жорстке з'єднання моста з жорсткою і гнучкою опорами.

Перевантажувачі жорсткої системи гратчастої конструкції відрізняються неможливістю взаємного зміщення надпорних вузлів мосту по відношенню до опор. Металоконструкції мостового перевантажувача складаються з двухконсольного моста гратчастої конструкції, двох гратчастих рамних опор і сходів з майданчиками.

Міст виконується у вигляді просторової конструкції, що складається з двох головних ферм, пов'язаних між собою поперечними рамами і системою верхніх і нижніх поздовжніх зв'язків. Головні ферми мають трикутну решітку з додатковими стійками і підвісками. Пояси і розкоси - Н-образного перетину. Монтажні стики суміщені з вузлами головних ферм.

Основний вузол з елементами поясів і розкосів Н-образного перетину зображений на рис. 2.16.

Будівельний підйом надається консолям завдяки підйому кінцевих вузлів; в пролітній частині будівельний підйом робити не обов'язково. Будівельний підйом консолей вибирається так, щоб ухил підтележечних шляхів при знаходженні візка в крайньому положенні на консолі не перевищував 0,003.

Поперечні рами моста розташовуються у вузлах головних ферм і являють собою напіврами, що складаються з двох двотаврових стійок змінної висоти і ґратчастих сполучних зв'язків. Поперечні рами на ремонтній консолі передбачають кріплення підкранових балок під ремонтний кран і виконуються П-образної форми.

Конструкція поперечних рам на вільній консолі і в прольоті, а також на ремонтній консолі зображена на рис. 2.17. До консолям поперечних рам прикріплюються їздові балки, по яких пересувається уздовж моста ґрейферний візок.

Міст спирається на жорстку і гнучку опори. Обидві опори являють собою дві вертикальні рами, жорстко з'єднані з відповідними вузлами моста. Рама жорсткої опори зв'язується з мостом підкосами, що йдуть від опорного вузла на ходові візки механізму пересування до вузлів нижнього пояса головних ферм.

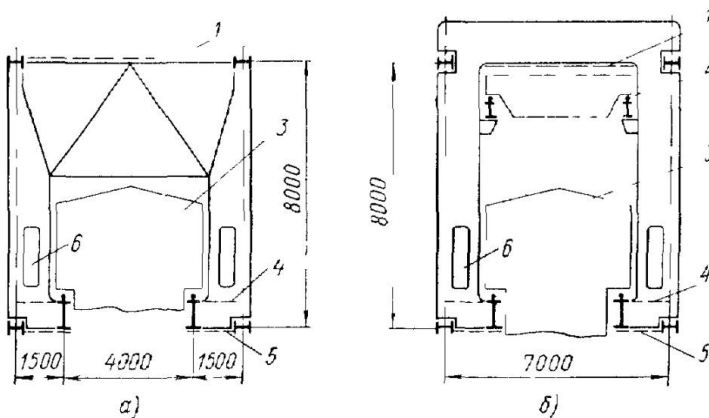


Рис. 2.17. Поперечні рами перевантажувача:

а – на вільній консолі і в прольоті; б – на ремонтній консолі;

1 – верхні зв'язки; 2 – ремонтний кран; 3 – ґрейферний візок; 4 – гальмівні зв'язки; 5 – нижні зв'язки; 6 – отвір для проходу.

Рама гнучкої опори приєднується до вузлів моста без шарнірів. У площині головних ферм вона досить податлива і своєю гнучкістю компенсує додаткові напруги, що виникають в результаті жорсткого сполучення.

Обидві опори мають внутрішні стійки двотаврового перетину і зовнішні гілки таврового перетину, пов'язані між собою системою розкосів і поперечних діафрагм.

Затяжка рам крім участі в роботі служить для кріплення механічних і ручних протиугінних закріплень, а також для розміщення електроустаткування. Опорні вузли жорсткої і гнучкої опори кріпляться болтами до балансирів візків механізму пересування перевантажувача.

Маса металоконструкцій перевантажувачів розглянутого типу при довжині мосту  $L_0 = 114...146$  м становить 459...576 т при загальній масі перевантажувача відповідно 784...901 т.

***Перевантажувачі жорсткої системи трубчасто-балкової конструкції.*** Металоконструкція перевантажувача цього типу складається з двухконсольного моста трубчасто-балкової конструкції у вигляді звареної труби з підвішеними до неї їзовими балками, двох просторових опор трикутної форми з основними елементами з зварних труб, що з'єднуються над візками механізму пересування в опорні коробки, які пов'язані одна з іншого трубчастими стяжками.

Габаритні розміри мосту призначаються з умов можливості перевезення великогабаритних блоків масою до 55 т по залізницях.

Головна труба зварюється з свальцованих листів і має зовнішній діаметр 2900 мм. Поперечні діафрагми (рис. 2.18, а) являють собою замкнуте кільце, що складається з стінки і обрамлення. Під кожною діафрагмою з нижньої сторони труби приварюється поперечна балка, до консолей якої кріпляться їзові балки на відстані 3450 мм одна від одної. Верхні пояси листів балок по всій довжині з'єднані з трубою гнутим гальмівним листом, що забезпечує спільну роботу системи «труба + їзові балки». Гнутий лист грає роль також амортизатора бічних навантажень, що виникають при пересуванні рейферного візка по їзовим балкам.

Перетин їзових балок має постійну по всій довжині мосту висоту, рівну 900 мм, і складається з двох поясних листів і стінки, зварених між собою. По верхніх поясах балок укладаються рейки, що прикріплюються спеціальними деталями до поясів їзової балки. Таке кріплення дозволяє регулювати колію і відносне положення вісі рейки і вісі стінки їзових ба-

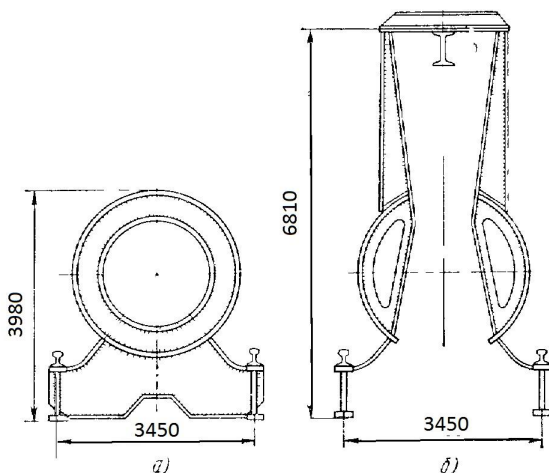


Рис. 2.18. Поперечні перерізи перевантажувача трубчасто-балкової конструкції:

а – на вільній консолі і в прольоті, б – на ремонтній консолі.

лок. На ділянці між поперечними балками їздові балки розкріплені двома розпірками. Останні кріпляться до ребер жорсткості приблизно посередині висоти балки.

Ремонтне обладнання перевантажувача у вигляді двох кранів-укосин вантажопідйомністю по 5 т і одного вантажного візка вантажопідйомністю 20 т розташовується на ремонтній консолі. Ремонтна консоль (рис. 2.18, б) складається з головної труби, що має поздовжній виріз для опускання вантажів, що переміщуються вантажним візком на землю, і П-образної надбудови. Усередині надбудови по всій її довжині приварені шляхи катання вантажного візка.

Міст перевантажувача з'єднується з опорами спеціальною конструкцією, що складається з двох коробчастих ригелів, двох площин горизонтальних зв'язків і двох розпірок. Ділянка головної труби приварюється до стінок ригеля, що має в цьому місці напівкруглий виріз діаметром 2900 мм, що відповідає зовнішньому діаметру труби.

Опори (рис. 2.19) складаються з чотирьох нахилених трубчастих елементів діаметром 1220 мм, які з'єднуються в нижній частині в просторову опорну коробку, що встановлюється на верхні балансири візків механізму пересування.

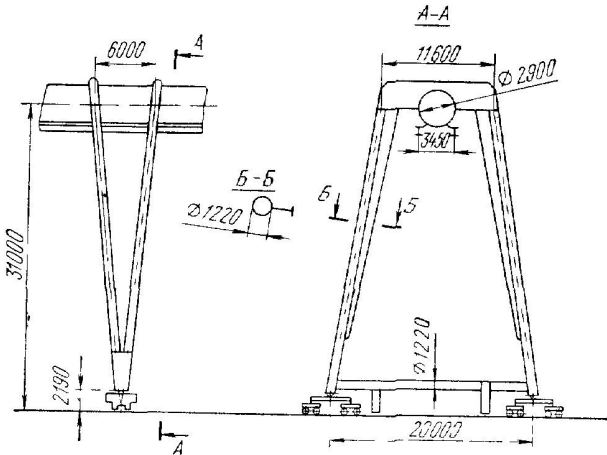


Рис. 2.19. Опора перевантажувача трубчасто-балочної конструкції.

Поперек моста опора являє собою дві плоскі похилі рами, що складаються з коробчатого ригеля, двох похилих трубчастих елементів і двох опорних коробок, пов'язаних одна з одною трубчастою стяжкою.

У верхній частині на рівні вісі труби моста обидві рами з'єднуються описаною системою горизонтальних зв'язків. Такі зв'язки істотно підвищують стійкість трубчастих елементів опор. У середині кожного трубчастого елемента уварені кільцеві діафрагми, що забезпечують просторову жорсткість елемента, а також закріплення деталей обмежувачів перекосу і внутрішньої драбини.

Ригель з'єднується з трубчастими елементами опор шляхом безпосереднього спирання стінок ригеля і стінок внутрішніх діафрагм на опорну плиту, приварену до торця трубчастих елементів. Опорна плита стикується з нижнім поясным листом ригеля.

Стяжки, що з'єднують опорні коробки кожної опори, не тільки беруть участь в роботі поперечних рам, але і використовуються для закріплення коробок протиугінних закріплень, встановлених кососиметрично по відношенню до осі підкранових рейок.

Металоконструкції моста і опор складаються з окремих великогабаритних секцій довжиною до 24 м, що з'єднуються при монтажі зварюванням в єдину конструкцію.

Завдяки блочності конструкції основна робота по складанню і зварюванню металоконструкцій виконується на заводі-виробнику, при монтажі виробляється тільки укрупнена збірка, зварювання монтажних стиків і підйом в проектне положення; при цьому 80% зварних швів виконується на заводі і 20% при монтажі.

Монтажні стики моста пригоняються на заводі-виробнику при посекційно контрольній збірці і їх взаємне розташування закріплюється спеціальними фіксаторами.

Кромки труби обробляють так, щоб монтажну зварювання можна було здійснювати в нижньому положенні, тобто верхню половину труби зварювати зовні, нижню - зсередини; в верхньому ж положенні робити тільки підвариво кореня.

Маса металоконструкцій перевантажувачів розглянутого типу при довжині мосту  $L_0 = 115...144$  м дорівнює 498...619 т при загальній масі перевантажувача відповідно 798...919 т.

#### ***Перевантажувач жорсткої системи шпренгельної конструкції.***

Металоконструкція перевантажувача цього типу являє собою двобалочний міст шпренгельної конструкції, що спирається на жорстку і шарнірну опору. Двобалочний міст являє собою комбіновану систему (рис. 2.20), що складається з двох коробчастих балок жорсткості 1 та шпренгельних підсилень 3. У поперечному напрямку вузли з'єднання шпренгелів в площині кожної стійки 2, тобто приблизно через 15 м, з'єднуються розпірками 4.

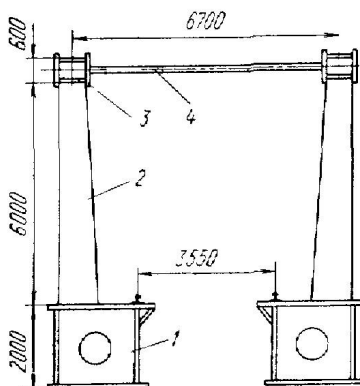


Рис. 2.20. Поперечний переріз перевантажувача шпренгельної конструкції.

Перетин балки жорсткості виконано з чотирьох листів, що утворюють коробки зі сторонами  $2000 \times 2000$  мм для перевантажувачів прольотом 76,2 м і  $1600 \times 1600$  мм при прольоті 60,0 м. Жорсткість такого перетину забезпечується листовими діафрагмами, встановленими в площині кожної стійки. Над внутрішніми стінками коробчастих балок укладені підтележечні рейки, по яких пересувається грейферний візок. Обидві балки жорсткості по торцях моста з'єднані між собою коробчастими кінцевими балками.

Шпренгельна система посилення складається з елементів верхніх поясів коробчастого перетину і двотаврових стійок змінної ширини. Стрілка шпренгельних посилення становить  $1/13$  прольоту моста. Поздовжні зв'язки по поясах шпренгелю відсутні. Балки жорсткості кріпляться спеціальними консолями до стійок жорсткої і шарнірної опори. Шпренгельна система і консольна частина балок жорсткості підвішуються похилими елементами до ригелів опор.

Жорстка опора виконана у вигляді трапецієподібної рами з коробчастими перетинами стійок 2, зтяжки 3 і ригеля 4 (рис. 2.21). Розміри коробчастих перерізів стійок і зтяжки опори відносяться як 1 (в площині фасаду моста) до 2 (в площині рами жорсткої опори); подібне співвідношення для ригеля становить  $1:1,5$ . Опорний вузол жорсткої опори з'єднується з мостом підкосами 1 коробчастого перетину.

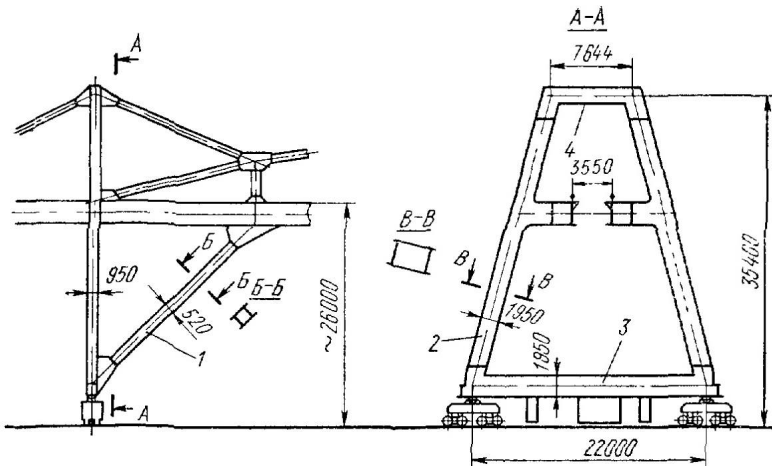


Рис. 2.21. Жорстка опора перевантажувача шпренгельної конструкції

Шарнірна опора (рис. 2.22) також має трапецієвидну форму з коробчатыми перетинами стійок 3, затяжки 2 і ригеля 4 при тих же співвідношеннях в розмірах, що і жорстка. Верхня частина шарнірної опори, поєднана з елементами балки жорсткості і шпренгельної системи, пов'язане з нижньою шарнірними пристроями 1.

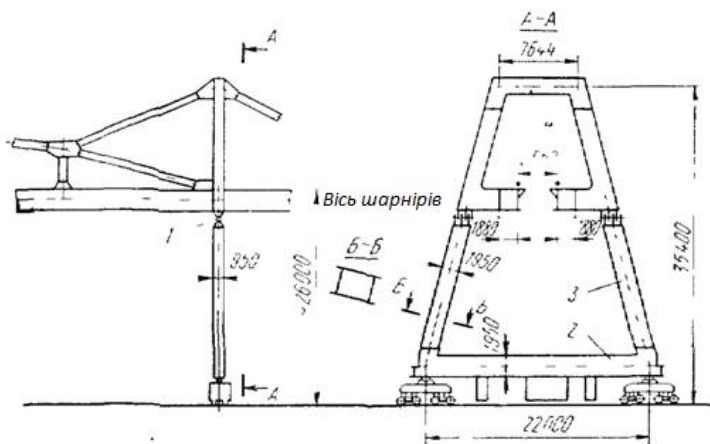


Рис. 2.22. Гнучка опора перевантажувача шпренгельної конструкції.

Відправні елементи моста і опор зварюють на заводі виробнику і при монтажі з'єднують в єдину конструкцію. При цьому можна стики балки жорсткості і елементи шпренгелю з'єднувати на заклепках; стики балки жорсткості з'єднувати зварюванням, а елементи шпренгелю - заклепками; стики балки жорсткості з'єднувати зварюванням, а елементи шпренгелі - високоміцними болтами, які працюють на тертя.

Маса металоконструкцій перевантажувача  $L = 76,2$  м шпренгельної конструкції при довжині мосту  $L_0 = 142$  м дорівнює 709 т при загальній масі перевантажувача 962 т.

У перевантажувачі жорсткої системи коробчато-балочної конструкції коробчаті балки жорсткості використовуються в комбінованій системі, якщо ці елементи поєднують функції їздових балок і верхніх поясів гратчастих головних ферм або в однобалочній системі (рис. 2.23).

Поперечний перетин головної балки залежить від способу обпирання рейферних візків. Найбільш часто зустрічаються поперечні перетини показані на рис. 2.24.

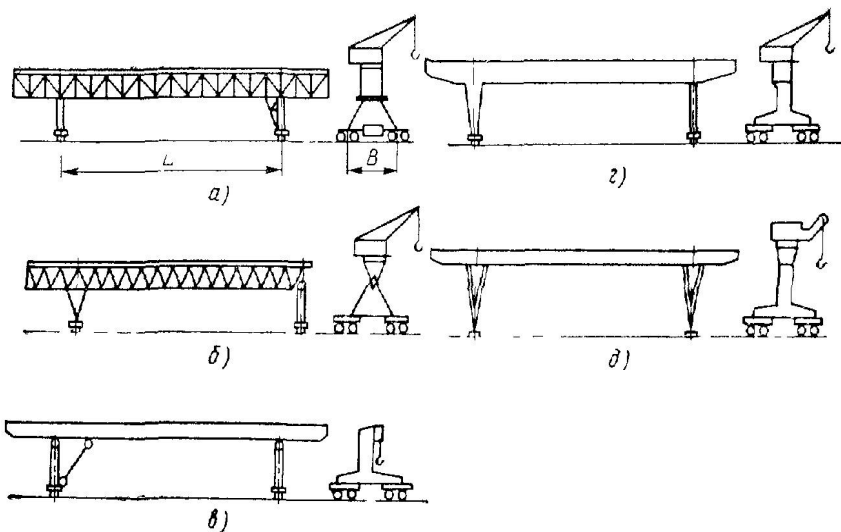


Рис. 2.23. Схеми однобалочних конструкцій:

а – решітчаста з мостом прямокутного перетину; б – решітчаста з мостом трикутного перетину; в – суцільностінчата коробчата з мостом прямокутного перетину; г – суцільностінчата з мостом прямокутного перетину і гратчастими зв'язками; д – суцільностінчата коробчата з мостом трапецієподібного перетину.

Головні балки моста гратчастої конструкції мають двотаврові верхні пояси, до яких кріпляться рейки під повноповоротний стреловий рейферний кран. Простір усередині моста використовується для стрічкового конвеєра. У суцільностінчатих головних балках рейки укладають над відповідними стінками. Місцева стійкість стінки забезпечується поздовжніми і поперечними ребрами жорсткості, а жорсткість коробки - внутрішніми діафрагмами, привареними по чотирьох сторонах до стінок. Відносна тонкостінність і часте розташування ребер жорсткості характерно для конструкцій останніх років.

Жорстка і гнучка опори складаються з одиночної коробчатої стійки, що спирається на затяжку між двома візками механізму пересування, і зовні мають Т або L образну форми. Гнучка опора з'єднується з мостом жорстко або шарнірно. Затяжка обох опор використовується для розміщення електроустаткування і протиугінних захоплень.

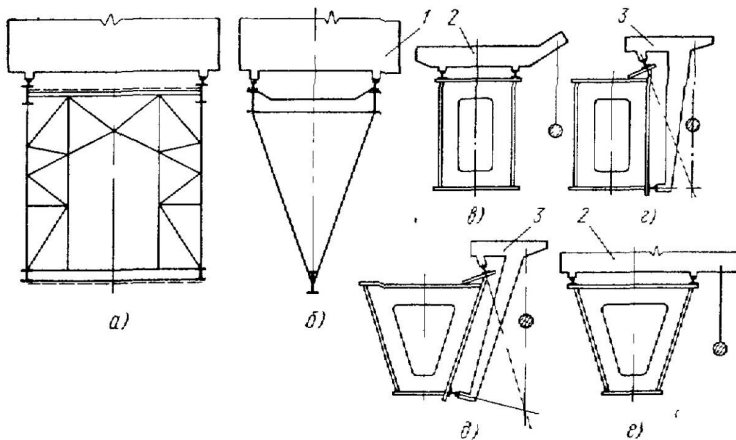


Рис. 2.24. Типи поперечних конструкцій однобалочних мостів:  
 а – прямокутний перетин мосту ґратчастої конструкції під повноповоротний ґрейферний кран 1; б – трикутний перетин мосту ґратчастої конструкції під повноповоротний ґрейферний кран 1; в – прямокутне коробчатий перетин мосту під ґрейферний візок 2 опорного типу; г – теж під ґрейферний візок 3 консольного типу; д – трапецієвидний коробчатий перетин мосту під ґрейферний візок 3 консольного типу; е – теж, під ґрейферний візок 2 опорного типу.

### 2.2.5. Особливості розрахунку

Основним методом розрахунку металоконструкцій перевантажувачів є метод граничних станів, основи якого розроблені Н.С. Стрілецьким. За розрахункові граничні стани приймаються такі, при яких конструкція під впливом силових навантажень перестає задовольняти вимогам експлуатації. Розглядаємо два граничних стану металоконструкцій:

перший граничний стан – за несучою здатністю (міцності, стійкості, витривалості). При досягненні цього стану конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім впливам або отримує надмірні залишкові деформації і перестає задовольняти пропонованим до неї експлуатаційним вимогам;

другий граничний стан – з розвитку надмірних деформацій. При досягненні цього стану конструкція отримує такі загальні деформації або коливання, при яких перестає задовольняти пропонованим до неї експлуатаційним вимогам.

Граничний стан, пов'язаний з утворенням тріщин, крихкого руйнування, місцевих деформацій і тощо, попереджається сукупністю заходів, спрямованих на правильний вибір матеріалу і технологічного процесу зварювання, на створення відповідної конструктивної форми і усунення впливу зон концентрації напружень. Основна мета розрахунку за методом граничних станів - отримати гарантії, що в процесі нормальної експлуатації конструкції не настане жодне з описаних вище граничних станів (див. розділ 1).

Металоконструкція перевантажувача є просторовою стрижневу системою, яка статично вирішується шляхом розчленування її на окремі плоскі системи (головні ферми, їздові балки, поздовжні зв'язки, поперечні зв'язки, жорстка опора, гнучка опора і тощо.), або як єдина просторова система.

Головні ферми сприймають все навантаження, що діють на перевантажувач. Окремі елементи головних ферм можуть одночасно брати участь в роботі декількох плоских систем. Так, верхній пояс одночасно бере участь в роботі головних ферм і верхніх поздовжніх зв'язків. Стійки і підвіски одночасно входять до складу головних ферм і поперечних рам. Їздові балки працюють спільно з нижніми поясами головних ферм.

Зусилля в елементах головних ферм визначають за діючим навантаженням або по лініях впливу рухомого навантаження і навантажень, характер впливу яких може бути приведений до рівномірного або зосередженого навантаження.

Власна вага металоконструкцій враховується як рівномірно розподілене навантаження, причому руйнуючий вплив власної ваги враховується коефіцієнтом перевантаження 0,9. Це навантаження розподіляється порівну між головними фермами та для однієї ферми приймається рівною

$$g_M = \frac{G_M}{c \cdot L_0}, \quad (2.6)$$

де,  $G_M$  – вага моста;  $c$  – число головних ферм.

Вага технологічного, механічного та електричного обладнання приймається у вигляді зосереджених сил або ділянок рівномірно розподілених навантажень.

Вага рейферних візків, рейфера і вантажу в ньому  $G_T + Q$  передається на головні ферми через поперечні рами у вигляді зосереджених сил.

Горизонтальні поздовжні навантаження від рейферного візка рівномірно розподіляються між головними фермами

$$T = \frac{0,1 \cdot (G_T + Q)}{c}. \quad (2.7)$$

При пересуванні перевантажувача виникають інерційні горизонтальні навантаження  $R$ , від ваги моста і ваги рейферного візка. Схеми дії зазначених навантажень на міст показані на рис. 2.25.

Їздові балки сприймають всі зовнішні впливи від рейферного візка у вигляді вертикальних, поздовжніх і поперечних навантажень, а також крутих моментів від ексцентричного тиску коліс.

За своєю розрахунковою схемою їздові балки є багатопрольотну нерозрізну систему на пружно-податливих опорах (рис. 2.26). Опорами цієї багатопрольотної нерозрізної балки служать поперечні рами, розташовані в вузлах головних ферм.

Їздова балка може працювати:

1. На вигин від власної ваги і ваги рейферного візка з вантажем за нерозрізною схемою з неподатливими опорами (рис. 2.26, б).

Згинальний момент:

$$M = 1,03 \cdot n \cdot \psi \cdot \sum P_H \cdot \eta_{Mi}. \quad (2.8)$$

Поперечна сила:

$$Q = 1,03 \cdot n \cdot \psi \cdot \sum P_H \cdot \eta_{Qi}, \quad (2.9)$$

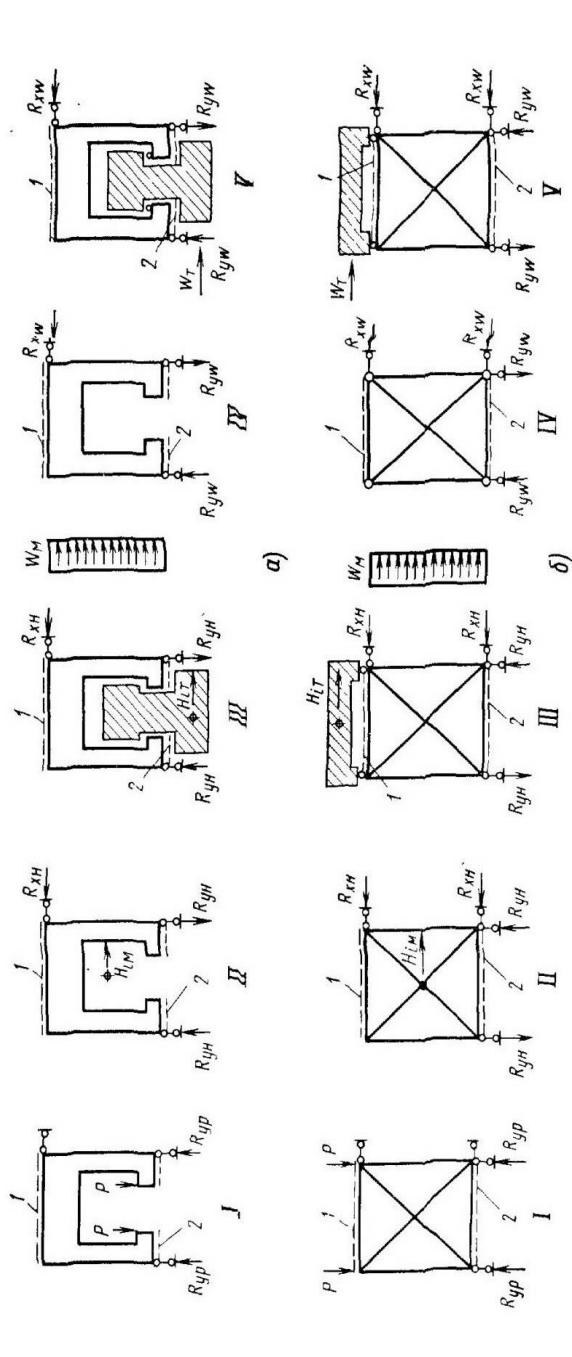


Рис. 2.25. Схеми дії навантажень на міст при їзді:

а – внизу, б – поверху; I – навантаження  $P$  від ваги рейферного візка; II – інерційне навантаження  $H_{fm}$  від ваги моста; III – інерційне навантаження  $H_{fm}$  від ваги рейферного візка; IV – вігрове навантаження  $W_M$  на міст; V – вігрове навантаження  $W_T$  на рейферних візках;  $R_{yp}$  – вертикальна реакція від навантаження  $P$ ;  $R_{yh}$  і  $R_{xh}$  – вертикальна і горизонтальна реакції а<sub>T</sub> навантажень  $H_{fm}$  і  $H_{fm}$ ;  $R_{yh}$  і  $R_{yw}$  – вертикальна і горизонтальна реакції від навантажень  $W_M$  і  $W_T$ ; 1 – верхні зв'язки; 2 – нижні зв'язки.

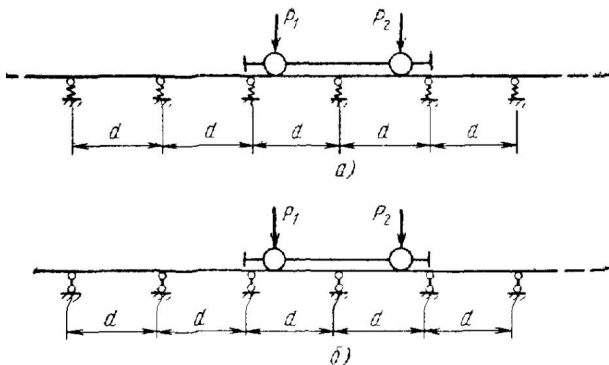


Рис. 2.26. Розрахункові схеми їздової балки на опорах:  
 а – пружно-податливих; б – неподатливих; d – проліт їздової балки  
 по осях поперечних рам.

де, 1,03 – коефіцієнт, що враховує вплив власної ваги конструкції; n – коефіцієнт перевантаження;  $\psi$  – динамічний коефіцієнт;  $P_H$  – нормативний тиск на колесо;  $\eta_{Mi}$  і  $\eta_{Qi}$  – ординати лінії впливу відповідно згинальних моментів і поперечних сил.

Для ескізних розрахунків момент вигину можна визначити так:  
 Для перетину в прольоті:

$$M = 0,8 \cdot M_{\max} \quad (2.10)$$

Для перетину на опорі:

$$M' = 0,6 \cdot M_{\max} \quad (2.11)$$

де,  $M_{\max}$  – найбільший згинальний момент в прольоті простої двохопорної балки.

2. На спільну дію згину і поздовжньої сили гальмування. Згинальні моменти, поперечні і нормальні сили від поздовжніх гальмівних впливів визначаються в розрахунковому порядку, як в простій двохопорній балці.

3. У складі нижніх поясів головних ферм.

Випробування показали, що нормальна сила в їзових балка становить 20-40% повного зусилля в нижньому поясі головних ферм. Нормальні сили в їзових балках можуть бути визначені в наслідок відповідного завантаження ліній впливу зусиль в елементах нижніх поясів головних ферм і приймаються рівними 40 / о відповідного зусилля в поясі головної ферми. Грейферний візок при цьому встановлюється в тому ж положенні, що і при визначенні максимального згинального моменту в нерозрізній схемі (рис. 2.27).

Згинальні моменти, що виникають в їзовій балці в наслідок ексцентричної дії нормальних сил, розбраті розподілюються між суміжними прольотами по закону фокусних відносин. Величина коефіцієнта  $\psi$  приймається такою же, як і для елементів головної ферми.

Для елементів нижнього пояса головних ферм нормальна сила повинна бути зменшена на 20%, так як на сприйняття їзовими балками нормальній сили впливають геометричні розміри обох елементів, взаємне розташування центрів тяжіння їх перетинів і інші фактори.

4. З урахуванням піддатливості опор їзової балки. Їзова балка жорстко пов'язана з мостом системою поздовжніх зв'язків та поперечних рам. Під дією вертикальних навантажень точки опорних закріплень балок змі-

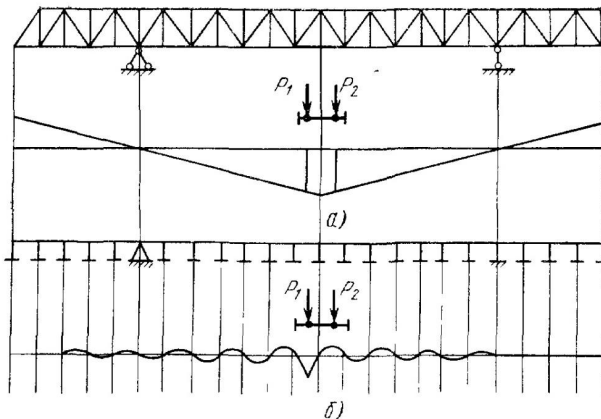


Рис. 2.27. Схеми завантаження ліній впливу при обліку спільної роботи їзовий балки і поясів головних ферм:  
а – в нижньому поясі головної ферми; б – в їзовій балці.

щуються по тій же кривій, що і відповідні їм вузли головних ферм. Система прикріплень нерозрізних їзових балок до мосту є ряд пружних опор, що зміщуються. При цьому з достатнім ступенем наближення можна допустити, що власна вага металоконструкцій мосту сприймається тільки головними фермами; додаткові моменти в їзовій балці від пружної піддатливості опор є частиною загального моменту від рейферного візка, величина загального моменту розподіляється між головною фермою і їзовою балкою пропорційно їх жорсткості.

Для визначення цього моменту міст розглядають як балку на двох опорах. Момент, який припадає на їзову балку

$$M_{\text{б}} = M \frac{J_{\text{б}}}{J_{\text{б}} + J_{\text{ГФ}}}, \quad (2.12)$$

де,  $M$  – загальний момент від рейферного візка;  $J_{\text{б}}$  – момент інерції поперечного перерізу їзових балок;  $J_{\text{ГФ}} = F_{\text{ВП}} \cdot Y_{\text{ВП}}^2 + F_{\text{НП}} \cdot Y_{\text{НП}}^2$  – момент інерції головних ферм в середині прольоту;  $F_{\text{ВП}}$  і  $F_{\text{НП}}$  – площі перерізу бруто верхніх і нижніх поясів;  $Y_{\text{ВП}}$  і  $Y_{\text{НП}}$  – відстань від центра ваги головної ферми до центра ваги елемента верхнього і нижнього пояса.

5. На сприйняття поперечних горизонтальних сил розпору або ударів від коліс рейферного візка. Слід приймати, що розпір від коліс рейферного візка, що виникає внаслідок їх конічності, або їх бічні удари сприймаються верхнім поясом їзової балки і гальмівними конструкціями, розташованими на його рівні. Верхній пояс розглядається як нерозрізна багатопрольотна балка, що має опори в місцях з'єднання верхнього пояса з вузлами гальмівної ферми. Якщо замість гальмівної ферми передбачений суцільний лист, по всій довжині з'єднаний з верхнім поясом, то систему «верхній пояс їзової балки + гальмівний лист» слід розглядати як однопрогонові балку з прольотом, рівним відстані між кріпленнями гальмівної настилу до поперечних рам.

Аналіз напруженого стану їзових балок показує, що згадані вище фактори приблизно так впливають (в %): власна вага і вага рейферного візка за нерозрізною схемою з неподатливими опорами – 72; поздовжня сила

гальмування – 3; спільна робота з нижнім поясом головної ферми – 18; податливість опор – 7.

Поперечні рами схильні до дії динамічного навантаження при кожному проході грейферного візка. Якщо прийняти, що в рудних перевантажувачах протягом року в середньому відбувається 200-300 тис. циклів і що різниця між вагою грейферного візка з вантажем і без вантажу становить приблизно 10%, а навантаження від власної ваги їздових балок і гальмівних конструкцій невелика, то при двох колесах на одній стороні візка елементи поперечних рам зазнають протягом року нормальної експлуатації 800–1200 тис. змін однозначних напружень від мінімуму до максимуму. Ці конструкції, особливо їх елементи, безпосередньо примикають до їздових балок (консоль, підвіска), виявляються найбільш, після їздових балок, чутливими до пошкоджень.

Навантаження, які діють на поперечні рами при різних експлуатаційних станах, наведені в табл. 2.3. Розрахункові схеми поперечних рам при дії вертикальних і горизонтальних навантажень зображені на рис. 2.8. Положення вертикальних опорних стрижнів приймається в залежності від того, до якого поясу належить основний вузол головної ферми (на схемах показані поперечні рами по вузлах нижніх поясів). Консоль, до якої прикріплюються їздова балка і підвіска, є елементом, що працює в найбільш важких умовах (рис. 2.29). Консоль схильна до безпосереднього впливу рухомого навантаження і розраховується на вигинальний момент від сумарної дії вертикальних  $P$  і горизонтальних  $H$  сил. Стінку консолі перетині I-I слід перевірити на вплив моменту і поперечної сили при не вигідному сполученні напрямку дії навантажень  $P$  і  $H$ :

$$\sigma = \frac{6 \cdot (\psi \cdot P \cdot c_1 + H \cdot e)}{\delta \cdot h_0^2} \leq m \cdot R \quad (2.13)$$

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{\psi \cdot P}{\delta \cdot h} \leq m \cdot R_{cp} \quad (2.14)$$

де,  $\delta$  – товщина консолі.

## Навантаження діючі на поперечні рами при робочому стані

Навантаження	Підйом і переміщення вантажу	Пересування крана
Вага металоконструкцій ( $G_M$ )	$G_M$	$k_T \cdot G_M$
Опорна реакція іздової балки від ваги грейферного візка: с вантажем ( $P_{G+Q}$ ) без вантажу ( $P_G$ )	$\psi \cdot P_{G+Q}$ –	– $k_T \cdot P_G$
Горизонтальна поперечна від грейферного візка (розпір або бокові удари) ( $H_T$ )	$H_{TG-Q}$	$H_{TG}$
Горизонтальна інерційна при пересуванні перевантажувача: від ваги моста ( $H_{Mi}$ ) від ваги візка ( $H_{Ti}$ )	– –	$H_{Mi}$ $H_{Ti}$
Вітрова робочого стану: на міст ( $H_{M\omega}$ ) на грейферних візках ( $H_{T\omega}$ )	$H_{M\omega}$ $H_{T\omega}$	$H_{M\omega}$ $H_{T\omega}$

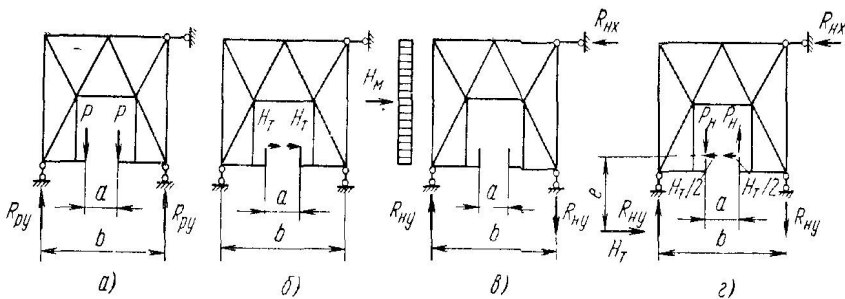


Рис. 2.28. Розрахункові схеми поперечної рами при дії:  
 а – вертикального навантаження від грейферного візка;  
 б – горизонтального навантаження від грейферного візка;  
 в – горизонтального навантаження на міст;  
 г – горизонтального навантаження на грейферний візок.

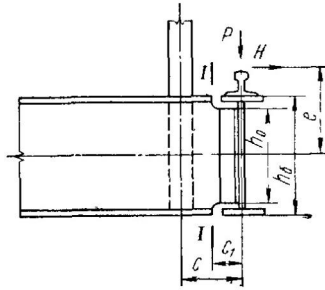


Рис. 2.29. Схема прикрєплення їздовий балки до консолї поперечної рами

Особливостї розрахунку пїдвіски 1 (рис. 2.30) викладенї М.М. Гохберг. Крім нормального зусилля  $N$  пїдвіска сприймає вигинальний момент  $M_1$ , який дїє в площинї поперечної рами і момент  $M_2$ , що дїє з площини рами. Момент викликається кутовими поворотами їздових балок.

$$\text{Зусилля } N = \frac{M}{l_2}; \quad (2.15)$$

$$\text{Момент } M_1 = \frac{M}{1 + \frac{J_2 \cdot l_1}{J_1 \cdot l_2}}; \quad (2.16)$$

$$\text{Момент } M_1 = \frac{3 \cdot E \cdot J_1}{l_1} \cdot \varphi, \quad (2.17)$$

де,  $M = \psi \cdot P \cdot j_c + H \cdot e$ ;  $J_2$  – момент інерції консолї;  $J_1$  – момент інерції пїдвіски в площинї поперечної рами;  $l_1$  і  $l_2$  – довжина відповідно пїдвіски і анкерного дїлянки консолї (див. рис. 2.30);  $\varphi$  – кут повороту їздовий балки на опорї.

Тензометричними вимїрами і теоретичними дослїдженнями встановлено, що при розташуванні вертикального рухомого навантаження поблизу розрахункової рами в роботу включаються сусїднї рами; при цьому на частку розрахункової рами припадає близько 85% ( $\eta = 0,85$ ) зусилля, а решта розподїляється мїж сусїднїми поперечними рамами, як це видно з лїнїї

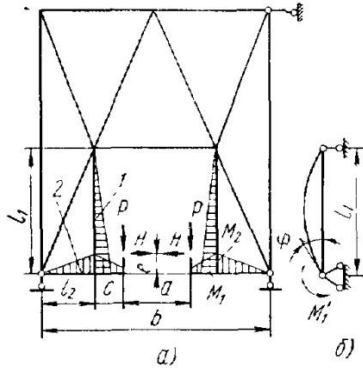


Рис. 2.30. Розрахункові схеми підвісок:  
 а – в площині рами; б – з площини рами;  
 1 – підвіска; 2 – консоль поперечної рами.

впливу опорного тиску (рис. 2.31). Сказане стосується лише поперечних рам, розташованих в пролітній частині моста або на консолях. Рами, розташовані поблизу опор, а також торцеві рами сприймають опорні тиску повністю.

Поздовжні зв'язки, розташовувані на рівні верхніх поясів головних ферм при їзді по низу і на рівні верхніх і нижніх поясів при їзді поверху, сприймають горизонтальні поперечні навантаження, що виникають при пересуванні крана і при дії вітру. Поперечні навантаження розподіляються між верхніми і нижніми поздовжніми зв'язками пропорційно їх жорсткості.

У першому випадку всі навантаження можуть бути передані на верхню поздовжню ферму. Ці навантаження можуть бути також розподілені між верхніми і нижніми зв'язками, які з'єднують їздові балки і головні ферми. При цьому на частку верхніх зв'язків припадатиме 90%, а на обидві ферми нижніх зв'язків 10% загального навантаження.

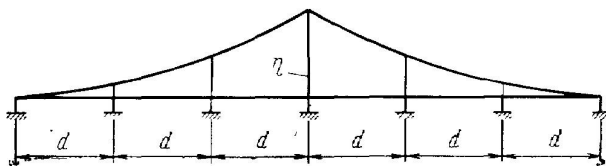


Рис. 2.31. Лінія впливу опорних тисків на поперечну раму

У другому випадку навантаження розподіляються порівну між верхніми і нижніми зв'язками.

Горизонтальні навантаження, що діють в площині звязевої системи, передаються на неї повністю.

Залежно від системи решітки звязевої ферми в елементах зв'язків необхідно враховувати вплив деформації поясів головних ферм від повного вертикального навантаження:

При хрестовій системі решітки

$$N_{д} = \frac{N_{п}}{F_{п}} \cdot \frac{F_{д} \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{F_{д}}{F_{р}} \cdot \sin^3 \alpha}; \quad (2.18)$$

$$N_{д} = F_{д} \cdot (\sigma_{п} \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_{п.б.} \cdot \sin^2 \alpha); \quad (2.19)$$

При ромбічній системі решітки

$$N_{д} = \frac{N_{п}}{F_{п}} \cdot \frac{F_{д} \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{F_{д}}{F_{р}} \cdot \sin^3 \alpha + \frac{F_{д}}{48 \cdot J} \cdot B^2 \cdot \cos^3 \alpha}; \quad (2.20)$$

При трикутній системі решітки

$$N_{д} = \frac{N_{п}}{F_{п}} \cdot \frac{F_{д} \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{F_{д}}{F_{р}} \cdot \sin^3 \alpha + \frac{F_{д}}{12 \cdot J} \cdot B^2 \cdot \cos^3 \alpha}; \quad (2.21)$$

Зусилля в розпірці у всіх трьох випадках

$$N_{р} = (N_{д.л} + N_{д.пр}) \cdot \sin \alpha. \quad (2.22)$$

Тут  $N_{д}$  і  $F_{д}$  – зусилля і площа поперечного перерізу розкосів зв'язків;  $N_{п}$  і  $F_{п}$  – зусилля і площа поперечного перерізу пояса головної ферми;  $N_{р}$  і

$F_p$  – зусилля і площа поперечного перерізу для розпірки зв'язків; в разі, коли розпіркою є балка, що згинається, в формулах (2.20) і (2.21)  $F_p = \infty$ ,  $F_p$  – зусилля в розкосі хрестової системи решітки визначається за формулою (2.19);  $\alpha$  – кут між розкосом і поясом;  $J$  – момент інерції перерізу пояса головної ферми в площині поздовжньої ферми;  $B$  – відстань між осями поясів;  $\sigma_{п}$  – нормальна напруга в поясі;  $\sigma_{п.б.}$  – середні (наведені) напруги в нижніх поясах поперечних балок;  $N_{д.л}$  і  $N_{д.пр}$  – зусилля в розкосах відповідно з лівої і правої сторін від розпірки.

При напіврозкосій системі решітки зусилля від вертикального навантаження в елементах поздовжніх зв'язків не враховуються.

Різноманітність конструктивних схем опор перевантажувачів вимагає індивідуального підходу при виборі розрахункової схеми.

За плоскою схемою розрахунку в залежності від способу приєднання зтяжки приймається шарнірна або рамна схема (рис. 2.32). Зовнішні навантаження на розрахункову раму передаються у вигляді вертикальних симетричних  $P$  і кососиметричних  $P_1$  сил, а також горизонтальної сили  $H$ ; навантаження від перевантажувальних пристроїв, вбудованих в опору, приводяться до двох вертикальних сил  $P_2$ . Принципові рекомендації щодо розрахунку плоских рам опор перевантажувачів викладені М.М. Гохберґ.

