

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

Є.С.СЄДИШЕВ

ТЕХНІЧНА РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ
ЧАСТИНА 2 «ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 4-5 курсів денної і заочної форм навчання
спеціальності 6.092.100 – «Міське будівництво та
господарство»)*

ХАРКІВ – 2009

УДК 624.014.2 : 69.059.32

Технічна реконструкція будівель. Частина 2. Підсилення металевих конструкцій. Конспект лекцій (для студентів 4-5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності 6.092.100 – «Міське будівництво та господарство»). Авт.: Є.С.Сєдишев. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 59 с.

Автор: ст. викл. Є.С.Сєдишев

Рецензент: к.т.н., доц. кафедри будівельних конструкцій ХНАМГ
В.А.Мазур

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій,
протокол № 9 від 30 червня 2009 р.

ВСТУП

Курс «Технічна реконструкція будівель» викладається у процесі підготовки спеціалістів для майбутньої трудової діяльності в проєктних і будівельних організаціях, які виконують роботи з капітального ремонту і реконструкції будівель і споруд. Курс складається з 2-х частин.

У даному конспекті викладені основні положення другої частини курсу «Підсилення металевих конструкцій»: правила обстеження таких конструкцій; дефекти і пошкодження металевих конструкцій; конструктивні способи підсилення балок, ферм, колон; методи розрахунків підсилення.

Конспект складений відповідно до програми навчальної дисципліни «Технічна реконструкція будівель» для підготовки бакалаврів за спеціальністю «Міське будівництво та господарство». Його зміст відповідає характеру викладання на кафедрі будівельних конструкцій Харківської національної академії міського господарства із розрахунку 15 годинного лекційного курсу.

ТЕМА 8 (2 години)

8.1. Дефекти і пошкодження металевих конструкцій при виготовленні, монтажу та експлуатації

Якість виготовлення і монтажу сталевих конструкцій, а також правила їх технічної експлуатації регламентуються ДБН, ДСТУ і галузевими документами. Проте в результаті недосконалості норм і помилок проектування, низької якості робіт з виготовлення і монтажу конструкцій, порушень правил технічної експлуатації у конструкціях з'являються відхилення від проектних розмірів, форми і якості понад допустимі межі. Недосконалисть, отримана конструкцією на стадії виготовлення і монтажу, називається *дефектами*; недосконалисть, отримана в процесі експлуатації, – *пошкодженнями*. Осередками розвитку пошкоджень часто є дефекти виготовлення і монтажу. Дефекти характеризують початковий стан конструкцій. Пошкодження виникають і розвиваються в часі і залежать від терміну експлуатації та інтенсивності дій. Залежно від впливів, що спричинюють пошкодження, вони можуть бути розділені на:

- 1) силові (механічні) – розриви, тріщини, втрата стійкості, викривлення і місцеві погиби, розлад з'єднань, абразивний знос і т.п.;
- 2) температурні – викривлення і руйнування елементів при високих температурах, крихкі тріщини при негативних температурах, пошкодження захисних покриттів при нагріві;
- 3) хімічні й електрохімічні – корозія металу і руйнування захисних покриттів.

Пошкодження від силових дій виникають в результаті невідповідності розрахункових передумов дійсним умовам роботи конструкцій і викликаються:

- помилками проектування, пов'язаними з неправильним визначенням навантажень і внутрішніх зусиль і підбором перерізу елементів і вузлів;
- відмінністю фактичного напруженого стану від розрахункового внаслідок неминучого спрощення і ідеалізації розрахункової схеми конструкції, її елементів, вузлів і навантажень, що діють, а також недостатнього вивчення дійсної роботи конструкцій і характеру впливів;
- зниженими міцнісними характеристиками основного і наплавленого металу, дефектами, що приводять до концентрації напруження і сприяють втомленому і крихкому руйнуванню;

- довільною зміною перерізів елементів, розмірів зварних швів, кількості заклепок і болтів при виготовленні й монтажі в порівнянні з проектним;

- неприпустимим перевантаженням конструкцій при експлуатації;

- порушеннями при монтажі й експлуатації взаємного розташування конструкцій (зсув прогонів, ексцентриситет і перепади в стиках підкранових рейок і т. п.), які приводять до появи додаткових, таких, що не враховуються розрахунком, навантажень і динамічних впливів;

- порушеннями правил технічної експлуатації: ударами транспортних вантажів, використанням конструкцій для підвіски блоків і упирання домкратів, підйому і переміщення вантажів при ремонтах без відповідного розрахунку і необхідного підсилення, вирізкою отворів в елементах конструкцій для пропуску комунікацій, видаленням зв'язевих елементів і т. д.

Нерідко пошкодження від силових дій пов'язані з невдалим конструктивним вирішенням вузлів.

Для конструкцій, на які можуть бути прикладені рухомі динамічні навантаження підкранових балок (особливо при кранах важкого і дуже важкого режимів роботи), балок робочих майданчиків, розташованих під коліями залізничного транспорту, завалочних машин характерні пошкодження від втомлення металу. Останні виявляються у вигляді тріщин в металі, зварних швах і біляшовній зоні і в розладжуваних болтових і заклепочних з'єднань.

Значні пошкодження металевих конструкцій виникають при порушенні правил технічної експлуатації будівлі і споруд.

До пошкоджень від температурних дій найбільшою мірою схильні елементи, розташовані поблизу джерел тепловиділень. У гарячих цехах при зміні температури з'являються значні температурні переміщення, що приводять до відхилення конструкцій від проектного положення. За наявності зв'язків, які перешкоджають вільним переміщенням, в елементах конструкцій виникає додаткове напруження, що має циклічний характер. За певних умов це напруження може призвести до викривлення елементів або появи тріщин. При нагріві сталевих конструкцій до 100⁰С руйнується захисне покриття, при 300-400⁰С відбувається викривлення елементів, особливо тонкостінних. Порушення правил експлуатації обладнання і виникнення аварійних ситуацій можуть привести до протікання розплавленого металу, викривлення і перепалу елементів перекриттів і нижніх частин колон.

Пошкодження від дії низьких температур виникають, як правило, у відкритих спорудах і неопалювальних будівлях. До таких пошкоджень відносяться крихкі тріщини в місцях концентрації напруження (зварні шви, різкі зміни перерізів, фасонки ферм і т. д.). Особливо схильні до крихких руйнувань конструкції, виконані з киплячих сталей. Велику небезпеку для конструкцій представляє різке охолодження елементів і виникнення «теплого удару».

Пошкодження від дії агресивних середовищ виявляються у вигляді руйнування захисних покриттів і корозії металу. Інтенсивність корозійних пошкоджень, вимірювана швидкістю (мм в рік) проникнення корозії по товщині елемента і відносною площею ділянок, уражених корозією, залежить від ступеня агресивності експлуатаційного середовища, матеріалу конструкцій (марки сталі), конструктивної форми елементів, системи і якості нанесення протикорозійного захисту, а також дотримання правил технічної експлуатації (своєчасна ліквідація протікання покрівлі, трубопроводів, контроль за герметичністю устаткування і т. п.). Дефекти і пошкодження протикорозійного захисту виявляються у вигляді лущення, відшарування, пор, тріщин та інших порушень захисних властивостей.