Як вказувалося, перекіс перевантажувача регламентується відносним зсувом опор, яке в робочому стані приймається рівним  $\Delta_s = 0,6$  м. Розрахунок на перекіс металокопструкцій перевантажувачів виконується в такій послідовності:

- 1) в елементах металокопструкцій визначають зусилля  $\bar{S}$  від одиничного перекосного навантаження (наприклад,  $\bar{N}_s = 100$  кН);
- 2) маючи геометричні довжини елементів і металокопструкцій, а також характеристики їх перетинів, знаходять переміщення однієї  $\bar{\Delta}_s$  з опор при дії одиничної перекосної навантаження;
- 3) одиничне переміщення  $\bar{\Delta}_s$  порівнюють з нормативним переміщенням  $\Delta_s$ ; користуючись лінійною залежністю між перекосним навантаженням і переміщенням, що ним викликається обчислюють нормативне

перекосне навантаження  $H_s = \bar{H}_s \cdot \frac{\Delta_s}{\Delta_s}$ ;

4) зусилля в елементах перевантажувача від одиничного перекосного навантаження коригують на нормативне перекосне навантаження

$$S = \bar{S} \cdot \frac{H_s}{H_s}$$

5) отримані нормативні зусилля від перекоосу підсумовують із зусиллями від інших навантажень при пересуванні крана і проводять перевірку перерізів елементів.

Методика визначення зусиль від перекосного навантаження залежить від прийнятої розрахункової схеми.

Перед початком розрахунків корисно, хоча б орієнтовно, знати, яке з експлуатаційних станів для даного типу елементів є вирішальним. Для цього рекомендується користуватися результатами аналізу зусиль і напружень в елементах перевантажувачів жорсткої системи ґратчастої і трубчасто-балкової конструкцій (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Враховуючі при розрахунку експлуатаційні стани конструкцій

Елементи	Робочий стан		Неробочий стан
	Підйом і переміщення вантажу	Пересування крана	
ґратчастої конструкції:			
– пояси і розкоси головних ферм	+		
– їздові балки	+		
– поперечні зв'язки	+	+	+
– поздовжні зв'язки		+	+
– гнучка опора	+		
– жорстка опора	+	+	
Трубчасто-балкової конструкції:			
– головна труба моста	+		
– ригель	+		
– опори	+	+	+

Розрахунок системи виконувався в двох варіантах:

- плоский розрахунок, який передбачає розчленування конструкції на плоску головну раму і дві плоскі рами опор;
- просторовий розрахунок, який передбачає розрахунок просторової системи, що складається з моста і двох опор (рис. 2.32).

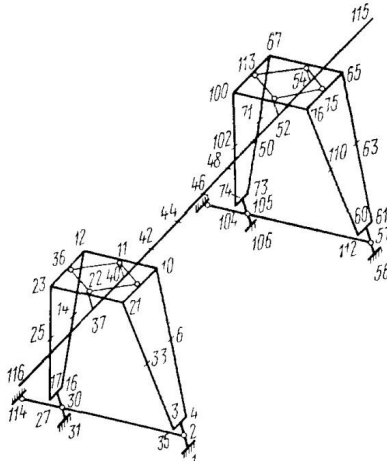


Рис. 2.32. Розрахункова схема перевантажувача при просторовому розрахунку (цифри на схемі позначають номери розрахункових перетинів)

### 2.2.6. Підвищення витривалості заклепуваних з'єднань конструкцій перевантажувачів

У заклепувальних з'єднаннях конструкцій перевантажувачів головний вплив на витривалість надають знос і зусилля, що передаються з заклепки на стінку отворів. Ці зусилля створюють найбільш високу концентрацію напружень біля заклепувальних отворів. Знос є функцією деформативності з'єднання, яка в свою чергу пов'язана із зусиллями, що передаються безпосередньо через заклепки. Таким чином, витривалість заклепувального з'єднання при інших рівних умовах залежить головним чином від двох взаємопов'язаних факторів: деформативності з'єднання і зусилля, переданого заклепою. При виборі найбільш раціональної форми з'єднання треба прагнути до мінімального впливу цих факторів.

Зусилля, що передаються заклепками, а отже, і взаємне зміщення по верхонь контакту по довжині з'єднання розподілені вкрай нерівномірно. Нерівномірність підвищується зі збільшенням числа поперечних рядів заклепок, кроку і коефіцієнта зсуву. При цьому кінцеві ділянки мають найбільші зрушення, а заклепки крайніх рядів – найбільші зусилля зрізу.

У експлуатованих конструкціях перевантажувачів нерідкі з'єднання з 18 поперечними рядами заклепок. У таких «довгих» з'єднань в заклепках крайніх рядів в пружній стадії роботи зусилля зрізу на 50...70% вище середніх. Якщо така нерівномірність мало впливає на граничну руйнівне навантаження при статичному навантаженні, то вона, безумовно, значно впливає на витривалість з'єднання. Отже, довговічність заклепувального з'єднання при інших рівних умовах залежить від довжини з'єднання: чим більше довжина, тим менше його довговічність.

Помітно поліпшується напружений стан в клепаних з'єднаннях і відповідно їх опір втоми, якщо один з елементів, що з'єднуються (накладка або фасонки) має плавну зміну площі перетину, а також підвищений попередній натяг заклепок.

Слід особливо відзначити чималі переваги двозрізних клепаних з'єднань перед однозрізними: знос двозрізних з'єднань в цілому нижче, ніж однозрізних; в двозрізних з'єднаннях більш сприятливо напружений стан близько клепаних отворів в зв'язку зі зниженою ексцентричністю передачі в них зсувних зусиль по товщині елемента зі стріжня заклепки на стінку отвору.

Підвищення втомної довговічності клепаних з'єднань експлуатованих перевантажувачів одне з найважливіших завдань. Для цієї мети найбільш ефективна часткова заміна заклепок в двох-трьох крайніх поперечних рядах високоміцними болтами. Вперше цей метод був застосований в США в 40-х рр. минулого століття. В даний час він широко використовується для підвищення втомної довговічності клепаних з'єднань.

Заміна найбільш напружених заклепок крайніх рядів високоміцними болтами різко знижує концентрацію напружень біля отворів і деформативність з'єднання (рис. 2.33). Цим досягається не тільки значне підвищення витривалості з'єднання і опір елемента, що прикріплюється крихкими руйнуванням, але і сповільнюється або повністю припиняється розлад в з'єднанні заклепок які залишилися. Чим раніше буде виконана ця операція, тим довговічніше і надійніше стане з'єднання.

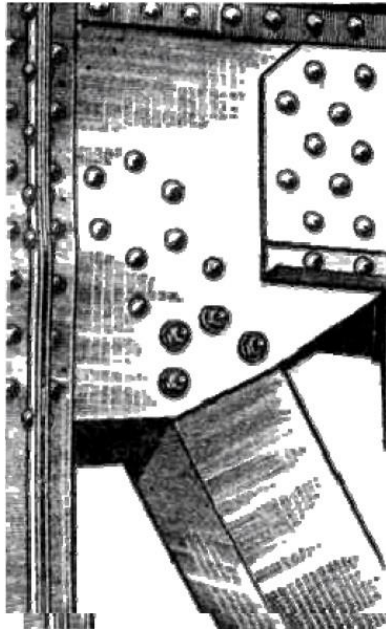


Рис. 2.33 Заклепувально-болтове з'єднання розкоса з фасонкой.

**Основи розрахунку заклепувально-болтових з'єднань.** Заклепувально-болтові з'єднання розраховують на міцність в припущенні, що несуча здатність заклепок визначається їх опором на зріз і сум'яття, а високоміцних болтів – створюваною ними силою тертя (рис. 2.34). Число крайніх рядів заклепок, що підлягають заміні високоміцними болтами, визначають з умови забезпечення заданої витривалості. Зазвичай при заміні двох-трьох крайніх рядів заклепок болтами витривалість в перетинах по найбільш напружених рядах болтів і заклепок не має великої різниці.

Визначення витривалості по перетинах елемента в межах з'єднання зводиться до обчислення номінальних напруг і коефіцієнтів зниження допустимих напружень (розрахункових опорів)  $\gamma$  або класів по витривалості.

Якщо передбачається створити рівномірність по витривалості заклепувально-болтове з'єднання (по перетинах з високоміцними болтами і заклепками), тобто максимально використовувати можливості змішаного з'єднання, розрахунок починають з визначення допустимого рівномірно розподіленого навантаження по витривалості для найбільш напруженого перерізу (по крайньому ряду високоміцних болтів).

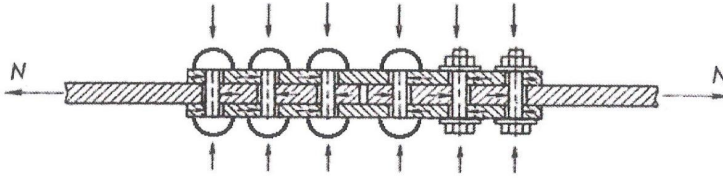


Рис. 2.34 Схема до розрахунку заклепувально-болтового з'єднання.

Наступний етап розрахунку полягає у визначенні числа крайніх поперечних рядів заклепок, що підлягають заміні. Цю задачу вирішують шляхом послідовних розрахунків при заміні 1, 2-го і т. д. рядів заклепок високміцними болтами, поки не буде досягнута необхідна несуча здатність по витривалості в перерізі по найбільш напруженому крайньому ряду заклепок, що залишилися тобто виконано умову

$$\frac{N'_y}{F_H} \leq \gamma_3 \cdot [\sigma] \cdot m', \quad (2.23)$$

де,  $N'_y$  – зусилля, що діє в перерізі елемента, що розглядається перед найбільш напруженим крайнім рядом залишилися в з'єднанні заклепок;  $F_H$  – площа нетто поперечного перерізу елемента, що розглядається по крайньому ряду в з'єднанні заклепок що залишилися;  $[\sigma]$  – допустиме напруження для металу елемента, що розглядається;  $\gamma_3$  – коефіцієнт зниження допустимих напружень при розрахунку на витривалість, певний для перетину елемента по крайньому ряду в з'єднанні заклепок що залишилися;  $m'$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу напружень по перерізу елемента внаслідок непрямої передачі зусиль в прикріпленнях.

Залежно від частки безпосередньо перекритою частини розтину  $m'$  приймають рівним:

Частка, %	<40	40...60	60...80	80...90	100
$m'$	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0

Коефіцієнт  $\gamma_3$  визначають за формулою:

$$\gamma_3 = \frac{1}{(a \cdot \beta \pm b) - (a \cdot \beta \mp b) \cdot \rho}, \quad (2.24)$$

де:  $\beta$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруг для перетину по крайньому ряду заклепок що залишилися;  $\rho$  – характеристика циклу змінної напруги;  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти прийняті:

Параметр	Матеріал	
	Ст 3	Низьколегована сталь
a	0,58	0,65
b	0,26	0,3

Верхні знаки в формулі 2.24 приймають при переважному розтягванні, а нижні – при переважному стисненні.

Значення  $N'_y$  визначають за формулою:

$$N'_y = N_y - 0,78 \cdot P \cdot f \cdot n_b \cdot n_k, \quad (2.25)$$

де,  $N_y$  – допустиме зусилля на елемент по витривалості, визначене для перетину по крайньому, найбільш напруженому ряду високоміцних болтів шляхом завантаження лінії впливу для розглянутого елемента отриманого допустимого навантаження  $k_b$  і навантаження від власної ваги;  $P$  – розрахунковий контрольований натяг високоміцного болта;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $n_b$  – число високоміцних болтів на одному кінці з'єднання;  $n_k$  – число контактів тертя.

Для обчислення  $\gamma_3$  за формулою 2.24 необхідно знати  $\beta$  і  $\rho$ . У таблиці 2.5 наведені значення  $\beta$  в залежності від  $\alpha_\sigma$ . Значення  $\rho$  для перетинів по крайніх поперечних рядах залишилися в з'єднанні заклепок з деяким наближенням можна визначити:

Значення  $\beta$  в залежності від  $\alpha_\sigma$ 

Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень $\alpha_\sigma$	Матеріал		Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень $\alpha_\sigma$	Матеріал		Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень $\alpha_\sigma$	Матеріал	
	Маловуглецева сталь	Низьколегована сталь		Маловуглецева сталь	Низьколегована сталь		Маловуглецева сталь	Низьколегована сталь
1,4	1,16	1,25	2,8	1,93	2,12	4,2	3,11	3,65
1,6	1,24	1,34	3,0	2,07	2,3	4,4	3,31	3,9
1,8	1,34	1,45	3,2	2,24	2,5	4,6	3,52	4,2
2,0	1,44	1,55	3,4	2,38	2,72	4,8	3,73	4,45
2,2	1,55	1,67	3,6	2,55	2,95	5,0	3,95	4,75
2,4	1,67	1,8	3,8	2,72	3,15	5,2	4,15	5,0
2,6	1,79	1,98	4,0	2,91	3,4			

$$\text{для елемента I} \quad \rho = \frac{\sigma_{H(\min)1}}{\sigma_{H1}}; \quad (2.26)$$

$$\text{для елемента II} \quad \rho = \frac{\sigma_{H(\min)2}}{\sigma_{H2}}, \quad (2.27)$$

де,  $\sigma_{H(\min)1}$  і  $\sigma_{H(\min)2}$  – мінімальні напруги в перетинах по крайніх поперечних рядах заклепок відповідно в елементах I і II (див. рис. 2.34)

Якщо  $N_{y(\min)}$  по абсолютній величині дорівнює або менше сили тертя, що виникає на ділянці розміщення високоміцних болтів:

$$N_{y(\min)} \leq 0,78 \cdot P \cdot f \cdot n_\sigma \cdot n_K, \quad (2.28)$$

$$\sigma_{H(\min)} = \frac{N_{y(\min)}}{F_{H1} + F_{H2}}, \quad (2.29)$$

де,  $F_{H1} + F_{H2}$  – сумарна площа перерізу нетто елементів I і II по крайнього поперечному ряду заклепок (див. рис. 2.34).

При  $N_{y(\min)} > 0,78 \cdot P \cdot f \cdot n_{\sigma} \cdot n_k$  значення  $\sigma_{H(\min)}$  визначають двічі: по формулі (2.44) і

$$\sigma_{H(\min)} = \frac{N_{y(\min)} - 0,78 \cdot P \cdot f \cdot n_{\sigma} \cdot n_k}{F_H}, \quad (2.30)$$

де,  $F_H$  – площа поперечного перерізу нетто по крайньому ряду заклепок того елемента, для якого обчислюють  $\sigma_{H(\min)}$ .

З двох значень  $\sigma_{H(\min)}$  приймають то, при якому отримують менше  $\rho$ .

Заклепувальні з'єднання перетворюють в заклепувально-болтові звичай після тривалого періоду експлуатації, протягом якого можуть накопичитися істотні втомні пошкодження в елементах що прикріплюються. Ці ушкодження мають локальний характер і сконцентровані в зонах близько клепаних отворів крайніх, найбільш напружених рядів. Межі витривалості заклепувально-болтового з'єднання (перетинів з'єднуються по високоміцним болтам) залежать від ступеня втомного пошкодження, отриманого в заклепувальних з'єднання. Встановлено, що межі витривалості заклепувально-болтових з'єднань (перетинів елементів по високоміцним болтам), які не мають початкових втомних пошкоджень, і аналогічних за конструкцією з'єднань на високоміцних болтах практично однакові. Експериментальним шляхом отримана інтерполяційна залежність між ефективним коефіцієнтом концентрації напруги для найбільш напруженого перерізу по крайньому ряду високоміцних болтів заклепувально-болтового з'єднання та мірою початкового втомного пошкодження:

$$\beta_y = \beta + (1,4D^2 - 0,5D), \quad (2.31)$$

де,  $\beta$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруг для найбільш напруженого перерізу по крайньому ряду високоміцних болтів, що не має втомних пошкоджень;  $D$  – міра початкового втомного пошкодження, накопиченого до заміни заклепок високоміцними болтами (для того ж

перетину), рівна  $D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i}$ ;  $n_i$  – число циклів навантаження з максимальними напруженнями  $\sigma_i$  до руйнування.

Міру початкового втомного пошкодження в практичних розрахунках наближено визначають за співвідношенням кількості років експлуатації до часткової заміни заклепок високоміцними болтами до загального втомного ресурсу, отриманого на підставі статистичної обробки відмов елементів конструкцій по втоми.

При визначенні  $\gamma_3$  можна користуватися значенням  $\beta$ , отриманим для перетину що перевіряється без урахування початкових втомних пошкоджень, оскільки в перетинах по рядах заклепок, що залишилися до моменту утворення заклепувально-болтового з'єднання накопичені втомні пошкодження будуть значно нижче, ніж по крайніх рядах, і їх впливом можна знехтувати.

### 2.3. Конструкції коробів грохотів

У практиці просівання шихтових матеріалів в даний час застосовують в основному грохоти наступних конструкцій: нерухомі – колосникові, прямокутні, конічні, дугові, плоскі гідравлічні (барабанні та вібраційні, інерційні, валкові, плоскі хитні, вібраційні (напіввібраційні), інерційні, самобалансні, резонансні, електровібраційні).

Накопичений досвід експлуатації грохотів різних конструкцій свідчить про те що використовуються в сучасних конструкціях коробів грохотов зварні або заклепочні з'єднання не задовольняють вимогам довговічності, технологічності і ремонтпридатності. Це визначається, перш за все, характером роботи грохоту, де в умовах знакозмінних вібраційних навантажень на елементи короба грохоту, виникають втомні руйнування його бортовин. Виявляються втомні тріщини в місцях з максимальною концентрацією напружень, як правило, в районі приєднань до бортовинам короба приводів і несучих балок. З'єднання, що виконуються з використанням заклепок, мають, в порівнянні зі зварними, підвищений опір втоми. Їх довговічність задовольняє умовам експлуатації. Однак короба з такими сполу-

ками поступаються коробам, в яких використані болтові з'єднання за умов ремонтпридатності та трудомісткості збирання.

Спостереження за поведінкою коробів високо-інтенсивних грохотів свідчать про наявність тріщин, що виникають в бортовінах на їх контакт з заклепкою, причому, тріщини у всіх випадках виникають під розхитаній заклепкою. В ході експлуатації грохоту, внаслідок зносу дотичних поверхонь, сили обтиску зменшуються, а концентрація напружень біля отворів зростає, що викликає появу втомних тріщин в елементах що з'єднуються. Виконати ремонт таких пошкоджень практично неможливо.

Досвід експлуатації грохотів свідчить, що підвищити втомну міцність конструкцій, схильних до дії циклічних навантажень, можливо шляхом використання фрикційних з'єднань на високоміцних болтах. Оскільки передача зусиль в таких з'єднаннях відбувається виключно за рахунок сил тертя по дотичних поверхнях, що з'єднуються, болти в передачі зусиль участі не приймають. Звільнення болтів від роботи на зріз і зминання досягається завдяки їх вільній постановці в отвори при відповідному обмеженні деформації зсуву. При цьому завдяки використанню високоміцних болтів створюється монолітність з'єднання. Порушення монолітності від вібраційних впливів практично не відбувається. Будь-які заходи, щодо протидії розкручуванню гайок не потрібні.

Досвід використання з'єднань на високоміцних болтах отриманий при проектуванні грохоту ГА-41Ш (рис. 2.35). Грохот призначений для видалення дрібниці з гарячих, холодних агломератів в умовах підбункерних приміщень доменних печей ДЦ-1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

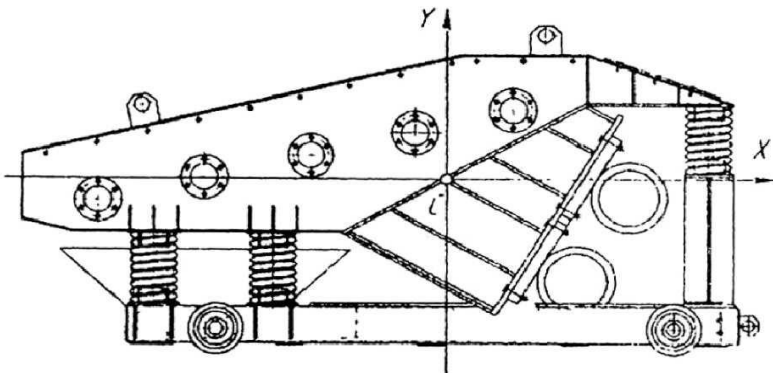


Рис. 2.35. Грохот ГА-41Ш

Грохїт виконувався за рїзними модифїкацїями, що дозволило оцїнити вплив з'єднань бортовїн з несучими балками на напрацювання на вїдмову коробїв, питомї витрати на пїдтримку їх працездатностї.

Аналіз результатїв експлуатацїї (табл. 2.6) коробїв для просїювання холодної шихти показав що випадкїв вїдмов у зв'язку з розладом з'єднань не було. У грохотах аналогїчної конструкцїї з заклепувальними або звареними з'єднаннями протягом зазначених термїнїв ї умов експлуатацїї, як правило, вїдмови вїдбуваються.

Таблиця 2.6.

Результат експлуатацїї коробїв грохотїв.

Вид сировини, що переробляється, вид з'єднання	Напрацювання на вїдмову короба, тис.т (маш.год.)	Питомї витрати на виготовлення короба, грн / кг	Питомї витрати на пїдтримку працездатностї короба, грн/1000 т
1. Гарячий агломерат			
зварне	28,6 (148)	28,6	0,94
заклепковий	49,5 (248)	36,2	0,61
болтове	184,8 (8787)	30,4	0,11
2. Холодний агломерат, окатиші, добавки			
зварне	48,7 (244)	24,3	0,32
заклепковий	72,2 (360)	32,9	0,29
болтове	вїдмов немає	29,2	-

#### 2.4. Конструкцїї бункерних ємностей

Одним з значно поширених видїв конструкцїї, що застосовуються в даний час в рядї галузей промисловостї, є бункернї ємностї (бункера). Вони призначенї для тимчасового або тривалого зберїгання рїзних обсягїв рїзноманїтних сипучих речовин.

В даний час бункернї ємностї виконуються за традицїйною конструктивною схемою з пїдсилючими ребрами жорсткостї, яка в остаточному виглядї сформувалася приблизно в серединї минулого столїття.

Така конструктивна схема являє собою конструкцїю бункернїї ємностї їз сталевих листїв щодо невеликої товщини (6-14 мм), що з'єднуються

між собою за допомогою зварювання для додавання ємності необхідної геометричної форми (рис. 2.36). Найчастіше ємність виконується у вигляді вертикальної призматичної верхньої частини і похилій пірамідальній нижній частині, що забезпечує при правильному виборі кута нахилу самотечне розвантаження бункера. Для можливості сприйняття тиску сипучого матеріалу що зберігається стінки бункера підкріплюються горизонтальними ребрами жорсткості, які виконуються з прокатних або зварних профілів у формі куточка, швелера, тавра або двутавра, які жорстко з'єднуються в кутах.

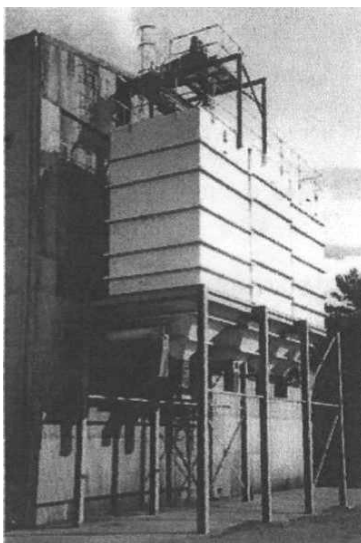


Рис. 2.36. Традиційна конструктивна схема з ребрами

Накопичений досвід експлуатації бункерних ємностей свідчить про те, що до 50% всіх аварійних ситуацій обумовлені недосконалістю застосованої конструктивної схеми. При цьому до її основних недоліків відносяться:

- висока нерівномірність напружено-деформованого стану в різних зонах конструкції. Це сприяє небезпеці малоциклового втомного руйнування;
- підвищена витрата матеріалу і підвищена деформативність конструкції, що обумовлено прагненням при проектуванні зменшити рівень

напруги в зазначених зонах за рахунок збільшення поперечних перерізів несучих елементів по всій конструкції;

- велика протяжність зварних швів, що веде до підвищеної трудомісткості виготовлення і зниженою надійності конструкції. Згідно з наявними статистичними даними, руйнування зварних конструкцій, до яких відносяться і бункерні ємності, в 80% випадків відбувається по зварних швах;
- низька ремонтпридатність конструкції, обумовлена необхідністю в разі пошкодження проводити вирізку окремої ділянки конструкції і приварення на його місце (якщо є можливість) нового. При цьому досить складною виявляється виконання ремонту і заміни зношеної футеровки;
- ускладненість монтажу при значних розмірах конструкції.

В результаті детального аналізу особливостей роботи і експлуатації бункерних ємностей розроблено принципово інше конструктивне рішення. Його суть полягає у формуванні конструкції ємності з окремих панелей.

Конструкція панелі приведена на рис. 2.37.

Кожна окрема панель являє собою складовий двохшаровий елемент. Зовнішній шар є профільованим і призначений для сприйняття навантаження від тиску сипких матеріалів.

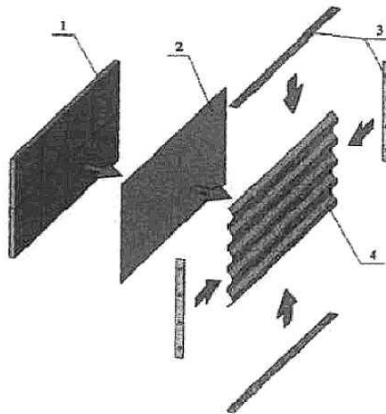


Рис. 2.37. Конструкція панелі бункерній ємності:

- 1 – футеровочний шар, 2 – внутрішній підсилюючий лист,
- 3 – обв'язувальні планки, 4 – зовнішній профільований лист.

Внутрішній шар панелі являє собою плоский сталевий лист.

З внутрішньої сторони до панелі прикріплюється футеровочний шар. Він може бути виконаний із сучасних полімерних матеріалів з терміном беззмінної експлуатації до 7-8 років, наприклад, гумових футеровальних плит (ГФП) невеликих розмірів, розроблених і які успішно застосовуються. Як футерування можуть застосовуватися також і традиційні конструктивні рішення, наприклад, у вигляді прикріплення сталевих стрічок. Болтові кріплення, які використовуються для з'єднання зовнішнього і внутрішнього шарів панелі, одночасно можуть бути використані і для кріплення футеровочного шару. При цьому в разі застосування ГФП головка болта виявляється запресованою в товщині плити і не піддається безпосередньому контакту з сипучим матеріалом. Форма панелі може бути прийнята прямокутною для формування вертикальної частини конструкції бункера (як наведено на рис. 2.38) або трапецієподібною – для нижньої пірамідальної частини ємності. Однак, конструктивно вони тотожні.

З'єднання панелей між собою виконується на високоміцних болтах, діаметр яких на 3-4 мм менше діаметру отворів в об'язувальних елементах панелей. Оскільки відмінна риса цих сполук полягає в тому, що вони засновані на терті, що виникає між дотичними поверхнями зібраних елементів в результаті сильного контрольованого стиснення їх болтами, ослаблення деталей отворами не має практичного значення. Створюється монолітність з'єднання, яка зберігається, як свідчить досвід, на протязі всього періоду експлуатації конструкцій.

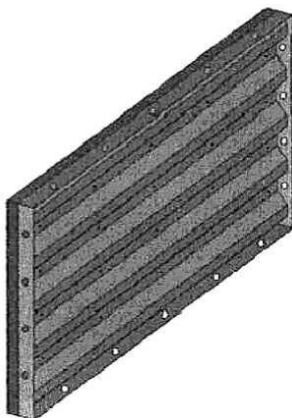


Рис. 2.38. Загальний вигляд плоскої панелі для бункерної ємності

Розроблена панельна конструктивна схема для сталевих бункерних ємностей приведена на рис. 2.39 (комп'ютерна модель). Така схема виявляється позбавленою більшості недоліків, властивих традиційній конструктивній схемі і, крім цього, має ряд істотних переваг, серед яких слід відзначити:

- можливість виготовлення панелей в умовах заводу, що істотно підвищує їх якість і дозволяє знизити ймовірність помилок при монтажі;
- спрощення збірки бункерних ємностей на монтажному майданчику;
- істотне зменшення загальної протяжності зварних швів в конструкції, особливо в разі застосування цілісних гофрованих листів;
- підвищення ремонтпридатності конструкції, за рахунок можливості в короткі терміни і технологічно нескладно зробити заміну пошкодженої панелі;
- можливість попереднього опрацювання конструктивного рішення панелі під різні види сипучих матеріалів і умов роботи, включаючи наявність агресивного зовнішнього середовища;
- можливість орієнтації елементів зовнішнього шару панелі під кутом до горизонту, що ускладнює скупчення на його поверхні виробничого пилу і знижує ймовірність виникнення і розвитку корозійних пошкоджень;
- підвищення естетичних якостей конструкції ємності.

Крім цього, для ємності, виконаної за панельній схемі, розподіл напружень в конструкції виявляється набагато більш рівномірним, практично відсутні зони їх різкої концентрації, характерні для традиційної конструктивної схеми.

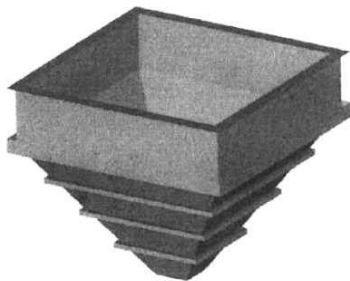


Рис. 2.39. Бункерна ємність із сталевих панелей, з'єднаних високоміцними болтами

## ГЛАВА 3

### НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ ДОМЕННОГО ЦЕХУ

#### 3.1 Розвиток сталевих конструкцій доменних печей

Доменні печі спочатку викладали тільки з вогнетривкої цегли. Верхня частина печі – шахта була діаметром, дещо більшим, ніж діаметр горна; тому у перших домен внизу зроблені (в потовщеною кладці нижній частині печі) широкі отвори зі склепіннями, що дозволяло підійти до горна, підвести дуття і зробити випуск чавуну. Вся кладка печі спиралася на суцільний масив поду (рис. 3.1, а). З метою зробити більш доступним горн і ввести кілька фурм навколо горна були влаштовані самостійні колони яля підтримки кладки шахти (рис. 3.1, б) (середина ХІХ ст.). На колони укладали спеціальне кільце, назване моратором, на яке спиралась шахта. Колони перший час робили вертикальними, а в подальшому - похилими; підставу їх доводили тільки до верху поду. Однак після кількох аварій (прориву рідкого чавуну назовні крізь лещадь) їх стали поглиблювати, доводячи до низу поду, і частково обкладати цеглою. Вогнетривку кладку шахти і горна печі спочатку стягували сталевими смуговими обручами – бандажами.

Незважаючи на те, що кладку печі і поду виконували з вогнетривкої цегли і робили її потовщеною, надзвичайно складний режим печі з високою температурою поступово виводив її з ладу. Було потрібно охолодження кладки, яке виявилось досить складною конструктивною проблемою.

В даний час застосовують системи водяного, а для поду повітряного охолодження. Впроваджується система випарного охолодження.

Згодом сталеві смугові бандажі перестали задовольняти новим умовам дуття; довелося замінити їх суцільним кожухом, в першу чергу в місцях горна і заплічок. Таким чином, конструктивно виділилися три самостійні частини доменної печі: верхня частина - шахта, яка ґрунтується на колонах з мораторним кільцем, потім заплечики і горн з металопріємником і наприкінці, лещадь печі. Ці три самостійні частини печі мають свої температурні і експлуатаційні особливості.

Поступово, у міру збільшення обсягів печей і підвищення тиску дуття, щоб уникнути газопроникність з'явилася необхідність замінити сталеві бандажі також і на шахті суцільним сталевим клепанним кожухом. Конфігурація кожуха печі повністю повторювала конфігурацію внутрішнього

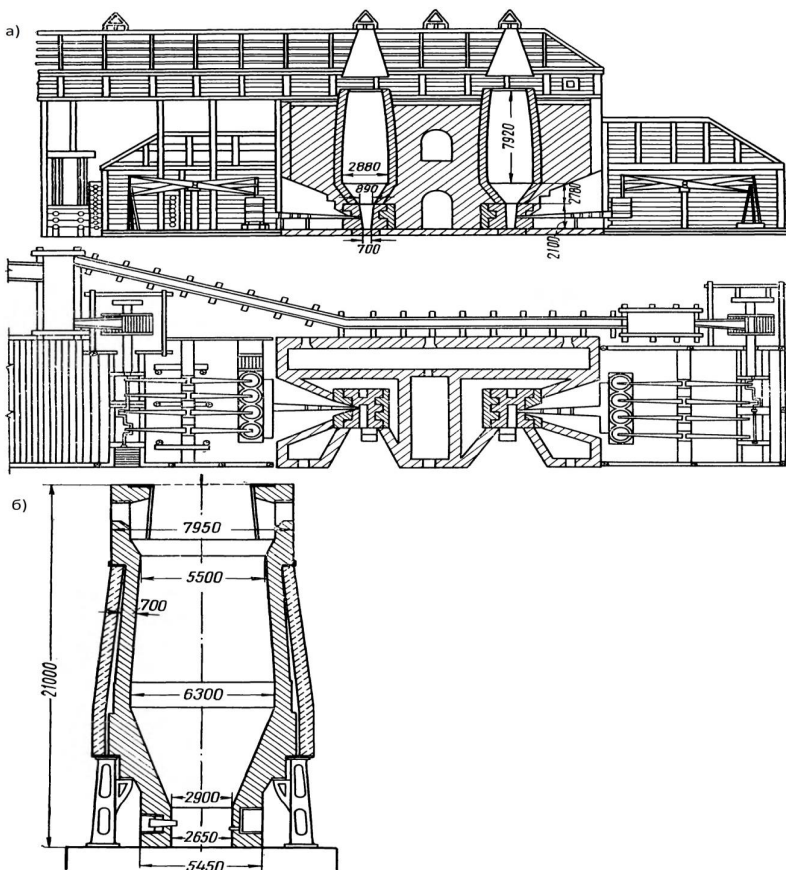


Рис. 3.1. Доменні печі:

а – початок XIX ст.; б – середина XIX ст.

профілю вогнетривкої кладки. Кожух поду іноді не доводили до її низу; іноді його робили у вигляді самостійного циліндра з діаметром, більшим, ніж у горна.

Поступово, у міру збільшення обсягів печей і підвищення тиску дуття, щоб уникнути газопроникність з'явилася необхідність замінити сталеві бандажі також і на шахті суцільним сталевим клепаєм кожухом. Конфігурація кожуха печі повністю повторювала конфігурацію внутрішнього профілю вогнетривкої кладки. Кожух поду іноді не доводили до її низу; іноді його робили у вигляді самостійного циліндра з діаметром, більшим, ніж у горна.



Після детального вивчення можливості застосування зварювання в доменних печах в результаті спільної роботи проектних інститутів Проектстальконструкції і ДПРОмеза в 1948 році була створена перша зварна доменна піч (рис. 3.3). Кожух цієї печі повністю зварений зі зварюванням аркушів встик. На колони горна, що підтримують шахту, були поставлені ще й колони уздовж шахти до відмітки купола печі для підтримки надкошнікових конструкцій, що спираються на купол печі на випадок, якщо станеться деформація кожуха (рис. 3.4, б).

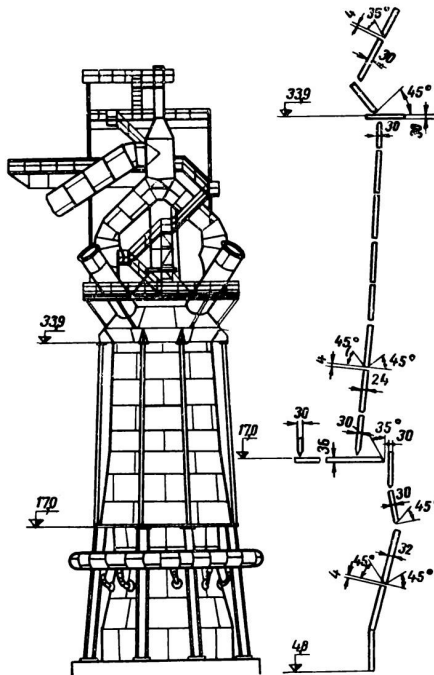


Рис. 3.3. Перша зварна доменна піч

Був також переглянуто питання про роботу мораторного кільця. Раніше встановлено, що колони горна спочатку сприймають все навантаження від ваги шахти. Однак після розігріву печі футерування під впливом температурного розширення газового тиску і тиску шихти виявляється притиснутою до кожуха. При одночасному підвищенні температури печі і переміщенні в подовжньому напрямі футерування шахти, пов'язана з її кожухом численними закладеними в кладку і привареними до кожуха холоди-

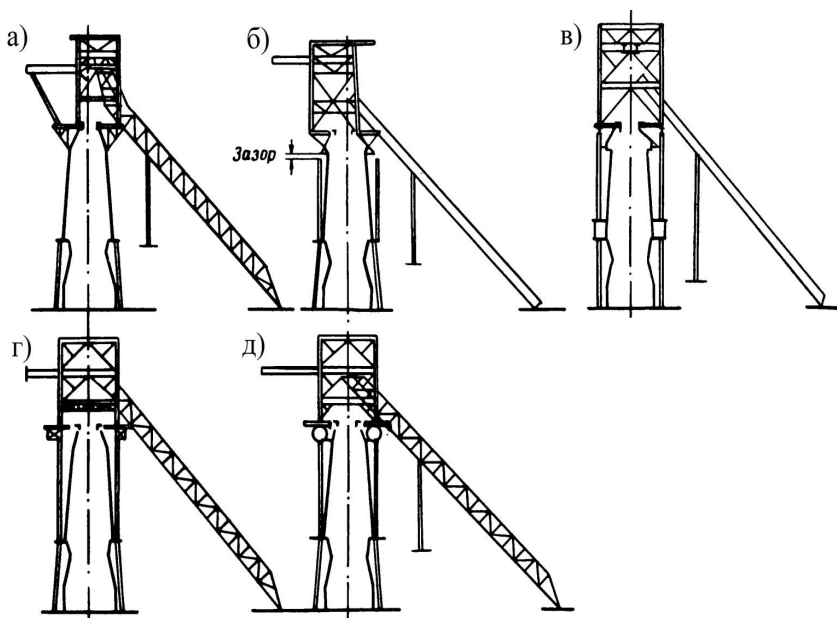


Рис. 3.4. Еволюція сталевих конструкцій доменних печей (схеми конструкцій)

а – клепана конструкція з копром на кожусі; б – зварна доменна піч з запасними колонами шахти; в – конструкція з компенсатором біля купола; г – піч з колонами шахти, що сприймають навантаження від копра; д – сучасна схема з чотирма колонами горна і шахти.

льними трубками і силами тертя, тягне за собою кожух, чому також сприяє конічна форма шахти. Це призводить в процесі експлуатації печі до розвантаження колон горна і навіть іноді до відриву мораторного кільця від колони.

Таким чином, за певних умов мораторне кільце, призначене сприймати розпір похилих колон горна і брати участь в роботі кожуха шахти, починає виконувати ще й функцію компенсатора. Такий стан виникає в наступні періоди роботи печі, коли температурні режими її змінюються.

При проектуванні зварних конструкцій особлива увага була звернена на максимальну індустріалізацію їх виготовлення для спрощення більш дорогих монтажних робіт на будівельному майданчику. Були укрупнені

листи кожухів, виконаний ряд конструкцій необхідних габаритів для перевезення їх залізницею; наприклад, скіповий підйомник був виконаний відкритого типу у вигляді суцільної зварної балки.

Подальший розвиток схеми сталевих конструкцій печі було направлено на те, щоб повністю звільнити кожух доменної печі від навантажень, переданих копром і надколошниковими конструкціями, прямо на колони шахти. Для цього спочатку був влаштований другий компенсатор у купола печі (рис. 3.4, в), але потім простіше і раціональніше виявилось взагалі звільнити піч від надколошникових конструкцій, обперши їх на многокутну або кільцеву балку, що лежить на колонах шахти або колонах печі (рис. 3.4, г). При цьому виникли деякі нові конструктивні труднощі. Зазвичай число колон горна, залежне від числа фурм для різних печей, приймають від шести до восьми. Колони шахти в плані пов'язані з розташуванням ніг копра, а копер, в свою чергу, пов'язаний з похилим мостом. Тому розташування колон шахти в плані не збігається з колонами горна.

Для передачі навантаження колони шахти були з'єднані жорстко з першим поясом шахти і через нього передавали навантаження на колони горна. Це було не зовсім безпечно в разі прогара кладки в районі распара.

Для усунення цих недоліків в даний час влаштована колошнікова кільцева балка, на яку можуть спиратися ноги рам копра в зручних для цього місцях (рис. 3.4, д) При цьому число колон шахти стало можливим скоротити до чотирьох і розташувати їх співвісно безпосередньо на чотирьох колонах горна, не зачіпаючи при цьому мораторне кільце. Кожна колона шахти складається з двох двотаврових гілок, з'єднаних на монтажі планками. Між колонами є кільцеві площадки шахти і зв'язки. При такій конструкції виникає можливість мати укрупнений монтажний блок, що складається з крайніх гілок колон по одному двотавру з кожного боку і майданчиків між ними. Після установки двотаврові гілки колон з'єднують планками, і навколо шахти утворюється жорстка система, на яку укладається кільцева колошнікова балка, що підтримує всі надколошникові конструкції (рис. 3.5).

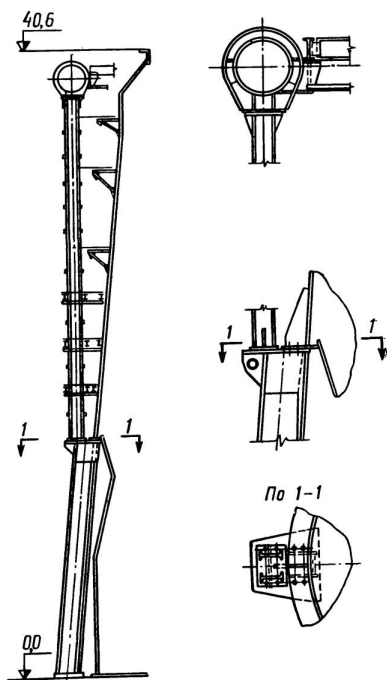


Рис. 3.5. Конструкція колон доменної печі об'ємом 2000 м<sup>3</sup>.

### 3.2. Конструкція доменної печі і умови її роботи

Конструкція доменної печі складається з сталевого кожуха з викладеною всередині футеровкою. Футеровка печі викладається з вогнетривкої цегли, переважно з шамотного, а в кладці поду, крім цього, використовують вуглецеві блоки і глиноземну цеглу. Вогнетривкість шамотного цегли 1730–1800°С; опірність стисканню – близько 0,4 МПа при температурі близько 1600°С. Кладку ведуть щільну на дуже тонкому (0,5 мм) шамотно-глинистому розчині, щоб виключити появу щілин, через які міг би проникнути газ.

Як було відзначено, основне призначення сталевого кожуха – служити обоймою футеруванню, оберігаючи її від появи тріщин і забезпечуючи газонепроникність. Таким чином, кожух стягує кладку, опираючись її розширення в результаті нагрівання і впливу внутрішнього тиску.

Так як температурне розширення кладки досить значне, між кладкою (футеровкою) і кожухом залишають зазор для заповнення його пружною набойкою. Ця набойка дуже важлива і для роботи кожуха і для роботи печі. Завдяки їй пом'якшується і перерозподіляється в загальному нерівномірний тиск з боку кладки на кожух і в той же час забезпечується такий тиск, щоб в кладці не утворилися небезпечні тріщини.

Внаслідок надзвичайно високих температур всередині печі, щоб уникнути великого розпалу футерування кладку необхідно охолоджувати. Розподіл втрат тепла по висоті печі вельми нерівномірно. Охолодження діючих печей проводиться холодильниками з системою трубок, по яких циркулює вода. В районі поду і горна встановлюють гладкі плитові холодильники (чавунні плити з водопропускними трубками). Плитові холодильники укладають по периферії у кожуха. При цьому робиться зазор між холодильником і кладкою (80-120 мм), який заповнюється вуглецевою або хромисто-вуглецевою набойкою.

У місці заплічок, де футерування відносно тонкостінна і велика теплонатруга, раціональніші виявилися ребристі плитові холодильники, що представляють собою такі ж чавунні плити з розташованими в товщі чавуну водопровідними трубками ( $d=32...38$  мм), але з виступаючими ребрами, між якими щільно закладається вогнетривка цегла (рис. 3.6, а). У разі прогара футерування наявність ребер і «залитої» цегли в ребристому холодильнику сприяє утворенню гарнісажа на його поверхні, що ускладнює подальший розпал.

Плитові холодильники кріплять до кожуха печі болтами з обвареними шайбами. Між плитовим холодильниками в вертикальні шви забивають чавунну замазку. Уведення і виводи водопровідних трубок обваривають. Таким чином, сталевий кожух в ряді точок з'єднаний з холодильниками, які, в свою чергу, або безпосередньо, або через набійку пов'язані з футеровкою.

Особливо відповідально устрій холодильників біля місць випусків чавуну і шлаку: біля чавунної і шлакової лётки. У сталевому кожусі для устрою лётки роблять великі отвори, які підсилюють облятовуючими рамами. Між холодильниками і кладкою в цих місцях треба обов'язково влаштовувати компенсаційний зазор, заповнений пружною набойкою. Відсутність такого зазору зазвичай призводило до розривів кожуха в цих місцях в результаті температурних впливів і великих концентрацій напружень.

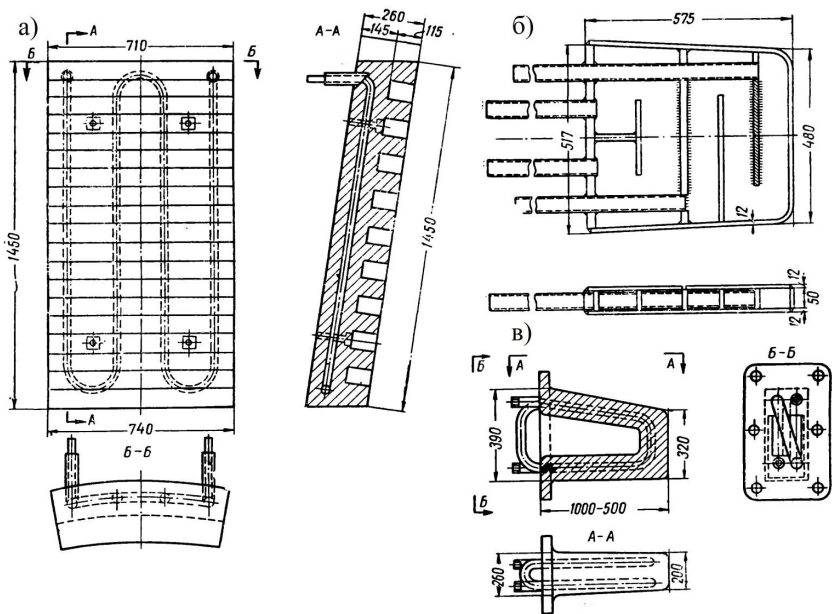


Рис. 3.6. Плитові вертикальні і горизонтальні холодильники:  
 а – ребристий плитовим холодильником; б – холодильником коробчастого типу;  
 в – кронштейновий холодильник.