Пошкодження металу виникають внаслідок хімічної і електрохімічної корозії. Для сталевих конструкцій виробничих будівель характерна електрохімічна корозія. Корозійні пошкодження металу розділяються на загальні рівномірні або нерівномірні за площею поверхні й місцеві у вигляді окремих пітінгів, виразок, наскрізних уражень. Місцеві корозійні ураження виникають при локальних діях, наприклад при протіканні покрівлі, порушенні герметичності трубопроводів і та ін. Якщо загальна поверхнева корозія приводить до зменшення площі поперечного перерізу елементів і підвищення рівня напруження, то місцева корозія не тільки послабляє переріз, але і підвищує концентрацію напруження, що може привести до крихкого руйнування конструкцій.

За виглядом дефекти і пошкодження металевих конструкцій можна розділити на такі групи:

1-а – послаблення поперечного перерізу або відсутність елемента. До цієї групи відносяться такі дефекти і пошкодження, як виріз елемента або частини перерізу, відсутність елемента, передбаченого проектом, абразивний знос, зменшення перерізу в порівнянні з проектом в результаті заміни при виготовленні, монтажі або експлуатації. Як вимірник дефектів і пошкоджень 1-ї групи можна прийняти відношення площі ослабленого перерізу до проектної;

2-а – тріщини в основному металі. Для поздовжніх елементів виміром служить довжина тріщини, для поперечних – відношення до-

вжини тріщини до ширини елемента або відношення площі перерізу, послабленого тріщиною, до нормальної у відсотках;

3-я – тріщини в зварному шві мають вимірник, аналогічний вимірнику пошкоджень 2-ї групи;

4-а – дефекти зварних швів: неповномірність швів, вади зварювання, відсутність швів. За вимірник дефектів цієї групи можна прийняти ступінь послаблення шва (відношення фактичної і номінальної висоти шва, глибина підрізу, відношення довжини дефектної ділянки шва до повної і т. д.);

5-а – загальне викривлення елемента по всій довжині. Вимірник – прогин елемента або відношення прогину до довжини;

6-а – місцеве викривлення на частини довжини елемента або вм'ятина. Ця група пошкоджень характеризується величиною і довжиною викривленої ділянки;

7-а – послаблення або відсутність болтів або заклепок. Вимірник – відношення ослаблених болтів до загальної їх кількості в з'єднанні;

8-а – дефекти болтових і заклепувальних з'єднань, такі як тріщинуватість, неповномірність головок, перекіс стержня, нещільність пакету і т.д. Вимірник – відношення дефектних заклепок або болтів до їх загальної кількості;

9-а – відхилення або зсув конструкцій щодо проектного положення. Ці пошкодження вимірюються величиною зсуву або відношенням зсуву до характерного розміру елемента;

10-а – взаємний зсув конструкцій. До цієї групи відносяться: розцентровка елементів, позавузлові опори і т.д. Вимірник – величина взаємного зсуву;

11-а – зазори в місцях сполучення елементів, які вимірюються величиною зазору;

12-а – корозійні пошкодження основного і наплавленого металу, проникнення корозії, що характеризуються глибиною;

13-я – пошкодження захисного покриття. Вимірюються відсотком пошкодженої площі покриття.

Найуразливішими конструкціями в каркасі виробничої будівлі є ферми покриття, зв'язки і підкранові конструкції. Наявність тонкостінних гнучких стержнів, складна конфігурація перерізів, підвищена концентрація напруги у вузлах робить конструкції ферм покриття чутливими до загальних і місцевих перевантажень, механічних, температурних і корозійних дій. Істотно знижують несучу здатність ферм, дефекти виготовлення і монтажу, до яких відносяться початкові викривлення стержнів ферм, розцентровка вузлів і позавузлова передача на-

вантаження внаслідок зсуву прогонів або підвіски монорельсів. Такі дефекти зварних з'єднань, як незаварені кратери, підрізи, неповномірність швів, а також недотримання мінімальної відстані між торцями елементів ґрат і поясами (40...50 мм) приводять до погіршення умов роботи фасонки і сприяють появі в них тріщин. Пропуск з'єднувальних прокладок у стиснутих елементах ферм приводить до передчасної втрати ними стійкості.

Низька якість виконання опорних і вузлів укрупнення ферм спричиняє серйозні порушення роботи ферм, а іноді і їх обвалення. В опорних вузлах часто відсутні болти з'єднання ферми з колоною, опорні фланці нещільно спираються на опорні столики, які також мають перекося. У вузлах укрупнення спостерігаються пропуск горизонтальних або вертикальних накладок з'єднання і дефекти в зварних швах, насамперед їх неповномірність.

Перевантаження, вплив високих температур в гарячих цехах та інші експлуатаційні дії призводять до подальшого зростання пошкоджень кроквяних ферм. Часто причиною пошкоджень стають грубі порушення правил технічної експлуатації: використання конструкцій покриттів для підвіски вантажів при ремонті й монтажі устаткування: вирізка і видалення елементів для пропуску комунікацій; установка додаткового устаткування, не передбаченого проектом.

Складна конфігурація перерізів, мала товщина прокату, зазори в елементах з парних кутиків зменшують корозійну стійкість ґратчастих елементів покриття. Підвищена вологість повітря і агресивні по відношенню до металу компоненти сприяють розвитку рівномірної корозії елементів. Протікання покрівлі і стінної огорожі, виділення пари або конденсату через несправності стиків трубопроводів ведуть до розвитку місцевих корозійних уражень. Найбільш інтенсивні місцеві корозійні ураження виникають в опорних вузлах ферм, розташованих поблизу воронки внутрішніх водостоків, у верхніх поясах ферм у місцях опирання ліхтарів і в ендів покрівлі. Корозійний процес прискорюється при скупченні пилу на елементах конструкцій, особливо при зволоженні.

Велика площа поверхні ґратчастих конструкцій і трудність доступу до всіх елементів, особливо у верхніх поясах, утрудняють фарбування їх у процесі експлуатації. У результаті вже через 2...3 роки після додаткового пофарбування захисні покриття руйнуються і корозійний процес інтенсифікується.

У в'язях виявляються викривлення стержнів і місцеві погиби елементів; відсутність прокладок між парними елементами: відсутність зварних швів або болтів кріплення до основних елементів; коро-

зійний знос, у прогонах – неприпустимі прогини, втрата загальної стійкості через відсутність тяжів; неприпустимий зсув стику прогонів від осі ферми, корозійний знос.

Найбільш поширені дефекти і пошкодження конструкцій покриття наведені в табл. 1 і на рис. 1.

Таблиця 1

<i>Група пошкодження</i>	<i>Кроквяні ферми</i>	<i>Прогони</i>	<i>В'язі</i>
1	2	3	4
1	Вирізи в елементах Відсутність сполучних прокладок	-	Виріз в елементі. Відсутність елемента
2	Тріщина в елементі або у фасонці	-	-
3	Тріщина в шві кріплення елемента	-	-
4	Неповномірність і інші дефекти в швах кріплення елементів або в монтажних вузлах	-	-
5	Прогин ферми у вертикальній площині. Викривлення стислого елемента в площині або з площини ферми. Викривлення розтягнутого елемента в площині або з площини ферми	Прогин у вертикальній площині. Викривлення в площині скату -	Викривлення елемента в площині або з площини в'язей -
6	Місцевий погиб в елементі або фасонці	Місцевий погиб в елементі	Місцевий погиб в елементі
7	Ослаблення або відсутність болтів в опорних вузлах	Ослаблення або відсутність болтів кріплення у прогонів	Ослаблення або відсутність болтів у вузлах кріплення

Продовження табл. 1

1	2	3	4
8	Дефекти заклепок у вузлах ферм	-	-
9	Відхилення ферми від вертикальної площини	-	-
10	Зсув в опорному вузлі ферми щодо осі колони Перекіс опорного фланця Розцентровка елементів у вузлах	Позавузлове опирання	Кріплення елементів зв'язків поза вузлом ферм
11	Нещільне опирання опорного фланця на колону Зазор між опорним фланцем і колоною (при опиранні збоку)		

Колони виробничих будівель знаходяться в кращих умовах порівняно з іншими елементами каркаса. Їх розраховують на сумарну дію великого числа навантажень, тому в колонах відносно великі розрахункові зусилля і перерізи. Зусилля в колонах при нормальній експлуатації менше розрахункових, оскільки одночасна дія великого числа навантажень маловірогідна, за весь період експлуатації конструкції такої дії може і не бути. Міцні перерізи колон при невисокій робочій нарузі володіють великими запасами несучої здатності, а також краще чинять опір механічним діям і мають високу стійкість проти корозії.