Зовнішні периферійні плитові холодильники у заплічок і тонкостінної частини распара недостатньо захищають футеровку від розпалу. Кладка поступово розгорається і з'являється шар гарнісажа, що забезпечує подальшу роботу печі.

Для охолодження самої толстостенної кладки шахти застосовують внутрішні коробчаті горизонтальні холодильники, а також холодильники кронштейнового типу, показані на (рис. 3.6, б і в). Для шахти типової печі об'ємом 2000 м<sup>3</sup> прийнята комбінована система з периферійних плитових холодильників і горизонтальних коробчатих, закладених в кладку. Холодильники кронштейнового типу розташовують на кожусі в шаховому порядку з відстанню 600-1000 мм, з закладкою їх в амбразури кожуха. Передбачається, що холодильники-кронштейни не тільки охолоджують футеровку, але частково підтримують її, для чого їх кріплять фланцями до кожуха шахти (рис. 3.7).

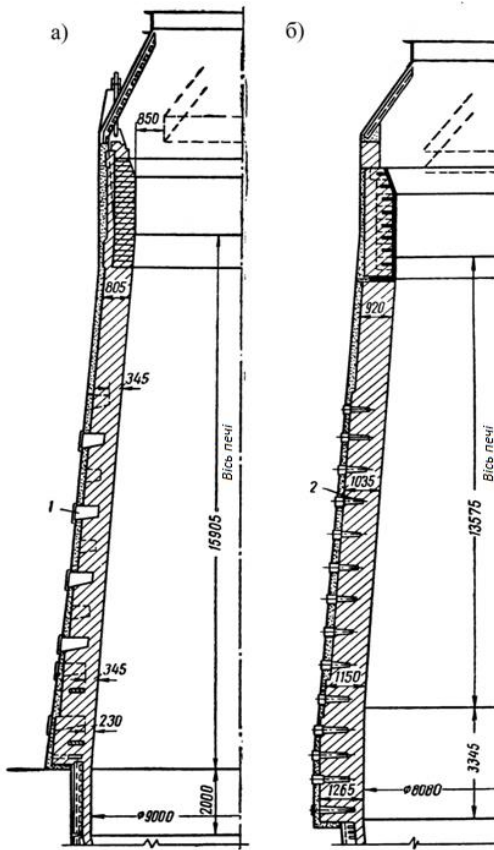


Рис. 3.7. Розрізи кладки шахти з внутрішнім холодильниками:  
 1 – кронштейнового типу; 2 – горизонтального типу,  
 вставлені в амбразуру.

Горизонтальні плитові холодильники раніше також вставляли в вузькі амбразури, але потім стали частіше застосовувати їх без амбразур, випускаючи з них через кожух лише водопровідні трубки. Такі холодильники, називаються плаваючими, укладають в кладці по колу з проміжками. Товщини їх відповідають товщині цегли (75 мм), а горизонтальні розміри кратні розмірам цегли. Розташовують плаваючі холодильники по висоті приблизно через 300 мм. Трубки для води діаметром 32 мм і товщиною 6 мм виводять назовні і обварюють.

Останнім часом почали вводити замість водяного охолодження печі систему випарного охолодження, сутність якої полягає в тому, що тепло віднімається шляхом утворення пароводяної суміші. У плитних холодильниках закладені пароводяні трубки, розташовані вертикально попарно. На кожній парі трубок є вхідні і вивідні отвори. Ці холодильники сильно нагріваються і подовжуються; тому їх розташовують на деякій відстані від кожуха, що дає вивідним трубках можливість згинатися при температурних переміщеннях холодильників. Для системи випарного охолодження потрібна установка баків-сепараторів. Баки розміщують в утепленій галереї, що знаходиться вище верхньої позначки охолодження печі приблизно на 6м. Галереї на деяких печах прикріплюють до колон або на колошниковому майданчику.

**Лещадь і фундамент доменної печі.** Лещадь являє собою великий масив, верх якого є подом печі. В даний час для кладки поду, як згадувалося, застосовуються великі вуглецеві блоки (400×400 і 550×550 мм) і високоглиноземний цегла. Дуже важлива монолітність поду: при проникненні чавуну в кладку він при застиганні розширюється, розклинає і порушує цілісність кладки - вона починає спливати на поверхню чавуну, оскільки її питома вага значно менше питомої ваги чавуну. Також важливим є дотримання герметичності поверхні поду. Тому лещадь охоплюють сталевим кожухом не тільки з боків, но і знизу. Крім того, під лещадю укладають плитні холодильники, але з повітряним охолодженням, так як водяне охолодження небезпечно в разі аварії при прориві чавуну.

Товщина циліндричної частини сталевих кожухів поду 32...40 мм. Безпосередньо до кожуха з внутрішньої сторони прикріплюють плитові холодильники. Оскільки литі холодильники в місцях виведення водяних трубок мають припливи, то утворюється невеликий зазор між холодильником і кожухом, який заповнюють шамотно-цементним розчином. Між периферійними холодильниками і кладкою поду, як вказувалося, залишається простір, який заповнюють піддатливою набойкою. Призначення цієї набійки з точки зору роботи кожуха дуже важливо – при нагріванні масиву поду вона розширюється, і в разі відсутності набійки весь розпір мав би сприйняти кожух. Це настільки великі сили, що навіть кожухи з товстими стінками досить швидко отримали б граничні напруги плинності або розриви. З іншого боку, занадто великі зазори і велика податливість набійки засмучують лещадь через можливість появи периферійних тріщин, і тоді

не буде виконано основне призначення кожуха - стягувати або обтискати кладку до нормальної експлуатації настільки, щоб в ній не виникали небезпечні тріщини.

Кладка поду зростає не тільки в горизонтальному, але і в вертикальному напрямку, особливо в перший період роботи печі, під час її розігріву. Тому можливе деяке притиснення футерування горна до кожуха, який має в цьому місці конічну форму і тим самим створює в кожусі поду і в вертикальному напрямку напруження розтягу.

Експериментальне вивчення роботи кожуха доменної печі, розпочате інститутом Проектсталконструкція, показало розвиток великих і нерівномірних деформацій в кожусі печі. На рис. 3.8 наведені графіки деформацій в умовних напруженнях ( $E_\epsilon$ ) в кожусі доменної печі в період пуску, виміряні Л.А. Сорокіним.

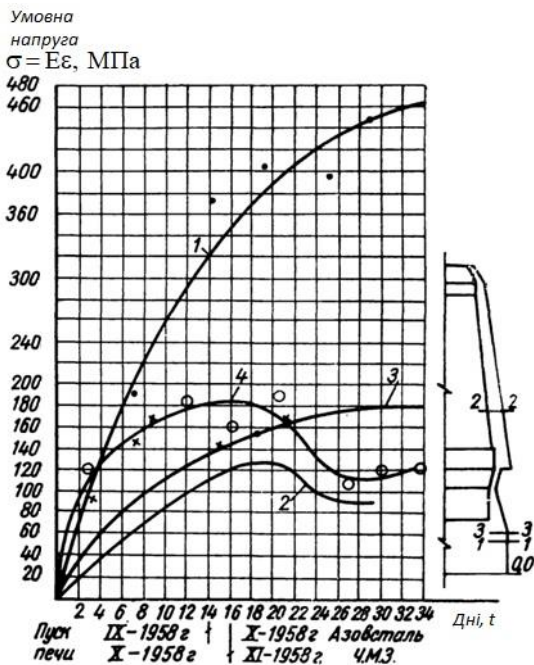


Рис. 3.8. Графік зростання деформацій в умовних напруженнях ( $E_\epsilon$ )

в кожусі доменної печі в період пуску:

1 – поду заводу «Азовсталь»; 2 – теж шахти;

3 – поду Челябінського заводу; 2 – теж шахти.

Незважаючи на набійки, на багатьох печах спостерігалися тріщини в сталевому кожусі, що починаються звичайно біля місць концентрацій напруг, наприклад в зоні перегинів кожуха поду і горна, у отворів чавунної льотки, у вирізів холодильників і т. п. Значить, є умови для крихкого розриву матеріалу, в основному через двухосне напруження стану кожуха.

Очевидно, один із заходів боротьби з можливими тріщинами - це конструктивні заходи, які зменшували б концентрації напружень і не сприяли б розвитку площинного напруженого стану, наприклад ліквідація перегину сталевого кожуха у верху поду та ін.

**Горн і заплечики.** Кожух біля горна і заплечок майже у всіх печей виконаний у вигляді двох усічених конусів. У нижньому конусі, що відноситься до горна товщиною 30-36 мм, зроблений ряд отворів. У верхній його частині вирізано від 12 до 20 круглих отворів для фурмених приладів діаметром близько 1100 мм, трохи нижче – два круглих отвори приблизно того ж розміру для шлакової льотки і ще нижче – прямокутний отвір для чавунної льотки розміром 700×980 мм. На рис. 3.9 показані розгортки кожуха горна і шахти.

До кожуха горна безпосередньо примикають гладкі плитові, або периферійні холодильники. Простір між холодильниками і футеровкою забивають набойкой.

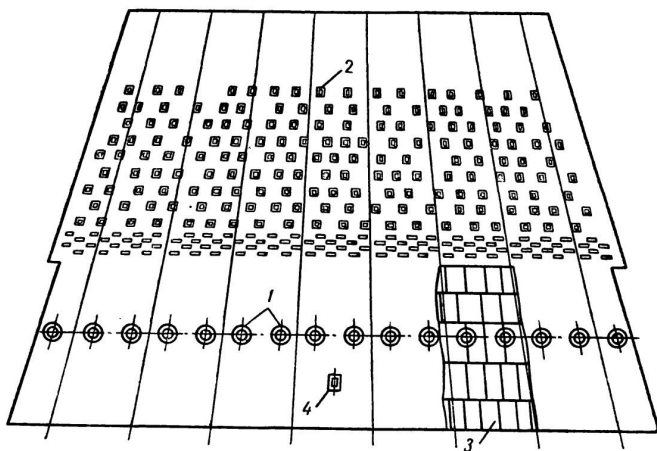


Рис. 3.9. Розгортка кожуха горна і шахти печі.

- 1 – отвори для фурми; 2 – холодильники; 3 – плитні холодильники;  
4 – чавунна льотка.

Робота кожуха горна протікає в більш важких умовах, ніж робота кожуха поду, тому що в кожусі горна є ряд отворів, які ослаблюють його і викликають нерівномірний потік напружень. Цим створюються умови для крихкого руйнування. Особливо несприятливо ослаблення кожуха у чавунної льотки, яка, на жаль, до теперішнього часу найчастіше має прямокутну форму (замість більш раціональної – овальної); по-друге, у місць перегинів кожуха поду і горна виникає концентрація напружень внаслідок крайового ефекту і несприятливих умов для температурних переміщень.

З виникаючих в доменних печах тріщин майже 50% припадали на район чавунної льотки і місця перегинів в кожусі.

Тріщини кожуха печі (у всіх зонах і особливо в кожусі шахти) зазвичай з'єднують якись два послаблюють перетин отвору або інші місця концентраторів напружень. Більшість тріщин виникає, мабуть, в результаті теплового розширення футеровки при незадовільній роботі набійки і наявності концентраторів.

Кожух заплічок розширюється догори, утворюючи зворотний конус. Заплічки роблять зазвичай з тонкостінної футеровкою, і вони мають ребристі плитові холодильники.

Велике число перегинів в кожусі низу печі несприятливо позначається на його роботі. Один із способів поліпшення його роботи - устрій циліндричного кожуха поду і горна. Така конструкція виконана на Кузнєцькому металургійному заводі (рис. 3.10) і рекомендована для доменної печі об'ємом 2700 м<sup>3</sup>. Температура кожуха горна і поду при нормальній експлуатації порівняно невисока – в середньому при збереженій кладці нижче або близько 100°С.

**Шахта.** Кожух шахти печі має конічну форму; товщина його нижнього пояса 28-30 мм, а інших поясів 18-25 мм. Футеровка шахти робиться товстостінною. Вона піддається не тільки сильному розігріву, але і механічному стиранню шихтою що опускається. При периферійному ході газів кладка сильно нагрівається; тому раціонально закладати в неї горизонтальні внутрішні холодильники. На рис. 3.11 показано приблизний розподіл температур в кладці шахти. Застосовуються також і ребристі плитові холодильники, але охолодження ними менш ефективно для масиву кладки і вони більш підходять до тонкостінної футеровки. Часто руйнування кладки

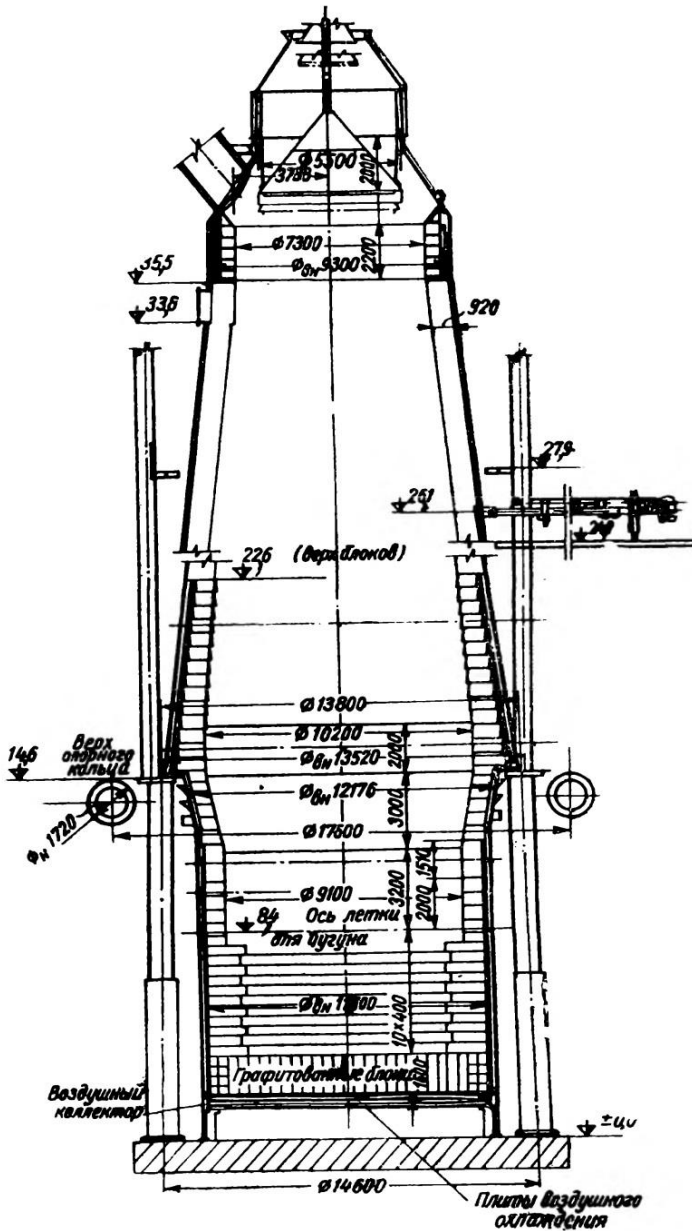


Рис. 3.10. Цилиндричний кожух поду і горна доменної печі Кузнецького металургійного комбінату.

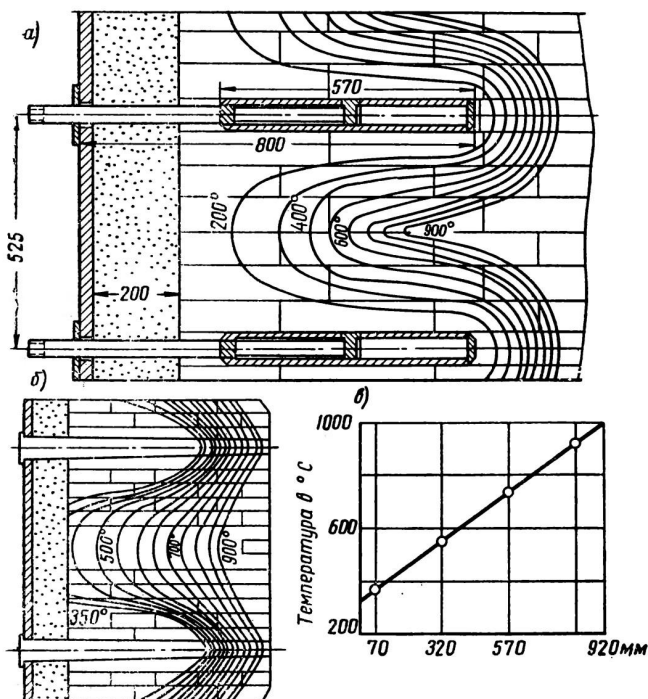


Рис. 3.11. Зразкове розподілення температури в кладці шахти.

- а – розподіл температури в кладці шахти, охолоджувальними горизонтальними плаваючими холодильниками, розташованими суцільним кільцем;
- б - теж, що охолоджуються горизонтальними холодильниками, закладеними в амбразури і розташованими в шаховому порядку;
- в – графік розподілу температур в кладці неохолоджуваної частини шахти

починається внизу шахти і в зоні распара. Тому охолодження цих місць і створення умов, що зменшують стирання футерування шляхом створення гарнісажа, особливо важливо.

Іноді ставлять кронштейнові холодильники. З метою установки цих холодильників треба вирізати в кожусі великі амбразури, які дуже ослаблюють його. Крім того, ці холодильники, маючи досить велику вертикальну жорсткість, пов'язують роботу кладки і кожуха в вертикальному напрямку. При температурному зростанні кладки шахти вона починає тягнути вгору також і кожух, а так як місць концентрації напружень (у вигляді прямокутних вирізів для амбразур) багато, виникають умови для появи тріщин. То-

му застосування кронштейнових холодильників в поєднанні з іншими причинами (відкладення цинку, порушення нормальної експлуатації і ін.) Може іноді привести до аварії.

На рис. 3.12 показана велика аварія однієї з доменних печей, де розірвало кожух шахти і вогняна шихта вивалилася вниз. Тріщини з'єднували отвори для кронштейнових холодильників.

Вплив взаємних зв'язків кожуха і кладки, що перешкоджають їх відносному переміщенню в вертикальному напрямку, особливо несприятливо позначається в тих печах, де використовуються цинкоутримуючі руди. Нагріваючись в печі, цинк або його окис переганяється, а при проходженні через більш холодні шари в нижній частині шахти конденсується у вигляді цинку, а у верхній – цинкита. При проникненні цинку в шви і тріщини кладки він відкладається в них, збільшуючи зростання кладки. У вертикальному напрямку кладка може вирости до 200-400 мм за кампанію; при жорсткому зв'язку холодильників з кожухом неминучі розриви кожухів з утворенням горизонтальних тріщин. При горизонтальних плитових (плаваючих) холодильниках кладка також пов'язана з кожухом, але при зростанні кладки відбувається зріз водяних трубок, і частина холодильників пропадає. Хороших конструктивних рішень, що забезпечують і охолодження кладки, і нормальну роботу кожуха, поки що немає.

Мораторної кільце розділяє верх печі з товстостінної кладкою і її низ з тонкостінної футеровкою. Умови експлуатації і температурний режим, а як наслідок цього і переміщення конструкцій, зокрема вертикальні, обох згаданих ділянок печі різні. Вага конструкцій шахти і частково шихти в перший період роботи печі передається на фундамент частиною через колони, а частиною через інші конструкції горна. Мораторне кільце дозволяє поліпшити передачу цієї ваги через колони і сприймає розпір від їх похилого положення. Мораторне кільце не можна прикріплювати болтами до колон, так як при різній величині вертикальних переміщень кожуха нижньої частини печі і колон горна мораторне кільце може працювати на вигин і можливий відрив болтів. Болти на мораторі мають установче значення і повинні працювати лише на зріз від горизонтальних навантажень.

Випадки відриву мораторного кільця від колон з розвитком в них, а також в ряді місць кожуха шахти напруг, що розтягують після розігріву печі викликали необхідність розробити пропозицію про влаштування безмораторної печі. Однак це вимагає перебудови футерування і системи хо-

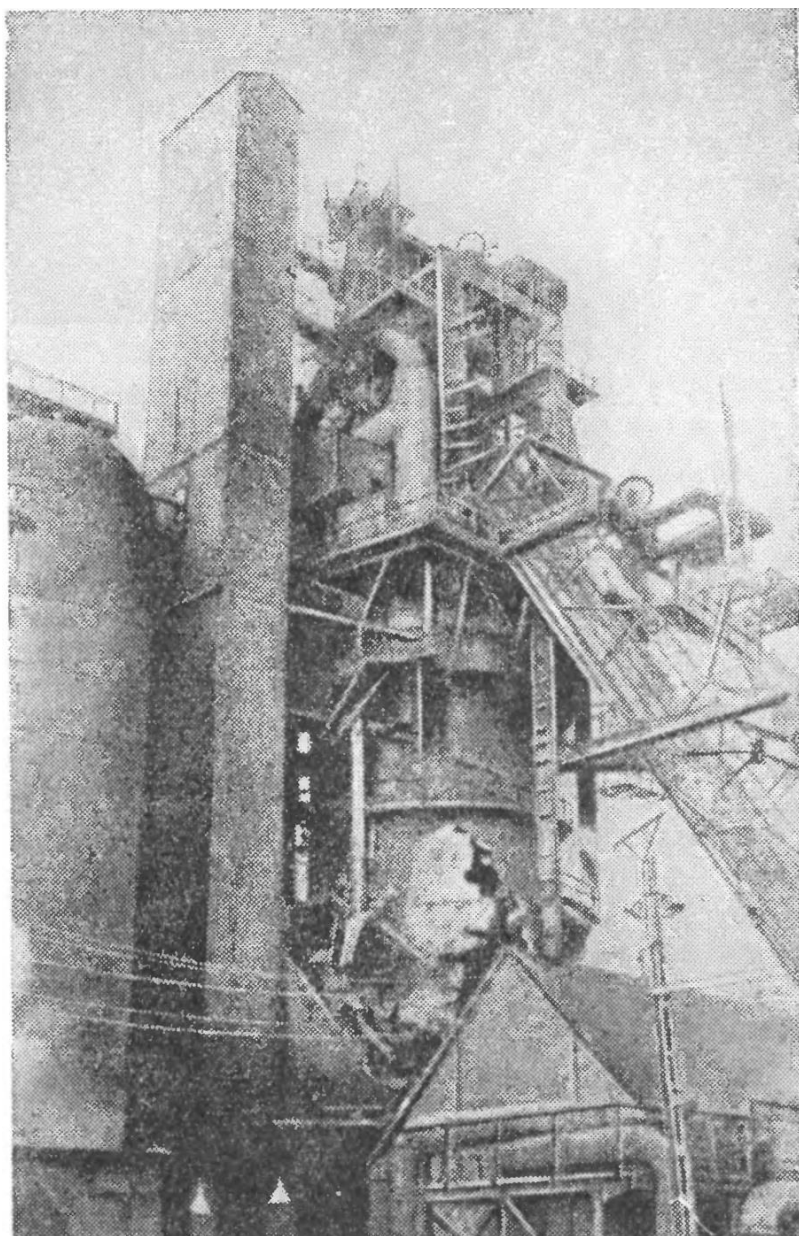


Рис. 3.12. Розрив кожуха шахти в процесі експлуатації

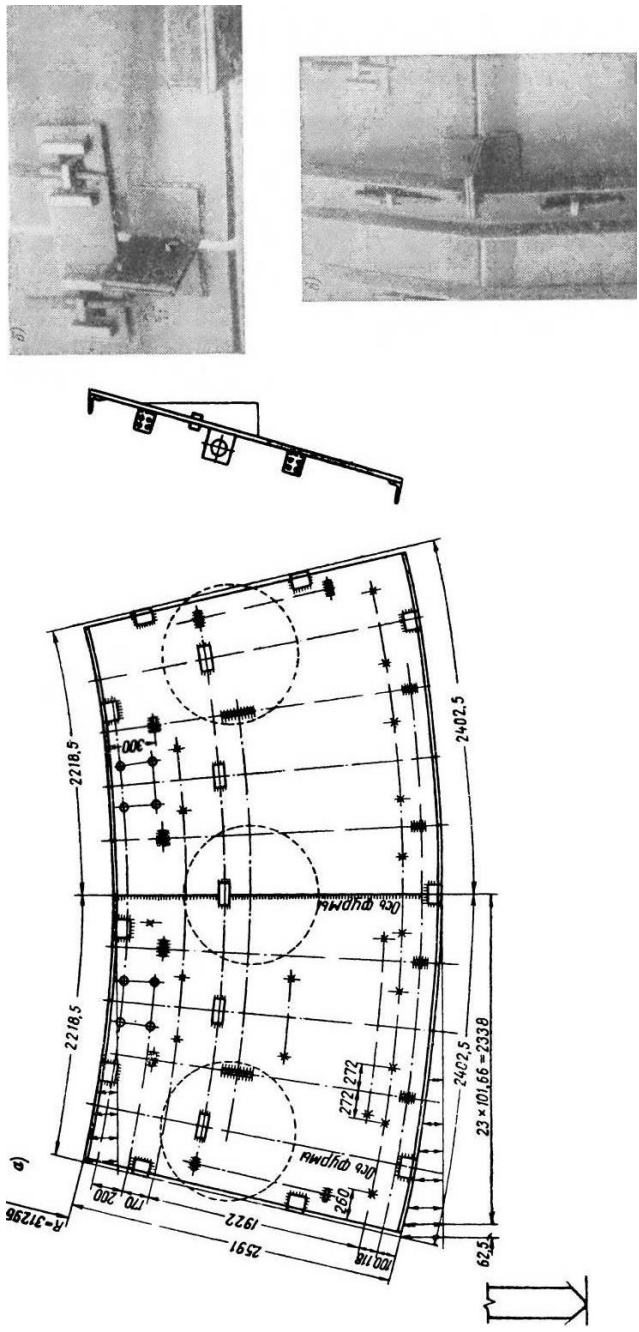


Рис. 3.13. Монтажні елементи кожуха печі.

а – робоче креслення елемента кожуха; б - куточки -фіксатори і стягувальні планки;

в – монтажне пристосування.

лодильників, так як в період роботи печі вага футерування і інших конструкцій шахти передається на лещадь і фундамент через кожух горна і конструкцію плитових периферійних холодильників. Питання про можливість такої передачі поки залишається дискусійним.

Колошник і купол печі знаходиться безпосередньо над шахтою. Футеровка колошника сильно стирається від засипки руди. Тому нагорі з внутрішньої сторони кладки влаштовують сталеві (рідше чавунні) захисні плити підвісного типу; купол захищений тільки футеровочними плитами. Товщину кожуха колошника і купола беруть 28-30 мм.

### **3.3. Конструкції для подачі шихтових матеріалів**

#### **3.3.1 Загальні відомості**

Найбільш поширеним способом завантаження печі є подача сирих шихтових матеріалів на її колошник спеціальними відкритими вагонетками, так званими скипами, які рухаються по підйомнику. У деяких випадках, особливо для завантаження доменних печей великого об'єму, застосовується похила галерея стрічкового конвеєра.

Скіповий підйомник, за яким в циклічному режимі рухаються скіпи, званий ще колошниковим підйомником або похилим мостом, встановлюється під кутом, приблизно  $50-60^\circ$  до горизонту, при ухилі проїзної частини моста в скіповій ямі –  $60^\circ$ . Скіп є вагонеткою (рис. 3.14) з подовженим кузовом, передніми і задніми скатами. Кріплення тягових канатів скіпової лебідки до скіпу виконано за допомогою спеціального упряжного пристрою. Кузов скіпа виготовляється з листової сталі товщиною 10-12 мм. Для захисту від стирання внутрішня поверхня скіпа футерована плитами з марганцевістої сталі. Для полегшення вивантаження матеріалів кузов має клиноподібну форму, що розширюється до вихідного отвору і звужується до торця.

Пересування скіпа здійснюється по рейках, укладених на несучих конструкціях моста, за допомогою тросів спеціальною скіповою лебідкою з тяговим зусиллям понад 400 кН. Ємність скіпа залежить від обсягу печі і досягає  $20 \text{ м}^3$ , власна маса скіпа доходить до 30-35 т, а маса навантаженого

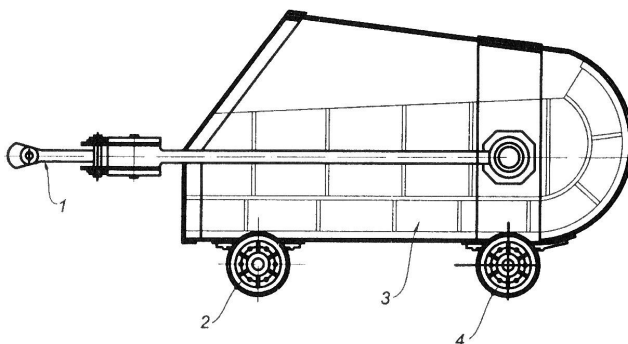


Рис. 3.14. Скіповий візок:

- 1 – упряж для кріплення тягових канатів;
- 2, 4 – передні і задні скати відповідно; 3 – кузов

скіпа – до 70-75 т. В той час як по одному шляху похилого мосту піднімається навантажений скіп, по іншому - скіп, вільний від вантажу, опускається в скіпову яму для завантаження, ніж створює додаткове тягове зусилля в канаті підйому навантаженого скіпа.

Верхня частина шляхів похилого мосту є розвантажувальною ділянкою і називається перекидаючим пристроєм. На цій ділянці рейковий шлях роздвоюється на дві криволінійні гілки: нижню – для передніх і верхню – для задніх коліс скіпа. Форма розвантажувальних кривих повинна забезпечувати плавний вихід скіпа на розвантажувальну ділянку мінімальної довжини.

Раніше по всій довжині руху скіпа встановлювалися направляючі – контррейки, що перешкоджають його сходженню з рейок. Останнім часом контррейки встановлюють тільки в місцях завантаження скіпів – в скіповій ямі і розвантаження – на перекидуючі пристрої.

Передні і задні скати скіпа відрізняються між собою тільки бігунками. У передньому схилі бігунки мають внутрішні реборди, а реборда бігунків заднього ската розташована посередині обода. Внутрішньої своєю частиною бігунки заднього ската котяться протягом майже всього шляху по тим же рейкам, що і передній скат. Тільки при переході на розвантажувальні криві бігунки своєю зовнішньою частиною починають котитися по додатковим зовнішнім рейкам розвантажувальної (перекидального) ділянки. В цей же час бігунки переднього ската продовжують рух по внутрішнім рейкам, що призводить до перекидання скіпа в верхній частині моста і зси-

пання матеріалів в прийомну воронку завантажувального пристрою (рис. 3.15.). У цей момент на кінці мосту і в канатах підйому навантаженого скіпа виникає динамічна сила, пов'язана з майже миттєвим розвантаженням скіпа. Ця сила за величиною близька до маси шихти в скіпі, але спрямована вгору. Тому скіпові шківни для тросів розташовують на самому мосту, а не на копрі печі, як було раніше, щоб не передавати динамічні дії від тросів на копер в момент розвантаження скіпа і, тим самим, не наражати на розгойдування штанги підвісних конусів печі.

Для доменних печей об'ємом понад 3000 м<sup>3</sup>, експлуатація яких потребує великого обсягу шихтових матеріалів, скіпові підйомники не в змозі забезпечити необхідний обсяг завантаження печі. Для доменної печі об'ємом 3200 м<sup>3</sup> була розроблена і здійснена схема подачі сирих шихтових матеріалів на колошник печі двома скіповими підйомниками, розташованими в плані під кутом один до одного, але, незважаючи на успішну експлуатацію, широкого застосування вона не знайшла.

Надалі для доменних печей об'ємом 5000 м<sup>3</sup> і 5580 м<sup>3</sup> була застосована подача шихтових матеріалів на колошник печі безперервним стрічковим конвеєрним транспортером.

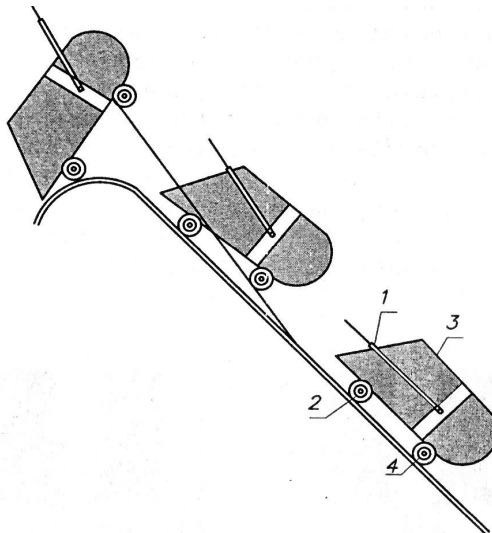


Рис. 3.15. Схема руху скіпа вгору:

- 1 – упряж для кріплення тягових канатів;
- 2, 4 – передні і задні скати відповідно; 3 – кузов

### 3.3.2. Скіпові підйомники

Однією з ознак класифікації похилих мостів (скіпових підйомників) є тип їх поперечних перерізів, які бувають закритими і відкритими.

Система закритого типу (рис. 3.16, а), що застосовується тривалий час, з поздовжніми несучими елементами у вигляді стрижневих ферм, з системою зв'язків по верхніх поясах поздовжніх елементів, що обмежують внутрішній габарит мосту, має значну (до 5,0-5,5 м) практично завжди не-габаритну для транспортування висоту поперечного перерізу. Це викликано необхідністю забезпечення внутрішніх розмірів, достатніх для проходу скіпів і тросів в габаритні до горизонтальних зв'язків по верхніх поясах ферм, і вимогою мінімальних деформацій моста у вертикальній площині під навантаженням.

Система відкритого типу (рис 3.16, б) з поздовжніми елементами у вигляді габаритних для транспортування суцільностінчатих балок, що знайшла широке застосування, вимагає при компонуванні комплексу певних умов для установки однієї або двох опор моста, з метою зменшення прольотів балок і забезпечення габаритної для транспортування висоти. На (рис. 3.17) показаний просторовий блок такого моста в стадії монтажу.

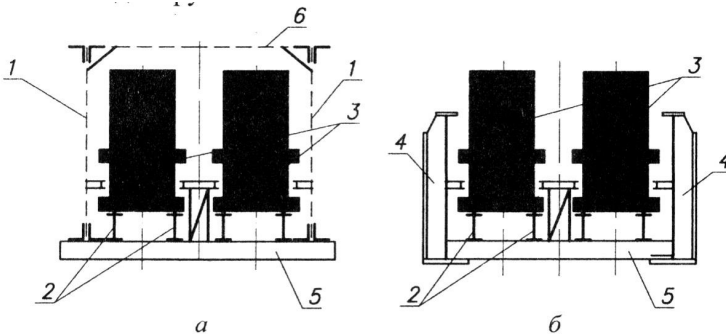


Рис. 3.16. Поперечні розрізи похилих мостів:

а – закритого типу; б – відкритого типу;

1 – несучі ферми прогонових будов; 2 – поздовжні підрейкові балки;

3 – скіпи; 4 – несучі балки прогонових будов; 5 – поперечні

балки проїжджої частини; 6 - система зв'язків

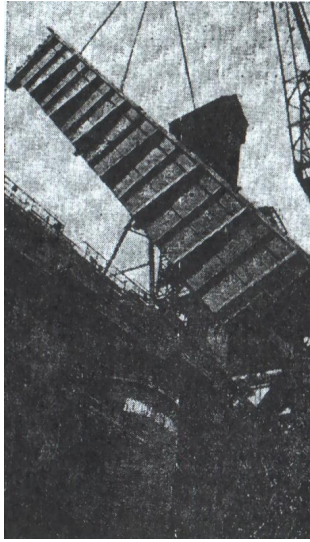


Рис. 3.17. Просторовий блок моста відкритого типу в стадії монтажу

За конструктивною формою в поперечному перерізі похилий міст являє собою просторову систему, що складається з двох несучих поздовжніх елементів у вигляді суцільностінчатих балок, з'єднаних між собою в рівні нижнього пояса поперечних балок і зв'язків (рис. 3.18).

По поперечних балок влаштовується проїжджа частина моста у вигляді поздовжніх підрейкових балок з встановленими на них залізничними рейками, по яких переміщуються скіпи. Для збереження постійної відстані між рейками через 2 м влаштовують тяжі, що з'єднують попарно поздовжні балки.

Кріплення рейок, як правило, типу КР-80, виконується з урахуванням необхідності їх рихтування та заміни після зносу (рис. 3.19). Для стійкості поздовжніх балок і запобігання перекидання вони закріплюються в поперечному напрямку в вузлах спирання.

Просторова жорсткість моста закритого типу забезпечується системами зв'язків по верхніх і нижніх поясах поздовжніх ферм і замкнутими поперечними рамами, а моста відкритого типу – незамкнутими поперечними рамами, створеними поперечними балками, жорстко прикріпленими до вертикальних ребрах головних балок.

Знизу міст закривають листом товщиною 4-6 мм для захисту простору під ним від випадкового випадання матеріалу з скіпа. Для пересування об-

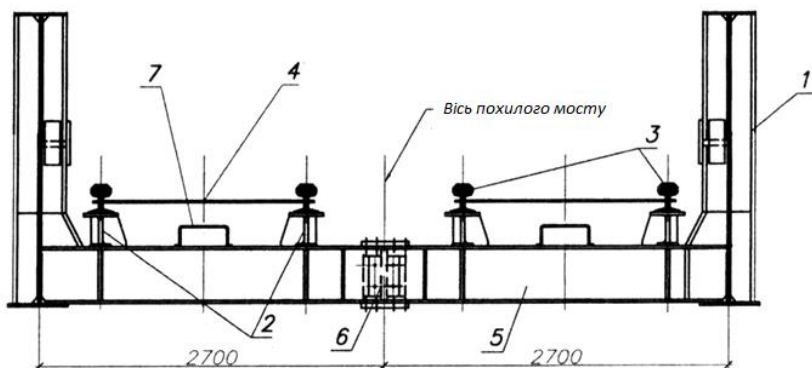


Рис. 3.18. Конструктивна форма похилого мосту відкритого типу:  
 1 – несучі поздовжні балки; 2 – підрейкові їздові балки; 3 – рейки;  
 4 – стяжні елементи; 5 – поперечна балка; 6 – монтажний стик  
 поперечної балки; 7 – скоби (ступені) для проходу по мосту.

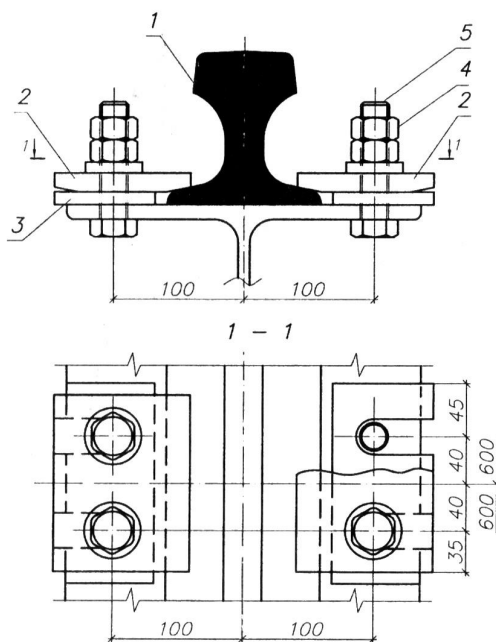


Рис. 3.19. Вузол кріплення рейок:  
 1 – рейка; 2 – притисна планка; 3 – упорна планка;  
 4 – гайки; 5 – болти кріплення.

слуговуючого персоналу з цього похилому настилу до нього між шляхами скіпів привариваються ступені, в більшості випадків у вигляді скоб.

Ширина моста залежить від габариту скіпа і розмірів задньої рами колошникового копра, між колонами якого проходить міст. Для забезпечення вільного проходу скіпа з урахуванням можливого зимового намерзання льоду приймаються наступні проектні зазори між крайніми точками кузова скіпа і найближчими точками конструкцій:

- збоку скіпа на всьому шляху руху по мосту - 150 мм;
- збоку скіпа на шляху руху по перекидаючому устрою - 50 мм;
- зверху скіпа - 250 мм.

З урахуванням можливої неточності виготовлення конструкцій зазор між поздовжніми несучими елементами моста і гранями колон копра приймається 150 мм.

Компонування несучих конструкцій моста, елементів проїжджої частини та зв'язків залежить від розташування скіпової і конусної лебідок і, відповідно, їх тросів. Практично завжди, щоб уникнути перетину тросів з елементами металоконструкцій, цей критерій є визначальним при визначенні габаритів елементів і конструкцій, розстановці зв'язків тощо.

З огляду на вібрації і прогини тросів між їх віссю і гранню конструкції приймаються такі проектні зазори:

При куті нахилу троса до горизонту від 20 до 60°:

- знизу троса - 250 мм;
- збоку і зверху троса - 150 мм.

При куті нахилу троса до горизонту 90°:

- знизу, збоку і зверху троса - 150 мм.

При проміжних значеннях кутів нахилу тросів величина зазорів визначається за допомогою інтерполяції.

Зазначені величини зазорів наведені для точок тросів далеко від місць їх закріплення, поблизу таких місць розміри зазорів можуть бути зменшені.

На головних балках моста для обпирання канатних шківів встановлюються так звані підшківні пристрій – етажерки з опорними балками і майданчиками.

Для проходу до цих майданчик вздовж моста з двох сторін влаштовуються драбини з перехідними площадками, які кріпляться до поздовжніх несучих елементів мосту досить часто, з огляду на вібрації.

### 3.3.3. Основні схеми мостів скіпових підйомників

За статичною схемою мости бувають статично визначні – розрізні і статично невизначені – нерозрізні.

Зі конструктивною схемою спирання похилі мости бувають однопрольотні, як правило, з консоллю, двопрольотні нерозрізні з консоллю і двопрольотні розрізні з консоллю (рис. 3.20).

За однопрольотною схемою (рис. 3.20, а) несучі поздовжні елементи спираються нижнім кінцем на стінку скіпової ями і у верхній частині прольоту на плоску опору - пілон. Далі до колошникового копра і завантажувального пристрою несучі поздовжні елементи є консольними.

За двопрольотною схемою (рис. 3.20, б) поздовжні елементи спираються додатково на верхню опору, встановлену на колошниковому майданчику або на конструкціях чотирехколонника, розташованих в цьому районі. Проміжна опора зсувається ближче до опори на скіповій ямі і спирається, як правило, на ливарний двір, а від верхньої опори до приймальної воронки завантажувального пристрою розташовується невелика консоль моста.

З огляду на відносно невелику висоту пілонів і з метою максимально го наближення їх до роботи за шарнірною схемою, вузли обпирання піло-

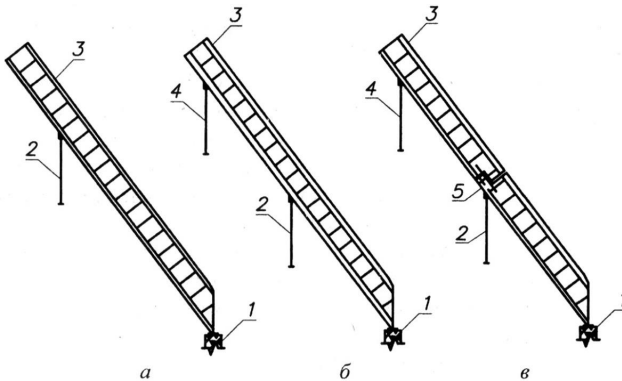


Рис. 3.20. Конструктивні схеми мостів:

- а – однопрольотний з консоллю; б – двопрольотний нерозрізний з консоллю; в – двопрольотний розрізний з консоллю;  
1 – опора мосту на стінку скіпової ями; 2, 4 – нижній і верхній пілони відповідно; 3 – пролітна будова мосту; 5 – шарнір

нів на опорні конструкції можуть вирішуватися за допомогою спеціальних центруючих прокладок, завдяки яким пілони сприймають тільки нормальні і поперечні сили без передачі згинальних моментів (рис. 3.21). Аналогічно вирішуються вузли обпирання головних балок на стінку скіпової ями.

При несприятливих ґрунтових умовах і можливих нерівномірних осадках фундаментів або при необхідності компенсації температурних деформацій високих опор моста поздовжні двопрольотні балки виконуються розрізними статично визначними.

Стик головної балки за нерозрізною схемою вирішується з опорною площиною на нижній балці, на яку спирається верхня балка (рис. 3.22, а).

Розрізна схема забезпечується організацією в районі середнього плоского пілона шарнірного обпирання верхніх прольотів несучих поздовжніх балок моста на нижні прольоти через центруючу підкладку (рис. 3.22, б).

Залежно від співвідношення прольотів балок спирання може бути також вирішено по площині без такої підкладки. У вузлі необхідно передбачити спеціальні упори для передачі на нижню опору складової вертикальних сил, спрямовану вздовж моста.