Найбільше число пошкоджень колон пов'язане з порушенням правил технічної експлуатації. При невеликих площах цеху колони всередині нього часто піддаються ударам вантажами, що транспортуються, що приводить до появи в гілках нижніх частин колон викривлень і механічних пошкоджень у вигляді місцевих погібів, виривів і тріщин. Особливо часто пошкоджуються гнучкі елементи грат наскрізних колон. У стінках суцільних колон для пропуску комунікацій часто роблять отвори без підсилення ослаблених перерізів, а у верхніх частинах колон для збільшення габариту крана – вирізи, що знижує жорсткість колони.

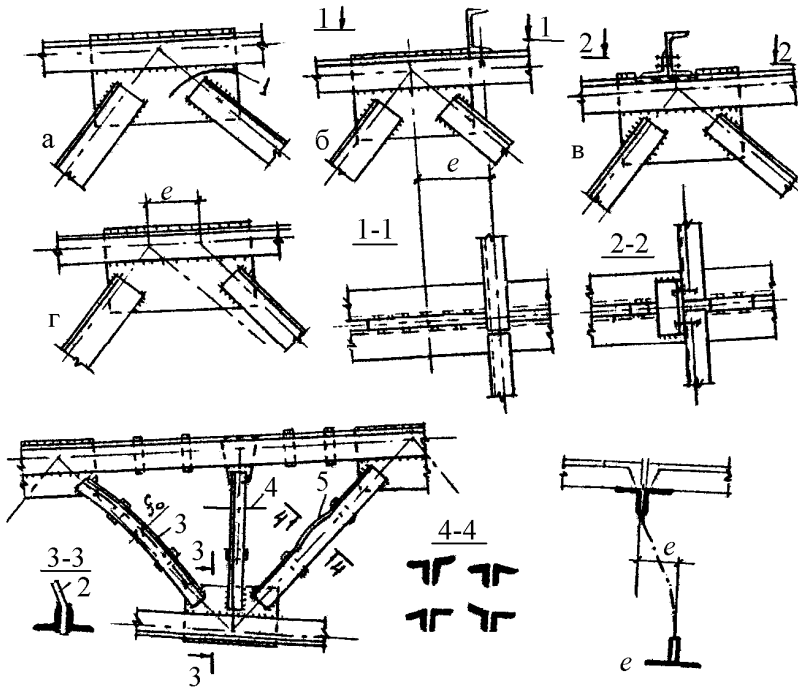


Рис. 1 – Основні дефекти і пошкодження кроквяних ферм:
 а – тріщини у фасонках ферм; б – неправильне обпертя і стиккування прогонів на верхньому поясі ферми; в – те ж правильне; г – розцентровка осей елементів у вузлах ферм; д – характерні пошкодження ґрат ферм; е – зсув осей поясів від проектного положення;
 1 – тріщина; 2 – погиб фасонки; 3 – викривлення елемента;
 4 – відсутність сполучних прокладок; 5 – місцеві погиби полиць кутиків елемента

Відхилення колон від проектного положення як у площині, так і з площини рам є характерним дефектом. Проте при великих запасах міцності в колонах і в'язях, що не враховуються розрахунком, ці відхилення для несучої здатності не представляють істотної небезпеки, але можуть привести до пошкоджень стінної огорожі, розладу вузлів сполучення примикаючих конструкцій, порушення проектного положення підкранових шляхів і тим самим утруднити нормальну експлуатацію. Основні дефекти і пошкодження колон наведені в табл. 2 і на рис. 2. У колонах також спостерігається корозійний знос, особливо нижче за

рівень підлоги при відсутності обетонування бази і вузлів кріплення вертикальних в'язей.

Таблиця 2

<i>Група пошкодження</i>	<i>Колони</i>	<i>Вертикальні в'язі</i>
1	2	3
1	Виріз в елементі	Виріз в елементі Відсутність елемента
2	Тріщини в елементі колони в місцях кріплення підкранових балок і вертикальних в'язей	Тріщини в елементі або у фасонках
3	-	-
4	Неповномірність і інші дефекти швів	
5	Викривлення колони в площині або із площини рами. Викривлення елемента грат	Викривлення елемента в площині або з площини в'язей
6	Місцевий погиб полиці (гілки) або елемента грат	Місцевий погиб елемента
7	Ослаблення анкерних болтів	Ослаблення болтів у вузлах кріплення в'язей
8	Дефекти заклепок	-
9	Зміщення колони від проектної відмітки в рівні бази, уступу або верху Зсув бази відносно розбивочної осі в площині рами або з площини	-
3	Відхилення колони відносно вертикальної осі	-

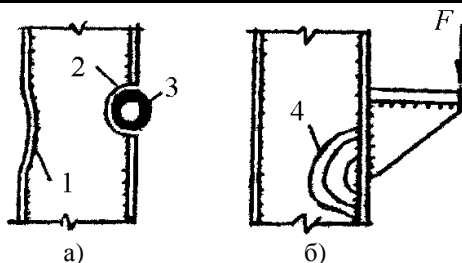


Рис. 2 – Дефекти і пошкодження колон:

а – вирізи в поясах і стінці колон; б – непроектне опирання вантажу на колону; 1 – місцевий погиб полиці; 2 – виріз в основному перерізі; 3 – труба; 4 – деформації стінки

Підкранові конструкції знаходяться у складних умовах роботи і особливо сильно пошкоджуються в цехах з кранами важкого (7К) і дуже важкого (8К) режимів роботи. Основними чинниками, що сприяють появі пошкоджень підкранових конструкцій, є: дія великих зосереджених рухомих навантажень, що мають динамічний характер; змінний і знакозмінний цикл напруження, що багато разів повторюється, викликає втоми металу; складний характер напруженого стану; жорсткість вузлів кріплення підкранових конструкцій до колон і невідповідність їх фактичної роботи розрахунковій схемі, що приймається; наявність додаткових чинників, що ускладнюють роботу конструкцій, таких як ексцентриситет прикладення навантаження, нерівномірності тиску на колеса крана і контактної поверхні і поясу, зварювальна напруга і т. п. Інтенсивному розвитку пошкоджень сприяють також дефекти зварних швів та інша недосконалість виготовлення і монтажу. Основні дефекти і пошкодження в підкранових конструкціях показані на рис. 3 і в табл. 3.