При нерозрізній схемі можливо також пристрій безперервних поздовжніх балок моста без розриву їх на плоскому пілоні (рис. 3.23)

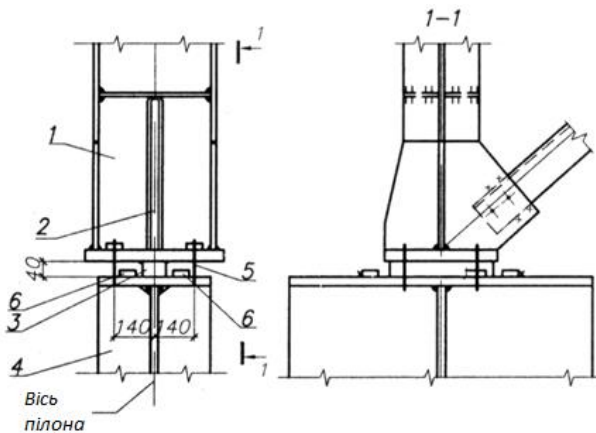


Рис. 3.21. Шарнірний вузол спирання пілона:

- 1 – стійка пілона; 2 – проріз в стінці стійки пілона; 3 – центруюча прокладка; 4 – опорна конструкція; 5 – стяжні болти; 6 – упори

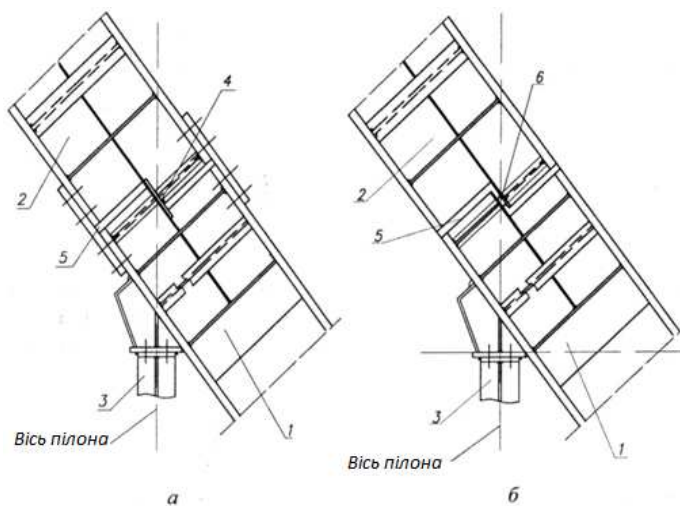


Рис. 3.22. Монтажний стик балки пролітної будови:  
 а – нерозрізна балка; б – розрізна балка;  
 1, 2 – балки нижнього і верхнього прольотів відповідно; 3 – пілон;  
 4 – спирання по площині; 5 – вирізи в балках;  
 6 – центруюча підкладка

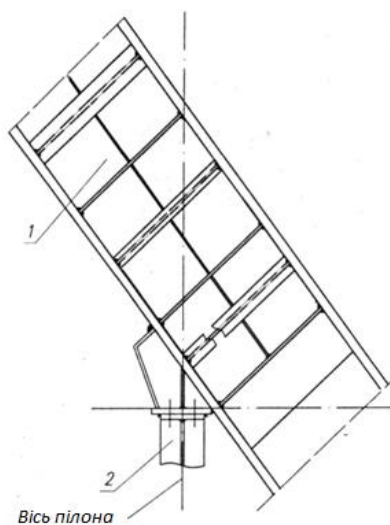


Рис. 3.23. Вузол спирання при нерозрізній суцільній балки:  
 1 – балка прогонової будови; 2 – пілон

### 3.3.4. Міст скіпового підйомника закритого типу

Як правило, мости закритого типу (рис. 3.24) застосовувалися для доменних печей об'ємом до 2000 м<sup>3</sup>. У таких мостах поздовжні несучі елементи виконувалися у вигляді стрижневих ферм висотою 5,0-5,5 м, що дозволяло обмежити їх максимальний прогин не більше 1/800 прольоту або, для консольної схеми, подвійного вильоту консолі. При таких габаритах також забезпечувалася можливість пропуску канатів. Проїжджа частина і шляхи руху скіпів вирішувалися як зазвичай у вигляді балкової клітки, розташованої в рівні нижнього пояса несучих ферм. Проїжджа частина мала вигляд ферми з розкосами зв'язків і стійками, роль яких виконували поперечні балки. Така форма забезпечувала загальну горизонтальну жорсткість моста і сприймала горизонтальні зусилля, що виникають в рівні нижнього пояса несучих поздовжніх ферм.

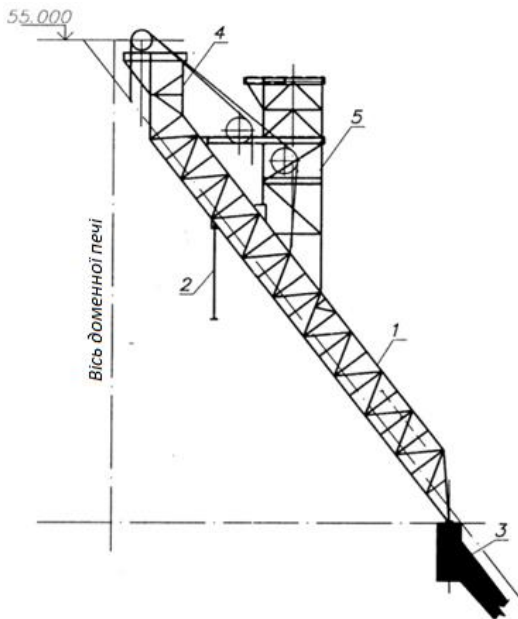


Рис. 3.24. Міст закритого типу:

- 1 – поздовжні ферми; 2 – пілон; 3 – стінка скіпової ями;
- 4 – пристрій для перекидання скіпа; 5 – підшківний устрій

По всій довжині мосту з кроком, приблизно, рівним висоті ферм, влаштовувалися поперечні вертикальні рами, до складу яких входили поперечні балки, стійки поздовжніх ферм і розпірки зв'язків по верхньому поясу. Ці рами за рахунок власної жорсткості, створюваної вузлами сполучення поперечних балок зі стійками ферм, забезпечували стійкість з площини верхніх поясів поздовжніх ферм і створювали рівномірний розподіл горизонтальних сил, передаючи їх на нижню ферму.

Перетини поясів ферм моста і розкосів решітки зазвичай виконуються з двох куточків з додатковими листами на окремих найбільш навантажених ділянках. Стійки, що входять до складу поперечних рам, виконуються з елементів, здатних сприймати згинальні моменти в системі рами.

Мости подібної конструкції споруджені на багатьох доменних печах і добре себе зарекомендували в експлуатації.

До недоліків таких конструктивних рішень слід віднести відносно невисоку стійкість конструкцій проти корозії і їх негабаритність для транспортування - основні конструктивні елементи мостів надходять на монтажний майданчик розсіпом, де збираються в монтажні блоки.

### **3.3.5. Міст скіпового підйомника відкритого типу**

У мостах відкритого типу (рис. 3.25) як однопрольотних, так і двопротітних в якості несучих поздовжніх елементів застосовуються зварні двотаврові балки висотою, що забезпечує транспортування монтажних елементів балок в зібраному вигляді. Слід зазначити, що перехід на суцільні балки замість ферм відбувався поступово. Ферми перестали застосовувати після введення вимог правил техніки безпеки, згідно з якими мости повинні мати суцільну бічну обшивку із сталевих листів.

Через відсутність зв'язків по верхніх поясах поздовжніх балок однією з основних проблем мостів відкритого типу є їх поперечна стійкість. Так як верхні пояси балок мають велику довжину, їх стійкість поперек моста не може бути забезпечена без проміжних закріплень, функції яких в мостах закритого типу виконувала система зв'язків по верхніх поясах головних ферм.

У мостах відкритого типу встановлюються поперечні відкриті (без верхнього ригеля) рами. Нижнім ригелем рами є поперечна балка проїжд-

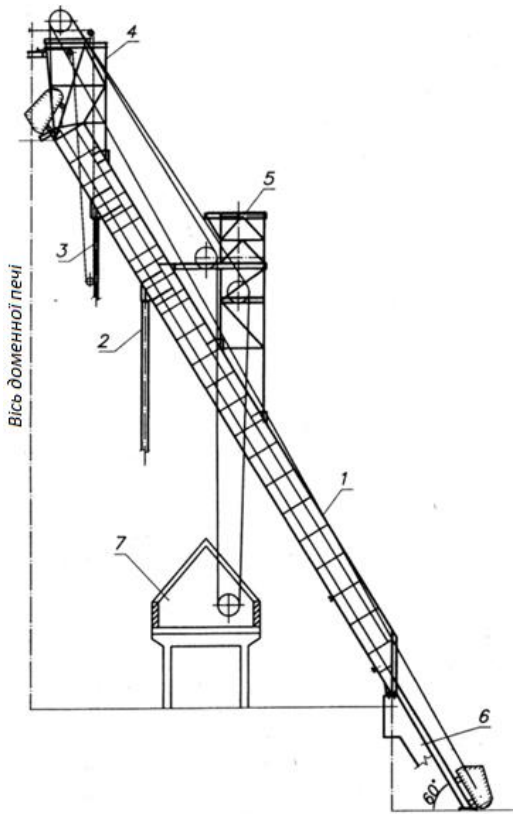


Рис. 3.25. Міст відкритого типу:

1 – балки прольотної будови; 2, 3 – пілони; 4 – устрій для перекидання скіпа; 5 – підшківний устрій; 6 – стінка скіпової ями; 7 – будівля лебідок.

жої частини моста, а стійками – двотаврові в поперечному перерізі елементи, утворені вертикальними тавровими ребрами головних балок і пов'язаними з ними частинами стінок (див. рис. 3.18). Ці рами є упругоподатливими опорами поперек моста для верхнього пояса поздовжніх балок. Жорсткість рам забезпечується жорсткістю вузлів сполучення поперечних балок проїзної частини - ригелів рам з вертикальними стійками рам-ребрами, які визначають розрахункову податливість стійок рам. Відстань між рамами приймається рівним, приблизно, висоті поздовжньої балки. Такі рами встановлюються також в місцях обпирання головних балок на опори.

З огляду на високу відповідальність цих вузлів, слід прагнути до їх повного заводського виготовлення спільно з поздовжніми балками, що, перш за все, залежить від розбивки поперечних балок на монтажні марки. Тут можливі три варіанти.

1 Стик поперечних балок виносять за межі рамних вузлів, об'єднуючи в єдину відправну марку коротку частину поперечної балки і стійки головної балки, забезпечуючи їх габаритність для транспортування. Рамний вузол виконується в заводських умовах (рис. 3.26, а).

До недоліків схеми можна віднести неможливість монтажу проїзджої частини блоками у вигляді двох пар балок зі зв'язками і рейками спільно з поперечними балками і складність транспортування головних балок з частиною поперечних балок.

2 При неможливості організації рамного вузла в заводських умовах і транспортування такої монтажної марки його виконують на місці будівництва. Залежно від умов транспортування поперечна балка може транспортуватися цілком (рис. 3.26, б) або передбачається її стик посередині (рис. 3.26, в). При цьому монтаж проїзджої частини здійснюється блоками повної готовності.

3 Досить широке поширення набула компоновка, при якій поперечна балка має стик посередині, а до її країв на заводі-виробнику приєднують елементи стійки головної балки моста (рис. 3.26, г). В процесі монтажу їх з'єднують між собою, утворюючи жорсткий вузол (рис. 3.27).

Горизонтальна жорсткість моста забезпечується горизонтальної фермою в рівні нижнього пояса поздовжніх балок.

Незважаючи на широке поширення таких мостів, слід зазначити їх значно меншу жорсткість у порівнянні з мостами закритого типу, особливо проти крутіння і крутильних коливань.

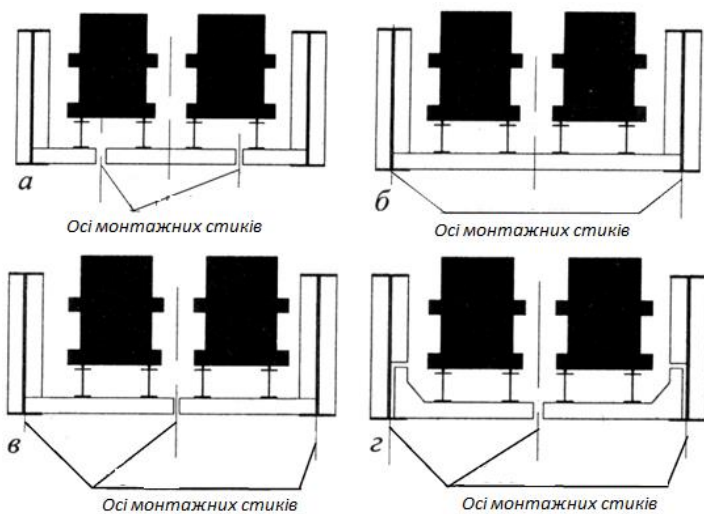


Рис. 3.26. Розбивка проїзної частини на відправні марки:  
а, б, в, г – варіанти розташування стиків поперечних балок

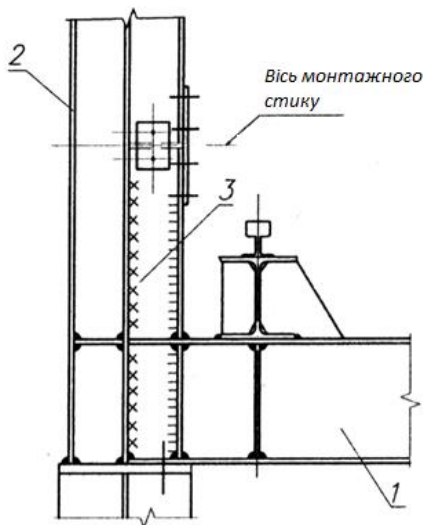


Рис. 3.27. Вузол рамного з'єднання балки проїзної частини  
з балкою прольотної будови:  
1 – поперечна балка проїзної частини; 2 – вертикальне ребро  
поздовжньої балки прогонової будови; 3 - ділянка, що  
поставляється на монтаж разом з поперечною балкою.

### 3.3.6. Конвеєрна подача матеріалів

Несучі конструкції моста під конвеєр можуть бути різними. Для доменних печей об'ємом 5000 м<sup>3</sup> і 5580 м<sup>3</sup> прольотні будови виконані у вигляді круглоциліндричної оболонки (рис. 3.28), діаметр якої розраховується, виходячи з можливих максимальних величин прольотів. Завдяки збільшенню прольотів до 60 м з'явилася можливість повністю використовувати несучу здатність оболонки як балки, що згинається і звести кількість опор галереї і, відповідно, їхніх фундаментів до мінімуму. У зв'язку з насиченістю залізничними коліями району центрального вузла доменної печі таке рішення дозволяє поліпшити його планування.

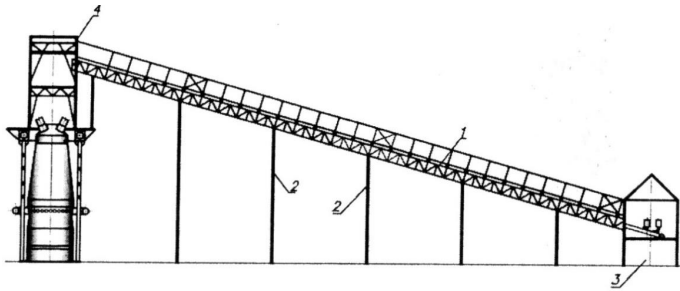
Усередині оболонки (рис. 3.29) розташоване перекриття, на якому встановлений стрічковий конвеєр. Простір оболонки під перекриттям в ряді випадків може використовуватися для подачі повітря з припливної станції на об'єкти доменної печі.

Для природної аерації в оболонці влаштовані поворотні вікна круглої форми – ілюмінатори і патрубки вентиляції.

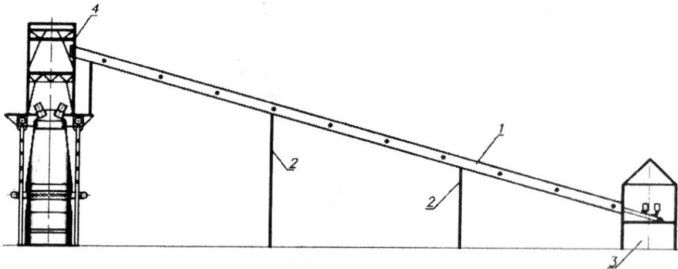
Негабаритна для транспортування оболонка поставляється на монтажний майданчик найчастіше у вигляді рулону і після його розвороту на стенді, подальшого укрупнення і установки перекриття та інших внутрішніх конструкцій монтується на системі опор.

Нерухома опора системи влаштовується в найнижчій точці галереї - на стінці скіпової ями. Всі інші опори виконуються плоскими, які не заважають переміщенню галереї від кліматичних температурних впливів уздовж своєї осі. Спирання оболонки здійснюється через кільцеві ребра жорсткості, які одночасно забезпечують її стійкість в районах максимальних поперечних сил. Поперечні балки полу спираються на проміжні кільцеві ребра жорсткості, які одночасно забезпечують стійкість оболонки і незмінність форми її поперечного перерізу. Ці ребра повинні бути розташовані з кроком не більше двох діаметрів поперечного перерізу оболонки.

В разі небезпеки змерзання шихтових матеріалів галерея проектується утеплений.



*a*



*б*

Рис. 3.28. Галерея для подачі матеріалів в піч:  
 а – ґратчасті прогонові будови; б – теж круглоциліндричних;  
 1 – несучі конструкції пролітної будови; 2 – опори; 3 – перевантажувальний вузол; 4 – колошниковий копер і завантажувальний пристрій

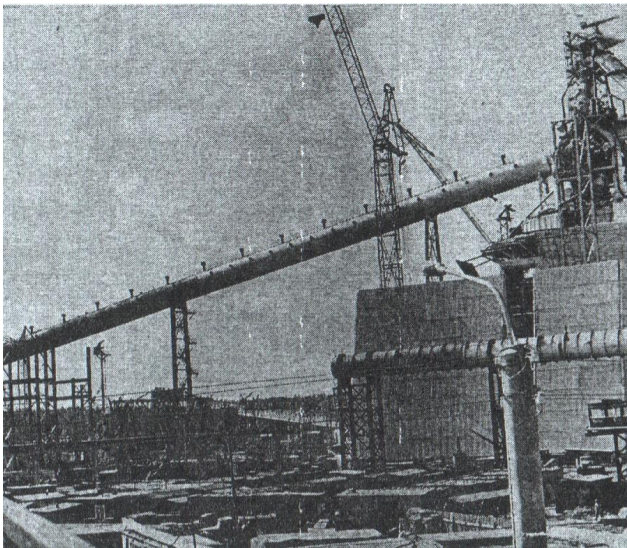


Рис. 3.29. Загальний вигляд галереї подачі на колошник

### 3.4. Допоміжні сталеві конструкції доменного цеху

#### 3.4.1. Пиловловлювачі

У доменних цехах, де печі працювали на низькому тиску і непідготовленою руді, ставили зазвичай два або три пиловловлювача, перший з яких вловлював пил шляхом зміни швидкості проходження пилу в газовідводі і пиловловлювачі, що мають велику різницю в діаметрах: відповідно 2-2,3 м і близько 8-12 м (рис. 3.30). Другий пиловловлювач побудований за принципом циклону, де вдування газу відбувається по дотичній до внутрішньої стінки. Газ потрапляє на виступаючі ребра, де механічно затримуються вдаряючись о них пилинки. Ребра роблять зі сталі з твердою поверхнею проти стирання. Третій пиловловлювач, що залишився тільки на печах старої конструкції, служить як би водяним затвором. Далі газ прямує через газопровід для остаточного очищення в цеху газоочистки.

В даний час завдяки добре підготовленій руді і підвищеного тиску встановлюється один пиловловлювач, що працює за принципом першого (рис. 3.30). Таким чином, пиловловлювач складається з великого циліндра висотою близько 12 м і діаметром 8-12, зверху і знизу має два конуса. Газовідвід вводять всередину пиловловлювача. Кожух, що знаходиться під газовим тиском, роблять товщиною 10-12 мм, а в місцях переходу циліндра в конус через появу крайових згинальних моментів - до 16-20 мм. На (рис. 3.30, б) показані товщини кожуха пиловловлювача. У місці переходу частина оболонки робиться у вигляді тора або конічної вставки.

Внутрішню поверхню кожуха пиловловлювача футерують шамотною цеглою (а іноді жаротривким бетоном). Для підтримки футерування приварюють кільцеві і меридіональні ребра, які одночасно грають роль ребер жорсткості на аварійний випадок можливого вакууму. Вакуум може утворитися через конденсації пари, який іноді вводиться туди, або в результаті несподіваного осідання шихти в печі. Зверху пиловловлювача також встановлюється відтинаючий клапан для перекриття газового надходження з печі в пиловловлювач під час його ремонту. Над клапаном встановлюється невеликий копер для ремонту і зміни клапана.

Навколо пиловловлювача до самого верху передбачають сходи з переходом на майданчики доменної печі. Сходи і настил майданчиків роблять зі смуг 40×40 мм, поставлених на ребро, а не з суцільного рифленого

листа, щоб виключити скупчення пилу. Ширина перехідних майданчиків і сходів 800 мм, висота огорожі 1100 мм.

В сучасних типових доменних печах в багатьох випадках площадки і сходи проєктують стосовно до виготовлення їх на заводі блоками з усіма елементами, вмонтованими в шахти габаритних розмірів, з подальшим відправленням шахт на майданчик будівництва, складанням і монтажем великими блоками.

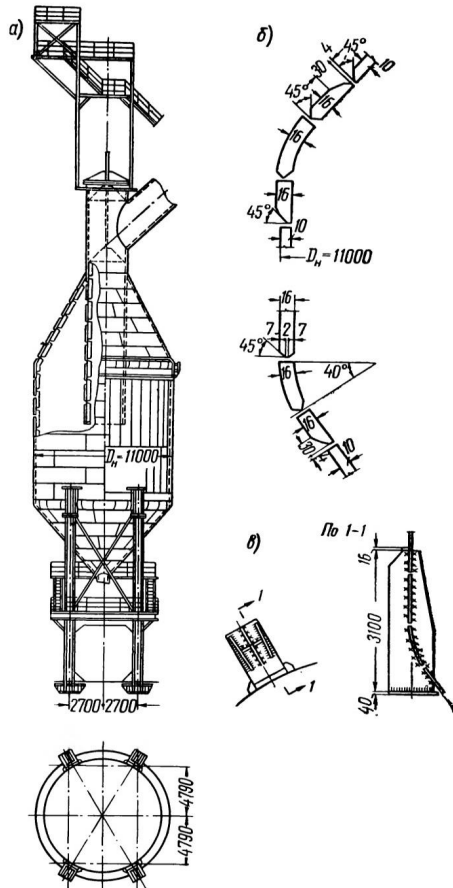


Рис. 3.30. Пилувловлювач:

а- загальний вигляд (ліворуч показаний розкрій кожуха при ручному зварюванні, праворуч – при рулонуванні); б – вузли сполучення конуса з циліндром; в – вузол обпирання кожуха пилувловлювача

### 3.4.2. Повітрянагрівачі

Для роботи доменної печі і підтримки процесу горіння необхідний великий обсяг нагрітого повітря, який примусово вдувається в піч.

Крім участі в технологічному процесі, збільшення температури дуття завжди дає можливість знизити питомі витрати коксу при виплавці чавуну, так як вдування холодного або недостатньо нагрітого повітря супроводжується певною витратою тепла на його нагрівання всередині печі до температури горнових газів.

Економія коксу в міру збільшення температури дуття неоднакова і на кожні  $100^{\circ}\text{C}$  вона поступово зменшується. Скорочення витрат коксу при підвищенні температури дуття збільшує продуктивність доменної печі.

У таблиці 3.1 показаний економічний ефект від зростання температури дуття на кожні  $100^{\circ}\text{C}$  її підвищення, визначений в результаті багаторічної практики роботи доменних печей із застосуванням високонагрітого дуття.

Таблиця. 3.1 Економічний ефект від збільшення температури дуття.

Інтервал температур, $^{\circ}\text{C}$	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Економія палива і збільшення продуктивності, %	5,0	4,5	3,0	2,5	2,0

Оптимальна температура дуття знаходиться в межах  $1500^{\circ}\text{C}$ . Залежність економічного ефекту від підвищення температури дуття показана на рис. 3.31.

Для забезпечення доменної печі дутт'євим повітрям створюється блок з 3-х або 4-х апаратів - повітрянагрівачів, в яких нагрівають повітря до  $1100-1500^{\circ}\text{C}$ .

Серед багатьох типів повітрянагрівачів найбільше застосування отримали повітрянагрівачі з вбудованою всередину камерою горіння, виконані у вигляді однієї або декількох циліндричних оболонок зі сферичним куполом (рис. 3.32, а, б). В останні роки досить широко застосовуються безшахтні повітрянагрівачі (рис. 3.32, в).

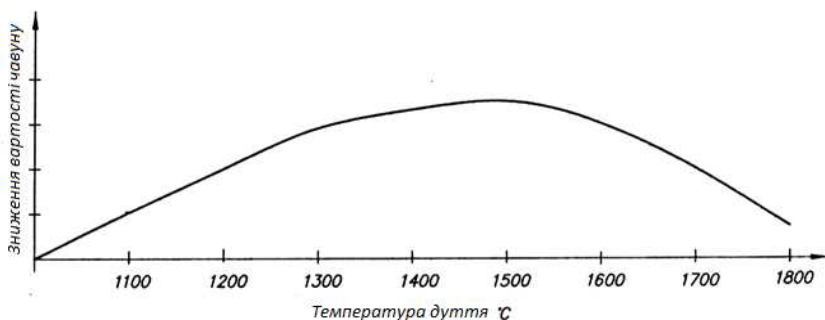


Рис. 3.31. Економічна ефективність підвищення температури дуття.

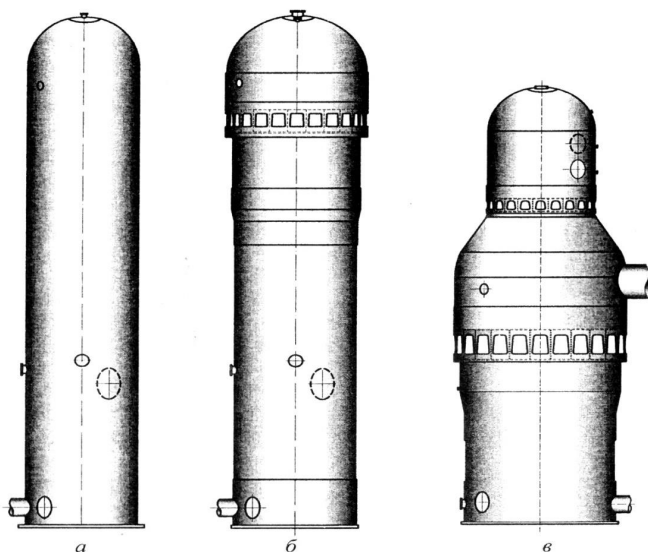


Рис. 3.32. Типи повітрянагрівачів з внутрішньою камерою горіння: а – низькотемпературний; б – високотемпературний; в – бесшахтний

У ряді випадків застосовуються повітрянагрівачі у вигляді двох розділних циліндричних оболонок різних діаметрів, одна з яких є окремою винесеною камерою горіння, а друга – камерою, де розміщені блоки насадки (рис. 3.33).

Повітрянагрівачі працюють циклічно. Цикл роботи починається з нагрівання насадки гарячими газами. У період нагрівання через газовий пальник подається суміш очищеного доменного газу з природним газом і повітря, необхідний для горіння.

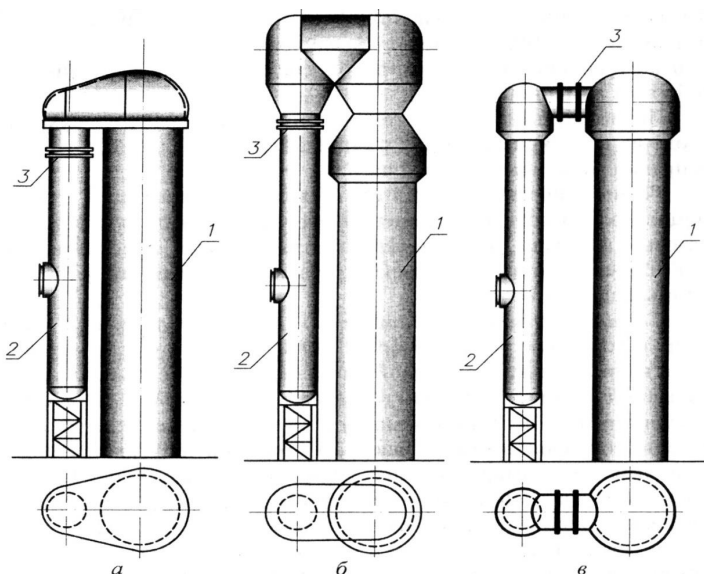


Рис. 3.33. Типи повітрянагрівачів з винесеною камерою горіння:  
 а – фірми Didier Werke; б – фірми Kӧppers;  
 в – фірми Martin & Pagenshtecher;  
 1, 2 – камери насадки і горіння відповідно; 3 – компенсатор

Утворені в результаті горіння гарячі продукти піднімаються вгору по камері горіння, проходять підкупольний простір і під дією тяги димаря рухаються вниз по каналах насадки. Проходячи по ним, продукти горіння віддають тепло блокам насадки, нагрівають їх, за рахунок чого акумулюється велика кількість тепла. Продукти горіння виходять з повітрянагрівача через димові клапани в димовий борів або димар і звідти - в димову трубу. У міру нагрівання насадки процес теплопередачі сповільнюється, і температура відхідних газів поступово підвищується. При досягненні температури димових газів на виході з насадки  $400^{\circ}\text{C}$  нагрів припиняється. Період нагріву повітрянагрівача триває 3-4 години.

Як правило, блок повітрянагрівачів включає три апарати. При наявності чотирьох повітрянагрівачів три з них одночасно нагріваються, а четвертий, раніше нагрітий, подає гаряче повітря в доменну піч.

Після досягнення заданої температури купола припиняється нагрів і повітрянагрівач ставиться «на дуття». При цьому відключається паливник,

зачиняються димові клапани. Холодне повітря під тиском 0,3-0,4 МПа, створюваним повітродувної машиною, по повітряпроводу холодного дуття подається в піднасадочний пристрій і далі в канали насадки. Піднімаючись вгору по каналах насадки, він відбирає закумульоване тепло, нагрівається, проходить підкупольний простір і з температурою 1100–1450°С через повітропровід гарячого дуття потрапляє в кільцевий повітропровід, з'єднаний з фурменними приладами доменної печі.

Період дуття триває до тих пір, поки температура повітря на виході з повітронагрівача не знизиться до заданої, яка, як правило, становить 1-1,5 години.

Технологічно до складу блоку повітронагрівачів входять станція подачі повітря горіння, що забезпечує подачу повітря до газових пальників, і встановку утилізації тепла, що використовує відпрацьовані відходячі нагріті повітря і гази для відбору тепла в промислових цілях.

### **3.4.3. Забезпечення надійності кожухів повітрянагрівачів**

Для повітрянагрівачів основною умовою довговічності є забезпечення експлуатаційної тривалої надійності кожуха. Його складний напружений стан пов'язаний з умовами роботи, які визначаються такими головними чинниками:

- циклічно діючий тиск повітряного середовища;
- зусилля від прилеглих газо- повітропроводів;
- термічні і механічні дії футерування, що розширюється;
- загальний і локальний вплив високих температур;
- можливе виникнення лужної або межкристалічної корозії.

Кожен з цих факторів незалежно від загального напруженого стану може привести до несправності конструкції, а в деяких випадках - до відмови і аварійної ситуації.

Кожух повітронагрівача є комплексною конструкцією, яка представляє собою багат шарову оболонку з неоднорідними шарами - «кожух – компенсаційний шар – футеровка». Кожен з них виконує свою функцію, іноді неоднозначну:

- футерування захищає кожух від впливу високих температур і одночасно створює одну з основних навантажень на нього, викликану її термічним розширенням;
- компенсаційний шар дозволяє радіальне і вертикальне розширення футеровки, дає їй необхідну свободу, знижуючи вплив на кожух;
- кожух забезпечує герметичність і сприймає всі види навантажень, основними з яких є надмірний внутрішній тиск і термічне розширення футеровки, а також створює в ній стискаючі зусилля, необхідні для запобігання передчасного розтріскування.

Відсутність обґрунтованої статистики відмов не дозволяє визначити досить чіткі критерії забезпечення надійності кожуха і футерування, що ускладнюється особливостями конструктивної форми, головна з яких – це неможливість резервування несучих елементів.

У зв'язку з цим, досить ефективним з точки зору забезпечення елементної надійності виявляється підхід, що включає заходи щодо її підвищення для окремих елементів і деталей конструкцій. З урахуванням постійної інтенсифікації технологічних процесів і підвищення експлуатаційних параметрів цей підхід включає такі основні напрямки:

- вдосконалення конструкції футеровки з метою забезпечення мінімальних впливів на кожух, максимального його термічного захисту та забезпечення власної міцності;
- застосування для кожуха листового прокату з високоміцної сталі, що володіє високою міцністю, пластичністю і низькою схильністю до охрупчівання;
- установка компенсаторів на прилеглих до повітронагрівачі газо-повітропроводах, особливо на повітропроводі гарячого дуття;
- проведення систематичних інструментальних спостережень і контролю напружено-деформованого стану кожуха, а також пов'язаного з їх результатами управління технологічним процесом.

Значною мірою на напружений стан кожуха впливають його товщина, фізико-механічні якості футеровки, величина і матеріали компенсаційних зазорів.

Міцність кожуха також залежить від температури зовнішнього повітря, так як виникнення тріщин може передувати різке і значне зниження температури зовнішнього повітря до мінус 25–35°С.

### 3.4.4. Конструктивні особливості повітрянагрівачів

*Повітрянагрівач з внутрішньою камерою горіння.* Конструктивно повітрянагрівач з внутрішньою камерою горіння вирішено у вигляді циліндричної посудини діаметром 8-10 м зі сферичним куполом і плоским днищем. Його висота визначається необхідним обсягом насадки і становить 30-40 м.

На рис. 3.34 показано принципове технічне рішення низькотемпературного повітрянагрівача, призначеного для нагрівання повітря під куполом до 1000–1200°С. Як вже зазначалося, у зв'язку з відносно невисокою температурою стінки по всій її висоті мають однакову товщину, а кожух - постійний діаметр.

У внутрішньому просторі повітрянагрівача розташована вертикальна стінка, яка не доходить до верху і розділяє обсяг на дві частини - камеру горіння і камеру насадки. Вгорі розташовано підкупольний простір, що з'єднує обидві частини повітрянагрівача в єдиний об'єм.

У камері горіння, що займає 15-20% загальної площі поперечного перерізу повітрянагрівача і має різні форми свого поперечного перерізу, відбувається утворення газоповітряної суміші і її згорання.

Основний обсяг повітрянагрівача - камера насадки - заповнений вогнетривкими блоками, в яких для збільшення поверхні нагрівання розташовані отвори, що утворюють в масиві насадки суцільні вертикальні канали перетином, наприклад, 45×45 мм, крізь які знизу вгору проходить нагріте повітря.

Призначення насадки - акумуляція тепла під час нагрівання повітрянагрівача і віддача його повітря, яке нагрівається.

Блоки насадки в нижній частині нагрівача спираються на піднасадочний пристрій у вигляді металевої решітки, розташованої на чавунних колонах, встановлених на днище повітрянагрівача.

Зсередини кожух захищений футеровкою - багат шарової вогнетривкої стіною, яка захищає його від термічних впливів і зменшує тепловтрати. Футеровка включає в себе вогнетривку цеглу різних марок, компенсаційні шари з деформативних і вигоряючих при розігріві повітрянагрівачів матеріалів. З метою поліпшення деформативності футерування при нагріванні в 80-і роки ХХ століття для компенсаційного шару були розроблені пружні вогнестійкі муллітокремнеземні плити, що володіють високим коефіцієн-

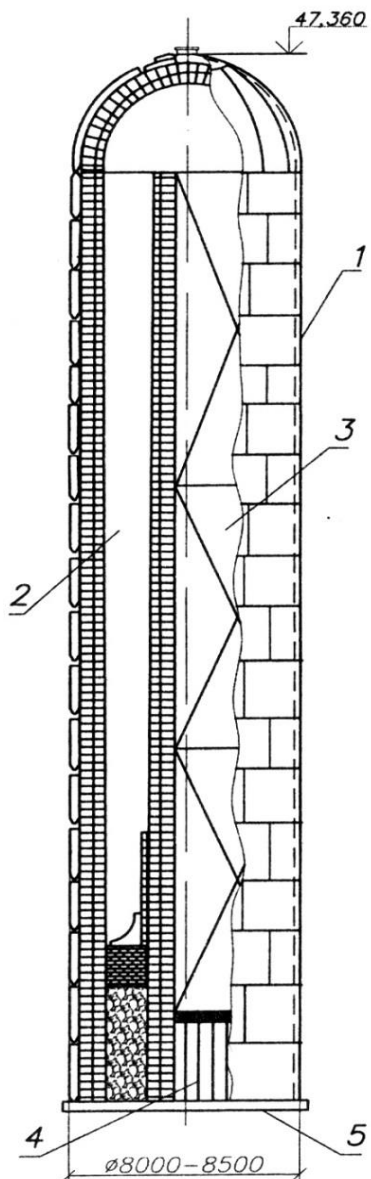


Рис. 3.34. Низькотемпературний повітрянагрівач:  
 1 – кожух повітрянагрівача; 2 – камера горіння; 3 – камера насадки;  
 4 – піднасадочний пристрій для обпирання насадки; 5 – днище

том деформативності під навантаженням в умовах термічних впливів. Застосування цих плит на заміну раніше використовуваної трепельної крихти або засипання з суміші азбесту і гранульованого шлаку в значній мірі поліпшило напружено-деформований стан кожуха нагрівача.

Між стінами і кожухом може виконуватися набризг з торкрет-бетону або укладатися трепельне (теплоізоляційні ний, що має низький коефіцієнт теплопровідності) цегла товщиною 65 мм.

Стіни камери горіння викладаються в два шари без перев'язки: зовнішній товщиною 230 мм з шамотного цегли і внутрішній – товщиною 345 мм з високоглиноземисті або динасового цегли. Купол викладається з одного ряду високоглиноземисті цегли товщиною 450 мм, одного ряду легкого шамотного цегли товщиною 113 мм і одного ряду шамотної цегли товщиною 123 мм. Між кожухом купола і кладкою залишається зазор в 300-500 мм для компенсації температурного зростання кладки.

**Високотемпературний повітрянагрівач.** Високотемпературний повітрянагрівач призначений для нагріву повітря до  $1400^{\circ}\text{C}$ , має конструктивні особливості (рис. 3.35). Основна відмінність полягає в автономному обпиранні стіни кладки купола, доведеної до низу високотемпературної зони агрегату і, тим самим, збільшує товщину стіни в цій зоні. Для розміщення додаткових шарів вогнетривкої кладки, відокремлених від основної кільцевої кладки і здатних при нагріванні незалежно переміщатися вгору, не викликаючи її пошкодження, діаметр кожуха у верхній його частині, відповідно, більше ніж у нижній.

Вогнетривка кладка купола спирається на спеціальну опорну кільцеву балку, що входить до складу кожуха і сполучає його нижню і верхню частини. Радіальне розширення стін тут компенсується пристроєм компенсаційних шарів з мулітокремнеземні матів і установкою в вертикальних швах кладки дерев'яних прокладок, що вигоряють в міру розігріву кладки, дозволяючи їй розширюватися в кільцевому напрямку.

Опорна кільцева балка, як правило, має коробчастий прямокутний поперечний переріз (рис. 3.36) і складається з двох кільцевих ребер-шпангоутів і двох вертикальних стінок, для яких використані частини кожуха. У зовнішній вертикальній стінці виконуються отвори для зварювання та охолодження балок. Ефект охолодження балок підсилюється влаштуванням додаткової вентиляційної системи, що працює за рахунок природної витяжки.

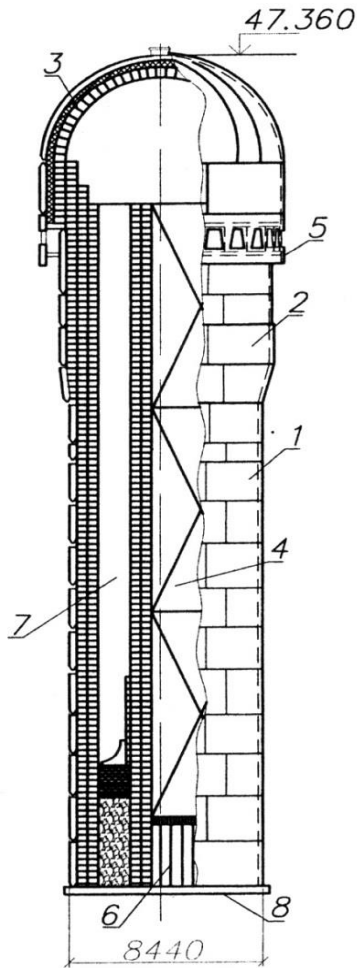


Рис. 3.35. Високотемпературний повітрянагрівач:

1, 2 – кожух в низькотемпературній та високотемпературній зонах відповідно; 3 – кладка купола; 4 – блоки насадки; 5 - кільцева балка для обпирання кладки купола; 6 – піднасадочний пристрій для обпирання блоків насадки; 7 – камера горіння; 8 – днище

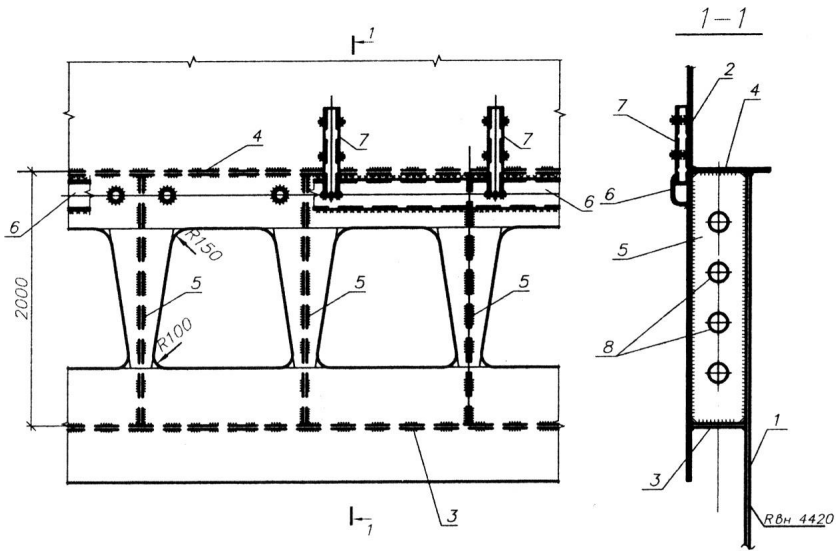


Рис. 3.36. Опорна кільцева балка для обпирання футерування купола:

- 1, 2 – кожух в низькотемпературній та високотемпературній зонах відповідно; 3, 4 – нижнє і верхнє кільцеве ребро-шпангоут відповідно; 5 – вертикальні ребра; 6, 7, 8 – кільцева труба, витяжні патрубки і отвори в ребрах для природної вентиляції.

Відомі й інші конструктивні рішення опорних кільцевих балок, наприклад, кільцеві металеві балки трикутного поперечного перерізу, заповнені бетоном, або повністю залізобетонні балки. Однак різні пружні властивості матеріалів - бетону і металу - створюють невизначеність їх простої роботи, що ускладнює застосування таких конструкцій.

На рис. 3.37 показані основні типи застосовуваних опорних кільцевих балок. Балки типів «а» і «б» вирішені металевими прямокутного і трикутного поперечного перерізу. Балка типу «в» - залізобетонна кільцева, типу «г» вирішена у вигляді замкнутої трикутної металевої кільцевої балки, заповненої жароміцним бетоном.

Балки кожного типу мають свої недоліки - в трикутній балці примикання похилого листа до кожуха в напрямку поперек прокату, в сталезалізобетонних балках спільна робота матеріалів різномодульний характеристик і т.п. Тому вибір типу балки пов'язаний із загальною компоновкою конструкції.

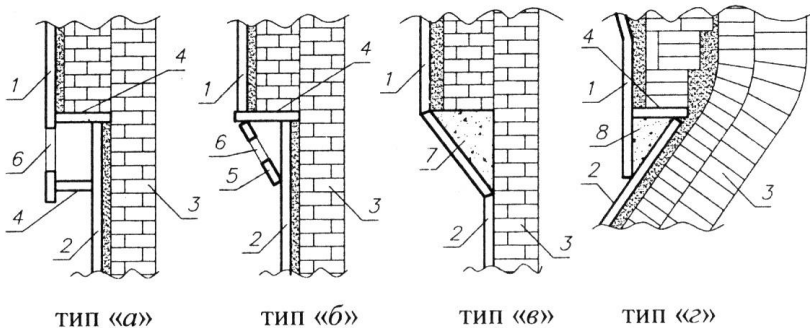


Рис. 3.37. Варіанти конструкцій кільцевих балок:

- 1, 2 – кожух в високотемпературній і низькотемпературній зонах відповідно; 3 – футеровка стін; 4 – кільцеве ребро-шпангоут;  
 5 – похилий кільцевий елемент; 6 – отвори для вентиляції;  
 7 – залізобетонна кільцева балка; 8 – жароміцний бетон

Кожух повітрянагрівача збирається з окремих листів різної товщини, що з'єднуються встик з розташуванням стиків вразбіжку. Товщина листів кожуха нагрівача визначається розрахунком і приймається для низькотемпературного не менше 20-25 мм, для високотемпературного товщина листів окремих зон може бути збільшена до 30-40 мм. В межах одного поясу товщина листів приймається однаковою, з можливим її збільшенням для компенсації ослаблення в місцях розташування штуцерів. Перший, товщиною до 32-36 мм для сприйняття зусиль, пов'язаних з крайовим ефектом, а також у зв'язку з ослабленням цього району отворами для патрубків повітрянагрівача холодного дуття і димових штуцерів.

Товщина листів днища повинна бути не менше 0,75 товщини листів першого поясу, а листів штуцерів – в залежності від товщини листа основного кожуха, з яким він з'єднаний, виходячи з необхідного співвідношення товщини листів при їхньому зварюванні з обробленням кромки.

Вертикальні стики листів розташовуються таким чином щоб суміжні зони концентрації напружень не накладалися один на одного і відстань між зварними вертикальними швами суміжних поясів були не менше  $10\alpha$ , де  $\alpha$  – товщина листа. Хрестоподібне перетин вертикальних і горизонтальних швів не допускається.

Вирізи для штуцерів газоповітропроводів зазвичай виконуються в процесі монтажу, що вимагає точного вирізу в кожусі з дотриманням постійної по всьому його периметру величини зазору 2 мм для виконання двостороннього зварного шва (рис. 3.38, а).

При неможливості забезпечення точної геометрії вирізу по його контуру встановлюють підсилюють коміри (рис. 3.38, б). Таке рішення є оптимальним з точки зору монтажу, однак ускладнює напружений стан вузла примикання.