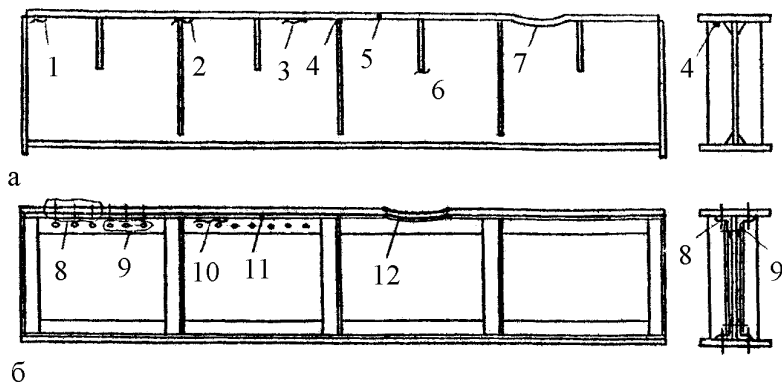


Рис. 3 – Характерні пошкодження підкранових балок:
 а – зварних; б – клепаних: 1 – тріщина у торця балки
 2 – тріщина у ребра жорсткості; 3 – тріщина в середині панелі;
 4 – тріщина в шві кріплення ребра жорсткості до поясу; 5 – тріщина у верхньому поясу; 6 – тріщина під коротким ребром; 7 – місцевий погиб верхнього поясу; 8 – ослаблення вертикальних заклепок; 9 – ослаблення горизонтальних заклепок; 10 – тріщина по обушку кутика; 11 – тріщина у верхньому поясу; 12 – місцевий погиб верхнього поясу

Найбільш характерні пошкодження рейок кранів – знос верхніх і бічних граней головки, пошкодження в місцях стиків і тріщини в шийці рейки. Знос рейок залежить від непаралельності шляхів і від перекоосу коліс крана, а ступінь пошкодження кінців рейок – від зсуву їх торців і розміру зазору в стику. Рейки кріплять до підкранових балок за допомогою крюків або двоболтових лапок, яким віддають перевагу. У міру експлуатації підкранових конструкцій кріплення рейок ослаблюються, а оскільки болти підтягують несвоєчасно, поперечна рухливість рейки досягає 10...15 мм. Пошкодження рейок кранів і їх кріплень сильно позначаються на роботі підкранових конструкцій і прискорюють появу в них дефектів.

Таблиця 3

<i>Група пошкодження</i>	<i>Підкранові балки</i>	<i>Гальмові конструкції</i>	<i>Вузли кріплення</i>
1	Вирізи в елементах перерізу (поясах, стінці, ребрах)	Вирізи в елементах Відсутність елемента гальмівної ферми	Вирізи в елементах
2	Подовжня тріщина у верхній зоні стінки Тріщина в стінці під коротким ребром жорсткості Тріщина у верхньому поясі	Тріщина в елементі	Тріщина в елементі
3	Тріщина у верхньому пояському шві Тріщина в шві кріплення ребра жорсткості	Тріщина в шві кріплення конструкції до верхнього поясу балки	Тріщина в шві кріплення елемента
4	Неповномірність та інші дефекти швів		
5	Прогин в вертикальній площині Викривлення балки у горизонтальній площині	Викривлення елементів Прогин окаймляючого елемента гальмівної конструкції	-
6	Місцевий погиб верхнього поясу, стінки або ребра	Місцевий погиб елемента	-
7	Ослаблення заклепок верхнього поясу	Ослаблення болтів і заклепок кріплення конструкції до верхнього поясу балки	Ослаблення болтів і заклепок у вузлах

Продовження табл. 3

1	2	3	4
8	Дефекти заклепувальних з'єднань		
9	Зсув верхнього пояса відносно проектної відмітки Зсув осі балки відносний проектного положення в проліт і з прольоту Відхилення балки від вертикальної площини	-	-
10	Зсув опорної частини балки відносно осі колони		
11	Нецільне опирання опорного ребра балки на колону Зазор між балками	-	-

8.2. Особливості обстеження металевих конструкцій

Проект підсилення сталевих конструкцій розробляють з урахуванням висновку про технічний стан конструкцій, що експлуатуються, складеного за результатами їх обстеження і перевірочних розрахунків. У необхідних випадках для уточнення розрахункової схеми, виявлення особливостей роботи, оцінки несучої здатності і уточнення властивостей конструкції можуть бути використані результати спеціально проведених натурних і лабораторних експериментів і випробувань матеріалів.

Обстеження конструкцій включає:

- підготовчі роботи (одержання і аналіз завдання на проведення обстеження, ознайомлення з об'єктом обстеження в натурі, підбір і аналіз технічної документації, складання робочої програми та ін.);
- огляд конструкцій в натурі (обміри, визначення відхилень положення конструкцій і їх геометричних розмірів від проектних, визначення відхилень від проекту конструктивного виконання елементів і з'єднань, виявлення пошкоджень елементів і з'єднань, складання виконавчої документації, відомостей дефектів і пошкоджень, обмірні креслення);
- визначення властивостей сталі;

- уточнення фактичних і прогнозування майбутніх навантажень, дій і умов експлуатації, включаючи температурно-вологісний режим і ступінь агресивності навколишнього середовища;

- складання висновку про технічний стан обстежених конструкцій, навантажень і умовах експлуатації.

Обсяг і ступінь деталізації даних обстеження залежать від наявності технічної і експлуатаційної документації, стану і ступеня пошкодженості експлуатованих конструкцій і повинні співпадати з наміченим комплексом проектних робіт.

Залежно від мети (загальне ознайомлення, огляд та ін.) обстеження можуть бути вибірковими або повними.

Обсяг вибіркового обстеження визначають з урахуванням досвіду експлуатації однотипних конструкцій в аналогічних умовах. При цьому обстеженню підлягає не менше 20% однотипних конструкцій, зокрема всі елементи, що знаходяться в найбільш несприятливих умовах за рівнем напруги, особливо в зонах можливих механічних пошкоджень, агресивності дій зовнішнього середовища, підвищеної вібрації і т. п.

Вибіркове обстеження має бути замінене повним, якщо в процесі його виконання виявлені:

- різка нерівномірність значень вимірюваних параметрів технічного стану, властивостей матеріалів, ступеня агресивності оточуючого середовища, умов навантажень;

- наявність дефектів і пошкоджень, що істотно знижують несучу здатність і експлуатаційну придатність конструкцій (тріщини, великі прогини, істотний корозійний знос, відсутність елементів і з'єднань і т. п.).

Обстеження сталевих конструкцій, що експлуатуються, проводиться спеціалізованими організаціями з метою отримання необхідних даних для оцінки технічного стану і ухвалення проектних рішень з реконструкції об'єкта.

При обстеженні використовують результати оглядів і спостережень, що проводяться службою експлуатації будівель і споруд відповідно до відомчих вказівок, які діють на підприємстві, даних проектної і виконавчої документації, наявної у відділі капітального будівництва або інших підрозділах, а також допоміжної інформації (дані служби ремонту, інспекції Держгортехнагляду, санітарної інспекції і т. п.).

Обстеження проводять за допомогою фізичних методів контролю, в необхідних випадках застосовують вимірювальні інструменти. Докладні вказівки і прийоми виконання робіт при технічному огляді наведені в спеціальних інструкціях і рекомендаціях.

Виявлені під час огляду дефекти і пошкодження повинні оперативно оцінюватися з погляду небезпеки руйнування конструкцій. У тих випадках, коли така небезпека існує, потрібно вжити термінові заходи з її ліквідації (розвантаження конструкцій, тимчасове розкріплення, ремонт і т. п.).

Оцінку якості матеріалів експлуатованих конструкцій слід проводити за робочими кресленнями, даними заводських сертифікатів або за наслідками випробувань зразків.

Випробування зразків проводять при відсутності виконавчої документації або сертифікатів, а також при недостатності наявних в них відомостей або при виявленні пошкоджень, які могли бути викликані низькою якістю матеріалу конструкцій і з'єднань.

При дослідженні й випробуванні металу слід визначати наступні характеристики:

- хімічний склад з виявленням вмісту елементів, передбачених державними стандартами або технічними умовами на сталь;

- межу текучості, тимчасовий опір і відносне подовження при випробуваннях на розтягування (рекомендується проводити їх з побудовою діаграми роботи сталі);

- ударну в'язкість для температур, відповідних груп конструкцій і кліматичному району за табл. 50 СНиП II-23-81* і після механічного старіння відповідно до державних стандартів або технічних умов на сталь.

Відбір проб для хімічного аналізу і зразків для механічних випробувань проводять з елементів конструкцій окремо для кожної партії металу. До партії металу відносяться елементи одного виду прокату (за номерами профілів, товщиною і марками сталі), що входять до складу однотипних елементів конструкцій (поясів ферм, ґрат ферм, поясів підкранових балок і т. п.) однієї черги будівництва. Партію металу повинні складати не більше 50 однотипних відправочних марок загальною масою не більше 60 т. Число проб і зразків від кожної партії металу має бути не менше 3 від партії і 1 від елемента.

Зразки вирізують з малонапружених зон найбільш навантажених елементів конструкцій. Наприклад, в елементах ферм з кутиків зразки відбирають з виступаючих полиць кутиків у вузлах, для поясів розрізних балок – у приопорних перерізах (див. рис. 4).

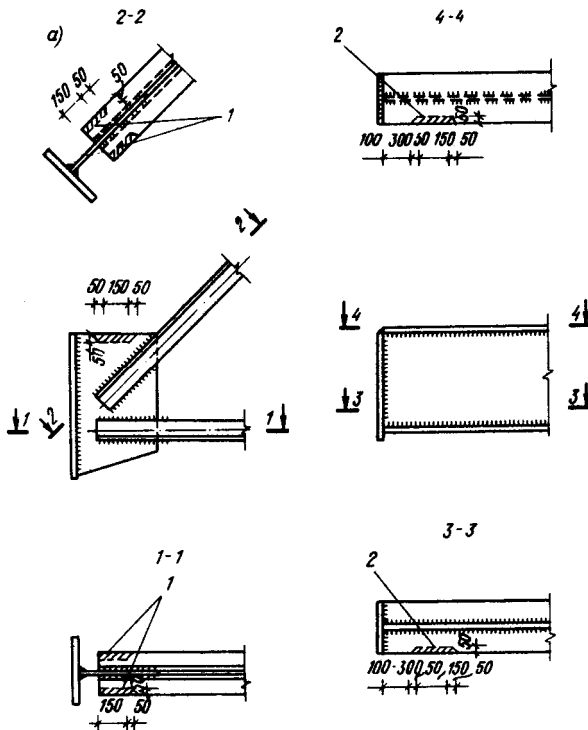


Рис. 4 – Місця відбору зразка:
 а – у фермах; б – в балках; 1 – зразки; 2 – зразок у опори

Виріз має бути плавним, без надрізів. У необхідних випадках місця вирізки зразків мають бути підсилені.

Стружку для хімічного аналізу відбирають свердленням на всю товщину прокату в трьох місцях за довжиною елемента і змішують.

Випробування на розтягування рекомендується проводити на плоских зразках із записом діаграми (за ГОСТ 1947-84). Ударну в'язкість визначають на стандартних зразках з розрізом. При вирізі мають бути забезпечені припуски, що оберігають зразок від впливу наклепання і нагріву.

Перевірочні розрахунки обстежених конструкцій необхідно виконувати за фактичними розрахунковими схемами споруди (конструкції, елемента) і фактичними перерізами з урахуванням впливу виявлених дефектів і пошкоджень, за уточненими значеннями розрахун-

кових опорів матеріалу конструкцій і з'єднань, навантажень і їх сполучень. Перевірочні розрахунки виконують в обсязі, що забезпечує дійсний висновок про можливість продовження експлуатації конструкції або обґрунтовану рекомендацію про необхідність її підсилення (заміни).

Розрахунковий опір прокату і труб, з яких виготовлені конструкції, слід визначати за формулами, наведеними в табл. 1 СНиП II-23-81*. При цьому значення межі текучості R_{yo} і тимчасового опору R_{uo} визначають за п. 2.17, якщо виконано достатнє число випробувань. Інакше приймають мінімальні значення за державними стандартами або технічними умовами, що діяли під час будівництва або мінімальні значення характеристик, отримані при випробуваннях.

Коефіцієнт надійності за матеріалом слід приймати:

- для конструкцій, виготовлених до 1932 р., і сталей, в яких набуто при випробуваннях значення межі текучості нижче 215 МПа (2200 кгс/см²) – $\gamma_m = 1,2$;

- для конструкцій, виготовлених в період з 1932 по 1982 рр., – $\gamma_m = 1,1$ для сталей з межею текучості нижче 380 МПа (3850 кгс/см²) і $\gamma_m = 1,15$ для сталей з межею текучості вище 380 МПа (3850 кгс/см²);

- для конструкцій, виготовлених після 1982 р., – за табл. 2 СНиП II-23-81*.

Для елементів конструкції, що мають корозійний знос з втраченою більше 25% площі поперечного перерізу або залишкову після корозії товщину 5 мм і менше, розрахункові опори знижують шляхом множення на коефіцієнт γ_d , що приймається за табл. 4.

Таблиця 4

<i>Ступінь агресивності середовища за СНиП 2.03.11-85</i>	<i>Коефіцієнт γ_d</i>
Слабкоагресивна	0,95
Середньоагресивна	0,9
Сильноагресивна	0,85

Розрахункові опори зварних з'єднань конструкцій, що підлягають реконструкції або підсиленню, слід призначати з урахуванням марки сталі, зварювальних матеріалів, виду зварки, положення шва, застосованих в конструкції.

За відсутності даних, встановлених нормами, допускається приймати:

- для кутових швів – $R_{wun} = R_{un}$, $\beta_f^b = 0,7$; $\beta_z = 1,0$ вважаючи

при цьому $\gamma_c = 0,8$;

- для розтягнутих стикових швів конструкцій, виготовлених до 1972 р., $R_{wy} = 0,55R_{yo}$, виготовлених після 1972 р. $R_{wy} = 0,85R_{yo}$.

Допускається уточнювати несучу здатність зварних з'єднань за результатами випробувань.

Розрахункові опори зрізу і розтягуванню болтів, а також з'єднання елементів, що з'єднуються болтами, слід приймати за табл. 58 і 59 СНіП II-23-81*. Якщо неможливо встановити клас міцності болтів, то значення розрахункових опорів слід брати як для болтів класу міцності 4.6 – при розрахунку на зріз і класу міцності 4.8 – при розрахунку на розтягування.

Відповідно до вказівок ДБН В.1.2-2:2006 при розробці проектів реконструкції і підсилення навантаження і дії визначають на основі результатів обстежень, при цьому атмосферні навантаження допускається приймати з урахуванням даних Держкомгідромету з урахуванням передбачуваного терміну служби конструкцій.

Розрахункове навантаження слід визначати як добуток її нормативного значення на коефіцієнт надійності за навантаженням, визначуваний за вказівками ДБН В.1.2-2:2006. За наявності статистичних даних допускається визначати розрахункові значення навантажень безпосередньо за заданою вірогідністю їх перевищення.