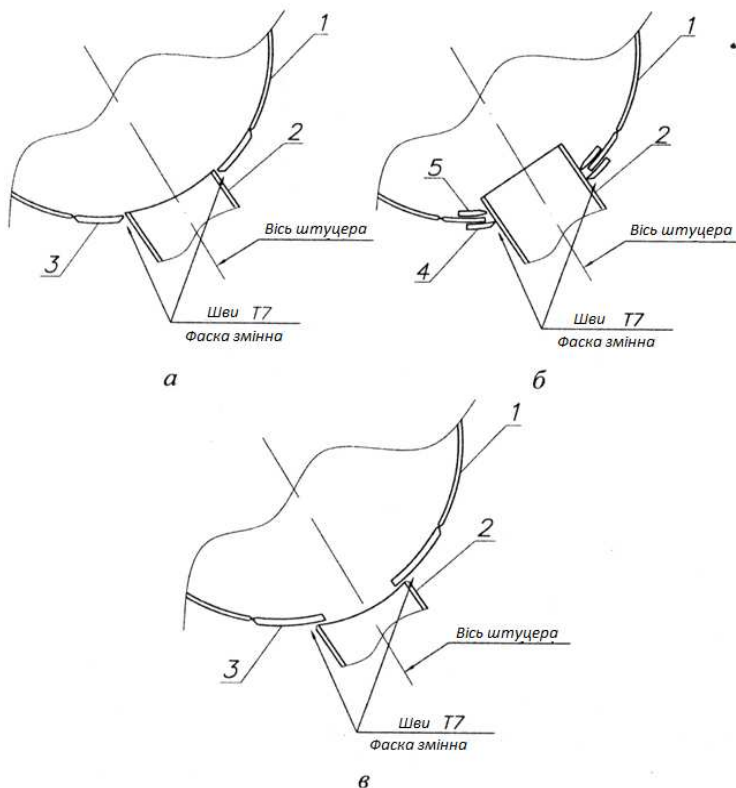


Рис. 3.38. Вузол сполучення кожуха зі штуцером:

а – без комірів; б – з комірами;

в – з зовнішнім примиканням штуцера впритул;

1 – кожух повітронагрівача; 2 – штуцер; 3 – потовщена вставка;

4, 5 – зовнішній і внутрішній коміри відповідно.

Відомо також рішення вузла кріплення штуцера, що не входить всередину кожуха, а приєднується до його поверхні впритул (рис.3.38, в). Така конструкція не передбачає необхідності точного вирізу, проте створює в листах кожуха зусилля поперек товщини прокату в менш міцному так званому Z - напрямку. Це може привести до появи розшарування в листах кожуха, тому застосовується лише в окремих випадках при невисокому рівні напруг в зоні примикання. З метою зменшення напруги в цій зоні доцільно збільшення товщини пояса штуцера, що примикає до кожуха.

У всіх випадках довжина виступаючої за кожух частини штуцера повинна забезпечити доступ для приварки бандажа в вузлі примикання трубопроводу.

Днище повітрянагрівача виконується товщиною 25-30 мм і складається з окремих листів, габаритних для транспортування, що з'єднуються зварюванням встик на технологічній підкладці або на опорних балках, закладених в масив бетону фундаменту (рис 3.39). У листах днища передбачаються отвори діаметром 100 мм для підливи під днище цементного розчину, що закриваються після підливи і вивірки днища квадратними накладками. Для кріплення колон піднасадочного пристрою в днище передбачається система отворів.

Зварювання листів кожуха, як правило, виконується вручну або напівавтоматом. Електрошлакове зварювання тут не допускається, так як електрошлаковий шов не забезпечує необхідні для конструкції, що працює в умовах циклічних впливів, гарантовані показники ударної в'язкості.

Напівсферичний купол повітрянагрівача (рис. 3.40) збирається з окремих вальцьованих пелюсток, які укрупнюються на заводі-виробнику в елементи, габарити яких допускають їх транспортування. Щоб уникнути концентрації напружень від зварювання при зосередженні великої кількості швів у верхній частині сфери центральна її частина виконується з одного або двох сферичних елементів.

Відповідно до нормативних документів після закінчення монтажу кожух випробовується внутрішнім тиском повітря. Передбачається наступний порядок випробувань:

- на першому етапі змонтований кожух без футеровки випробовується на щільність внутрішнім тиском, рівним 70 кПа;

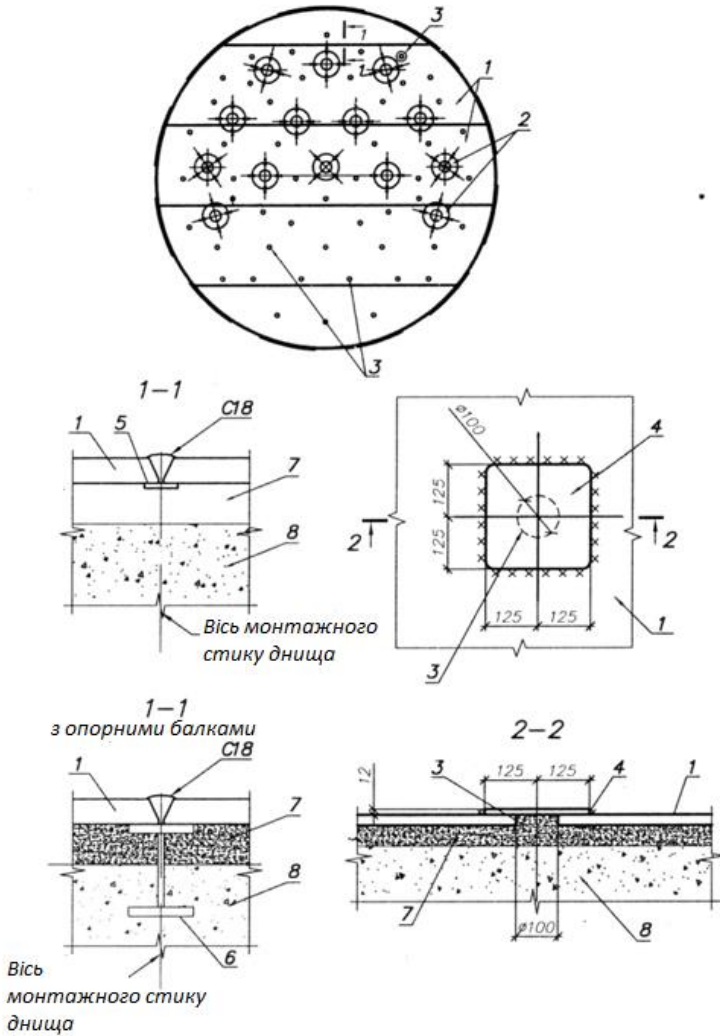


Рис. 3.39. Днище повітрянагрівача:

- 1 – габаритні для перевезення листи днища; 2 – місця встановлення колон піднасадачного пристрою; 3 – отвори для заливки розчину; 4 – накладка на отвір для заливки розчину; 5 – технологічна підкладка; 6 – балка під днищем, встановлена в фундаменті; 8 – фундамент.

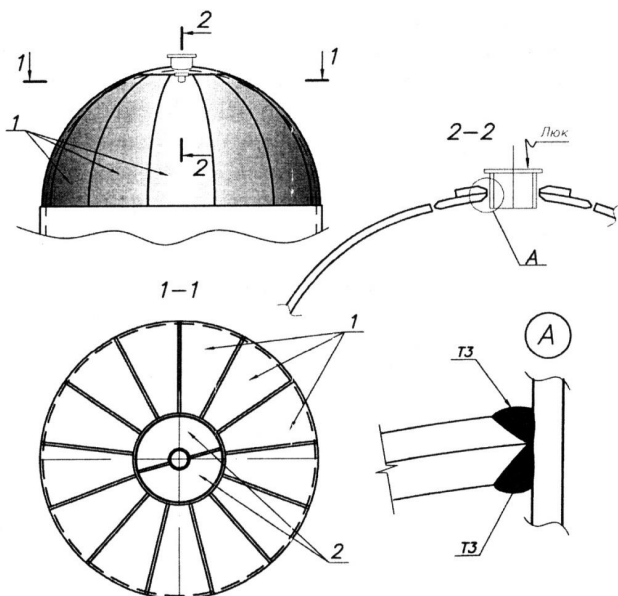


Рис. 3.40. Схема купола повітрянагрівача:

1 – листи-пелюстки; 2 – сферичні елементи центральної частини.

- на другому етапі кожух, заповнений футеровкою, випробовується на міцність внутрішнім випробувальним тиском, рівним 1,25 величини робочого тиску дугтя.

Для повітрянагрівачів з плоскими днищами, що не розраховані на сприйняття внутрішнього тиску, нормативні документи допускають одноетапне випробування після зведення вогнетривкої кладки внутрішнім тиском повітря, що дорівнює 1,25 величини робочого тиску.

Дуже важливим етапом у спорудженні повітрянагрівачів є контроль зварних швів, який здійснюють в наступному обсязі:

- ультразвуковий дефектоскопії - 100% довжини швів;
- просвічуванням проникаючими випромінюваннями - 10% довжини швів, виконаних ручним і напівавтоматичним зварюванням, і 1,5% довжини швів, виконаних автоматичним зварюванням.

Крім того, позначені місця обов'язкового просвічування. До них відносяться ділянки швів з ознаками дефектів, виявлені ультразвуковою дефектоскопією, перетину кільцевих і вертикальних швів, стикового перифе-

рійного шву приварки купола до коробчатої балці при виносній камері горіння.

Під час розігріву повітрянагрівача відбувається зростання кожуха з його нагріванням і вертикальним переміщенням футерування, що створює за рахунок тертя значних зусиль у вузлі сполучення першого поясу повітрянагрівача з його днищем, що викликають підйом останнього.

Для виключення або зниження цього ефекту кожух повітрянагрівача кріпиться до фундаменту анкерними пристроями. При їх розрахунку утримуюча сила складається з маси периферійної кладки, розташованої на днище, і маси металоконструкцій кожуха. Маса насадки не є утримуючою силою, так як блоки насадки спираються на власні колони і укладені з зазором до кожуха.

Анкерні пристрої мають таке призначення:

- на першому етапі вони грають роль тимчасових кріплень і повинні сприйняти зусилля від різниці тисків на купол і днище при випробуванні порожнього кожуха тиском, рівним 70 кПа і перекидаючий вітровий момент;
- на другому етапі, при тимчасовому їх закріпленні, вони сприймають неврівноважену підйомну силу від внутрішнього випробувального тиску повітря, рівного 1,25 величини робочого тиску і перекидаючий від вітру момент (рис. 3.41). Після розігріву повітрянагрівача і відповідного підйому окрайків днища анкерні пристрої перетворюють в постійні кріплення, що не допускають деформації вузла сполучення кожуха з днищем при його підйомі і виключають ефект малоциклової втоми матеріалу при деформаціях цього вузла, пов'язаних зі зміною технологічних режимів «нагрів – дуття».

Зусилля від температурного зростання футерування на анкерні пристрої передаватися не повинні.

В період експлуатації повітрянагрівача також помітні вертикальні переміщення кожуха. Під час розігріву їх величина досягає 30 мм, а при нормальній роботі в режимах нагрівання або дуття складає  $\pm 5$  мм. Такі переміщення в ряді випадків приводили до розриву анкерів.

Оскільки одним з основних критеріїв працездатності повітрянагрівача є його газощільність, ефективною виявилася установка на днищі додаткового тонкостенного піддону з досить тонкого листа (6-8 мм), стінки якого примикають до внутрішньої поверхні першого поясу кожуха і днища через

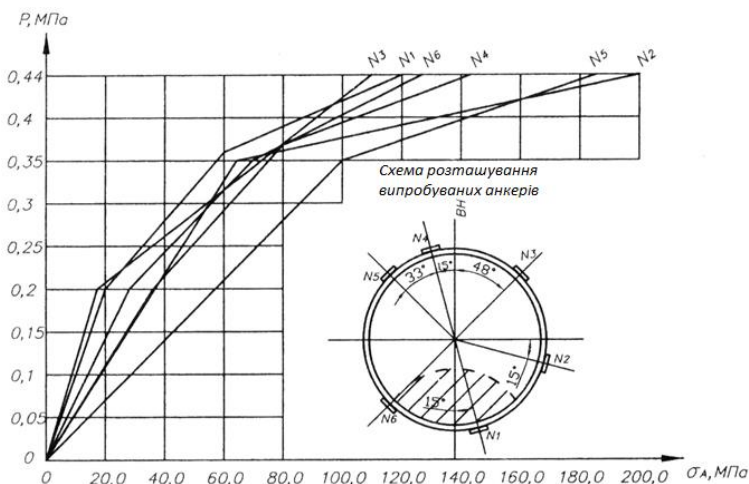


Рис. 3.41. Залежність величини напружень в анкерах від тиску дуття

прокладки (рис. 3.42). При термічному зростанні футерування і можливому «диханні» днище повітрянагрівача і дно тонкостінного піддону отримують однакові вертикальні переміщення. Так як співвідношення виникаючих в них напружень пропорційно співвідношенню їх товщини, невелика жорсткість піддону дозволяє йому деформуватися без виникнення надмірно великих напруг, що не викликає тріщино-утворенню і зберігає герметичність кожуха навіть при пошкодженнях основного вузла.

При використанні для заповнення компенсаційного зазору Мулліто-кремнеземні матів і оптимально скомпонованою футеровці, практично виключають підйом крайків днища, можливо одноетапне постійне кріплення анкерних пристроїв.

Анкерні пристрої повинні розташовуватися рівномірно по периметру кожуха. Однак, на практиці здійснити таке розташування не вдається, тому що в цьому районі розташовуються штуцера димових клапанів і повітропроводу холодного дуття, лази і витримати однакову відстань між анкерними пристроями не представляється можливим, що викликає їх вимушене збивання.

Конструкція анкерних пристроїв різна і залежить, зокрема, від того споруджується фундамент заново або використовується існуючий, крім того вона пов'язана з методикою проведення випробування повітрянагрівача в процесі монтажу і перед здачею в експлуатацію.

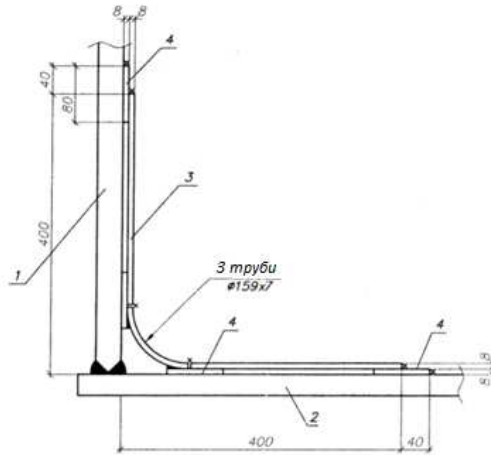


Рис. 3.42. Газощільне днище:

- 1 – нижній пояс кожуха повітрянагрівача; 2 – днище повітрянагрівача;  
3 – тонкостінний піддон; 4 – прокладка

При будівництві на нових фундаментах анкерний пристрій (рис. 3.43, а) вирішується у вигляді смуги, яка закладається в масив фундаменту, що виступає над ним на 600-700 мм і відстає від кожуха на товщину нижньої накладки, над якою встановлюється верхня накладка товщиною, яка дорівнює сумі товщини нижньої накладки і анкерної смуги, яка закладається в фундамент.

При закріпленні кожуха нагрівача анкерними пристроями передбачається наступна послідовність виконання операцій:

- після монтажу одного-двох перших поясів кожуха зовнішній лист анкерного пристрою, який грає роль тимчасового закріплення, приварюється до смуги, закладеної в фундамент, і до верхньої накладки на кожусі;
- кожух повітрянагрівача випробовується на щільність внутрішнім тиском 70 кПа;
- повітрянагрівач футерують;
- повітрянагрівач випробовують на 1,25 величини внутрішнього тиску;
- після закінчення випробування лист розрізається із зжиттям заходів, що оберігають кожух від механічних пошкоджень;
- повітрянагрівач розігрівається (без внутрішнього тиску);

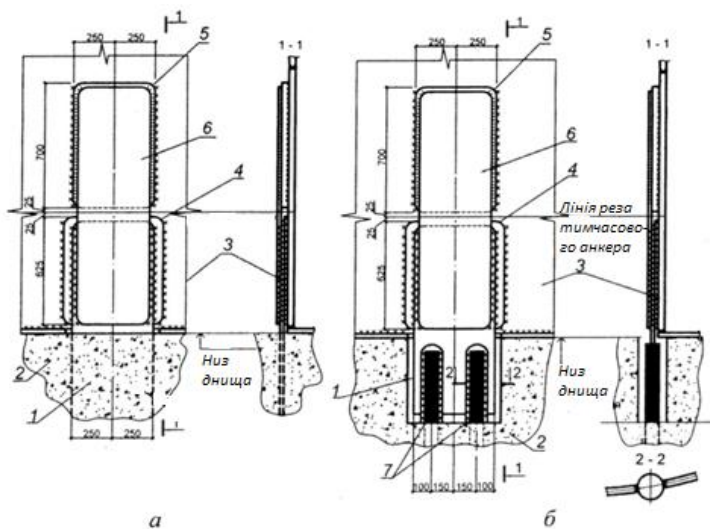


Рис. 3.43. Анкерний пристрій:

а – на новому фундаменті; б – на існуючому фундаменті;

- 1 – смуга, що закладається в фундамент (постійний анкер);  
 2 – фундамент; 3 – нижній пояс кожуха; 4, 5 – нижня і верхня накладки відповідно; 6 – тимчасова анкерна смуга;  
 7 – анкерні болти, що закріплюються в фундаменті.

- при підйомі периферійної частини днища після розігріву повітрянагрівача зазор, що утворився між днищем і фундаментом заповнюється швидкотвердіючим розчином;
- після закінчення розігріву перед подачею дугтя смуга, закладена в фундамент і яка відіграє роль постійного анкера, приварюється до накладки на кожусі.

При використанні існуючого фундаменту, в зв'язку з труднощами закріплення в нього анкерного пристрою у вигляді смуги, нижню частину пристрою, що закладалася в фундамент, виконують з круглих стрижнів, що закріплюються за допомогою одного з відомих матеріалів в пробурені отвори (рис. 3.43, б). Верхня виступаюча частина круглих стрижнів кріпиться до анкерної смуги до їх закладки в фундамент і механізм закріплення анкерного пристрою при випробуванні повітрянагрівача зберігається незмінним.

Відомі конструкції анкерних пристроїв, які при закріпленні до кожуха не вимагають ніяких спеціальних операцій в процесі випробування і введення в дію повітрянагрівача. Такі саморегулюючі пристрої (рис. 3.44) вирішені у вигляді системи накладок, прикріплених до кожуха і з'єднаних з анкерної смугою високоміцними болтами із заданим натягом, величина якого забезпечує можливість прослизання анкера при підйомі днища.

Закріплення повітрянагрівача відбувається наступним чином. Після закінчення будівництва до розігріву з'єднують ребра парними кутиковими накладками, розташовуючи високоміцні болти таким чином, щоб вони знаходилися в прорізи ребра, привареного до анкерної смуги в нижньому положенні, а в прорізи ребра, привареного до накладки, в верхньому положенні. Довжина кожної прорізи повинна бути більше відстані між крайніми болтами, встановленими на ній, на половину очікуваної величини підйому днища. Перед випробуванням повітрянагрівача на міцність високоміцні болти затягують на зусилля, достатнє для передачі на анкерну смугу навантаження від тиску випробування. В процесі розігрівання і експлуата-

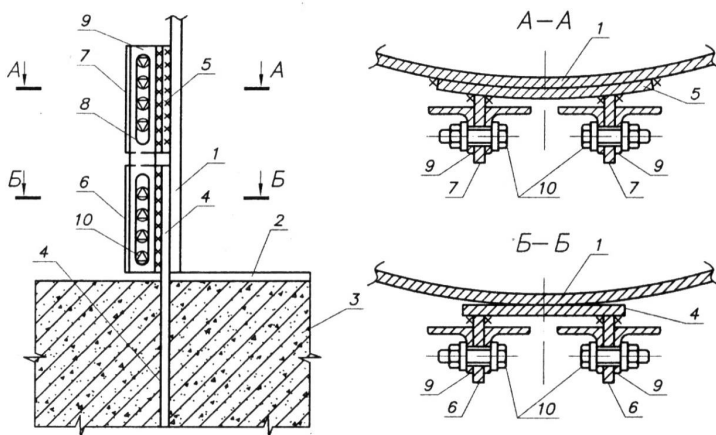


Рис. 3.44. Саморегулюючий анкерний пристрій:

- 1 – нижній пояс кожуха повітрянагрівача; 2 – днище повітрянагрівача; 3 – фундамент; 4 – анкерная смуга; 5 – прокладка, приварена до нижнього поясу кожуха нагрівача; 6 – ребро, приварене до анкерної смуги; 7 – ребро; 8 – проріз для болтів у верхньому ребрі; 9 – парні кутички;
- 10 – проріз для болтів в нижньому ребрі.

ції під впливом надлишкового тиску і температури кожух прагне зайняти нове положення за рахунок підйому периферійної частини днища. При цьому визначаються заданою величиною натягу болтів сили тертя, що діють по площинах зіткнення накладок і ребер і достатні для передачі на смугу зусиль тільки від надлишкового тиску, виявляються недостатніми для утримання периферійної частини днища від підйому. В результаті кожух і скріплені з ним ребра переміщуються вгору з проскользанням або по накладках, або накладок по ребрах. При цьому сили тертя, створені натягом болтів і призначені для сприйняття анкерами надлишкового тиску, продовжують діяти, і анкерна смуга відчуває лише зусилля від внутрішнього тиску, на який вона розрахована. При зупинках повітрянагрівача на ремонт гайки болтів послаблюють, і днище повертається у вихідне положення.

Ці пристрої є саморегульованими і автоматично, з урахуванням прийнятого зусилля натягу болтів, забезпечують сприйняття зусиль при випробуванні і роботі, допускаючи, в той же час, підйом кожуха при розігріві агрегату.

Існують і інші конструкції кріплень кожухів до фундаментів, наприклад, шляхом влаштування сферичних днищ, заповнених бетоном (рис. 3.45), або жорстких днищ з ортогональних або радіальних балок, що встановлюються на фундамент без кріплення до нього. Такі днища не дають можливості компенсувати підйом кожуха за рахунок деформативності вузла сполучення з ним, в зв'язку з чим в циліндричній частині кожуха виникають надмірно великі меридіональні зусилля і згинальні моменти.

При будівництві повітрянагрівачів без анкерів кожух з плоским днищем встановлюється на фундамент без його закріплення. У таких випадках для виключення або мінімізації вертикального зростання кожуха, забезпечення міцності вузла сполучення його з днищем ретельно підбирається конструкція футеровки, застосовуються компенсаційні матеріали високої якості з необхідними деформативними і властивостями міцності, встановлюється ущільнювальний піддон. Кладка повітрянагрівача в нижній частині (на висоту не менше 1,5 м) виконується з зазором між кожухом і кладкою не більше 15 мм, що забезпечує максимальне погашення підйомної сили від внутрішнього тиску масою периферійної кладки. По всій решті висоти зазор визначається розрахунком і заповнюється пружними матами, які компенсують температурне розширення футеровки.

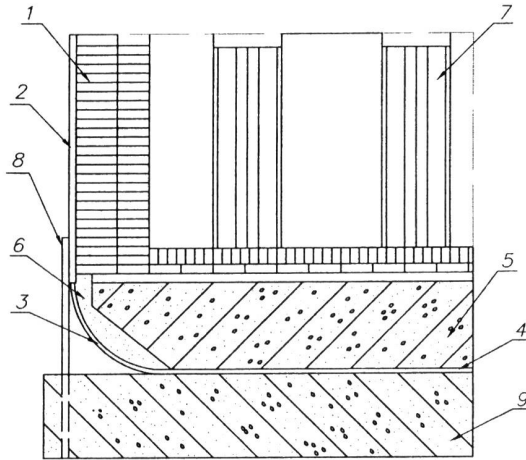


Рис. 3.45. Повітрянагрівач зі сферичним днищем:

- 1 – вогнетривна футеровка; 2 – нижній пояс кожуха нагрівача;  
 3 – сферичний перехід; 4 – днище; 5 – бетонна плита;  
 6 – теплоізоляційний матеріал; 7 – колони піднасадочного пристрою;  
 8 – листові анкери; 9 – фундамент

Після початкового розігріву повітрянагрівача, в разі утворення зазору між днищем і фундаментом, його заповнюють швидкотвердіючим розчином. В периферійній кільцевій кладці повітрянагрівачів передбачаються горизонтальні шви, заповнені пружним матеріалом, наприклад, матами і компенсують вертикальне температурне розширення футеровки.

В результаті цих заходів підйомна сила від внутрішнього тиску повністю врівноважується масою периферійної футерування, обладнання та кожуха, а незначне «дихання» крайків днища практично виключає вірогідність пошкодження цього вузла, пов'язаного з ефектом малоциклової втоми матеріалу. Повітрянагрівачі такого типу успішно експлуатуються без пошкоджень на промислових підприємствах.

З огляду на складну роботу кожуха нагрівача в умовах термічного зростання і плоского двохосного напруженого стану, не слід закріплювати до нього елементи прилеглих каркасів будівель, опор газо- і повітропроводів, інших конструкцій, що передають як вертикальні, так і горизонтальні зосереджені зусилля.

**Безшахтний повітрянагрівач.** Повітрянагрівачі з внутрішньої бокової камерою горіння, як вже зазначалося, мають ряд недоліків, а саме:

- несиметрична робота агрегату несприятливо впливає на футеровку стін камери горіння і блоки насадки, які в умовах нестационарного температурного поля нахилиються на стіну камери горіння. Це викликає додаткові зусилля вигину, що призводять до руйнування кладки;
- значний, до 30% обсягу повітрянагрівача, обсяг камери горіння і зменшення обсягу камери насадки, а, отже, і загальної поверхні нагрівання, що призводить до збільшення габаритів повітрянагрівача - висоти або його діаметра.

У зв'язку з цим у розроблених нових конструкціях були зроблені спроби усунути зазначені недоліки. До найбільш вдалою конструкції, що отримала в останні роки велике поширення, слід віднести повітрянагрівач, розроблений ЗАТ «Калугін» (м. Єкатеринбург, Росія), з кільцевими колекторами, що подають газ і повітря в форкамеру, розташовану під куполом.

Кожух такого нагрівача (рис. 3.46) виконаний у вигляді сполучених нижньої і верхньої циліндричних частин, а також конічної частини і купола.

Повітрянагрівач не має внутрішньої окремої камери горіння. У футеровці верхньої циліндричної частини розташовані кільцеві газовий і повітряний колектори, через які подаються газ і повітря в форкамеру, де відбувається горіння.

У місцях сполучення оболонок різної геометричної форми розташовані кільцеві опорні балки по типу балок для обпирання кладки купола в високотемпературних повітрянагрівачах. Для з'єднання верхньої циліндричної оболонки з конічною, а також двох циліндричних оболонок та нижньої циліндричної частини оболонки іншого діаметра передбачені верхня і нижня кільцеві балки.

Вартість таких повітрянагрівачів на 25-30% нижче вартості повітрянагрівачів з внутрішньою камерою горіння.

Повітрянагрівач з винесеною камерою горіння. Одним з напрямків створення конструктивної форми повітрянагрівача було відділення камери горіння від камери насадки і її автономне розташування. Такий повітрянагрівач з винесеною камерою горіння дозволив забезпечити осесиметричну роботу конструкцій в умовах термічних впливів і роздільні температурні переміщення камер.

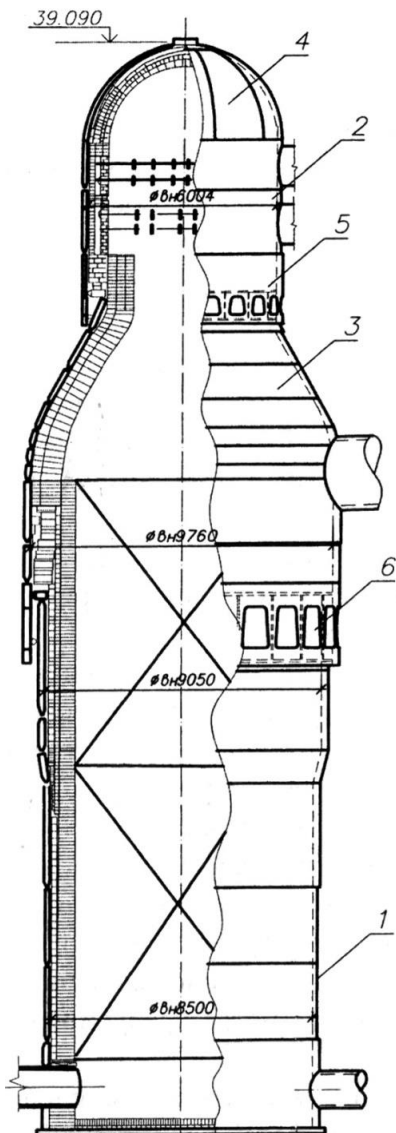


Рис. 3.46. Безшахтний повітрянагрівач:

1, 2 – кожухи нижньої і верхньої циліндричної частини відповідно; 3 – конічна частина; 4 – купол; 5, 6 - верхня і нижня опорні кільцеві балки відповідно.

До недоліків таких повітрянагрівачів слід віднести їх високу вартість, на 25-30% перевищує вартість звичайних повітрянагрівачів з внутрішньою камерою горіння, а також потреба у великих площах, яких в доменних цехах недостатньо.

За кордоном будівництво повітрянагрівачів з винесеною камерою горіння почалося давно. Відомі три основних типи таких апаратів – фірм Didier Werke, Coppers і Marten & Pagenshtecher (див. рис. 3.33)

Перший повітрянагрівач з винесеною камерою горіння фірми Dedeig Werke був пущений в 1960 р на заводі в Фелькінгене. Його характеристики такі:

Температура дуття, °С.....	1050
Температура під куполом, °С.....	1250
Період дуття, год.....	1,5
Період нагріву, год.....	1,5
Діаметр кожуха камери горіння, мм.....	2800
Діаметр кожуха камери насадки, мм.....	7000
Висота, мм.....	26840

Після дослідного підтвердження їх надійності почалося масове будівництво повітрянагрівачів і до 1976 року було зведено 45 апаратів фірми Didier Werke. Найбільша кількість доменних печей було зведено в Японії, де до цього в основному застосовувалися повітрянагрівачі типу Coppers. Перші повітрянагрівачі типу Coppers були зведені в 1963 р, Marten & Pagenshtecher – в 1965 р

У таких повітрянагрівачах головним є вузол сполучення камери горіння з камерою насадки. Кожне з його рішень має свої недоліки. Однак найбільш широке поширення набула конструкція сполучення камер фірми Dedeig Werke, вирішена за допомогою загального купола, що дозволяє отримати рівномірний, без завихрень газовий і повітряний потоки і рівномірний їх розподіл за поперечним перерізом насадки, що забезпечує довговічність роботи повітрянагрівача.

Такий повітрянагрівач (рис. 3.47) складається з камери горіння і камери насадки, з'єднаних загальним куполом, виконаним з оболонок обертання. Камера насадки спирається безпосередньо на фундамент, а камера горіння - на просторову опору. Балка коробчатого перетину передає на кожухи камер тиск газового середовища і вагу футерування купола.

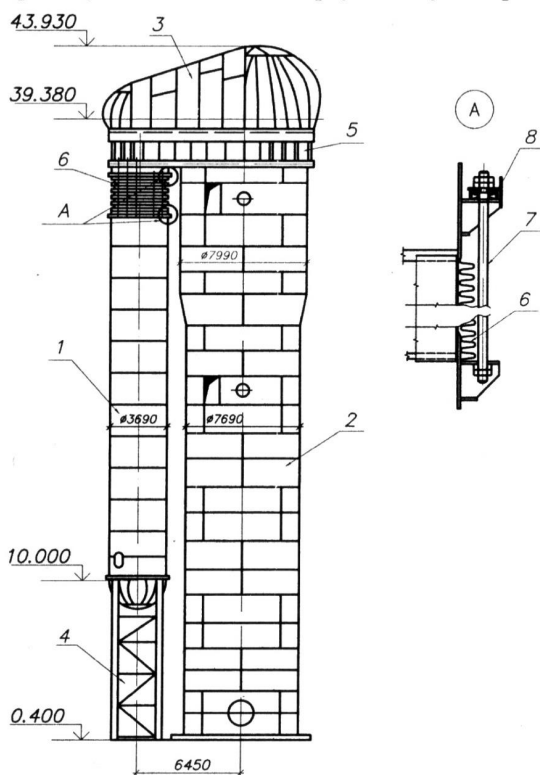


Рис. 3.47. Повітрянагрівач з винесеною камерою горіння:  
 1,2 – камери горіння і насадки відповідно; 3 – купол;  
 4 – опора камери горіння; 5 - опорна кільцева балка;  
 6 – сільфонний компенсатор; 7 – стяжні болти;  
 8 – блок тарілчастих пружин.

На рис. 3.48 показано конструктивне рішення вузла сполучення камер повітрянагрівача фірми Didier Werke. Купол виконаний у вигляді складної оболонки обертання, що складається з двох надкамерних зон сполучної частини, що спираються на кільцеву коробчатую балку. Надкамерні зони виконані з сферичних частин, центри яких співпадають з осями камер, знаходяться на одному рівні і з'єднані між собою конічною поверхнею.

На (рис. 3.49) показаний блок повітрянагрівачів з винесеними камерами горіння в стадії монтажу.

Повітрянагрівачі такої конструкції були зведені на доменній печі № 8 об'ємом 2700 м<sup>3</sup> металургійного комбінату ПрАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (м. Кам'янське, Україна), доменної печі № 9 об'ємом 5000 м<sup>3</sup> ПрАТ «Арселор Міттал Стіл Кривий Ріг» (м.Кривий Ріг, Україна) і на доменній печі №5 об'ємом 5580 м<sup>3</sup> ВАТ «Северсталь» (Череповець, Росія).

Поділ камер і їх автономна робота в умовах температурного поля призвели до необхідності забезпечення їх незалежних температурних переміщень.

Було розроблено і здійснено три конструктивних рішення:

- камера горіння спирається на власну опору, яка окремо стоїть а її температурні переміщення компенсуються одним замкнутим, регульованим сільфонним компенсатором, встановленим у верхній частині камери горіння;
- камера горіння вільно підвішується до кільцевої опорної балці купола і не вимагає заходів по компенсації температурних переміщень системи;
- камера горіння спирається на власну опору, яка окремо стоїть а її температурні переміщення автоматично компенсуються двома замкнутими, нерегульованими сільфонними компенсаторами, встановленими вгорі і внизу камери горіння.

Конструктивні рішення подібних повітрянагрівачів практично однакові і відрізняються лише характером сприйняття ваги камери горіння і способом вирішення компенсації температурних переміщень. Обидві камери об'єднуються кільцевою опорної балкою, що спирається на кожух камери насадки. На балці розташовується купол, а знизу до балки прикріплюється камера горіння. Кільцева балка виконується коробчатого поперечного перерізу і забезпечує не тільки передачу на кожухи камер зусиль від

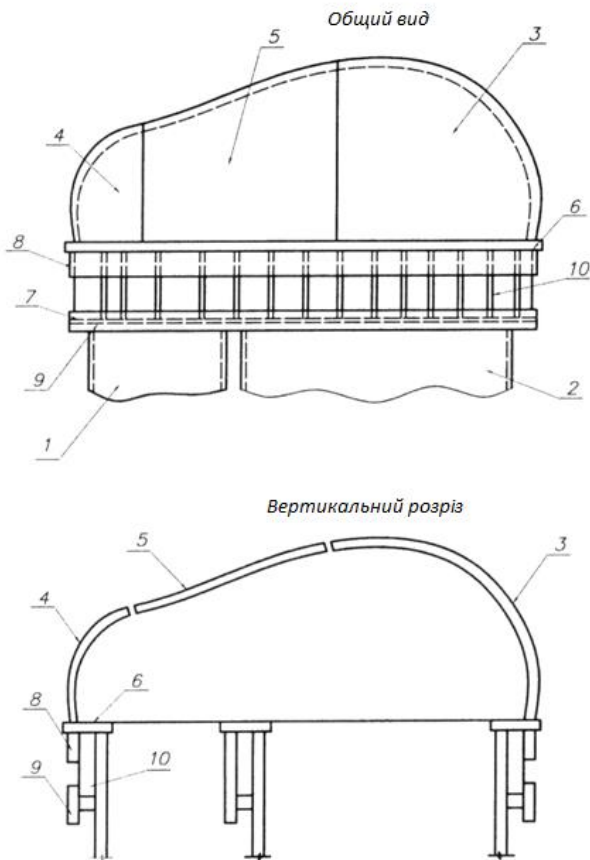


Рис. 3.48. Принципове рішення вузла сполучення оболонок купола повітрянагрівача фірми Didier Werke:  
 1, 2 – кожухи камер горіння і насадки відповідно;  
 3, 4 – сферичні частини кожуха купола; 5 – конічна частина кожуха купола; 6, 7 - верхній і нижній пояси опорної кільцевої балки відповідно; 8, 9 – підсилюючі верхній і нижній вертикальні кільцеві елементи відповідно;  
 10 – ребра жорсткості в кільцевій балці.

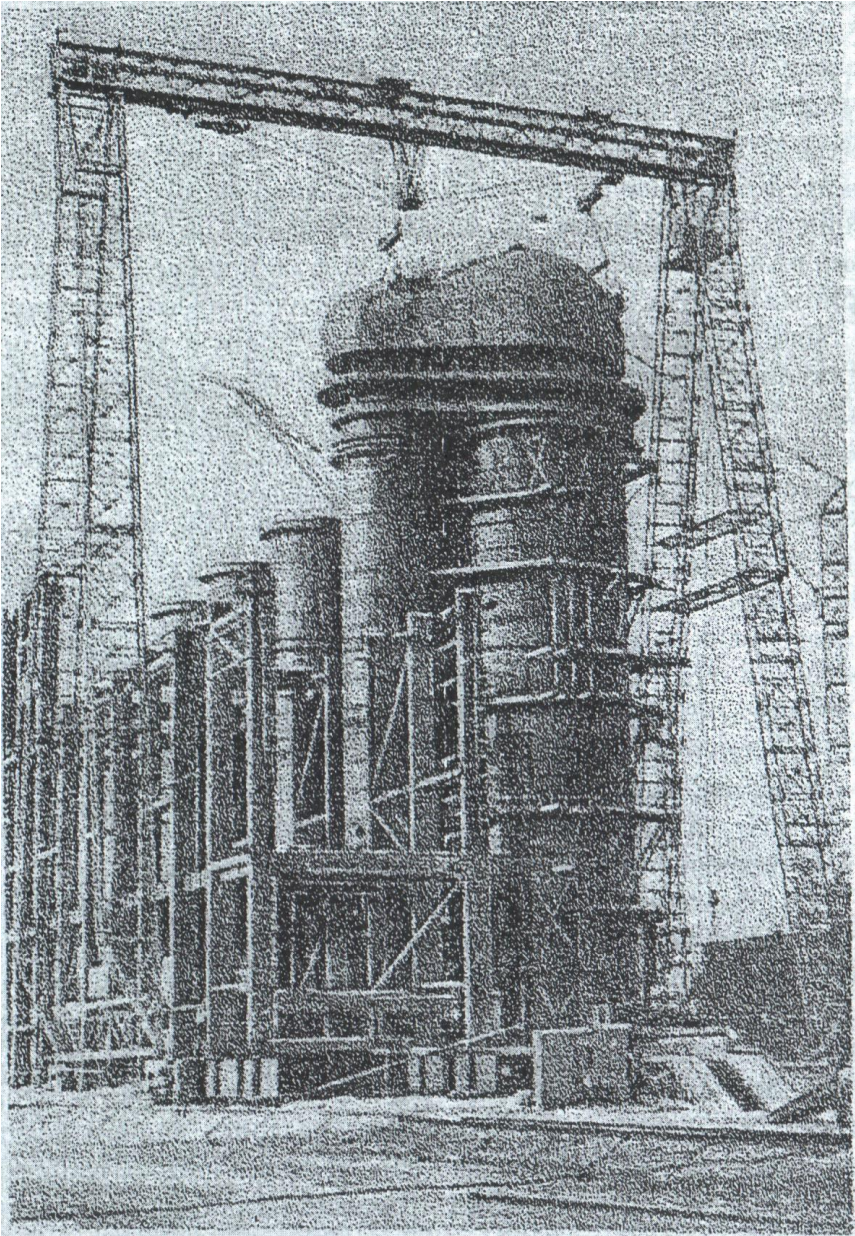


Рис. 3.49. Будівництво повітронагрівачів  
з виносними камерами горіння.

внутрішнього тиску на купол, а й сприйняття розпору від прилеглих до неї конічних і сферичних частин купола.

При тому, що спирається камера горіння на опорну конструкцію у вигляді колони система з двох камер, об'єднаних загальним куполом, стає при впливі температури статично невизначеною і, як зазначалося, виникає необхідність компенсації різниці їх температурних деформацій.

Щоб виключити вплив на коробчасту балку і купол зусиль від неоднакового температурного подовження камер, у верхній частині камери горіння встановлюють сільфонний компенсатор хвильового типу з розрахунковою компенсуючою здатністю, як правило, 30 мм при надмірному тиску 0,5 МПа.

У зв'язку з тим, що компенсатор не сприймає невірноважені поздовжні осьові розтягуючі зусилля від внутрішнього тиску, величина яких складає близько 130-150 кН, його «замикають» призначеною для цього системою болтів, прикріплених до двох опорних шпангоутів.

Для компенсації змінної частки невірноваженого навантаження, пов'язаної з кліматичними і Незначними технологічними перепадами температури, під болтами компенсатора встановлюють попередньо пружнообтиснуті блоки тарілчастих пружин, компенсуючих деформації величиною 12-15 мм.

Щоб не перешкоджати роботі компенсатора, в період розігріву гайки болтів не затягують, дозволяючи хвилям компенсатора переміщатися. Після розігріву і стабілізації температури перед подачею дуття компенсатор замикається болтами з комплектами тарілчастих пружин, утворюючи безперервну систему, що сприймає осьові розтягуючі зусилля.

При зупинці повітрянагрівача на ремонт гайки болтів знову відпускають.

Система сприймає невірноважені навантаження від внутрішнього тиску і одночасно, за допомогою блоків пружин, допускає незалежні переміщення камер насадки і горіння при впливі змінних навантажень, що виникають від зміни циклів «нагрів – дуття» і при кліматичних перепадах температур. З огляду на залежність роботи системи від технологічних процесів, передбачений спеціальний порядок затягування і відпускання гайок болтів.

Футеровка камер виконана так, що їх вертикальні переміщення не вплине на купол, так як між ними влаштовані зазори. Об'ємне розширення футеровок гаситься шаром теплоізоляції, спільно з футеровкою забезпечуючи температуру кожуха не вище 80°С.

Схема компенсації температурних переміщень камер за допомогою регульованого компенсатора вирішує поставлене завдання, але при цьому викликає певні складнощі, пов'язані з необхідністю регулювання, що не виключає вплив «людського» чинника.

У зв'язку з цим, для повітрянагрівачів однієї з доменних печей металургійного заводу України була розроблена конструкція (рис. 3.50), що припускає автоматичну компенсацію різниці деформацій і сприйняття змінної частки неврівноважених навантажень.

За цією схемою на камері горіння було встановлено два сильфонних компенсатора. Верхній компенсатор сприймає різницю температурних переміщень камер насадки і горіння, нижній компенсатор, встановлений за межами опори камери горіння на ділянці, що виконує функції «хвостовика», компенсував пружні деформації поздовжніх зтяжок, що сприймають неврівноважені зусилля. Однакова з камерою горіння довжина зтяжок і близьке розташування до неї передбачають їх однакові температурні переміщення.

Особливістю реалізації такого рішення є необхідність обмеження власних пружних деформацій зтяжок, які при максимальних зусиллях, з урахуванням їхньої значної довжини, не повинні перевищувати сумарні переміщення системи і компенсуючу здатність нижнього компенсатора.

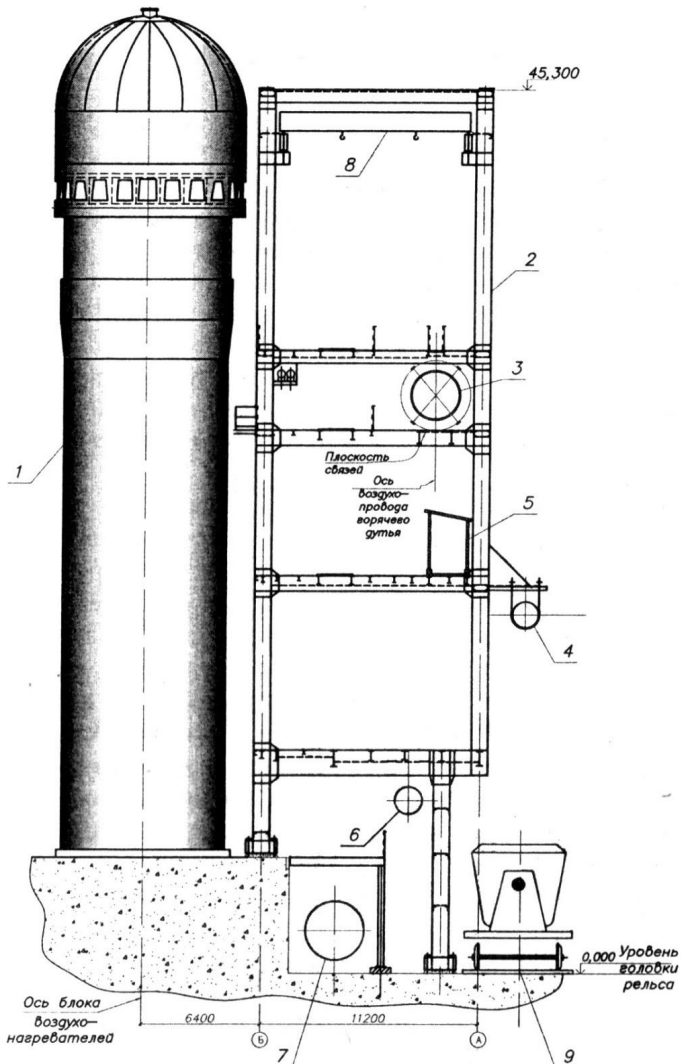


Рис. 3.50. Схема естакади повітрянагрівачів:

- 1, 2 – камери горіння і насадки відповідно; 3, 4 – верхній і нижній компенсатори відповідно; 5 – нижній купол камери горіння;  
6 – опорний майданчик; 7 – герметичне днище; 8 – тяги.