Навантаження від власної ваги конструкцій визначають за результатами обмірів. Коефіцієнти надійності за навантаженням приймають за вказівками ДБН В.1.2-2:2006.

Власну вагу сталевих конструкцій допускається встановлювати за кресленнями КМД з обов'язковими контрольними вимірами перерізів, а при відсутності цих креслень – за результатами обмірів, основних елементів конструкції (табл. 5). При цьому вагу визначають за формулою

$$G = \psi_c G_o,$$

де G_o – вага основних елементів, кН; ψ_c – будівельний коефіцієнт ваги, який приймають за табл. 5.

Квазіпостійні навантаження від власної ваги стаціонарно встановленого устаткування, трубопроводів, промислових проводок і агрегатів визначають за паспортними даними або робочим кресленням з урахуванням фактичної схеми їх розміщення і опираючі на конструкції і узгоджують із службою експлуатації будівель і споруд. Дані про навантаження від устаткування, прийняті в розрахунку, наводяться в

проектній документації і в необхідних випадках підкріплюються вказівками (рекомендаціями з експлуатації), що наводяться в проекті підсилення.

Коефіцієнти надійності за навантаженням для вказаних дій приймають рівними одиниці.

Квазіпостійні навантаження від ваги покриттів (перекриттів) приймають з урахуванням результатів розкриття покрівлі (огорож) і встановлення складу шарів.

Таблиця 5

<i>Конструкції</i>	<i>Основні елементи</i>	<i>Коефіцієнт</i>	
		<i>зварних</i>	<i>клепаних</i>
Ферми кроквяні, підкроквяні й підкранові	Пояси і стержні ґрат	1,25-1,35	1,35-1,4
Колони: суцільні наскрізні	Пояси і стінка	1,3	1,35
	Пояси	1,7	1,8
Балки: прокатні складені	Пояси і стінка	1,05	1,25
	Те ж	1,2	1,25
Гальмівні конструкції: суцільні	Пояси і гальмівний лист	1,2	1,25
	Пояс і ґрати	1,35	1,4

Примітка: Пояс підкранової балки до складу основних елементів гальмівної конструкції не включають.

Результати обстеження оформляють у вигляді науково-технічного звіту або пояснювальної записки з відповідними кресленнями, куди входять:

- опис конструкцій з додаванням основних креслень або (за наявності проектної документації) з посиланнями на їх номери і місця зберігання;

- короткий опис технологічного процесу з урахуванням передбачуваних при реконструкції змін;

- загальна характеристика експлуатаційних дій (технологічних навантажень, їх інтенсивність, наявність виділень тепла, пилу, агресивних реагентів);

- матеріали огляду конструкцій з відомостями дефектів і пошкоджень і результатами геодезичної зйомки;

- аналіз матеріалів огляду з вказівкою характерних дефектів і пошкодженні, ділянок найбільшої пошкоджених конструкцій, а також причин виникнення пошкоджень;
- аналіз експлуатаційних дій за результатами замірів із зонуванням виробничих приміщень за інтенсивністю роботи;
- результати аналізу властивостей сталі і значення розрахункових характеристик, що рекомендувалися;
- висновки і пропозиції із забезпечення подальшої нормальної експлуатації конструкцій.

При аварійному стані конструкцій складають акт з вказівками про тимчасові заходи щодо запобігання їх обвалення. Результати обстеження є початковими даними для перевірного розрахунку конструкцій, оцінки їх технічного стану і розробки проекту підсилення. Крім того, на підставі результатів обстеження можуть бути встановлені резерви несучої здатності конструкцій.

ТЕМА 9 (2 години)

Класифікація методів підсилення металевих конструкцій

Виявлені дефекти і пошкодження необхідно оцінити з погляду їх небезпеки для несучої здатності і впливу на довговічність конструкцій. Дрібні пошкодження можуть бути залишені до проведення найближчого поточного ремонту за умови постійного спостереження за їх розвитком. Дефекти і пошкодження, які можуть привести до аварійного стану конструкції, треба усувати негайно. При цьому необхідно накреслити заходи з попередження цього стану, тобто розвантаження, розкріплення, заміна або терміновий ремонт конструкції.

Заміна існуючих конструкцій може бути повною або частковою, при якій замінюється лише та частина конструкції, відновлення працездатності або підвищення несучої здатності якої економічно не виправдане, а в ряді випадків досить використовувати способи непрямого або прямого підсилення, тобто малу реконструкцію. Найефективніше здійснювати малу реконструкцію взагалі без заміни або підсилення конструкцій, використовуючи лише резерви несучої здатності каркасу і його елементів.

Несучу здатність конструкцій, що зберігаються, оцінюють як з позиції наявності резервів, так і з позиції фактичної несучої здатності з урахуванням відмічених при обстеженні дефектів і пошкоджень. Виявлення її резервів можна проводити шляхом:

- уточнення зусиль, що діють в перенапружених елементах, за рахунок обліку просторової роботи каркасу; фактичних умов з'єднання і закріплення, обліку фактичних значень навантажень, дій і їх сполучень;

- уточнення міцнісних характеристик матеріалу конструкцій і з'єднань, фактичних розмірів перерізів і елементів;

- включення в роботу конструкцій огороження або інших допоміжних елементів будівель і споруд.

З цією метою рекомендується проведення заходів щодо поліпшення умов роботи несучих конструкцій, таких як:

- дослідження можливості зменшення навантажень, що діють на всю будівлю або окремі її елементи (обмеження вантажопідйомності кранів, їх зближення між собою, обмеження ходу візка, зміна схеми розташування кранів на підкранових коліях, зміна конфігурації покрівлі для зменшення «снігових мішків», заходи щодо боротьби з відкладенням промислового пилу та ін.);

- зменшення навантажень від ваги конструкцій огороження

шляхом заміни їх більш легкими, особливо в тих випадках, коли заміна конструкцій огороження пов'язана з їх незадовільним станом.

Заходи щодо зменшення кранових та інших технологічних навантажень не повинні погіршувати умови основного виробництва і мають бути обов'язково погоджені із службою експлуатації, включаючи прийоми й методи контролю за рівнем навантажень.

Виявлені резерви дозволяють знизити обсяги робіт з підсилення, а в ряді випадків навіть відмовитися від нього. При обстеженні встановлюють дійсні розміри перерізів, які можуть відрізнятися від проектних за рахунок допусків прокату і заміни калібрів профілів і марок сталей при виготовленні, уточнюють властивості сталі і навантаження. При переході від конструктивної схеми каркасу до розрахункової не повністю або взагалі не враховується ряд чинників, що впливають на роботу конструкцій. До таких чинників відносяться перерозподіл зусиль за рахунок обліку просторової роботи каркасу; дійсна робота вузла сполучення ригеля з колоною; податливість основи; включення в роботу кроквяних ферм покрівельного настилу. Облік просторової роботи каркасу дозволяє у ряді випадків допустити збільшення навантажень кранів на раму без її підсилення. У поперечних рамах невірний облік характеру сполучення ригеля з колоною може дати як занижене, так і завищене значення розрахункових моментів для перерізів ригеля і колони. Облік повороту фундаментів може знизити згинальні моменти в рівні бази колони до 60%, але при цьому горизонтальні зсуви в рівні ригеля збільшаться в 1,15 рази проти теоретичних значень, обчислених у припущенні жорсткого затискання колони. Розвантажуючий ефект від включення в роботу кроквяної ферми покрівельного настилу може досягати 15%.

Підсилення конструкцій і їх елементів можна виконувати одним з наступних способів.

1. Після демонтажу конструкцій або їх окремих елементів, що підлягають підсиленню. Цей спосіб використовується або при відновленні конструкцій після аварії, або для підсилення окремих конструктивних елементів, демонтаж яких може бути виконаний порівняно легко і без збитку для основної несучої конструкції (наприклад, при підсиленні підкранових балок).

2. Без демонтажу конструкцій після розвантаження їх від всіх тимчасових і постійних навантажень (за винятком власної ваги конструкції). Прикладом може служити підсилення кроквяних ферм у проектному положенні після демонтажу покриття і покрівельного настилу.

3. Без демонтажу конструкцій в напруженому стані. Окремим випадком цього способу є часткове розвантаження або привантаження конструкцій у момент підсилення за допомогою домкратів, монтажних вантажів, натяжних пристроїв або інших пристроїв з метою регулювання зусиль в них.

Підсилення конструкцій в напруженому стані звичайно економічно вигідніше і технічно доцільне, оскільки попереднє розвантаження викликає необхідність часткового або повного припинення виробничих процесів у будівлі, додаткових витрат на розбирання конструкцій і подовження терміну виробництва робіт. Часто підсилення вимагає не конструкція в цілому, а лише найбільш напружені або дефектні її ділянки, елементи або вузли, що підтверджує доцільність підсилення під навантаженням.

Для підвищення несучої здатності конструкцій і забезпечення їх надійної експлуатації можуть бути використані такі методи підсилення:

- збільшення площі поперечного перерізу окремих елементів конструкції;
- зміна конструктивної схеми всього каркаса або окремих елементів його, внаслідок чого міняється розрахункова схема;
- регулювання напружень.

Кожен з цих методів може застосовуватися самостійно або в комбінації з іншим. При виборі способу підсилення і розробці проекту підсилення необхідно враховувати вимоги монтажної технологічності.

При конструктивному оформленні підсилення шляхом збільшення перерізів необхідно:

- забезпечити надійну спільну роботу елементів підсилення і підсилюваної конструкції, зокрема вимоги щодо місцевої стійкості (розміри звисів, відгинів) і невикривлюваності перерізів (установка в необхідних випадках ребер, діафрагм і т. п.);
- не ухвалювати рішень, що утруднюють проведення заходів щодо антикорозійного захисту, особливо тих, що ведуть до щільної корозії або утворення замкнутих порожнин, застосовуючи в необхідних випадках герметизацію щілин;
- призначати місця обриву елементів підсилення з умови роботи непідсиленних перерізів при дії розрахункових навантажень у пружній стадії, не допускаючи різких концентраторів напруження у вказаних місцях;
- враховувати наявність конструктивного оформлення вузлів, ребер жорсткості, прокладок і т. п., а також допустимість збільшення габаритів будівельних конструкцій;

- забезпечувати технологічність виконання робіт з підсилення, зокрема доступність зварки, можливість свердління отворів, закручування болтів і т. п.

При підсиленні конструкцій шляхом зміни конструктивної схеми потрібно:

- враховувати перерозподіл зусиль в конструкціях, елементах, вузлах, а також в опорах, включаючи додаткові перевірки фундаментів;

- враховувати різницю температур, якщо існуючі й нові конструкції можуть експлуатуватися в різних температурних режимах, а також температурний режим при замиканні статично невизначених систем;

- передбачати в конструктивних рішеннях елементів і вузлів можливість компенсації неспівпадань розмірів існуючих і нових конструкцій.

Спосіб підсилення конструкцій, що передбачає регулювання напружень, дозволяє зменшити зусилля, що діють в конструкції. Перевага його полягає також в тому, що підсилення може проводитися без розвантаження конструкції і зупинки технологічного процесу.

Елементи підсилення необхідно проектувати, як правило, орієнтуючись на повне виготовлення їх в заводських умовах. В особливих випадках допускається виготовлення деталей підсилення з припуском і подальшою обробкою на місці установки.

Приєднання деталей підсилення до конструкцій виконують за допомогою зварки, на болтах класу точності А і В або високоміцних болтах. У разі небезпеки виникнення крихкого або втомного руйнування приєднання слід здійснювати на високоміцних болтах або болтах класу точності А. При відповідному обґрунтуванні допускається застосування дюбелів і самонарізних гвинтів.

Марку сталі елементів підсилення слід призначати за табл. 50 СНіП II-23-81* з урахуванням якості сталі підсилюваної конструкції. Якщо ці конструкції виконані без зварки і відсутні дані про зварюваність стали, то для їх підсилення зварку можна застосовувати тільки після проведення оцінки зварюваності.

Вживана для елементів підсилення сталь, як правило, не повинна поступатися за якістю металу підсилюваних конструкцій (за механічними властивостями, в'язкістю і зварюваністю).

При підсиленні конструкцій, експлуатованих в агресивному середовищі, корозійна стійкість металу елементів підсилення має бути не нижче за стійкість металу підсилюваної конструкції.

ТЕМА 10 (2 години)

Конструктивні способи підсилення балок і балочних елементів

Продовження або відновлення працездатності балочних конструкцій може бути досягнуте різними методами, які вибирають залежно від статичної схеми, умов експлуатації і розташування цих конструкцій в будівлі.

Вибір способу підсилення залежить від:

- умов опирання на балку елементів перекриттів або покриттів (по верхньому або нижньому поясу);
- можливості збільшення будівельної висоти балки і наявності простору для розміщення елементів підсилення;
- можливості виконання робіт без зупинки виробництва або під час технологічних перерв;
- технологічних можливостей виготовлення і монтажу елементів підсилення.

При підсиленні балок шляхом збільшення перерізу (рис. 5) найбільш раціональними за витратою сталі є двосторонні симетричні або близькі до симетричних схеми підсилення «а»-«е» з розташуванням елементів підсилення по можливості далі від центру тяжіння непідсиленого перерізу.

При опиранні настилів по верхньому поясу балки рекомендуються схеми «в»-«к», при цьому несиметричне підсилення за схемою «і» ефективно тільки при використанні стадії пружньопластичності роботи матеріалу існуючої конструкції або при регулюванні зусиль, в решті випадків доцільніша схема одностороннього підсилення «к» із значним збільшенням висоти перерізу. Підсилення складених зварних балок, що мають ребра жорсткості, з використанням схеми «в» і «г» вимагає або вирізки ребер, або підгонки елементів підсилення, тому раціональніші в даному випадку схеми «д» і «е», а при необхідності збільшення міцності верхньої частини стінки (наприклад у разі передачі зосереджених навантажень) може бути рекомендована схема «ж».

Якщо при збільшенні навантажень не забезпечена міцність стінки по зрізу або її стійкість, то рекомендується установка додаткових поперечних, поздовжніх або похилих ребер жорсткості. Похилі ребра жорсткості (рис. 6) можуть використовуватися як без пригону до поясів балки, так і з пригоном; у першому випадку вони вважаються за тих, що не працюють на поперечну силу і служать тільки для забезпечення місцевої стійкості, в другому – значно знижують дотичну напруженість в стінці.