### 3.5. Основні положення з проектування сталевих конструкцій доменного цеху

#### 3.5.1. Загальні положення

Сталеві конструкції доменного цеху знаходяться в специфічних, важких умовах експлуатації. Тому потрібно ряд доповнень до «Спільних будівельних норм на проектування сталевих конструкцій» та в першу чергу до норм розрахунку кожухів доменних агрегатів. У 1948 р проектними інститутами Гіпрометом і Проектстальконструкція вперше розроблені «Спеціальні додаткові технічні умови на проектування сталевих конструкцій доменних цехів», в яких дана класифікація навантажень, розроблені конструктивні і виробничі вимоги до таких конструкцій і приведені деякі положення за розрахунком. Для розрахунку кожуха доменної печі були встановлені три поєднання навантажень: основні, основні плюс додаткові, основні плюс випадкові. При цьому передбачалося, що основні поєднання навантажень відповідають нормальній експлуатації кожуха печі при нормальному газовому тиску (приблизно 0,2 МПа) і тиску шихти.

Встановлено основне положення, що температурні впливи від розширення кладки повинні змиритися компенсує пружним заповненням зазору між кожухом печі і кладкою футерування. У разі зіткнення цегляної кладки з тілом кожуха (що раніше нерідко спостерігалось) напруги в кожусі досягають межі текучості і розпір не може бути сприйнятий кожухом. Тому було визначено необхідний мінімальний зазор  $\Delta_s$  виходячи з умови спільної роботи кожуха і футерування:

$$\Delta_s = \frac{\Delta_{\text{кл}} - (\Delta_t + \Delta_q)}{10^5}, \quad (3.1)$$

де,  $\Delta_{\text{кл}}$  – збільшення радіусу цегляної кладки;  $\Delta_t$  і  $\Delta_q$  – збільшення радіусу кожуха від нагрівання  $t$  і тиску  $q$ .

Внаслідок можливого зависання шихти в печі в процесі експлуатації і подальшого її різкого зсуву в нижню частину шахти, що створює газовий удар, а також несподіваних вибухів (ударів) всередині печі була введена

комбінація випадкових навантажень, відповідна газовому тиску, рівному 0,4 МПа, і тиску шихти або рідкого чавуну. При обліку зазначених навантажень кожух розраховувався як оболонка з урахуванням значного ослаблення отворами в кожусі, передбаченими на різних рівнях. Ослаблення в окремих місцях сягає 40-50% площі перетину і тому вплив їх істотно. З огляду на те, що ослаблення вносить значні зміни в рівномірно розподілений потік напружень, врахувати який нелегко, і беручи до уваги, що напруга в оболонці зростає пропорційно радіусу або діаметра печі, а також ґрунтуючись на досвіді побудованих доменних печей, було запропоновано емпіричну формулу для визначення товщини кожуха:

$$\delta = k \cdot D, \quad (3.2)$$

де,  $\delta$  – товщина стінок кожуха в мм;  $D$  – діаметр кожуха в м;  $k$  – коефіцієнт пропорційності між товщиною і діаметром кожуха, що приймається відповідно до табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Коефіцієнт пропорційності

Зона доменної печі і повітрянагрівачів	k
Горн	3
Фурмені зона, заплечики і тонкостенная распара	2,7
Перший пояс шахти у моратора	3,2
Останній пояс шахти і купол	3,2
Решта пояса	2
Повітрянагрівачі	1,6

Виходячи із загальної теорії розрахунку оболонок, товщина стінок кожуха могла б бути визначена за формулою:

$$\delta = \frac{p \cdot r}{m \cdot R \cdot \eta}, \quad (3.3)$$

де:  $p$  – розрахунковий тиск в МПа;  $r$  – радіус в мм;  $R$  – розрахунковий опір в МПа;  $\eta$  – коефіцієнт, що враховує вплив ослабленнями отворами;  $m$  – коефіцієнт умови роботи.

Істотним недоліком формули (3.1) є те, що вона, як і будь-яка інша емпірична формула, відповідає рішенням з певною технологією виробництва, тиском в печі і типом конструкції.

Користуючись формулою (3.1), явно не можна виявити товщину футерування, врахувати якості металу і з'єднань, властивості пружної набійки між кожухом і футеровкою, а також роботу плитних холодильників там, де вони є. Наявність тріщин в кожухах багатьох діючих доменних печей, а також перехід на підвищений тиск в печах і нову технологію доменного виробництва з одночасною зміною конструкцій зажадало більш детального вивчення комплексної роботи комбінованої конструкції.

Фахівці ДППроєктстальконструкція – А.Ф. Лилеев, Л.І. Єфремович, Л.А. Сорокін, В.Я. Міллер та ін. – зробили спробу врахувати більш повно спільну роботу кожуха, набійки і футеровки доменної печі. При цьому рішення отримано виходячи з двох умов. Перше – нерозривність деформації при спільній роботі трьох зазначених елементів кожуха, набійки і кладки, а друге – умова рівноваги, виражене у вигляді рівності нулю напруг в футеровці на межі стиснутої зони. Оскільки при наявності двох рівнянь невідомих три: відсіч кожуха, величина деформації набійки і товщина зони стиснення футерування, можливо два підходи до вирішення завдання. Можна задатися товщиною набійки при певній її деформативності і виявити при цьому тиск на кожух і футеровку, а також напругу в кожусі і футеровці.

Можна, навпаки, виходячи з певної несучої здатності сталевого кожуха при заданій його товщині, отримати граничний тиск на нього, а далі знайти товщину зони футерування що стискається і необхідну товщину набійки при певній її деформативності.

Однак через відсутність достатніх відомостей про поведінку набійки при різних температурах і тисках, про температурні зміни модуля пружності кладки, про вплив конструкції холодильників в товщині кладки та інших даних наведені методи розрахунку вимагали експериментальної перевірки, уточнень і виявлення різних коефіцієнтів умов роботи  $t$  у формулі

(3.2). Стало ясно, що бажано виділяти температурний фактор при розрахунках, який найбільш істотно впливає на товщину кожуха.

Отже, футеровка печі нагріваючись розширюється і через податливу набійку тисне на кожух. Кожух опираючись розтягується і назад впливає через набійку на футеровку, перешкоджаючи утворенню в кладці тріщин (оскільки зчеплення між окремими цеглинами обумовлено тільки тертям).

Слід особливо підкреслити, що при визначенні товщини кожуха важливо враховувати роботу набійки. На жаль, відомості зі спостереження за її роботою в різних умовах (температурних і ін.) у нас до сих пір поки ще недостатні, а від роботи набійки залежить цілісність кожуха. При малому зазорі між кожухом печі і футеровкою, тобто малій товщині набійки і відповідно її малої податливості, ніяка товщина кожуха не відверне високих напруг як в кожусі, так і в кладці, що може привести навіть до розриву кожуха і прискороного розпаду кладки, інтенсивність якого підвищується зі збільшенням напруги кладки. Навпаки, при зайвих величинах зазорів сталевий кожух не виконає одну зі своїх основних функцій запобігання кладки від неприпустимих тріщин, в свою чергу сприяють розпаду футерування.

В інституті ДППроєктстальконструкція протягом ряду років велося систематичне обстеження і вивчення дійсної роботи доменних печей. Встановлено, що велика частина кожуха знаходиться в двухосному напруженому стані. З'ясувалася також велика нерівномірність розподілу напружень не тільки по кільцевому перетину кожуха, але і в меридіональному напрямку. Причому в різні періоди експлуатації в залежності від ступеня вигорання кладки і від ущільнення набійки напруги в кожусі змінюються.

Накопичений досвід з обстеження та проектування конструкцій доменних печей дозволив інституту ДППроєктстальконструкція за участю ДППРОмеза та інших організацій розробити проект «Інструкція з проектування сталевих конструкцій доменних цехів і газоочисток», в якій прийняті умовні передумови, необхідні для розрахунків.

### 3.5.2. Навантаження і розрахункові коефіцієнти

Розрахунок кожуха доменних печей проводиться за методикою розрахунку за граничними станами. При цьому розрізняють такі поєднання навантажень: основне (О), до якого відносяться постійні і тривалі тимчасові навантаження, регулярно діючі під час експлуатації споруди; додаткове (Д) з доповненням до згаданих навантажень ще нерегулярно діючих короткочасних навантажень і, нарешті, особливе, або випадкове (С) з додаванням навантажень, які носять аварійний характер (вибухи), або навантажень, які з'являються через неприпустимі порушення режимів роботи (обрив скіпових тросів, застрявання конусів і т. п.). При цьому динамічний вплив зазвичай враховують множенням величин навантажень на динамічний коефіцієнт.

При додатковому поєднанні навантажень вводиться коефіцієнт поєднання 0,9, а при особливому (або випадковому) коефіцієнт 0,8.

Для розрахунку доменної печі об'ємом до 2000 м<sup>3</sup> (включно) в основне сполучення навантажень входить нормативний тиск газового середовища у фурм  $p_1 = 0,25 \dots 0,42$  МПа і на колошнике  $p_1 = 0,18 \dots 0,25$  МПа з лінійною інтерполяцією по висоті печі. Потім до цього ж поєднання відноситься навантаження тиску шихти, рідкого чавуну і тиску від температурних розширень кладки. Величина тиску газового середовища  $p_1$  у фурм і  $p_2$  на колошнике задається технологічною організацією.

В особливу (випадкове) поєднання входить також навантаження від можливих несподіваних вибухів всередині печі в будь-якому місці, прирівнюється тиску  $p_1 = 0,4$  МПа, має обмежене (місцеве) поширення. Для печі об'ємом 2700 м<sup>3</sup> це тиск приймають рівним 0,61 МПа.

Аналогічно приймають навантаження від газового тиску для повітряно-нагрівачів і повітряного тракту в залежності від необхідного тиску у фурм  $p_1$  їх також розраховують на максимально можливе нормативний тиск, рівне 0,4 МПа при випадковому поєднанні (С). Для пиловловлювача і газопроводів тиск приймають в залежності від тиску на колошнике  $p_2$ .

Нормативні температури металу кожуха доменної печі приймають: при основному поєднанні 60°С, при додатковому 80°С і випадковому 100°С.

Суттєвим навантаженням для конструкцій типу оболонок є випробувальні навантаження. Випробування конструкцій і зварних швів проводиться окремо на щільність і міцність.

Згідно з керівними технічними матеріалами машинобудування в невеликій судині для їх випробування наливають воду з доведенням тиску в них до величини трохи більше розрахункової ( $1,25 \cdot p$  при  $p > 0,5$  МПа або  $1,5 \cdot p$  при  $p < 0,5$  МПа, але не менше  $0,2$  МПа). Високі оболонки доменного комплексу так випробувати не представляється можливим. Випробування ж великим тиском повітря небезпечно, так як при наявності якої-небудь випадкової тріщини може статися вибух з великими руйнуваннями.

Тому в БНіП «Виготовлення, монтаж і приймання металевих конструкцій» передбачається роздільне випробування конструкції доменного комплексу на щільність і міцність стисненим повітрям під тиском. При цьому комплекс споруд доменного цеху розбивають на окремі ділянки, які випробують окремо по різним програмі.

Перший етап випробування на щільність до пристрою футерування конструкцій; при цьому створюється тиск, що дорівнює  $0,07$  МПа. Якщо виявиться витік повітря протягом години більш  $2\%$  (при тимчасових заглушках), встановлюють місця цих витоків (змочуванням місць з'єднань конструкцій мильною водою) і, коли знімуть тиск, усувають дефект (вирубкою недоброякісних швів і пристроєм нових). Величина витoku повітря в  $\%$  визначається формулою:

$$a = 100 \cdot \left( 1 - \frac{P_{\text{кон}}}{P_{\text{нач}}} \cdot \frac{T_{\text{нач}}}{T_{\text{кон}}} \right), \quad (3.4)$$

де,  $P_{\text{нач}}$  і  $P_{\text{кон}}$  – початковий і кінцевий тиск;  $T_{\text{нач}}$  і  $T_{\text{кон}}$  – температури повітря.

Другий етап випробувань окремих конструкцій або ділянок комплексу доменної печі, тобто випробування на міцність, можна виробляти і після футерування. При цьому випробувальний тиск для повітропроводів і повітронегрівачів доводиться до величини  $1,25 \cdot p_1$ , де  $p_1$  – нормативний робочий тиск в повітряному тракті від повітродувки, приблизно дорівнює тиску у фурм доменної печі. Такий тиск витримується протягом  $5$  хв, після чого

його знижують до робочого  $p_1$  і спостерігають протягом години можливий витік повітря. Через небезпеку великого вибуху в результаті можливих дефектів в конструкції під час випробування не дозволяється бути присутнім особам, не пов'язаним з виробництвом цих випробувань, в радіусі 25-50 м від місця випробувань. Забороняється оглядати конструкцію під час підвищення тиску, а також відразу після цього простукувати шви або їх ремонтувати під тиском.

Для конструкцій пиловловлювачів і газопроводів брудного і напів чистого газу тиск при випробуванні приймається рівним  $1,25 \cdot p_2$ , де  $p_2$  – нормативний тиск на колошник доменної печі.

Доменну піч відчують продувкою системи комплексу конструкцій тиском, зазвичай не вище 0,2 МПа, так як в протилежному випадку при незавантаженої печі (без шихти) ваги футеровки і верхніх металоконструкцій може виявитися недостатнім, щоб запобігти підняття країв конструкції газом тиском з можливим пошкодженням при цьому вузлів конструкцій .

### 3.5.3 Основні принципи розрахунку кожуха доменної печі

«Інструкцією з проектування сталевих конструкцій доменних цехів і газоочисток» прийнято при розрахунку розглядати кожух і кладку печі в двох станах: перше-коли футеровка збережена, друге – коли футеровка частково вигоріла. Розрахунок на внутрішній тиск ведеться від спільної дії навантажень: тиску газу, распора шихти, температурного распора і тиску від рідкого чавуну.

По висоті печі величини тисків різні; тому прийнято розрахунок величин тиску виконувати в шести перетинах, зазначених на рис. 3.51.

Позначивши сумарні розрахункові кільцеві напруження розтягу  $0X$  і виділивши в них напруги, отримані від силових впливів  $\sigma_{xp}$  і окремо від температурного распора  $\sigma_{xt}$ , в результаті можна записати:

$$\sigma_x = \sigma_{xp} + \sigma_{xt}, \quad (3.5)$$

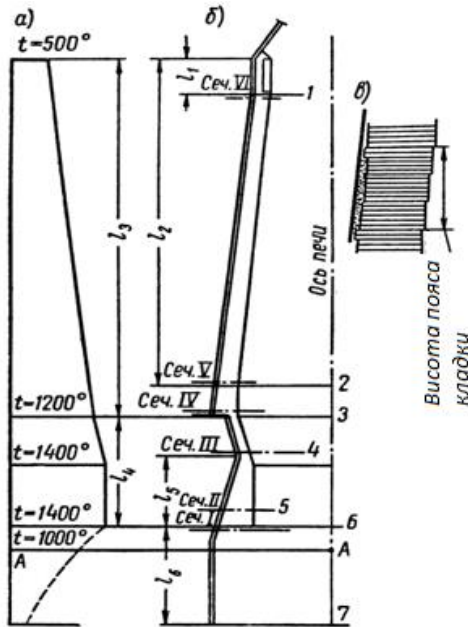


Рис. 3.51. Схематичний розріз доменної печі і графік розрахункової температури

Напруга  $\sigma_{xp}$  складеться з газового тиску  $\sigma_{xг}$ , тиску шихти  $\sigma_{xш}$  і тиску чавуну  $\sigma_{xч}$ :

$$\sigma_{xp} = 1,15 \cdot \sigma_{xг} + 1,2 \cdot \sigma_{xш} + 1,1 \cdot \sigma_{xч}, \quad (3.6)$$

де, числові коефіцієнти означають коефіцієнти перевантаження.

При визначенні кільцевих напружень кожуха від газового тиску і шихти для II, IV і V перетинів (рис. 3.44) вводиться коефіцієнт 0,5 для першого стану кладки, яким коригують величину цих тисків на кожух з урахуванням передачі частини тиску на подолання сил тертя між горизонтальними рядами кладки. Це коригування не поширюється - на ведучий перетин VI через наявні підвісних захисних плит, а також на Лещадь і заплечики (перетин III). Для другого стану кладки, коли вона частково вигоріла, тиск передається повністю на кожух печі. Таким чином, маємо:

$$\sigma_{\text{хг}} = 0,5 \cdot \frac{p_{\Gamma}^{\text{H}} \cdot r}{\delta} \text{ або } \sigma_{\text{хг}} = \frac{p_{\Gamma}^{\text{H}} \cdot r}{\delta}, \quad (3.7)$$

де,  $p_{\Gamma}^{\text{H}}$  – нормативний газовий тиск.

Нормативний тиск від шихти прийнято:

$$\begin{aligned} p_{\text{ш}}^{\text{H}} &= 0,1 \cdot d_2; \\ p_{\text{ш}}^{\text{H}} &= 0,35 \cdot d_1, \end{aligned} \quad (3.8)$$

де,  $d_1$  – діаметр горна по внутрішній межі кладки в м;  $d_2$  – діаметр распара по внутрішній межі кладки в м.

Таким чином, кільцеве напруження від шихти буде:  
для перетину IV і V

$$\sigma_{\text{хш}} = 0,5 \cdot \frac{0,1 \cdot d_2 \cdot r}{\delta} \text{ або } \sigma_{\text{хш}} = \frac{0,1 \cdot d_2 \cdot r}{\delta}; \quad (3.9)$$

для перетину III

$$\sigma_{\text{хш}} = \frac{0,35 \cdot d_1 \cdot r}{\delta}. \quad (3.10)$$

Кільцева напруга від рідкого чавуну для перетину II визначається за формулою:

$$\sigma_{\text{хч}} = \frac{0,075 \cdot h_2 \cdot r}{\delta}, \quad (3.11)$$

де,  $h_2$  – відстань від осі чавунної льотки до осі фурм в м;  $r$  і  $\delta$  – в см.

Близько перетину I трохи вище поду кільцеве напруження від рідкого чавуну:

$$\sigma_{\text{хч}} = \frac{0,075 \cdot (h_2 + h_1) \cdot r}{\delta}, \quad (3.12)$$

де,  $h_1$  – відстань від низу поду до осі чавунної льотки в м.

Таким чином, для різних перетинів і станів кладок можуть бути визначені напруги  $\sigma_{\text{хр}}$ . Ці формули зведені в табл. 3.4 і табл. 3.5.

Розрахункові кільцеві напруги  $\sigma_{\text{хт}}$ , що виникають під дією температурного розширення кладки для прийнятих конструктивних рішень доменних печей обсягами 1386-2000 м<sup>3</sup>, визначають по формулі

$$\sigma_{\text{хт}} = (A + B \cdot b \cdot \delta + C \cdot b + F \cdot \delta) \cdot r + G, \quad (3.13)$$

де,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $F$  – числові коефіцієнти, наведені в табл. 3.4 підібрані так, що виявилися близькими за величиною до експериментальних вимірів на діючих печах;  $\delta$  – товщина кожуха в см;  $b$  – величина зазору (в см) між кладкою і суцільними вертикальними холодильниками або між кладкою і кожухом. Величину зазору  $b$  приймають як середню між верхнім і нижнім зазорами між кладкою і кожухом на розрахунковій ділянці відповідно до діючих інструкцій з футерування доменних печей;  $G$  – величина поправки, що залежить від товщини кладки а ця величина наведена в табл. 3.4.

Формула (3.12) і відповідні практичні коефіцієнти, запропоновані Л.А. Сорокіним, складені для конструктивного вирішення доменної печі, в якому плитні холодильники розташовані нижче мораторного кільця, а шахта охолоджується горизонтальними холодильниками. Для заповнення зазорів прийняті: між плитовими холодильниками і кожухом поду і горна – вуглецева набойка, а в товстостінному розпарі і шахті – шлако- або шамотно-асбестова засипка; між вертикальними плитовими холодильниками – чавунна замазка.

Користуючись формулою (3.13), можна частково вирішити питання про зв'язок між кожухом, набойкою і футеруванням (кладкою).

Зазначені формули не поширюються на розрахунок конструкцій доменних печей, що працюють на цинкутримуючих рудах. В цьому випадку

Таблиця 3.4.

Значення  $\sigma_{ХГ}$ ,  $\sigma_{ХШ}$ ,  $\sigma_{ХЧ}$ ,  $\sigma_{ХП}$ ,  $\sigma_{ХЛ}$  для першого стану кладки

Перегляди за рис. 3.52	$\sigma_{Хр} = 1,15\sigma_{ХГ} + 1,2\sigma_{ХШ} + 1,1\sigma_{ХЧ}$			$\sigma_{ХЛ} = (A + B\delta\delta + C\delta + F\delta)Г + G,$					$\sigma_{ур} = \frac{1,1 \cdot \sigma_{ХЛ}}{2}$	К <sub>тр</sub> *
	$\sigma_{ХГ}$	$\sigma_{ХШ}$	$\sigma_{ХЧ}$	A	B	C	F	G		
Лещадь II	0	0	0	12	0,036	-0,36	-1,47	0	$1,1 \frac{p_{ГГ}^{H}}{\delta}$	0,5
Рівень чавунної льотки II	$0,5 \frac{p_{ГГ}^{H}}{\delta}$	0	$\frac{0,075h_2Г}{\delta}$	0,4	0,051	-0,34	-1,2	(A-170) 5		
Рівень горн III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Моратор і низ шахти IV, V	$0,5 \frac{p_{ГГ}^{H}}{\delta}$	$\frac{0,1d_2Г}{\delta}$	0	10,05	0,11	-0,556	-2,24	(A-100) 3,6	$1,1 \frac{p_{ГГ}^{H}}{\delta}$	0,3
Верх козюха шахти VI	$\frac{p_{ГГ}^{H}}{\delta}$	0	0	8,64	0,121	-0,608	-1,995	(A-100) 5		

К<sub>тр</sub>\* – коефіцієнт тертя

Таблиця 3.5.

Значення  $\sigma_{хг}$ ,  $\sigma_{хш}$ ,  $\sigma_{хч}$ ,  $\sigma_{ур}$ ,  $K_{тр}$  для другого стану кладки

Перегин за рис. 3.52	$\sigma_{хр} = 1,15\sigma_{хг} + 1,2\sigma_{хш} + 1,1\sigma_{хч}$			$\sigma_{xt} = f\left(\frac{\sum \sigma_3 \cdot 100}{2\pi r}\right)$	$\sigma_{ур} = \frac{1,1 \cdot \sigma_{хг}}{2}$	$K_{тр}^*$
	$\sigma_{хг}$	$\sigma_{хш}$	$\sigma_{хч}$			
Лещадь II		0	$\frac{0,075(h_2 + h_1)r}{\delta}$	Див. рис. 3.45	$\frac{1,15 \cdot p_{гг}^H}{\delta}$	0.5
Рівень чавунної льотки II		0	$\frac{0,075h_2r}{\delta}$			0.5
Рівень горн III		$\frac{0,35d_1r}{\delta}$	0	0	0.5	0.5
Моратор і низ шахти IV, V		$\frac{0,1d_2r}{\delta}$	0	0	0	0
Верх кожука шахти VI		0	0	0	0	0

 $K_{тр}^*$  – коефіцієнт тертя

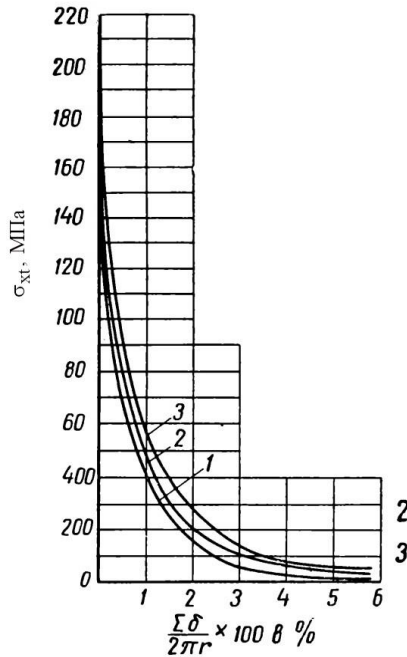


Рис. 3.52. Графік напруг в кожусі поду і горна в залежності від величини  $\frac{\sum \sigma_3}{2\pi r}$  – суми вертикальних

зазорів між холодильниками до довжини кола:

- 1 – для холодильників товщиною 160 мм;
- 2 – те ж, 235 мм; 3 – те ж, 345 мм.

футерування і охолодження повинні бути іншими.

У наведених вимогах ослаблення кожуха отворами для фурм умовно не враховується. Конструктивно ослаблення компенсуються місцевим збільшенням товщини кожуха проти розрахункової на 20% при ширині не менше двох діаметрів отвору. Місцеві та інші не враховані напруги кожуха до мораторного кільця враховують введенням коефіцієнта умов роботи  $\gamma_a = 0,85$ . Крайовий ефект враховується в місцях перегинів кожуха, причому товщина листа всього купола не зменшується і приймається так само, як при обліку крайового ефекту. Мінімальну товщину кожуха в раніше побудованих печах приймав і при виконанні конструкції зі сталі марки Ст.3; для кожуха горна 20 мм, а для кожуха шахти 16 мм.

Якщо по табл. 3.4 отримаємо значення  $\sigma_{xt}$  менше 30 МПа, то приймається  $\sigma_{xt} = 300$  МПа.

При другому стані кладки, коли вона майже вся вигоріла, кільцеві напруги від температурного распора частини футеровки і плитових холодильників  $\sigma_{xt}$  визначаються за графіком на рис. 3.52 в залежності від величини відносини суми вертикальних зазорів між холодильниками  $\sum \sigma_3$  до повної довжини кола, тобто  $\frac{\sum \sigma_3}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot 100\%$ .

Крім кільцевих напружень в кожусі доменної печі розвиваються і вертикальні меридіональні напруги  $\sigma_y$ , як у будь-якій замкнутій конструкції, що має внутрішній тиск, а також внаслідок ковзання кладки і тертя набійки о кожух.

Меридіональна напруга

$$\sigma_y = \sigma_{yp} + K_{тр} \cdot \left( \frac{\sigma_{xp} + \sigma_{xг}}{r} \right) \cdot \frac{l_1}{2}, \quad (3.14)$$

де,  $\sigma_{yp}$  – розрахункова меридіональна напруга від тиску газу;  $l_1$  – висота частини кожуха, що розраховується для кожного перетину, показана на рис 3.51;  $r$  – радіус кожуха;  $K_{тр}$  – коефіцієнт тертя, що приймається зазвичай рівним 0,5 і 0,3 (див. табл. 3.4 і 3.5);

$$\sigma_{yp} = 1,15 \cdot \frac{p_p^H \cdot r}{\delta}. \quad (3.15)$$

Оскільки в розрахунках повинні бути різні поєднання навантажень, то в зазначені формули потрібно ввести коефіцієнт поєднання навантажень  $k_c$  (коефіцієнти перевантаження  $n$  вже враховані в розрахункових формула напруг).

Крім того, з огляду на наявність двовісного напруженого стану, тобто на необхідності приведення  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$  до наведеної напруги в формулу (3.15) вводиться коефіцієнт, що враховує плоский напружений стан,  $k_m$ .

Як відомо, при плоскому напруженому стані розрахунок ведеться за формулою:

$$\sigma_{xp} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \leq R, \quad (3.16)$$

де,  $R$  – розрахунковий опір матеріалу.

При значеннях  $\sigma_1 > \sigma_2$  в абсолютному значенні можна записати коефіцієнт  $\eta = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ , вводячи при цьому напруги зі своїми знаками, тобто

$$1 \geq \eta = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1. \quad (3.17)$$

$$\begin{cases} \sigma_x = (\sigma_{xp} + \sigma_{xt}) \cdot \frac{k_c}{k_M \cdot m} \leq R; \\ \sigma_y = \left[ \sigma_y + (\sigma_{xp} + \sigma_{xt}) \cdot \frac{K_{TP} \cdot l_i}{2 \cdot r} \right] \cdot \frac{k_c}{k_M \cdot m} \leq R. \end{cases} \quad (3.18)$$

де,  $m$  – коефіцієнт умов робіт;  $k_c$  – коефіцієнт поєднання;  $\sigma$  – розрахункові напруги.

### 3.5.4. Основні принципи вибору матеріалу

Сталь, що застосовується для конструкцій споруд доменного комплексу, повинна відповідати великому спектру вимог, що забезпечують надійну роботу і довговічність.

У кожухах агрегатів комплексу доменної печі, як в оболонках, виникають напруги двох напрямків – кільцевого і меридіонального, що створює двовісний напружений стан. У такій ситуації виявляються стиснутими деформації оболонки і створюються умови, що сприяють крихкому руйнуванню.

Крихке руйнування елемента або всієї конструкції – найбільш небезпечний граничний стан, при якому розмір зони пластичної деформації біля вершини тріщини дуже малий у порівнянні з розміром тріщини або поперечником твердого тіла. Швидкість поширення такої тріщини в сталі складає близько 1800 м/с.

Крихке руйнування відбувається при номінальних розтягуючих напруженнях в формі мимовільного поширення тріщини під дією пружної енергії, накопиченої конструкцією. Воно не прогнозується при традиційних розрахунках на міцність конструкцій по межах плинності і міцності. У зв'язку з цим, для найбільш відповідальних конструкцій – кожухів доменної печі і повітрянагрівачів, несучих елементів похилих мостів і інших – вибирається сталь з малою схильністю до крихкого руйнування, небезпека якого в умовах двовісного напруженого стану вельми велика.

Перебуваючи в жорстких експлуатаційних умовах, така сталь має бути здатна відчувати робочі напруги, в тому числі і «пікові», без виникнення крихкого руйнування. В цьому відношенні сталь підвищеної міцності сприймає більш високий рівень напруги в порівнянні з маловуглецевою сталлю.

За даними, утворення тріщин в кожухах доменних печей і повітрянагрівачів і пов'язані з цим руйнування призводять до 30-35% втратами у виробництві чавуну. При цьому мають значення неоптимальна компоновка футерування з недостатніми компенсаційними зазорами, дефекти монтажу і зварних швів, а також місцеві перегріву.

Очевидно, що ймовірність появи тріщин при нормованих дефектах виготовлення і монтажу незначна. По всій видимості причиною їх появи є висока температура при локальних перегріваннях. Так, відомо, що при перегріванні під час зварювання температура крихкості зміщується в бік позитивних температур, підвищується температура холодостійкості, тобто з'являється схильність сталі до крихкого руйнування. Знижена холодостійкість може проявлятися на будь-якій ділянці металу шва і біляшовній зоні, однак найбільш помітна вона в зоні перегріву у кордону сплаву.

Аналогічна картина спостерігається і при локальних перегрівах металу кожухів в процесі експлуатації. Аналіз металу кожухів після тривалої їх експлуатації в умовах впливу високих температур показав істотне зниження морозостійкості і, відповідно, зростання критичної температури крихкості.

У таблиці 3.6 наведені експериментальні значення критичної температури крихкості  $t_{50}$  (50% в'язкої складової в зламі стандартних ударних зразків) для ряду об'єктів.

Отримані дані підтверджують зниження морозостійкості, підвищення температури крихкості і свідчать про те, що при незначному зниженні температури істотно зростає ймовірність утворення тріщин, що особливо небезпечно для металу зварних швів і зони термічного впливу зварювання.

На підставі проведених експериментальних і теоретичних досліджень зроблений загальний висновок про те, що тривалий вплив на метал підвищеної температури призводить до розвитку теплової крихкості, що полягає в істотному зростанні порогу холодноламкості матеріалу, і, відповідно, зниження загальної міцності конструкцій.

Ударна в'язкість, що характеризує схильність металу до переходу в крихкий стан, такий же визначальний показник якості сталі, як і межа плинності. Якщо межа плинності є основним показником, що характеризує перехід металу в пластичну стадію і несучу здатність конструкції, то показник ударної в'язкості, що характеризує перехід сталі в крихкий стан і, тим самим, надійність конструкції, не менш важливий, особливо для кожухів доменних печей і повітрянагрівачів, що мають тенденцію до збільшення їх товщини, що призводить до підвищення температури переходу в крихкий

Таблиця 3.6.

Експериментальні значення критичної температури

Об'єкт	Марка сталі	Температура крихкості, $t_{50}$ °C
Кожух доменної печі № 10 ВАТ ММК:		
зона горна	09Г2С	+160...+140
зона льотки	09Г2С	+60
Кожух (зона горна) доменної печі № 9 ПрАТ «Аселор Миталл Стилл Кривий Ріг»	09Г2С	+55
Кожух повітрянагрівача ВАТ «Косогорський металургійний завод»		+40
Кожух повітрянагрівача ВАТ «Тулачермет»	Ст3сп	+40

стан. Показано, що при товщині листів 70-90 мм підвищення цієї температури досягає  $50^{\circ}\text{C}$ .

Крім того, наявність великої кількості вирізів і отворів, особливо в кожухах доменних печей, створюючи концентрацію напружень, збільшує схильність матеріалу до крихкого руйнування. Тому якість сталі і її опірність цього виду руйнування мають важливе значення. Всі конструкційні сталі, перебуваючи в умовах реальних конструкцій з концентраторами місцевих напружень і надрізами, мають властивості холодноламкості, тобто зниженою механічною міцністю, і переходять в крихке стан не тільки при мінусовій температурі, але і при позитивній. Робота сталі при негативних температурах є одним з головних умов переходу сталі в крихкий стан.

Температура поверхні кожухів агрегатів пов'язана не тільки з температурою внутрішньої поверхні кладки, а й з температурою зовнішнього повітря, швидкістю і напрямом вітру тощо (рис. 3.53), а зниження температури кожухів судин, призводить до зростання напруги з розрахунку 2,0-2,5 МПа на  $1^{\circ}\text{C}$  зниження температури і збільшення тиску на футеровку.

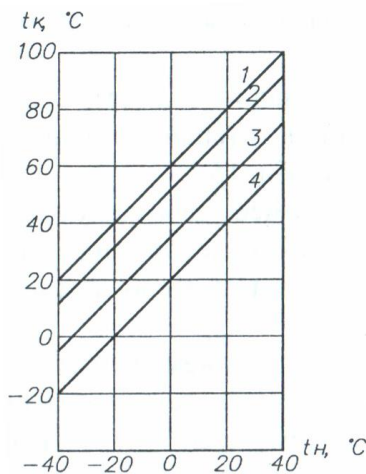


Рис. 3.53. Залежність температури кожуха  $t_k$  від температури зовнішнього повітря в зоні повітрянагрівача і внутрішньої поверхні кладки:

1 –  $1300^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $1000^{\circ}\text{C}$ ; 3 –  $700^{\circ}\text{C}$ ; 4 –  $400^{\circ}\text{C}$ .

Особливо чутливим до зниження температури є показник ударної в'язкості, який визначає поріг холодноламкості і є одним з основних критеріїв при виборі сталі з високою опірністю крихкому руйнуванню. Ударна в'язкість при низьких температурах (мінус 40°С або мінус 70°С) характеризує опірність сталі виникненню тріщин, а зернистість і волокнистість в зламі – їх поширенню.

Дрібнозернисті сталі пручаються крихкому руйнуванню краще, ніж грубозернисті.

До сталі, застосовуваної для відповідальних металоконструкцій доменного комплексу, повинні пред'являтися високі вимоги не тільки щодо механічних і хімічних характеристик і способу виплавки, але і по відношенню до ударної в'язкості, порога холодноламкості і інших показників, що характеризують схильність сталі до крихкого руйнування.

Для конструкційної сталі прийнятий поріг холодноламкості (або холодокрихкості) при температурі  $T_K$ , при якій ударна в'язкість набуває нормоване значення не менше  $0,3 \text{ МДж/м}^2$ .

Температурний запас в'язкості визначається як різниця

$$\Delta T = T_э - T_K, \quad (3.19)$$

де,  $T_э$  – найнижча розрахункова температура експлуатації;  $T_K$  – поріг холодноламкості.

Величина порога холодноламкості залежить від багатьох чинників – якості сталі, ступенем розкислення, а також від товщини металопрокату (табл. 3.7).

Особливе значення це має для кожухів доменних печей і повітронавігачів, де спостерігається тенденція до збільшення їх товщини, що призводить до підвищення температури переходу в крихкий стан.

Таким чином, з погіршенням якості сталі підвищується температура порога холодноламкості і зменшується температурний запас в'язкості. Тому, для відповідальних конструкцій доменних комплексів слід застосовувати прокат високої якості з гарантованим показником ударної в'язкості при негативних температурах.

Таблиця 3.7.

Значення температури порога хладноломкості  $T_K$ , °С.

Сталь	$T_K$ , °С, при товщині, мм	
	10-20	30-40
Ст3 спокійна	-50	-20
Ст3 напівспокійна	-40	-20
Ст3 кипляча	-20	0...-5
Підвищеної міцності	-70	-70

Слід зазначити, що ці температури не пов'язані з температурою, при якій спорудження експлуатується, а лише гарантують більш високий температурний запас в'язкості.

Товщина прокату кожухів доменних печей і повітрянагрівачів пов'язана з величиною технологічних параметрів, що мають тенденцію до зростання. Масштабний фактор в значній мірі впливає на схильність сталі до крихкого руйнування, і зі збільшенням товщини прокату небезпека такого руйнування збільшується, так як зростає вплив трьоххвостого напруженого стану і якість металопродукату погіршується.

У таблиці 3.8 приведена величина критичної температури крихкості сталей різних марок  $T_{C1}$ .

Виходячи з цього, незалежно від кліматичної температури району будівництва і експлуатації, для кожухів доменних печей застосовується сталь 12-ої категорії з гарантованим показником ударної в'язкості не менше  $0,3 \text{ МДж/м}^2$  на зразках КСУ при температурі мінус  $40^\circ\text{C}$ , а для кожухів повітрянагрівачів і повітропроводів гарячого дуття – сталь 15-ої категорії з гарантованим показником ударної в'язкості не менше  $0,3 \text{ МДж/м}^2$  на зразках КСУ при температурі мінус  $70^\circ\text{C}$ .

Важливим критерієм при виборі марки сталі є її пластичні властивості, що знижують схильність до крихкого руйнування, що забезпечують роботу в умовах появи «пікових» навантажень і необхідну пристосованість конструкції.

Сталь повинна досить добре чинити опір температурним впливам, різким змінам температури і теплових ударів. Слід зауважити, що поряд зі стаціонарною підвищеною температурою кожуха печі на окремих його ді-

Таблиця 3.8.

Критична температура крихкості  $T_{c1}$ , °C

Марка сталі	Товщина, мм	$T_{c1}$ , °C
Ст3сп5	12	-70
	20	-50
	25	-45
09Г2С*	12	-100
	20	-80
	36	-60
	50	-50
16Г2АФ*	12	-150
	16	-90
	20	-130
	32	-90
*Для сталей підвищеної міцності, поставлених по 15-ій категорії, значення $T_{c1}$ знижуються на 20°С		

лянках температура змінюється багаторазово. Так, з-за температурного впливу, викликаного випуском чавуну або шлаку, температура кожуха в сфері дії місцевого нагріву змінює свою величину – нагрівання при випуску продуктів плавки, потім поступове охолодження до робочої стаціонарної температури. Така зміна температури і відповідних напружень відбувається стільки раз, скільки зроблено випусків. Тому сталь для конструкцій доменного комплексу повинна мати ще й високою опірністю теплової крихкості, тобто не допускати значного підвищення порога хладноломкості при впливі підвищених і високих температур.

Досить високі вимоги пред'являються до хімічного складу сталі, за яким визначаються її міцність і надійне зварювання конструкцій, а також стабільна опірність крихкому руйнуванню.

Для сталі, застосовуваної для кожухів доменних печей і повітрянагрівачів, слід обмежити вміст сірки до 0,035%, що передбачено п. 2.9, а також забезпечити гарантію зварюваності згідно п. 2.18 ГОСТ 27772-88.

Крім того, для цих конструкцій суцільність прокату повинна відповідати класу 1 по ГОСТ 22727-88.

До інших спорудам доменного комплексу також пред'являються різні вимоги, що забезпечують надійну роботу конструкцій. Зокрема, відомі випадки утворення тріщин в мораторному кільці, пов'язаного з прикріпленням до нього нижнього пояса шахти перпендикулярно його поверхні і виникненням зусиль поперек прокату, що викликають його розшарування, тобто матеріал, застосований для мораторного кільця, повинен забезпечити сприйняття цих зусиль.

## ГЛАВА 4

### НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ЦЕХІВ

#### 4.1 Несучі конструкції стаціонарного міксерів

Опорно-поворотна частина стаціонарного міксерів рис. 4.1 складається з двох ексцентричних опорних бандажів 18, закріплених на корпусі міксерів, двох обойм 19 з опорними роликами та дугоподібних опор 20, встановлених на фундаменті. У кожній обоймі укладено шістнадцять ребордних і безребордних роликів, що чергуються. Бандажі виконані секційною конструкцією. Кожен бандаж складається із чотирьох частин, з'єднаних болтами. Між собою бандажі зв'язані гвинтовими стяжками.

Ексцентричні бандажі зміщують геометричний центр корпусу міксерів на 140 мм нижче осі обертання і на таку ж величину до носа. Внаслідок цього при повороті міксерів на злив металу виникає відновлюючий момент від ваги корпусу і металу, що забезпечує його самоповернення у вихідне положення при припиненні подачі електроенергії або виходу з ладу механізму поворота. Розтискання колодок гальма в приводі здійснюється важільно-канатним механізмом 4 ручного керування гальмами. Обмеження зворотного ходу міксерів та фіксування корпусу під час проведення капітальних ремонтів виробляються пружинними буферними пристроями, встановленими на дугоподібних опорах. Поворот міксерів здійснюють рейковим механізмом 12, що складається з вузла 11 рейкової обойми, що коливається, і приводу 7. Приводи всіх механізмів міксерів розташовані осторонь від корпусу на фундаментних рамах в безпечному і зручному для обслуговування місці.

Корпус 1 міксерів являє собою металевий кожух, всередині футерований вогнетривкою цеглою. Між кожухом та футеровкою поміщений шар теплоізоляційного металу. Кожух утворюють клепана циліндрична обичайка і два торцевих сферичних днища 2, виготовлених з листового гнучого металу. Для зручності проведення робіт, пов'язаних з ломкою та кладкою футерування міксерів, днища виконуються відокремленими та з'єднуються з обичайкою болтами. У верхній частині днищ передбачені оглядові вікна 13 кришками, що закриваються, і встановлені газові пальники 3 для

підігріву чавуну. Заливний отвір міксера забезпечено швидкозмінною футерованою обоймою і зверху закривається поворотною кришкою 6, врівноваженою противагою. Зливний носок 16 викладений всередині вогнетривкою цеглою, обігрівується газом паливником і закривається заслінкою 17.

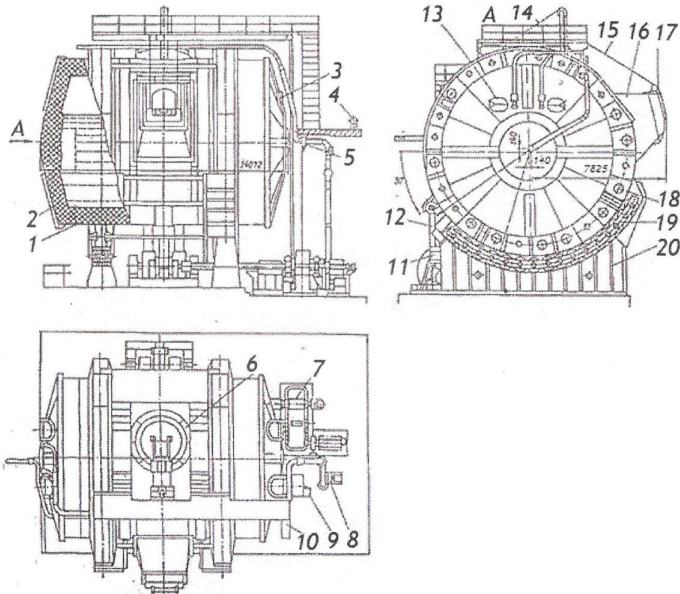


Рис. 4.1. Стационарный миксер

## 4.2. Несучі конструкції конвертера

**Цапфи.** У всіх перших конструкціях вітчизняних конвертерів цапфи кріпилися безпосередньо до циліндричної частини корпусу (рис. 4.2), що дозволяло використовувати її як несучу конструкцію. Перевагою такої системи були компактність і порівняно невелика загальна маса конвертера. Однак експлуатація таких конвертерів показала, що внаслідок термічних і механічних напруг, що виникають в корпусі, останній деформується. При цьому цапфи втрачають свою співвісність, що ускладнює або робить неможливим поворот конвертера. Наявність двох бандажів, розташованих зверху і знизу циліндричної частини корпусу, не тільки не забезпечувало

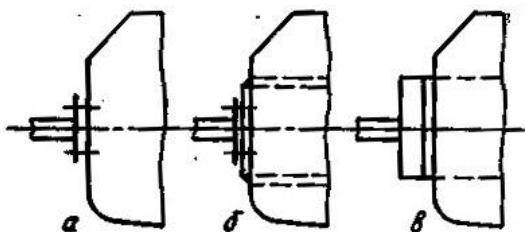


Рис. 4.2. Схема кріплення опорно-поворотних цапф до корпусу (а), до підсиленого корпусу (б) і до опорного кільця (в).

необхідної його жорсткості, а й сприяло появі втомних напруг, що призвело до виходу металевого кожуха з ладу. Це посилювалося також концентрацією напружень в місці кріплень цапф.

Для усунення цих недоліків була розроблена конструкція більш жорсткої циліндричної частини кожуха конвертера. Велика частина циліндричної обичайки була замінена звареною рамною конструкцією у вигляді своєрідного опорного кільця, з'єднаного в єдине ціле з іншими елементами кожуха (див. рис. 4.2), до якого кріпилися цапфи. Це дозволило ліквідувати деформації корпусу і пов'язані з ними перекося цапф.

Однак наявність жорсткого, вбудованого в кожух опорного кільця, перешкоджає вільній деформації металевій оболонки корпусу конвертера, що виникає під дією термічних напружень. Це швидко призводило до появи і концентрації залишкових напружень, виникнення тріщин і виходу кожуха з ладу.

Тому в даний час конвертери з корпусами несучого типу у вітчизняній і світовій практиці не експлуатуються.

**Опорне кільце.** Всі сучасні конвертери забезпечені окремо розташованим від корпусу опорним кільцем, до якого кріпляться цапфи. Опорне кільце, будучи несучим елементом, має володіти достатнім запасом міцності і жорсткості. Тому воно виготовляється досить потужним, що вимагає додаткових площ в цеху, ускладнює і здорожує конструкцію конвертера, а також вимагає спеціальної системи кріплення корпусу до опорного кільця.

Однак, незважаючи на ці негативні сторони, наявність окремо розташованого опорного кільця дозволяє рівномірно розвантажити корпус конвертера від дії сил тяжкості і забезпечує можливість незалежних вільних температурних і силових деформацій корпусу та опорного кільця, що в свою чергу гарантує надійну і тривалу експлуатацію агрегату.

У той же час опорне кільце одночасно схильне силового впливу не тільки корпусу з шихтою, що крутять моментів на цапфах, а й нерівномірного теплового впливу від випромінювання корпусу, а також від випромінювання металу і шлаку під час зливання плавки. В результаті в опорному кільці існує градієнт температур по колу, по висоті і по перетину. Зазвичай внутрішня і верхня частини кільця мають більш високу температуру, ніж зовнішня і нижня його частини, що викликає виникнення додаткових напружень. Тому при проектуванні опорного кільця необхідно враховувати не тільки динамічні і статичні навантаження, але і вплив температурних напружень.

Опорне кільце являє собою конструкцію коробчатого перетину, що складається з двох півкілець, з'єднаних один з одним за допомогою цапфових плит, до яких кріпляться цапфи (рис. 4.3).

Півкілця виготовляються зварними з листової сталі марки 09Г2С. Зазвичай верхня і нижня полиці кільця мають товщину листа 100 мм, а бічні вертикальні - 50 ... 60 мм. Для посилення конструкції на ділянках кріплення корпусу до опорного кільця всередині розташовуються поперечні ребра жорсткості. У бічних вертикальних стінках кільця, а також в ребрах жорсткості є отвори для циркуляції повітря, що сприяє охолодженню і вирівнюванню температурного поля. Залежно від прийнятої системи кріплення корпусу до опорного кільця, на різних ділянках кільця змонтовані різні кронштейни, елементи підсилення, а також різноманітні пази і отвори. Цапфовими плита являє собою масивну сталеву деталь з наскрізним отвором, в яке запресовується цапфа методом гарячої або холодної посадки, шляхом нагрівання плити або охолодження цапфи.

Опорно-поворотні цапфи сприймають все статичні і динамічні навантаження корпусу і опорного кільця. Тому вони виготовляються кованими з легованої сталі типу 40ХН, піддаються ультразвуковому контролю і забезпечені системами охолодження.

**Системи кріплення до опорного кільця.** Наявність окремо розташованого опорного кільця передбачає необхідність надійного кріплення в ньому корпусу конвертера. При цьому повинні бути дотримані наступні умови: точна фіксація корпусу в опорному кільці, що зберігається при різних кутах нахилу конвертера; можливість взаємних вільних деформацій корпусу та кільця під дією теплових і силових напружень.

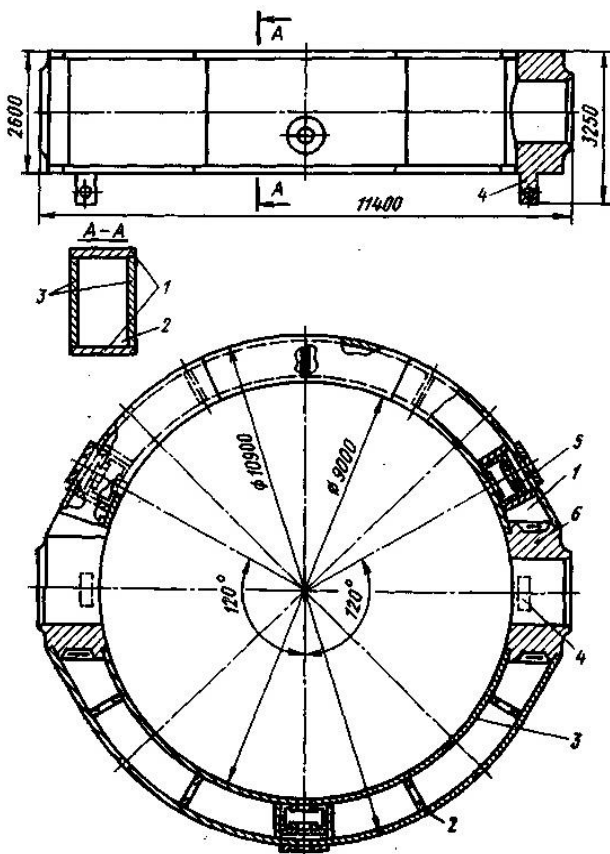


Рис. 4.3. Опорне кільце конвертера:

- 1 – полки; 2 – ребро жорсткості; 3 – вертикальні стінки; 4 – упори;  
5 – вузли зчеплення корпусу конвертера; 6 – цапфова плита.

Вирішення цих проблем ускладнюється з ростом маси плавки, металоконструкцій конвертерів і їх розмірів.

В даний час як правило, застосовуються дві системи кріплення корпусу в опорному кільці.

Переважна більшість конвертерів номінальною місткістю 50...130 т кріпляться в опорному кільці за допомогою спеціальних кронштейнів (рис. 4.4). Для цього вгорі циліндричної частини кожуха приварюються кронштейни, за допомогою яких корпус спирається на верхню полицю опорного кільця. Для точної фіксації корпусу в опорному кільці на верхній

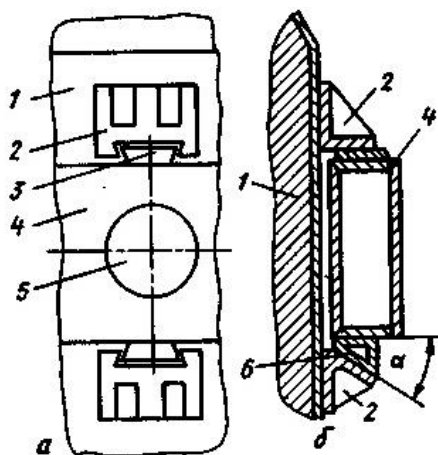


Рис. 4.4. Кріплення корпусу в опорному кільці за допомогою кронштейнів:

- 1 – корпус конвертера; 2 – кронштейни корпусу; 3 – фіксатор;  
4 – опорне кільце; 5 – цапфа; 6 – кронштейн опорного кільця.

його полиці проти кронштейнів встановлені регульовані фіксатори, що обмежують зсув корпусу в горизонтальній площині.

Для запобігання обертання корпусу навколо вертикальної осі під дією розплаву до цапфовими плитам привариваються накладки з пазами, в які входять кронштейни корпусу. Така система перешкоджає також зрушення верхній частині корпусу щодо кільця.

Нижня частина корпусу кріпиться в опорному кільці за допомогою кронштейнів, установлених попарно на корпусі і на опорному кільці. З огляду на можливість нерівномірного розширення корпусу конвертера і опорного кільця як в вертикальному, так і в радіальному напрямках, контактну поверхню цих кронштейнів виконують під певним кутом. Величина кута визначається розрахунковим шляхом з урахуванням можливих збільшень висоти і діаметра під дією температурного розширення. У зв'язку з різним розширенням корпусу і кільця в процесі експлуатації для ліквідації появи можливих зазорів кронштейни кільця в ряді випадків виконують регульованими.

Така система кріплення корпусу в опорному кільці забезпечує досить точну його фіксацію і забезпечує їх вільну деформацію, відносно один одного.

Однак дана система кріплення корпусу в опорному кільці є статично невизначеною, а тому утруднений теоретичний аналіз. Крім того, зі збільшенням місткості конвертерів деформації корпусу і кільця стають настільки значними, що точна фіксація їх відносно один одного практично неможлива.

У вітчизняній практиці набула широкого поширення система кріплення корпусу в опорному кільці на меридіальних тязі.

В основу цієї системи покладено принципово нові положення, які полягають в наступному; при розробці конструкції враховується наявність температурного градієнта як в корпусі, так і в опорному кільці; система кріплення забезпечує самоустановку корпусу конвертерів в опорному кільці незалежно від наявності температурних і силових деформацій; система кріплення виключає передачу навантажень, що виникають при деформації корпусу, на опорне кільце; дана система є статично визначною.

Система кріплення передбачає розташування всіх несучих елементів в порівняно низькотемпературних ділянках корпусу конвертера і кільця, що мають незначний градієнт температур по ходу кампанії конвертера.

Таким ділянкою є область переходу металеві оболонки з циліндричної форми в сферичну. Ця ділянка кожуха посилений так званим несучим поясом (рис. 4.5), що представляє собою ряд горизонтальних дугоподібних бандажів, що охоплюють корпус конвертера по всьому периметру. У несучому поясі закріплені три кронштейна, розташовані відносно один одного під кутом  $120^\circ$ .

В опорному кільці на його нижній полиці зроблені спеціальні посилені ділянки з гніздами, розташовані над кронштейнами несучого пояса. У гніздах і кронштейнах за допомогою пальців і сферичних шарнірів кріпляться підвіски, звані меридіальними тягами. За допомогою трьох таких тяг корпус конвертера підвішується до опорного кільця. Наявність шарнірно закріплених меридіальних тяг дозволяє конвертеру вільно самовстановлюється в опорному кільці.

Для фіксації конвертера в площині повороту щодо опорного кільця і передачі крутного моменту корпусу конвертера в цапфових плитах влаштовані спеціальні виступи (упори), які входять в пази кронштейнів, ввареними в несучий пояс. За допомогою цих упорів здійснюється передача крутного моменту від цапф до корпусу конвертера. Крім того, упори не дозволяють повертатися конвертера щодо його поздовжньої осі під дією

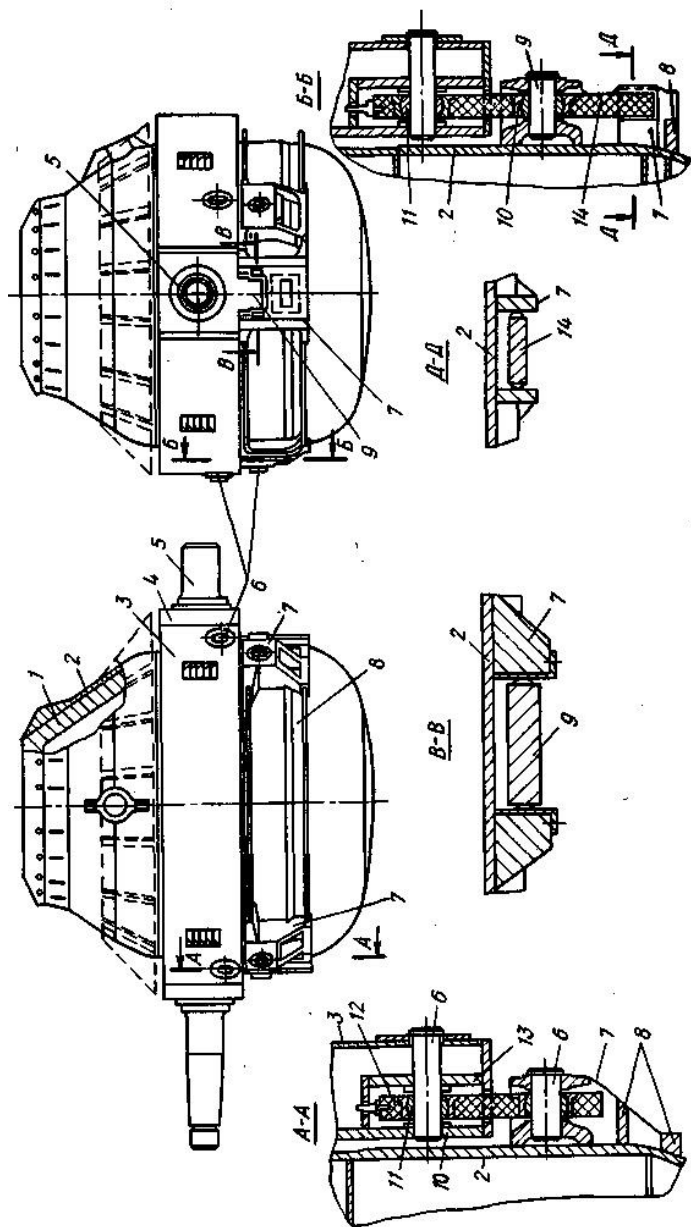


Рис. 4.5. Кріплення корпусу в опорному кільці за допомогою меридіальних тяг:  
 1 – футеровка; 2 – корпус; 3 – опорне кільце; 4 – цапфова плита; 5 – цапфа; 6 – пальці;  
 7 – кронштейни несучого пояса; 8 – несучий пояс; 9 – упор цапфовими плити; 10 – вкладиш шарніра;  
 11 – шарнір; 12 – тяга; 13 – підсилення опорного кільця; 14 – фіксована тяга.

обертального руху розплаву. Для запобігання зсуву корпусу вздовж осі цапф одна з меридіальних тяг виконана фіксованою. Для цього своєю подовженою нижньою частиною вона вставлена в паз кронштейна, встановленого на несучій поясі корпусу. В результаті вона має свободу руху в радіальному і поздовжньому напрямках щодо конвертера і позбавлена можливості переміщатися уздовж осі цапф, утримуючи конвертер у строго заданому положенні та не перешкоджаючи при цьому його самоустановці.

Така система кріплення успішно експлуатується на вітчизняних конвертерах різної місткості, забезпечуючи досить хорошу стійкість корпусу і кільця.

Однак при використанні цієї системи кріплення навантаження в опорному кільці розподіляється нерівномірно, що призводить до підвищеної його деформації. Тому проблему кріплення корпусу в опорному кільці остаточно вирішеною вважати поки не можна.

В даний час в практиці металургійного машинобудування набула поширення система кріплення корпусу конвертера до опорного кільця за допомогою вертикальних тяг або шпильок. У цьому випадку корпус кріпиться в чотирьох точках, рівномірно розподілених по колу.

Верхній кінець шпильки закріплений на верхній полиці опорного кільця, а нижній її кінець зафіксований в несучій поясі корпусу конвертера. Верхній і нижній вузли кріплення для компенсації температурних деформацій зроблені плаваючими за допомогою сферичних вкладишів. Велика довжина шпильок також сприяє компенсації різних пружних деформацій. З ростом місткості конвертерів зростаюча навантаження на шпильки компенсується не збільшення їх діаметра, що може привести до ослаблення несучої здатності кільця, а збільшенням їх кількості. При установці в одному вузлі кількох шпильок для їх рівномірного навантаження на ділянці контакту шпильки з несучим поясом встановлюється спеціальне балансирувальне пристрій. Воно виконане у вигляді двох коромисел і дозволяє порівняно рівномірно розподіляти навантаження на всі тяги.

Слід зазначити, що дана система кріплення корпусу конвертера в опорному кільці на відміну від попередньої відноситься до статично невизначеної. Як правило розміри шпильок вибираються досвідченим шляхом. Утримання конвертера в площині повороту забезпечується упорами, розташованими в цапфових вузлах. Для більш рівномірного навантаження на корпус конвертера упори розташовуються як на нижній, так і на верхній

площинах цапфових вузлів, і відповідно так само розташовані на корпусі конвертера кронштейни для фіксації упорів. Для запобігання зсуву конвертера уздовж осі цапф на верхній і нижній полицях опорного кільця в площині, перпендикулярній повороту конвертера, встановлюються фіксатори, які входять до відповідних пази кронштейнів, установлених на корпусі конвертера.

**Опорні вузли конвертера.** Опори конвертера, крім сприйняття великих вертикальних і горизонтальних сил, повинні компенсувати перекоси і значні осьові переміщення цапф, викликані тепловими деформаціями опорного кільця і похибками при виготовленні і монтажі. Опори змонтовані на зварних рамах, закріплені в фундаменті. Одна опора фіксована, інша - плаваюча, рухлива в осьовому напрямку. Опори змонтовані на конічних роликопідшипників.

Кожна опора (рис. 4.6.) кільця 4 корпусу конвертера складається з обойми 2, змонтованої на цапфі 3. Обойма спирається на дві колони 9 з сферичними підшипниками. Верхні підшипники 5 змонтовані на цапфах 7, нижні 11 на цапфах 10 станини. У нижній частині обойми встановлений штир 6, на якому знаходиться сферична втулка 8. На фіксованій опорі втулка поміщена в циліндричний гніздо станини, на плаваючій опорі - в гніздо 1 з пазом в напрямку, паралельному осі цапф конвертера. Перекоси компенсуються шарнірним закріпленням обойми в стійках і стійок в станині, а осьові переміщення від термічних деформацій опорного кільця - поворотом шарнірно закріплених на корпусі стійок і осьовим переміщенням обойми плаваючої опори зі сферичною втулкою в поздовжньому пазі.

Робота просторових шарнірних систем фіксованою і плаваючою опор при осьовому зміщенні і перекосях цапф в вертикальній і горизонтальній площинах показана на рис. 4.7.

Конструкція опори конвертера місткістю 350-400 т приведена на рис. 4.8.

Опора складається з литого підстави 8, корпусу 2 підшипників, кришки 1, двох конічних роликопідшипників 3, двох опорних колон 5 зі сферичними п'ятами 4 і фіксатора 7. Конічні роликопідшипники посаджені на проміжну втулку, напресованими на цапфу, і зафіксовані в осьовому напрямку гайкою. Між внутрішніми і зовнішніми кільцями роликопідшипників встановлені розпірні втулки. торцеві кришки підшипникового вузла забезпечені Лабіринтовий і регульованими сальниковими ущільненнями. З

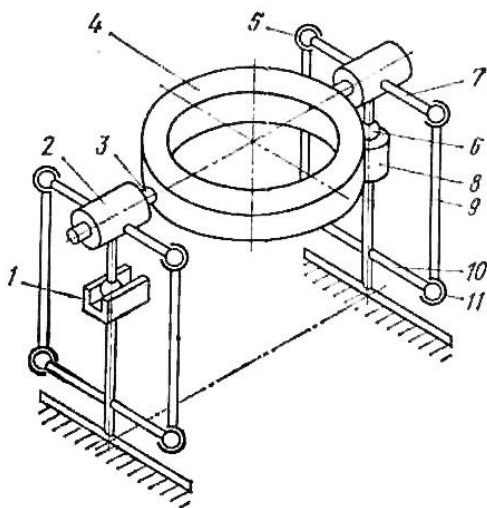


Рис. 4.6. Схема компенсуючих опор конвертера.

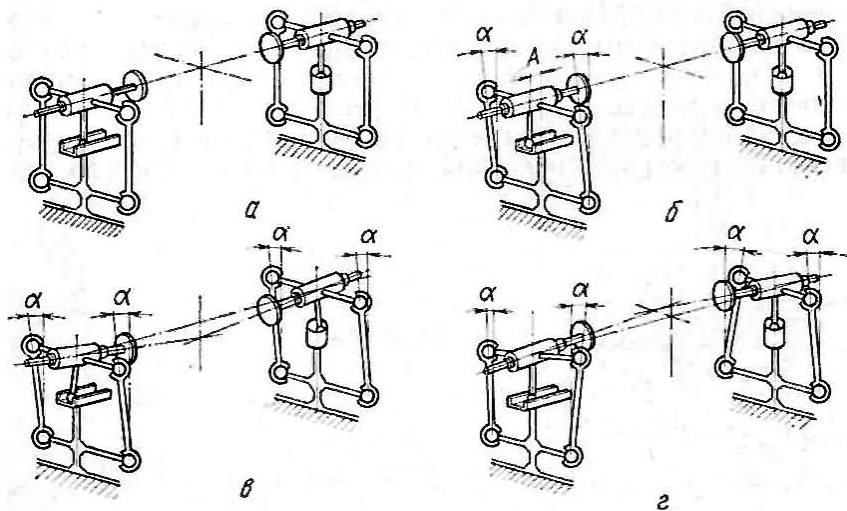


Рис. 4.7. Схема зміщення шарнірної системи опор конвертера:  
 а – при нормальному положенні цапф; б – при тепловому розширенні опорного кільця; в, г – при перекосах цапф відповідно у вертикальній і горизонтальній площинах.

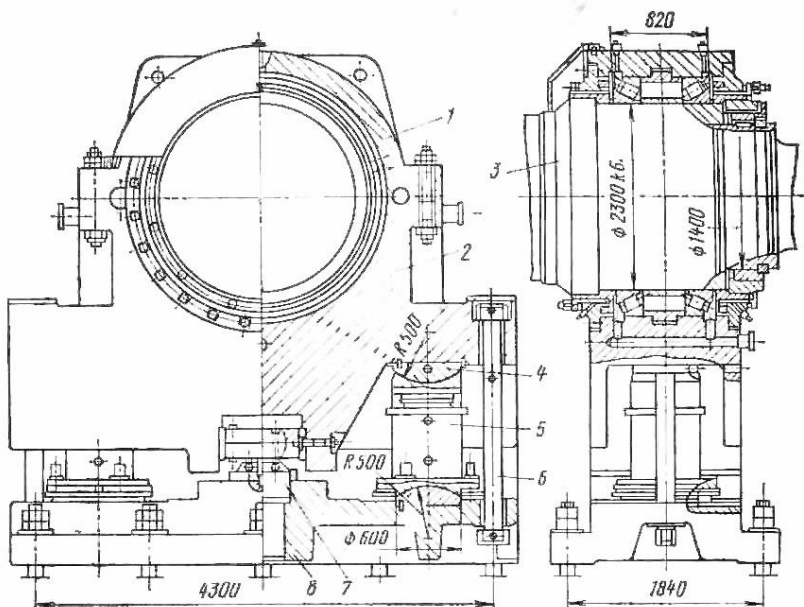


Рис. 4.8. Опора конвертера місткістю 350-400 т.

боку опорного кільця ущільнення закриті кожухом, що виключає потрапляння металу і шлаку. Зміщення кришки по відношенню до корпусу підшипника перешкоджає заставній циліндричний фіксатор. Заставні стрижні 6 з молотковими головками обмежують нахил корпусу при поломці і заклинювання роликоті підшипників. Корпус підшипників спирається на підставу через опорні колони з верхніми і нижніми сферичними п'ятами.

Фіксована і плаваюча опори відрізняються конструкцією фіксаторів. В обох опорах шип фіксатора закріплений в підставі, а на його сферичну головку посаджений роз'ємний сухар, що входить в посадочне місце корпусу підшипників, але у фіксованій опорі сухар входить у втулку, закріплену в гнізді корпусу, а в плаваючій опорі - в поздовжній паз корпусу з бічними накладками.

### 4.3. Дугові сталеплавильні печі

#### 4.3.1. Опорна конструкція дугових сталеплавильних печей

Опорна конструкція дугових печей являє собою сталеву зварену платформу, на верхню горизонтальну раму якої встановлюють корпус. Знизу платформа спирається на два опорних елемента кочення (сегменти або сектора), які можуть перекочуватися, по фундаментних балок під дією механізму нахилу, забезпечуючи нахил печі для забезпечення технологічних операцій зливу металу по зливному жолобу на кут  $40...45^\circ$  і скачування шлаку через поріг робочого вікна на кут  $10...15^\circ$ .

Дугові печі різних типів в залежності від необхідної траєкторії струменя рідкого металу при зливі в розливний ківш можуть мати опорні елементи і фундаментні балки різної форми і конструкції (рис. 4.9):

Корпус 1 (рис. 4.9, а) спирається на кругові сегменти кочення 2, перекочується по рольгангу 3, в результаті чого при нахилі печі кінець зливного носка рухається по колу і йде під піч, що незручно для зливу металу в ківш, підвішений до крана;

Корпус 1 (рис: 4.9, б) спирається на кругові сегменти кочення 2, перекочується по ковзанках 4. Така схема має ті ж особливості і недоліки, що і схема, наведена на (рис. 4.9, а);

Корпус 1 (рис, 4.9, в) спирається на кругові сегменти кочення 2, перекочується по горизонтальних плоским станини - фундаментних балок 5, в результаті чого при нахилі печі штовхачем кінець зливного носка рухається по циклоїді і переміщається вниз і в бік від корпусу, що більш зручно при зливі металу в ківш, підвішений до крану, хоча і вимагає необхідного його маневрування в міру зміни кута нахилу печі. Ця схема дозволяє 'забезпечити стійкість печі при нахилі, якщо центр ваги корпусу 1 розташований нижче центру обертання сегмента кочення 2. Недоліком схеми є велика довжина штовхачів і найбільша довжина гнучких кабелів вторинного струмопроводу в порівнянні з усіма іншими схемами, зображеними на (рис. 4.9);

Корпус 1 (рис. 4.9, г) спирається на кругові сегменти кочення 2, перекочується по опуклим криволінійним станини 6. Якщо радіуси сегментів і станин однакові, коник зливного жолоба при нахилі печі рухається по епіциклоїда, при цьому горизонтальне переміщення носка менше, ніж за схе-

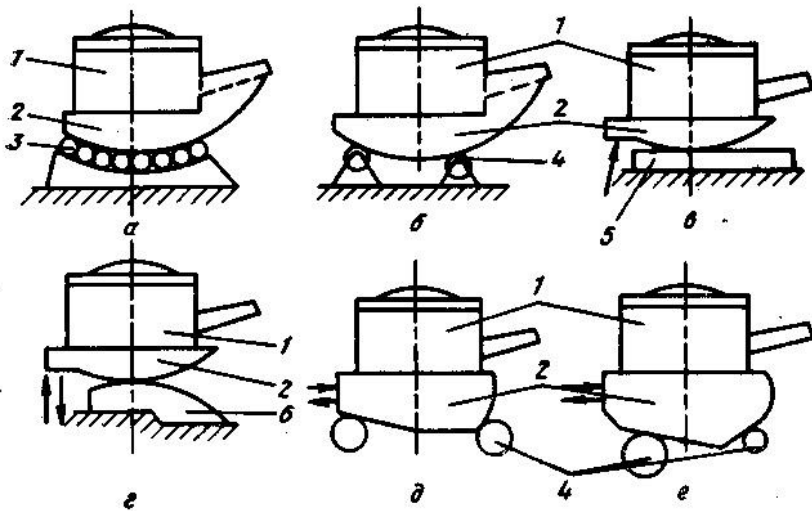


Рис. 4.9. Схеми механізмів нахилу

мою, наведеної на (рис. 4.9, в), що зручніше для розливання. Однак при такій схемі нахилу потрібно велике зусилля для забезпечення стійкості печі.

Корпус 1 (рис. 4.9, д) спирається на сегменти кочення 2 складного профілю: з боку зливного носка сегмент профілює по колу, з боку робочого вікна - по прямій. При нахилі печі під дією горизонтального штовхача кінець зливного носка переміщається строго вертикально. Опорні ролики 4 однакового діаметра забезпечують хорошу стійкість печі;

Корпус 1 (рис. 4.9, е) спирається на сегменти кочення 2 складного профілю: з боку зливного носка сегмент профілює по кривій лінії, з боку робочого вікна - по прямій. Під час перекочування опорних сегментів 2 під дією горизонтального штовхача по роликам 4 різного діаметру відбувається нахил печі з переміщенням кінця зливного носка також по вертикалі аналогічно схемі, наведеної на рис. 4.9, д. Однак складність виготовлення сегментів кочення 2 і невдале розташування горизонтального штовхача 5 з потужним приводом під корпусом 1 обмежили застосування цих схем.

Опорні сегменти кочення складають основу металоконструкції опорної платформи. Кожен сегмент виконують з вертикального листа товщиною до 40 мм, посилюючи для міцності вертикальними і радіально розта-

шованими ребрами жорсткості. Нижню опорну частину сегмента шириною 500...700 мм в залежності від місткості печі виконують з листа такої ж товщини або у вигляді зварної коробки. Щоб уникнути зсуву опорних сегментів щодо фундаментних балок при нахилі печі нижні листи мають один або два ряди рівномірно розташованих шипів, що входять у відповідні отвори фундаментних балок (іноді шипи прикріплюють до балок, а отвори виконують на опорній поверхні сегментів). У деяких конструкціях до сегментів і фундаментних балок кріплять рейки, що утворюють зубчасте зачеплення.

Платформа опорної конструкції являє собою горизонтальну раму, побудовану, як правило, на двох опорних сегментах кочення, жорстко пов'язаних між собою поперечними зварними балками і проміжними зв'язками з прокатного профілю. Залежно від типу печі на платформі розміщують крім опорних вузлів для установки корпусу печі (портал, шахту і стійки несучої конструкції електродів, механізми підйому і повороту склепіння, обертання корпусу, пересування електродів.

Корпус ДСП звичайної потужності встановлюють на чотири опорні тумби з напольними і опорними роликками (рис. 4.10). На рис. 4.11 показаний загальний вид опорної конструкції ДСП місткістю 25 т конструкції ВНДІЕТО.

#### **4.3.2. Несуча конструкція для пересування електрода.**

На дугових печах застосовують два типу несучої конструкції:

горизонтальний рукав 1 прикріплений у вигляді консолі до каретки 2, що пересувається вгору і вниз по нерухомій вертикальній стійці 3 (рис. 4.12, а);

горизонтальний рукав 1 і вертикальна стійка 3 з'єднані жорстко в єдину Г-подібну конструкцію, що пересувається вгору і вниз всередині нерухомої шахти 8 за схемою труба в трубі (див. рис. 4.12, б).

У другому випадку габаритна висота печі виходить менше, але більше маса рухомих металоконструкцій і складніше механічні навантаження вининують і крутіння на стійки, особливо при нахилі печі.

Рукав виготовляють з немагнітної сталі у вигляді товстостінної труби великого діаметра, посиленою ребрами жорсткості в вертикальній площині

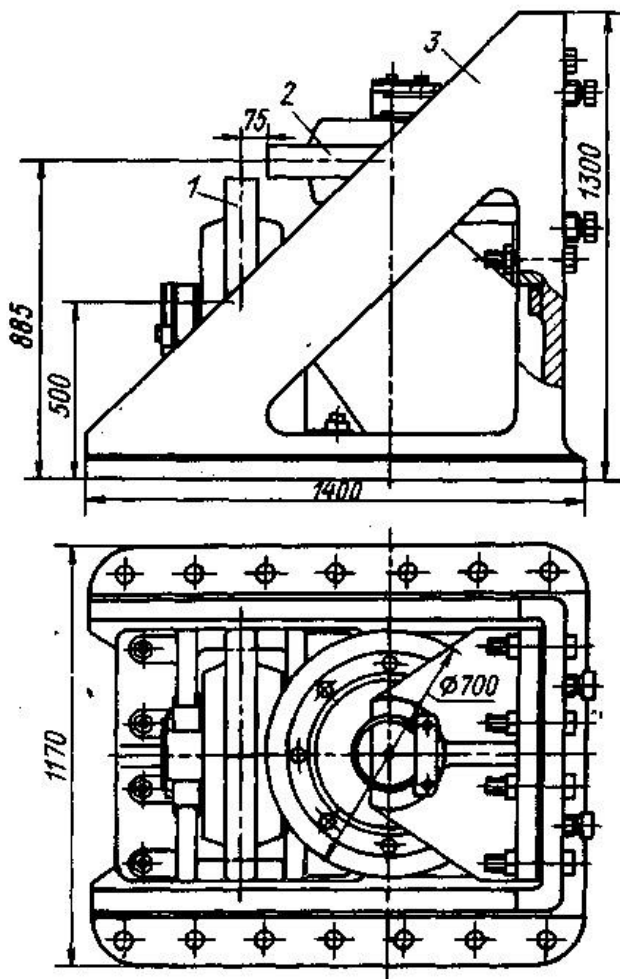


Рис. 4.10. Опорна тумба ДСП місткістю 100 т:  
 1, 2 – опорний і упорний ролики відповідно; 3 – корпус тумби.

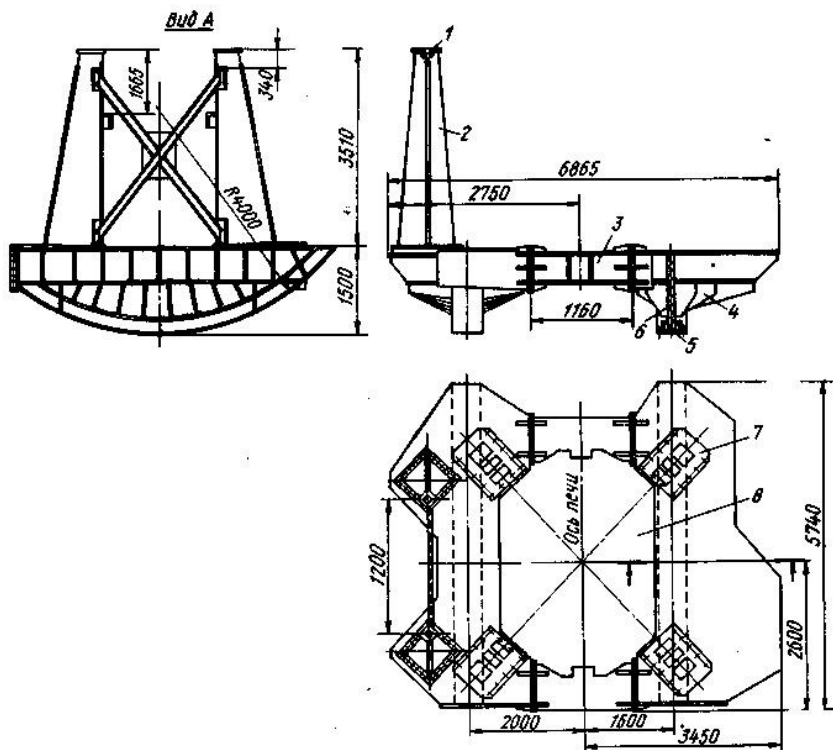


Рис. 4.11. Опорна конструкція ДСП місткістю 25 т:  
 1 – фіксатор положення своду; 2 – тумба постамент;  
 3 – платформа; 4 – ребра жорсткості; 5 – опорний лист  
 сегмента з шипами; 6 – опорний сегмент кочення;  
 7 – місце установки опорної тумби механізму обертання  
 корпусу; 8 – отвір для установки статора  
 електромагнітного перемішування.

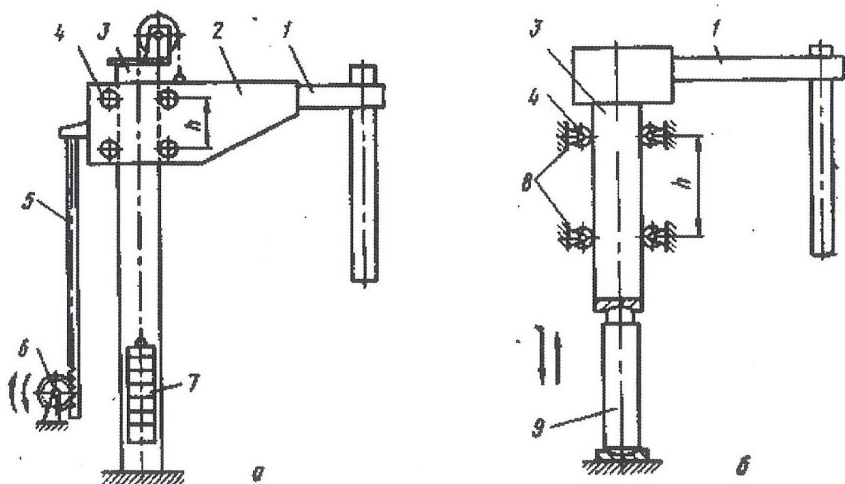


Рис. 4.12. Схема несучих конструкцій с кареткою (а)  
і Г-подібною стійкою (б):

- 1 – рукав; 2 – каретка; 3 – нерухома вертикальна стійка;  
4 – направляючі упорні ролики; 5 – рейка; 6 – привідна шестерня;  
7 – контргруз; 8 – нерухома шахта; 9 – колона;

ні, або звареної балки коробчатого перетину. Коробчатий перетин при однаковому моменті опору має меншу масу, тобто вимагає меншої витрати матеріалів. Рукав прикріплюють до каретки або верхнього фланця вертикальної стійки жорстко через електричну ізоляцію в вигляді асбестоцементної плити і ізоляційних втулок з склотканини на кремнійорганіческій основі (так звана головна або основна електрична ізоляція).

Каретки можуть бути литі (на малих печах), зварні та профільної і листової сталі або роз'ємні. Конструкція каретки під дією сили тяжіння Електроди графітові відчуває вигинає момент, а при нахилі – ще і крутний момент. Тому для зменшення тертя при пересуванні вздовж нерухомої стійки каретка має 16 напрямних напольгливих роликів 4 (рис. 4.12).

Рухливу вертикальну телескопічну стійку виконують зі сталеві труби з двома ребрами жорсткості, які є опорами 12 напрямних роликів при русі в шахті (рис. 4.12, б).

#### **4.4. Основні вимоги до несучих конструкцій машин безперервного лиття заготовок**

Забезпечення стабільності положення технологічної осі машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) будь-якого типу досягається певною схемою компонування її основних вузлів (рис. 4.13). Машина встановлюється на індивідуальному монолітному залізобетонним фундаменті, наявному окремо від будь-яких будівельних конструкцій будівлі і його обладнання. Це дозволяє не тільки зберігати протягом багатьох років стабільність технологічної осі, але і запобігає отриманню будь-яких додаткових впливів (зазвичай у вигляді вібрацій) на її положення в процесі експлуатації від іншого обладнання, що діє в цеху. На фундаменті за допомогою анкерних з'єднань закріплюються опорні металоконструкції, які в залежності від відстаней між ними, місця розташування по лінії машини і навантажень і інших чинників можуть бути різними від стійок різної конфігурації до литих або зварних фундаментних балок. Щоб уникнути теплових деформацій балки робляться певної довжини і закріплюються своїми кінцями в шарнірних опорах, з яких одна є плаваючою, а інша фіксованою. В результаті переміщення балок відбувається тангенціально положенню технологічної осі. Схема опор дозволяє також компенсувати деформації рам, що виникають під дією загальних зусиль витягування, прикладених до зливка, реакція яких передається на всі підтримуючі конструкції. На балках за допомогою швидко-з'єднань монтується всі технологічні елементи і вузли машини, безпосередньо пов'язані з формуванням, охолодженням, підтримкою і витягуванням безперервного злитка.

#### **4.5. Сталерозливні стенди**

Сталерозливні стенди сучасних МБЛЗ забезпечують подачу ковшів з металом до машини, зважування та установку ковша в необхідне положення, процес розливання, зміну ковша зі швидкостями, що дозволяють вести розливання методом плавка на плавку, забезпечують незалежність роботи машин від виникаючих організаційних ситуацій в цеху. Від застосованого типу стендів в значній мірі залежать загальні об'ємно-планувальні рішення розливного відділення.

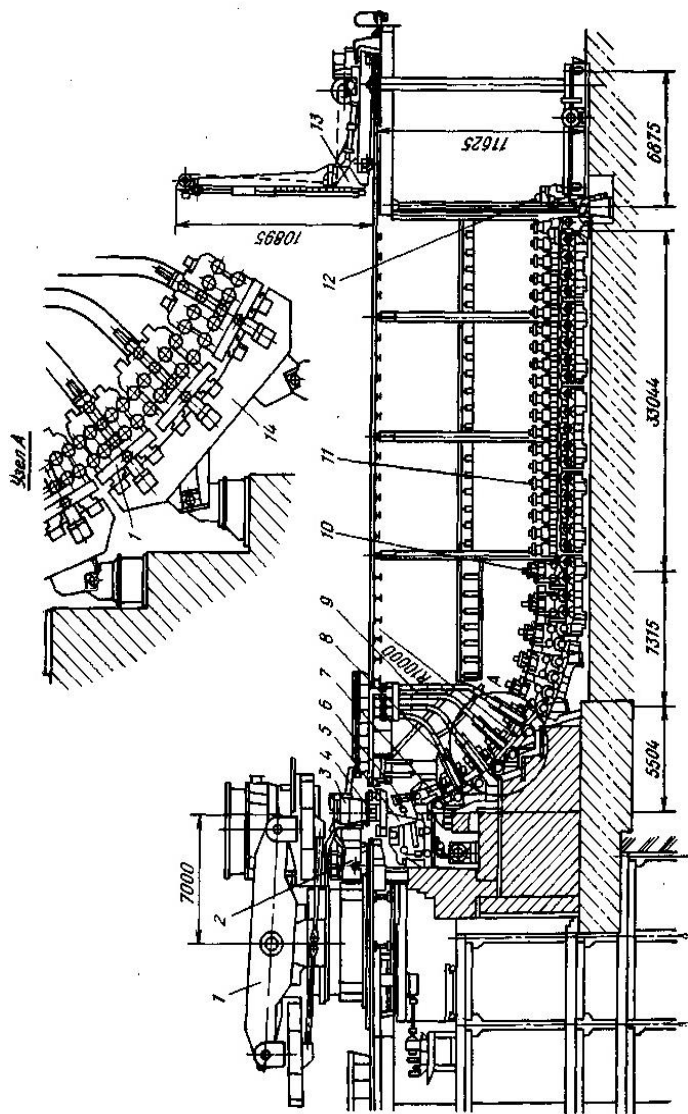


Рис. 4.13. Загальна компоновка МБЛЗ:

1 – сталерозливний стенд; 2 – візок проміжного ковша; 3 – проміжний ківш; 4 – кристалізатори; 5 – механізм гойдання кристалізатора; 6, 7, 8, 10, 11 – різні секції роликіволікової провідки; 9 – напрямні для зміни секцій; 12 – механізм від'єднання затравки; 13 – машина для введення затравки; 14 – фундаментні балки з фіксованими і плаваючими опорами.

За конструкцією і принципом роботи сталерозливні стенди в основному діляться на два типи – мостові і поворотні. Всі вони розраховані на установку двох ковшів.

**Стенди мостового типу.** Стенди мостового типу переміщуються по робочому майданчику, забезпечуючи переклад ковшів з резервного в робоче. Загальний вигляд такого стенду представлений на (рис. 4.14). Він являє собою зварний міст 4, встановлений на чотирьох двохскатних візках 2, забезпечують рух моста по рейковому шляху 1.

Слід зазначити, що дана конструкція є відносно проста і успішно забезпечує весь технологічний процес розливу в одному з конвертерних цехів ВАТ «НЛМК». У той же час вона має такі недоліки: стенд громіздкий і важкий, що вимагає великих площ і потужних опорних конструкцій. Відсутня можливість роздільного вертикального переміщення ковшів.

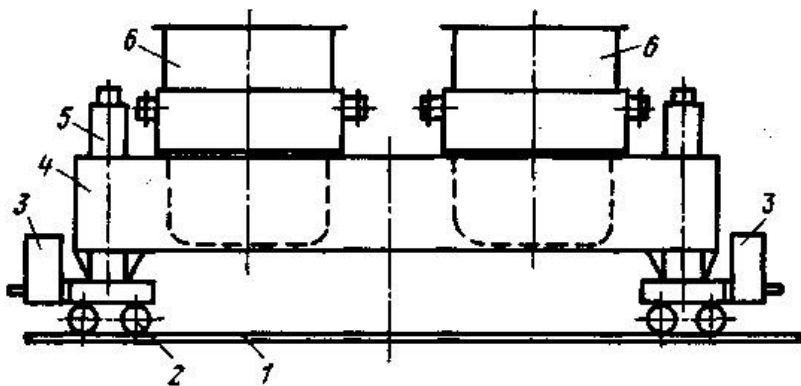


Рис. 4.14. Сталерозливний стенд мостового типу

**Поворотні стенди.** Поворотні стенди являють собою принципово нові конструкції, що застосовуються в сучасних сталеплавильних комплексах. Всі вони виконані у вигляді опорно-поворотних веж, забезпечених механізмами повороту, консолями для ковшів і встановлених на індивідуальних фундаментах. Розташовані стаціонарно, вони забезпечують перенесення сталерозливних ковшів з резервного положення в робоче і навпаки шляхом повороту двох консолей навколо загальної їх осі.

Необхідно відзначити, що в киснево-конвертерних цехах, обладнаних конвертерами місткістю 100...350 т, маса ковшів з металом складає

180...450 т. Крім того, необхідно враховувати об'ємно-планувальні рішення розливного відділення і пов'язане з цим розташування стенду щодо колон будівлі, габарити ковшів і наближення кранів, наявність обладнання МНЛЗ, що знаходиться нижче робочої площадки, а також взаємну прив'язку сталеразливочного і проміжного ковшів з кристалізатором, з урахуванням всіх цих факторів виліт поворотною консолі повинен становити 5...7 м. Тому, беручи до уваги необхідну вантажопідйомність, поворотні стенди відносяться до унікального обладнання.

В даний час існує досить велика кількість варіантів таких стендів, що розрізняються на основі досвіду експлуатації раніше створених конструкцій, схемами компоновки і конструктивними рішеннями поворотних вузлів, підйомних механізмів та інших елементів. Знайшли застосування стенди з хитається і жорстко встановленої траверсами.

На рис. 4.15 приведена загальна схема пристрою поворотних стендів конструкції ВАТ «УЗТМ», що працюють на ВАТ «Северсталь – ЧерМК» і ПрАТ «Азовсталь», які мають хитку траверсу.

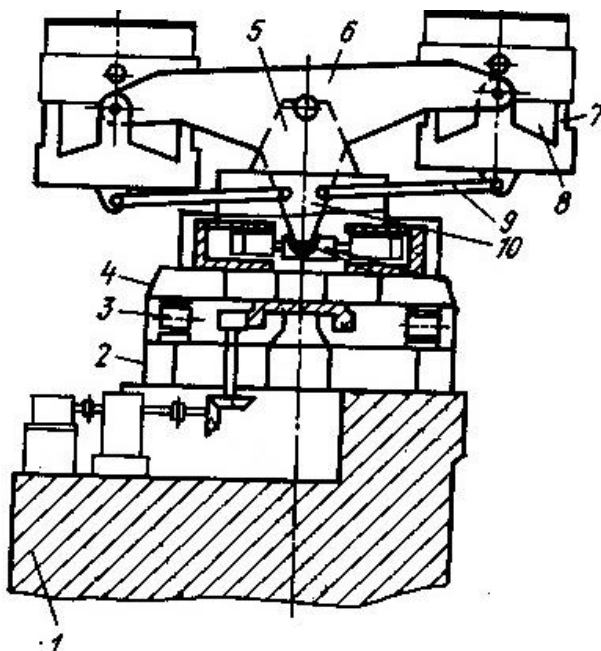


Рис. 4.15. Сталеразливний стенд конструкції ВАТ «УЗТМ»

Стенд складається з наступних основних вузлів: встановленого на фундаменті 1 підстави 2, на якому в кільцевої обоймі розташовані ролики 3. На ролики спирається поворотна платформа 4 з прикріпленими двома стійками 5, між якими на осі посаджена рама 6 з двома підвісками 7 для ковшів 8. для забезпечення плоско-паралельного переміщення ковшів і підвісок останні з'єднані тягами 9 з важелями 10 на рамі. Підйом або опускання ковшів забезпечується хитанням несучої рами. При її нахилі один ковш піднімається, а другий опускається.

В процесі експлуатації стендів підтверджена висока надійність всіх основних вузлів і особливо опорно поворотного приводу механізму повороту. До недоліків стенду слід віднести відсутність незалежного переміщення ковшів, що ускладнює його управління і схильність ваговимірювачів ударам при установці ковшів в підвіски.

У ВНДІМетмаш розроблена схема нового поворотного стенда. У ній враховані недоліки розробок попередніх варіантів і знайдені нові рішення найважливіших вузлів, що підвищують надійність і економічність конструкції. Загальна схема конструкції такого стенду для ковшів місткістю 130 т приведена на (рис. 4.16.) на фундаменті 1 розташовується нижня частина у вигляді рами 2. На нього встановлена літа плита 3 нерухомого корпусу 4, в якому знаходиться поворотна колона 5, сприймає радіальні навантаження від консольного 'розташування ковшів за допомогою підшипникових вузлів 6, а вертикальні навантаження за допомогою підшипникового вузла 7. У верхній частині колони встановлений поворотний корпус 8, який пов'язаний з траверсами 9, призначеними для установки ковшів. Цей зв'язок для забезпечення вертикальних переміщень виконана у вигляді шарнірного паралелограма, утвореного за допомогою верхньої 10 і нижньої 11 сержок, шарнірно закріплених на корпусі і траверсах. Сержки є не тільки кінематичними елементами, що забезпечують незалежні підйоми і опускання ковшів, а й силовими, що сприймають все статичні і динамічні навантаження як від маси ковшів, так і при поворотах ковшів і їх вертикальних переміщеннях. Тому нижні сержки зроблені подвійними, жорстко пов'язаними один з одним і розташованими з двох сторін кожної траверси і корпусу, що забезпечує необхідну міцність конструкції. Верхні сержки встановлені по одній з кожного боку по центру траверс і поворотного корпусу.

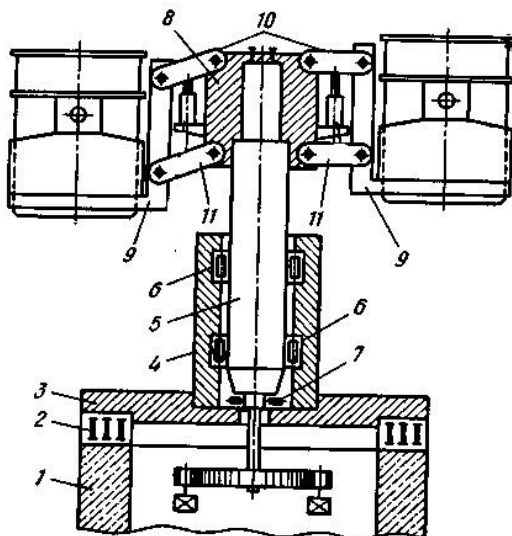


Рис. 4.16. Сталерозливний стенд конструкції ВНДІМетмаш

#### 4.6. Металевий каркас мартенівської печі

Вогнетривка кладка мартенівської печі укладена в жорсткий металевий каркас, що забезпечує її газощільність зберігає задану геометрію форми і розвантажує від виникаючих в ній напружень.

Каркас складається з горизонтальних і вертикальних металевих рам, жорстко з'єднаних між собою. Конструктивно каркас печі можна розділити на два окремих елементи: арматура робочого простору і арматура шлаковиків і регенераторів (рис. 4.17).

На залізобетонних підвалинах 1 встановлюються поздовжні підповодові балки 2, скріплені в жорстку раму за допомогою сполучних діафрагм 3, і забезпечені знизу теплозахисним екраном 4. Розміри балок визначаються розрахунковим шляхом, в залежності від прольоту і місткості печі. Поперек балок встановлюються прогони (поперечні балки) 5, на які укладається подовий металевий лист 6. Арматура передньої і задньої стін являє собою вертикальні стійки 7 товщиною 80...160 мм і шириною 300...460 мм, виготовлені з катаних слябів і встановлених попарно. Форма стійок відповідає профілю передньої і задньої стін. Нижні кінці стійок закріплені поперечними прогонами арматури пода, а верхні кінці стійок передньої і задньої

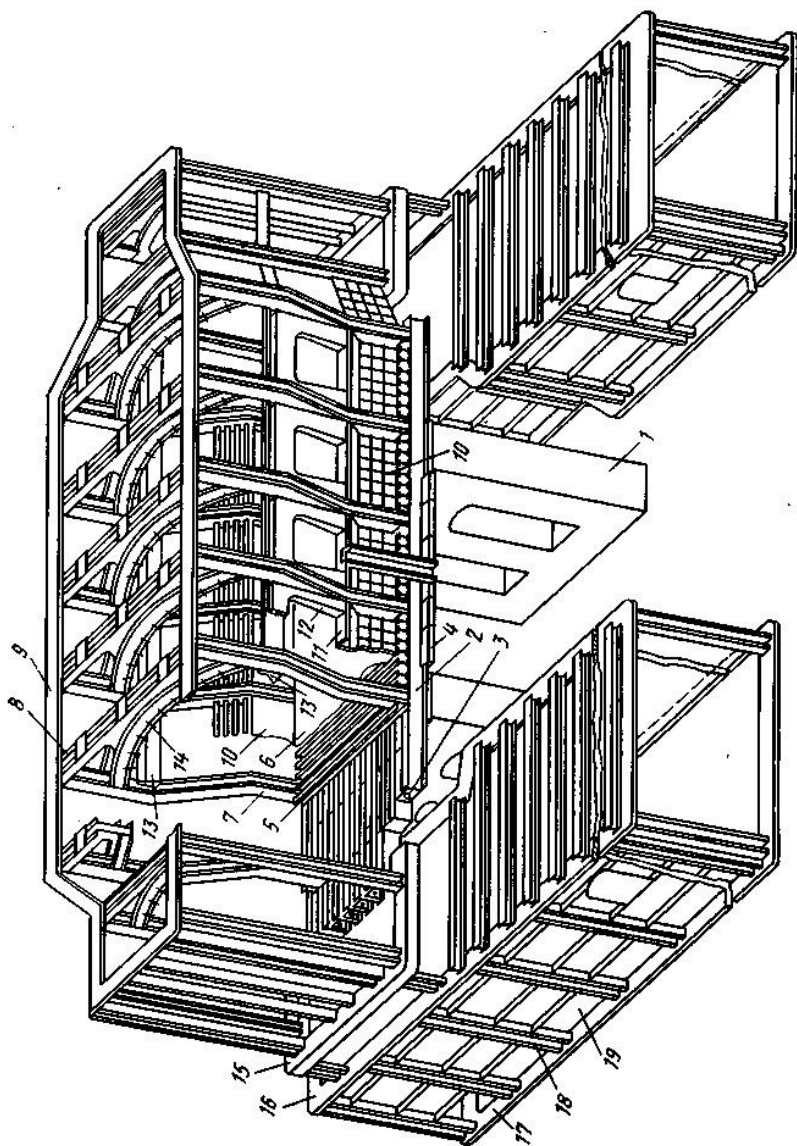


Рис. 4.17. Металевий каркас мартенівської печі

стін з'єднані між собою ригелями 8, утворюючи жорстку рамну обв'язку поперечного перерізу робочого простору. Ці конструкції з'єднуються між собою у верхній частині загальною горизонтальною рамою 9, виготовленою з пакета сталевих листів товщиною 150 мм, що отримала назву верхнього пояса обв'язувального робочого простору і головок.

Між вертикальними стійками (слябів) встановлюються литі облицювальні плити 10, на які спираються бічні частини кладки поду і задньої стіни. На рівні порогів завалочних вікон передньої стіни до вертикальних стійок кріпляться чавунні порогові плити 11. На металеві пороги встановлюються рами завалочних вікон 12, які кріпляться до слябів за допомогою клинових або болтових з'єднань. На верхній частині слябів з боку робочого простору на спеціальних кронштейнах підвішуються подплатові балки 13, на які спирається склепіння печі. На ригелю 8 встановлюється система кріплення і підвіски склепіння 14. Арматура головок виконується аналогічно обв'язки робочого простору. Однак наявність вертикальних каналів не дає можливості спиратися кладці головок на поздовжні подплатові балки. Тому на рівні подплатових балок встановлюється додаткова обв'язувальна рама 15, що отримала назву нижнього обв'язувального пояса головок і вертикальних каналів. Ця рама з одного боку кріпиться до поздовжніх подплатових балках, а з іншого спирається на каркас. До неї приварюються вертикальні стійки, які між собою з'єднуються ригелями і кріпляться до верхнього обв'язувальні пояси робочого простору і головок.

До стійок через певний інтервал по висоті кріпляться горизонтальні балки, на які спирається вогнетривка кладка стін головки і вертикальних каналів. Звід головок кріпиться так само, як звід робочого простору.

Каркас шлаковнков і регенераторів складається з верхньої 16 і нижньої 17 рам, загальних для шлаковика і регенератора, з'єднаних вертикальними стійками 18. Для кріплення і герметизації кладки стін до них кріпиться сталевий лист 19.

На печах, що мають плоскі склепіння шлаковнков і регенераторів, до верхнього обв'язувальні пояси кріпляться ригелі, службовці для підвіски склепіння.

## ГЛАВА 5

# НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ КЛІТЕЙ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

### 5.1. Характеристика станин

Станини робочої кліти – найвідповідальніші деталі прокатного стану. У них монтують подушки валків стану, а також інші пристрої і механізми, що забезпечують задану точність прокатки і продуктивність стану. Всі зусилля прокатки сприймається станинами. Тому при конструюванні і виготовленні станин особлива увага приділяється їх міцності і жорсткості.

Зазвичай розміри деталей станин попередньо визначають конструктивно по емпіричним співвідношенням, отриманим в результаті узагальнення досвіду прокатного машинобудування, а потім роблять перевіірочні розрахунки на міцність і жорсткість, за результатами яких коригують прийнятні конструктивно розміри.

По конструкції станини ділять на дві групи: закритого і відкритого типу.

Станина закритого типу являє собою литу масивну жорстку раму; в середині її зроблено вікно для установки в ньому подушок валків, внизу станина має припливи (лапи). У припливах передбачені отвори для болтів, якими станину кріплять до плитовин.

Станини цього типу, як більш міцні і жорсткі, застосовують в робочих клітках блюмінгів, слябінгів, тонколистових станів гарячої і холодної прокатки і іноді заготівельних і сортових станів.

Станина відкритого типу складається з двох частин власне станини і кришки. Кришку скріплюють зі станиною болтами і клинами, що встановлюються з затягуванням.

Ці станини характеризуються меншою жорсткістю в порівнянні з станинами закритого типу, проте вони дешевші у виготовленні і дозволяють здійснювати перевалку валків безпосередньо краном (вгору) при знятті кришки. Станини цього типу застосовують в клітках сортових і рельсобалочного стану.

Розміри станин визначаються можливістю розміщення в вікні станини подушок валків і кінця натискного гвинта, а також необхідної міцністю і

жорсткістю. Верхню і нижню частини станин називають поперечною (в станинах відкритого типу верхньої поперечною є кришка), а бічні – стійками.

Перетин стійок роблять зазвичай двотавровим або прямокутним. Стійки прямокутного перетину легше відливати, внаслідок чого їх частіше застосовують, особливо для чотирехвалкових станів.

На рис. 5.1 показаний вузол станин робочої чотирехвалковою кліті стану 2500 конструкції ПрАТ «НКМЗ». Перетин стійок станин прямокутної форми. Станини – закритого типу, з'єднані між собою траверсами внизу і вгорі. З внутрішньої сторони стійок станини прикріплені напрямні планки для подушок опорних валків. Маса кожної станини 130 т. Загальна маса станин в зборі з плітовінами і траверсами 312 т. У верхніх поперечних станин зроблені розточення для установки бронзових гайок натискних гвинтів.

Діаметр болтів, що скріплюють станини з плітовінами і плітовіни з фундаментом, зазвичай визначають зі співвідношення  $d_{ф.б} = (0,09...0,15) \cdot D_{раб} + 10\text{мм}$ , де  $D_{раб}$  – діаметр робочих валків, у мм.

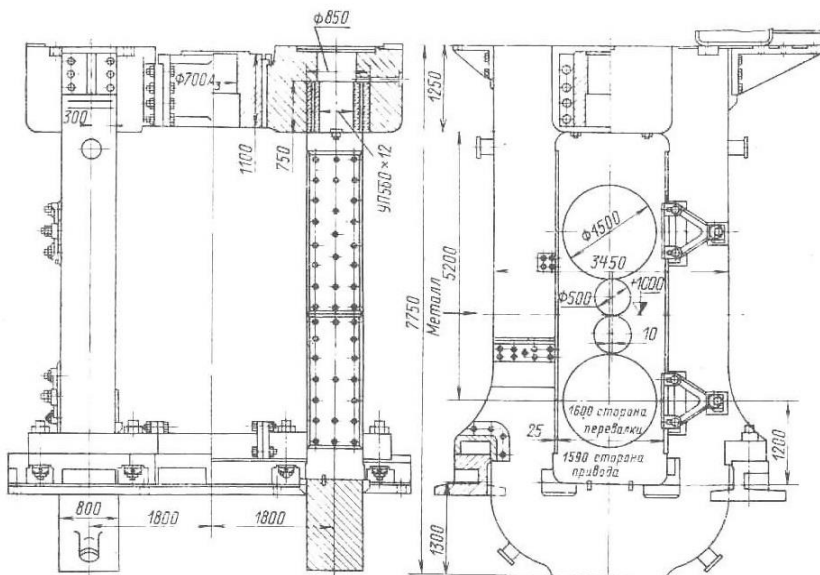


Рис. 5.1. Вузол станин робочої чотирехвалкової кліті стану 2500 конструкції ПрАТ «НКМЗ»

## 5.2. Розрахунок станини закритого типу на міцність і жорсткість

Зважаючи на складність конфігурації станини прокатних станів не піддаються точному розрахунку; для оцінки напруженого стану станини складної конфігурації застосовують електротензометрію або поляризаційно-оптичний метод. Однак виконання розрахунків, хоча до деякої міри і наближених, необхідно для того, щоб бути впевненим, що прийняті при конструюванні розміри станини забезпечують її міцність і жорсткість.

Станини розраховують на максимальне вертикальне зусилля, що діє при прокатці на шийку валка.

Горизонтальними зусиллями, що діють на валки і станину в момент захоплення і при прокатці з натягом, зазвичай нехтують, тому що в порівнянні з вертикальним зусиллям їх величина незначна.

Для спрощення розрахунку станину закритого типу представляють у вигляді жорсткої прямокутної рами (або з закругленнями по кутах), що складається з двох однакових стійок і двох однакових поперечок (рис. 5.2).

З боку нижньої подушки на нижню поперечку і з боку натискного гвинта на верхню поперечину станини діють вертикальні сили  $Y$ , рівні максимальному зусиллю, що приймається шийкою валка при прокатці. У листових станах це зусилля дорівнює половині максимального зусилля прокатки, тобто  $Y = P_{\max}/2$ . У сортових і обтискних станах  $Y = R$ , де  $R$  – максимальне зусилля, що діє на шийку валка  $R > P_{\max}/2$ .

Під дією сили  $Y$  в кутах жорсткої рами виникнуть статично невизначені моменти  $M_0$ , спрямовані, як показано на (рис. 5.2, б). Ці моменти згинають стійки всередину вікна станини, а поперечки – протидії сил  $Y$ . На (рис. 5.2) показані нейтральні лінії перетинів поперечок і стійок станини, проведені через центри тяжкості перетинів, і їх зміна при деформації станини.

Кожна стійка станини розтягується під дією сили  $Y/2$  і згинається постійним по всій стійці моментом  $M_0$ . Напруга розтягування в будь-якому перетині по висоті стійки дорівнює

$$\sigma'_{\text{ст}} = (Y/2) \cdot F_2,$$

де  $F_2$  – площа перетину стійки.

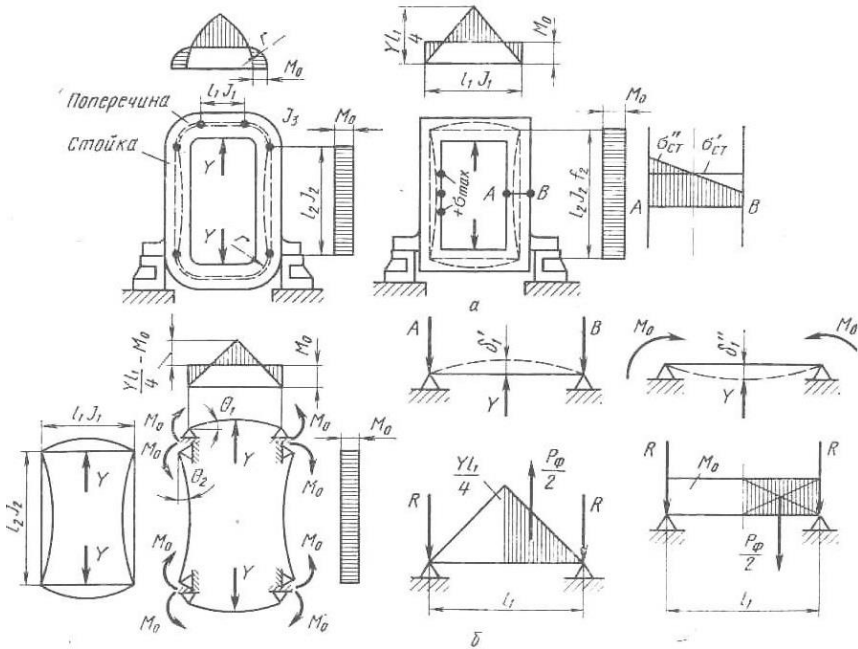


Рис. 5.2. До розрахунку станини закритого типу.

Під дією згинального моменту  $M_0$  зовнішня сторона стійки буде відчувати напруги стиснення, а внутрішня - напруги розтягнення. Це розтягнене напруга від вигину

$$\sigma''_{ст} = M_0 / W_2,$$

де  $W_2$  – момент опору перерізу стійки.

Напруга розтягування від вигину  $\sigma''_{ст}$  складається з напругою розтягнення  $\sigma'_{ст}$  від дії сили  $Y/2$  і сумарне напруження розтягу на внутрішніх поверхнях стійок (точка А з боку вікна станини) дорівнює

$$\sigma_{\max} = \frac{Y}{2} \cdot F_2 + \frac{M_0}{W_2}. \quad (5.1)$$

Статично невизначений момент  $M_0$  знаходимо наступним чином. Представляємо жорстку раму розрізаної в кутах і утворює чотири вільні двоопорні балки (рис. 5.2, б). Для врахування впливу жорстких кутів в з'єднаннях поперечок зі стійками до відрізанних балках в опорах моменти  $M_0$ . Таким чином, система стала статично визначної, і ми можемо розраховувати її відомими способами.

Розглянемо, чому дорівнюють кути повороту поперечки і стійки при вигині. Поперечина згинається назовні силою  $Y$  і всередину моментом  $M_0$ , т. е. дія їх протилежно. Стійка згинається всередину рами моментом  $M_0$ .

З курсу «Опір матеріалів» відомо, що кут нахилу  $\theta$  дотичній до вигнутої осі в точці опори дорівнює опорній реакції  $R_\phi$  від фіктивного моментного навантаження, поділеній на жорсткість балки  $E \cdot J_1$ , тобто

$$\theta = \frac{R_\phi}{E \cdot J_1}.$$

При вигині двухопорної балки зосередженою силою моментна навантаження буде дорівнює площі епюри моментів  $Y \cdot (l_1/4) \cdot (l_1/2)$ , а фіктивна реакція на опорі – половині моментної навантаження, тобто  $R_\phi = Y \cdot (l_1^2/16)$ . Таким чином, кут повороту осі балки на опорі дорівнює

$$\theta' = \frac{Y \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot J_1}.$$

Якщо балка згинається не силою  $Y$ , а моментом  $M_0$ , прикладеним на опорах, то площа епюри моментів дорівнює  $M_0 \cdot l_1$ ; фіктивна опорна реакція  $R_\phi = M_0 \cdot l_1/2$  а кут нахилу осі виражається формулою

$$\theta'' = \frac{M_0 \cdot l_1}{2 \cdot E \cdot J_1}.$$

Прогини балки від дії сили  $Y$  і моментів на опорах спрямовані в різні боки, тому результуючий кут повороту дорівнює

$$\theta_1 = \frac{Y \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot J_1} - \frac{M_0 \cdot l_1}{2 \cdot E \cdot J_1}.$$

За аналогією з попереднім випадком кут повороту стійки висотою  $l_2$ , згинається моментами  $M_0$ , прикладеними на опорах, дорівнює

$$\theta_2 = \frac{M_0 \cdot l_2}{2 \cdot E \cdot J_2}.$$

Так як в жорсткій рамі опори в кутах належать поперечині (довжиною  $l_1$ ) і стійці (довжиною  $l_2$ ), то їх кути повороту повинні бути рівні між собою. Прирівнюючи  $\theta_1 = \theta_2$ , отримуємо формулу для підрахунку статично невизначеного моменту  $M_0$ :

$$M_0 = \frac{Y \cdot l_1}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{J_1}{J_2} \right)}. \quad (5.2)$$

Якщо у станини кути з'єднання поперечок зі стійками значно закруглені, то момент  $M_0$  розраховують за формулою А.І. Целікова:

$$M_0 = Y \cdot \frac{\frac{l_1^2}{8 \cdot J_1} + \frac{r^2}{J_3} \cdot \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) + \frac{l_1 \cdot r}{2 \cdot J_1}}{\frac{l_1}{J_1} + \frac{l_2}{J_2} + \frac{\pi \cdot r}{J_3}}. \quad (5.3)$$

Кожна поперечина станини піддається тільки вигину від дії сили  $Y$  і моменту  $M_0$ . Реактивний момент  $M_0$ , прикладений в кутах станини, буде зменшувати згинаючу дію сили  $Y$ . В результаті максимальний момент в середині поперечки визначимо за формулою:

$$M_{\pi} = \frac{Y \cdot I_1}{4} - M_0, \quad (5.4)$$

і максимальна напруга розтягнення (або стискання) в середині поперечки, що виникає в результаті дії згинальних моментів, так само

$$\sigma_{\pi} = M_{\pi} / W_1, \quad (5.5)$$

де,  $W_1$  – момент опору перерізу поперечки.

У тонколистових і смугових станах гарячої і особливо холодної прокатки має значення не тільки міцність станин (характеризується величиною виникають в них напружень), але і їх жорсткість, тобто величина деформації при прокатці.

Деформація від розтягування стійки станини силою  $Y/2$  дорівнює

$$\delta_2 = \frac{Y \cdot l_2}{2 \cdot E \cdot J_2}, \quad (5.6)$$

де,  $E$  – модуль пружності матеріалу станини; для сталевого лиття  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Прогин в середині кожної поперечки (двухопорної балки) від вигину силою  $Y$  дорівнює різниці моментів від фіктивних навантажень  $R$  і  $P_{\phi}/2$  (половина площі моментів), поділений на жорсткість балки

$$P_{\phi} = \frac{Y \cdot l_1}{4} \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{Y \cdot l_1^2}{8}; \quad (5.7)$$

$$R = \frac{P_{\phi}}{2} = \frac{Y \cdot l_1^2}{16}.$$

$$\delta'_1 = \frac{M_{\phi}}{E \cdot J_1} = \frac{1}{E \cdot J_1} \cdot \left[ R \cdot \frac{l_1}{2} - \frac{P_{\phi}}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l_1}{2} \right] = \frac{Y \cdot l_1^3}{48}. \quad (5.8)$$

Прогин в середині кожної поперечки від вигину моментами, прикладеними на опорах  $M_0$ , визначимо аналогічним способом.

Так як балка (поперечина) на всій довжині  $l_1$  навантажена постійним моментом  $M_0$ , то фіктивна реакція від моментного навантаження  $P_\Phi$  (площі прямокутної епюри) дорівнює  $R = M_\Phi \cdot l_1/2 = P_\Phi/2$ . Згинальний момент від фіктивної моментної навантаження в середині балки дорівнює (при  $x = l_1/2$ )

$$M_\Phi = R \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{P_\Phi}{2} \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{M_0 \cdot l_1^2}{8}, \quad (5.9)$$

тому

$$\delta_1 = \frac{M_\Phi}{E \cdot J_1} = \frac{M_0 \cdot l_1}{8 \cdot E \cdot J_1}.$$

Різниця прогинів в середині кожної поперечки від вигину силою  $Y$  і моментами  $M_0$

$$\delta_1 = \delta_1' - \delta_1'' = \frac{l_1^2}{8 \cdot E \cdot J_1} \cdot (Y \cdot l_1 - M_0). \quad (5.10)$$

Так як поперечина має велику товщину в порівнянні з довжиною  $l_1$ , то необхідно також врахувати деформацію в середині кожної поперечки від дії поперечних (перерізуючих) сил згідно з відомою з курсу опору матеріалів формулою

$$\delta_3 = k \cdot \frac{M}{G \cdot F_1},$$

де,  $G$  – модуль зсуву (для сталевого лиття  $G = \frac{3}{8} \cdot E = 0,75 \cdot 10^5$  МПа).

Максимальний момент посередині поперечки від вигину силою  $Y$  дорівнює  $M = Y \cdot l_1/4$ , тому отримаємо

$$\delta_3 = k \cdot \frac{Y \cdot l_1}{4 \cdot G \cdot F_1}. \quad (5.11)$$

Для прямокутного перерізу коефіцієнт форми перетину можна приймати  $k = 1, 2$ .

Сумарна вертикальна деформація станини дорівнює розтягуванню стійки і деформацій верхньої і нижньої поперечини:

$$S_{\text{ст}} = \delta_2 + 2 \cdot (\delta_1 + \delta_3). \quad (5.12)$$

Як правило, станини виготовляють із сталевого вуглецевого лиття. Механічні властивості стали наступні: тимчасовий опір  $\sigma_B = 500 \dots 600$  МПа, подовження  $\delta_3 = 12 \dots 16\%$ . Для дрібносортних і середньосортних станів станини можуть бути виготовлені з високоміцного чавуну, що містить кулястий графіт.

Станину слід виконувати з великим запасом міцності. При поломці валків матеріал станин не повинен давати остаточних напружень.

Якщо для валків коефіцієнт запасу статичної міцності приймають  $\geq 5$ , то для станин цей коефіцієнт повинен бути  $\geq 10$ . Таким чином, для сталевого лиття допустиме напруження в станинах приймають рівним  $[\sigma]_{\text{ст}} = 50 \dots 60$  МПа. Для станин з високоміцного чавуну з кулястим графітом допустиме напруження  $[\sigma]_{\text{ст}} = 40 \dots 50$  МПа.

### 5.3 Залізобетонні станини прокатних клітей

Монолітне виконання вузла станин кліті стану кварто-200 в залізобетоні є перевагою для малих клітей і не може бути загальним рішенням для важких клітей станів, де габарит по висоті станин може перевищувати 10 м, а вага вузла станини 200 т. Значна довжина валків в листових станах вимагає установки двох натискних гвинтів, а отже, двох отворів в поперечках кожної станини. Це значно ускладнює конструктивне рішення вузла станин важких прокатних клітей в залізобетоні. Паралельно з НДІЗБом і ВНДІМЕТМАШем в м. Краматорську НДІПВМАШем створена конструкція вузла станин кліті безперервно-листового стану НЛС-1700 в залізобетонному виконанні. Для виконання цього завдання потрібні були абсолютно нові технічні рішення. Безперервнолистовий стан НЛС-1700 призначений для гарячої прокатки слябів вагою до 15,5 кН довжиною от 2000 до 6300 мм в смуги товщиною 1,2-10 мм, згорнуті в рулони. Робочі кліті чистової групи служать для безперервної прокатки смуги, додання їй остаточних розмірів і належної чистоти поверхні. Діаметр робочих валків 700 мм, опорних валків 1400 мм, довжина бочки валка 1700 мм. Швидкість прокатки 6-15 м/сек. На стані прокочують вуглецеві сталі, а також можливий прокат смуг з легованих сталей з межею міцності до 98-106 кг/мм<sup>2</sup> на знижених режимах.

При конструюванні залізобетонних станин клітей виходять з конкретних умов. Так, при розробці конструкції залізобетонної станини стану НЛС-1700 для АТ «Арселор Міталл Теміртау» виходили з умови, що приймаючи до станини вузли кліті були вже виготовлені, то в основу проекту було покладено вимога максимально зберегти габарит станини. Жорсткі вимоги збереження в залізобетонній станини форми і розмірів спричинили за собою підвищену витрату металу і великі труднощі в забезпеченні необхідної жорсткості станини. При проектуванні нових прокатних станів можна створити конструкції залізобетонних станин будь-якої потрібної жорсткості і міцності зі значно меншою витратою металу.

Конструкція вузла станини клітей стану НЛС-1700 зображена на (рис. 5.3 і представляє собою дві роздільні станини, жорстко пов'язані між собою внизу двома сталевими поперечними траверсами 8, а вгорі двома бічними і однієї центральної траверсами. Стійки станин 2, верхня 1 і нижня 5 поперечки облицьовані сталевим листом. Планки 4 і 7 на нижній попере-

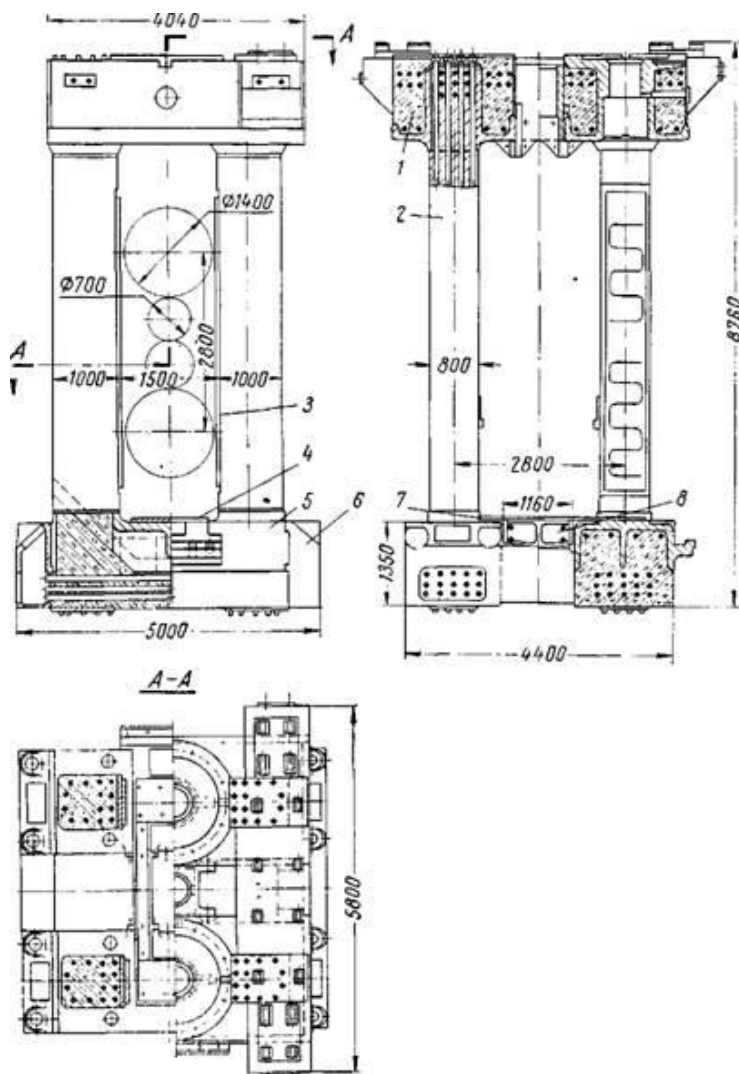


Рис. 5.3. Вузол станини прокатного стану НЛС-1700  
з залізобетонними станинами:

- 1 – верхня поперечина; 2 – стійки станин; 3 – змінні планки;  
4, 7 – планки на нижній поперечині; 5 – нижня поперечина;  
6 – стальва лита порожниста плита; 8 – нижні траверси

чині виконують роль санчат, за якими висувають комплект валків при їх зміні. Усередині отвір облицьований листом товщиною 50 мм, до якого прикріплені змінні планки 3. Станини кріплять до фундаменту анкерними болтами, пропускаючи їх через отвори в сталевих порожнистих литих плитах 6.

Всі елементи станин, які при дії зусиль прокатки відчують напруження розтягу, піддаються попередньому напрузі за рахунок натягу арматури. У таких елементах бетон завжди буде працювати на стиск, а арматура - на розтягнення. Розглянемо конструювання окремих вузлів залізобетонних станин кліті прокатного стану НЛС-1700 (рис. 5.4).

Вузли й елементи залізобетонної станини кліті, в яких за умовами роботи можливі розтягують напруги, армують напружуємося стрижневий арматурою діаметром 40 мм зі сталі 30ХГ2С. Щоб не послаблювати перетин напружених стержнів нарізкою різьблення, з обох кінців їх наварюють контактного стикового електрозварюванням коротиші з різьбленням М42.

При конструюванні станин передбачалося, що бетонувати їх будуть на місці монтажу. Металевий каркас станин проектувався таким, щоб була забезпечена необхідна його жорсткість при механічній обробці і транспортуванні. Розроблена конструкція технологічна, виготовлення окремих елементів металевого каркаса нескладно.

Металевий каркас станин запроєктований з порожнистих стійок прямокутного перетину і литих верхніх і нижніх балок. Стійки каркаса виконують зварними з листової сталі товщиною 18 мм, а з боку направляючих планок - вікна станини з листа товщиною 50 мм для отримання необхідної жорсткості каркаса при механічній обробці вікна станини. Верхні і нижні балки зроблені із сталевих литва і в поєднанні зі стійками утворюють загальну жорстку конструкцію каркаса. Така конструкція каркаса станин дозволяє виробляти: повну механічну обробку, контрольну збірку кліті на заводі-виробнику, транспортування каркасів станин залізницею і бетонування станин.

На місці монтажу, не порушуючи класів точності посадкових місць. Оскільки напружену арматуру натягують після бетонування, для розміщення її та запобігання зчеплення бетону з арматурою остання розміщується в трубах діаметром 62 мм. Стійки залізобетонної станини кліті, що піддаються розтягуванню, армують поздовжньою арматурою, що напружується 7. Мають її в стійках так, щоб центр ваги перерізу стійки збігався з

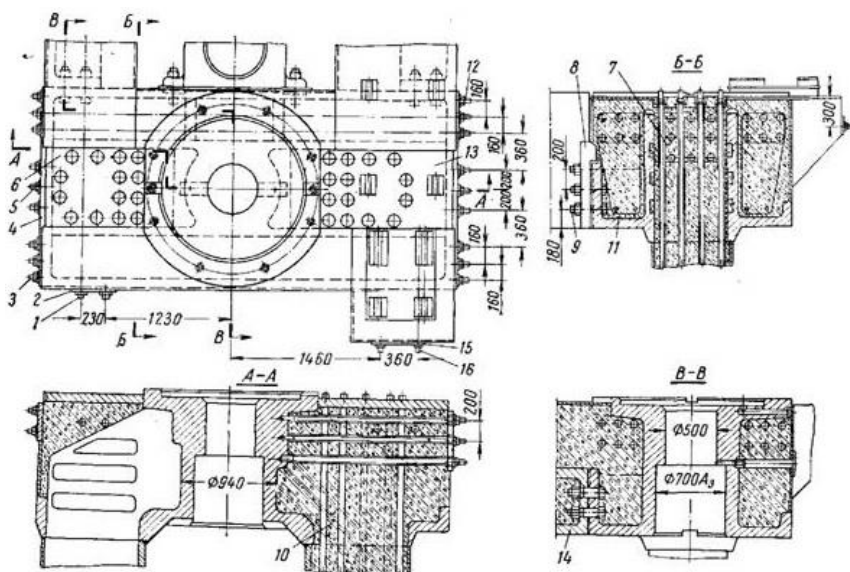


Рис. 5.4. Конструкції вузлів залізобетонної станини прокатного стану НЛС-1700:

- 1, 16 – шпильки; 2, 4, 5, 13, 15 – планки; 3, 5, 7, 12 – арматура;  
 8, 14 – траверси; 9 – болти; 10 – похилі стержні;  
 11 – арматура верхньої поперечини.

центром тяжкості сумарною епюри вигину і розтягування і центром затяжки. У місцях передачі зусиль від затягування арматури 7 на верхню поперечину передбачені планки 6 і 13 з листа товщиною 100 мм для запобігання місцевого змінання бетону і розподілу тиску по площі.

Для сприйняття розтягуючих напружень у верхній поперечині залізобетонної станини від дії згинального моменту і поперечної сили в поперечині розташовують подовжню напружену арматуру 3 у вигляді наскрізних шпильок довжиною 4300 мм. Середню частину верхньої поперечки в площині стійок армують арматурою, що напружується у вигляді коротких шпильок 12 довжиною 1810 і 1410 мм. Один з кінців шпильок в сталевий відливання закріплюють на різьбі.

У місцях передачі зусиль від напруги шпильок (арматури) для рівномірної передачі навантаження на бетонні поверхні і захисту бетону від місцевого змінання на верхній поперечині передбачені планки 4 з листа то-

вщиною 50 мм. Для зв'язку поверху між обома станинами кліті передбачені стягнуті шпильки 1 і 16 довжиною відповідно 5000 і 6030 мм. Там, де вони спираються на зовнішню поверхню бетону, ставлять планки 2 і 15 з листа.

Верхня траверса 8 з'єднана з верхньою поперечиною станини болтами 9 (М64×280). У стислій зоні верхньої поперечки встановлюють ненапрягаемую арматуру 11 зі сталі класу А-І діаметром 24 мм, яка за допомогою хомутів пов'язана з напруженою арматурою в розтягнутій зоні поперечки. Для підвищення жорсткості станини, враховуючи, що в стійках спостерігаються великі розтягують зусилля, верхня і нижня поперечки прийняли кілька більшої висоти.

За рахунок підвищення жорсткості поперечок вдалося знизити величини напружень від згинальних моментів у внутрішніх вхідних кутах станини. У залізобетонних рамах для пом'якшення перенапруг вхідні кути необхідно проектувати у вигляді заокруглень або вутів. У станині НЛС-1700, конструктивно, по розташуванню вузлів і механізмів, вуги виконати не можна, тому довелося підвищити жорсткість поперечки. Верхні і нижні поперечки в залізобетонних станинах можна виконати в будь-яких необхідних для залізобетону перетинах.

Для підвищення жорсткості кутів сполучень поперечок зі стійками встановлюють додаткові похилі стержні 10 діаметром 24 мм. Таким же образом конструюють нижню поперечину станини. Напружувану арматуру (шпильки) розташовують на такій відстані, щоб забезпечити їх нормальне натяг за допомогою гідравлічних домкратів.

У станині НЛС-1700 відстані між напруженою арматурою (шпильками) прийняті від 160 до 200 мм. Арматуру верхніх і нижніх поперечин станин розташовують таким чином, щоб її центри натягу збігалися з центрами тяжіння епюр згинаючих моментів в зоні розтягуючих напружень. Зовнішній каркас станини, облицювання верхніх і нижніх поперечин листової сталлю запроектовані так, що вони одночасно є опалубкою при бетонуванні.

При конструюванні передбачена технологічність виготовлення елементів і необхідна жорсткість каркасів станин для транспортування. Арматурні стержні в каркасі станини розміщені так, що наконечники глибинних вібраторів можуть вільно проходити між стрижнями каркасу. В цьому випадку забезпечено якісне ущільнення бетону в конструкції. Для виготов-

лення станин клітей слід передбачати жорсткі бетони високих марок (600 і більше), так як в цьому випадку усадка бетону буде мінімальною.

Для станини кліті НЛС-1700 марка бетону прийнята 600. Щоб попередити можливість випинання бічних листів стійок при бетонуванні, до листів приварені круглі стрижні діаметром 10 мм в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для надійності анкерування бічних листів стійок до них приварені анкери у вигляді відрізків стрижнів того ж діаметру, довжиною 200 мм з кроком 250 мм по вертикалі.

В процесі експлуатації стану необхідно періодично контролювати арматуру за допомогою гідродомкратів з манометрами. При ослабленні затягування натяг доводять до необхідного.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. В чому полягають основні вимоги до несучих конструкцій металургійних агрегатів?
2. Які вам відомі методи розрахунків несучих конструкцій? Чим відрізняється метод допустимих напружень від методу за граничними станами?
3. Які вам відомі методи з'єднань елементів несучих конструкцій?
4. В чому полягають робота та особливості розрахунків зварних з'єднань різних видів?
5. Які вам відомі типи болтових та заклепкових з'єднань?
6. Чим відрізняється робота та розрахунки з'єднань на заклепках, високоміцних та інших болтах?
7. Які з'єднання найбільш перспективні з позицій, міцності, витривалості та технологічності?
8. В чому полягають особливості конструкцій вагоноперекидачів різних типів?
9. Охарактеризуйте основні вимоги щодо розрахунків несучих конструкцій вагоноперекидачів?
10. Які вам відомі конструкції рудно-грейферних кранів-перевантажувачів?
11. Які навантаження діють на металоконструкції кранів-перевантажувачів?
12. Що ви знаєте про матеріали щодо їх використання під час проектування перевантажувачів.
13. Які типи конструкцій перевантажувачів вам відомі? Особливості їх розрахунків.
14. Що вам відомо щодо методів підвищення витривалості заклепкових з'єднань елементів конструкцій перевантажувачів?
15. Які шляхи можливо використовувати щодо підвищення експлуатаційної надійності коробів грохотів?
16. В чому полягають особливості конструкцій сучасних коробів грохотів.
17. Які конструкції доменних печей вам відомі та в чому полягають особливості умов їхньої роботи?
18. В чому полягають особливості конструкцій щодо подачі шихтових матеріалів в залежності від об'єму доменної печі?
19. Що вам відомо про існуючі конструкції мостів скіпових підйомників?

20. В чому полягають особливості конструкцій, призначених для конвеєрної подачі матеріалів на колошник доменної печі?
21. Які конструкції пиловловлювачів вам відомі? Чим відрізняються?
22. Визначте види та особливості несучих конструкцій повітрянагрівачів. В чому полягає забезпечення надійності їхніх конструкцій?
23. В чому полягає конструкція саморегулюючого анкерного пристрою повітрянагрівачів.
24. В чому полягають основні принципи розрахунку конструкцій кожуху доменної печі, та принципові положення щодо вибору матеріалу.
25. Які конструкції стаціонарних міксерів слід вважати несучими?
26. Які силові дії сприймає опорне кільце конвертера, та в чому полягає призначення цапф?
27. В чому полягає система кріплення корпусу конвертера до опорного кільця?
28. За якими схемами відбувається зміщення шарнірної системи опор конвертера?
29. Що являє собою опорна конструкція дугових сталеплавильних печей?
30. З яких міркувань застосовуються різні форми і конструкції опорних елементів і фундаментних балок дугових печей?
31. В чому полягає особливість несучих конструкцій щодо переміщення електродів у дугових печах?
32. В чому полягають основні вимоги до несучих конструкцій МБЛЗ?
33. Які типи сталерозливних стендів вам відомі?
34. В чому полягає різниця між конструкціями станин клітей прокатних станів закритого та відкритого типів?
35. Які навантаження діють на станини прокатних станів під час прокатки.
36. В чому полягає розрахунок станин, в тому числі залізобетонних, на міцність та жорсткість?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Банников Д.О., Казакевич М.И., Рабер Л.М. Новая конструкция бункерной емкости из стальных панелей / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2007. №6. 98-102 с.
2. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение. 1987. – 336 с.
3. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. – М.: Наука. 1976. 608 с.
4. Гребеник В.М., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: Справочник. – М.: Металлургия, 1988. – 688 с.
5. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования / Оценка эксплуатационной надежности и долговечности / : Справочник. – М.: Металлурги, 1989. – 592 с.
6. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
7. Ловчиновский Э.В., Вагин В.С. Машины и механизмы сталеплавильного производства . – М.: Металлургия, 1982. – 271 с.
8. Любин А.Е. Металлические конструкций сооружений комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния. – К.: Изд-во “Сталь”, 2010. – 472 с.
9. Машины и агрегаты металлургических заводов: В 3 т. / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия. – Т. 1-3.
10. Металлургические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин , Г.С. Ведеников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
11. Металлические конструкции. Специальный курс/ Под общ. ред. Н.С. Стрелецкого. – М.: Изд-во постр-ву, 1965. – 367 с.
12. Металлические конструкции. Справочник проектировщика Под общ. ред. В.В. Кузнецова – М.: Изд-во АСВ, 1998. – Т.2. – 576 с.
13. Механическое оборудование сталеплавильных цехов / М.З. Левин, В.Я. Седуш, В.И. Магикин и др. – К.: Ваша шк., 1985. – 165 с.
14. Мостовые перегружатели / Б.В. Беглов, П.И. Кох, В.И. Онищенко, Д.П. Окулов, Р.Д. Эбич – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.

15. Осипов В.О. Долговечность металлических пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1982. – 287 с.
16. Проектирование стальных конструкций в машиностроении. Под ред. С.А. Куркина. М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.
17. Рабер Л.М. Соединение на высокопрочных болтах. Диагностика. Ремонт. Повышение надежности конструкций. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 127 с.
18. Сапко А.И. Механическое и подъемно-транспортное оборудование электрометаллургических цехов. – М.: Metallurgia, 1972. – 288 с.
19. Григорьев В. П., Нечкин Ю.М., Егоров А.В., Никольский Л.Е. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства. Учебник для вузов. – М.: МИСиС, 1995. – 512 с.

**Навчальне видання**

Рабер Лев Матвійович  
Єрмократєв Віктор Олексійович  
Мазур Ігор Анатолійович

# **НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ**

**Навчальний посібник**

(українською мовою)

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 31.01.2023.  
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Облік.-вид. арк. . Умов. друк. арк. .  
Тираж 300 пр. Замовлення № .

Підготовлено до друку та віддруковано:

Видавництво ТОВ «ІМА-прес»  
51400, м. Павлоград, вул. Дніпровська, 400/1  
Тел.: (066) 932-42-22

e-mail: [ima-press@ukr.net](mailto:ima-press@ukr.net); www: <https://imapress.prom.ua/>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК №244 від 16.11.2000 р.