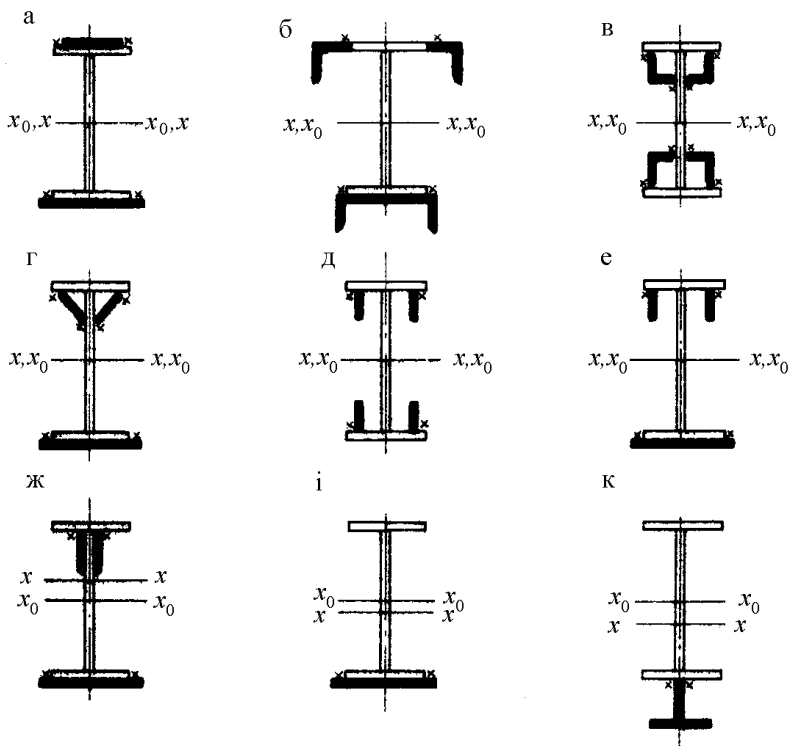


Рис. 5 – Підсилення балок шляхом збільшення перерізу:
а-к – схеми підсилення

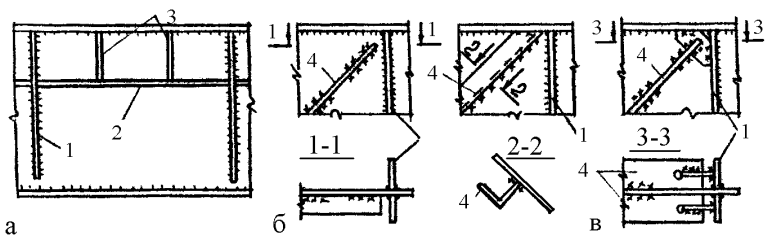


Рис. 6 – Підсилення стінки балки ребрами жорсткості:
а – поздовжніми і поперечними; б – похилими без пригону;
в – те ж з пригоном; 1 – існуючі поперечні ребра;
2 – поздовжнє ребро; 3 – короткі поперечні ребра; 4 – похилі ребра

Діагональні ребра, які приганяють до поясів, проектують дво-
сторонніми із смугової сталі або з кутиків з кріпленням до полиць і

вертикальних ребер за типом, показаним на рис. 6,в. Їх встановлюють уздовж стислої діагоналі відсіку.

Підсилення балок шляхом зміни конструктивної схеми (рис. 7) мало залежить від місця опирання плит настилу, проте при підсиленні по схемах «а» і «б» шляхом перетворення розрізної конструкції на нерозрізну потрібна можливість доступу до вузлів сполучення.

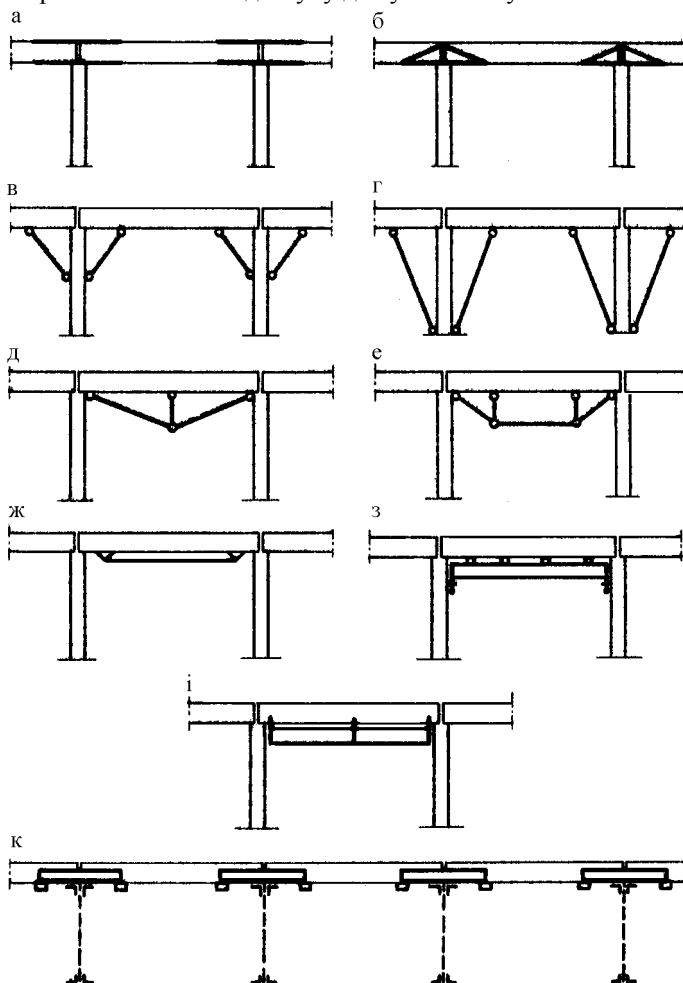


Рис. 7 – Підсилення балок шляхом зміни їх конструктивної схеми:
а-к – схеми підсилення

Спосіб підсилення шляхом включення залізобетонного настилу в спільну роботу з металевими балками заснований на перетворенні двох окремих конструктивних елементів на єдину комплексну конструкцію за допомогою належного їх з'єднання за допомогою упорів, що перешкоджають зсуву настилу щодо балок.

Особливості підсилення підкранових балок

При кранах легкого (1К-3К) і середнього (4К-6К) режимів роботи пошкодження, пов'язані з експлуатацією підкранових балок, звичайно незначні, тому їх підсилення економічно виправдане. Для кранів важкого (7К) і дуже важкого (8К) режимів роботи підкранові балки, що мають пошкодження у вигляді тріщин втомленості, повинні замінюватися новими, а при неможливості зупинки виробництва для їх заміни балки тимчасово підсилюють згідно із схемами, показаними на рис. 7. Крім того, балки можна підсилювати укладанням по верхньому поясу додаткового елемента з прокатного колонного профілю, що працює за нерозрізною схемою і сполученого з балкою на болтах або на зварці, а також перетворенням підкранової балки на підкранову ферму з жорстким верхнім поясом. При збільшенні навантаження і відсутності гальмівних конструкцій підкранові балки можна підсилити за схемою, зображеною на рис. 5,б,д, виконуючи роботи без зупинки кранів. За наявності гальмівних конструкцій підкранові балки доцільно підсилювати за схемою, показаною на рис. 5,а, заздалегідь виконавши демонтаж рейок кранів.

Для підвищення несучої здатності верхньої зони стінок підкранових балок легкого (1К-3К) і середнього (4К-6К) режимів роботи і місцевої стійкості стінок їх можна підсилювати ламелями, що прикріплюються до стінки болтами (для запобігання їх випинання при зварюванні), а до верхнього поясу і ребер жорсткості – зваркою (рис. 8,а). Верхня кромка ламелей має щільно приганятися до верхнього поясу. Болти ставлять конструктивно відповідно до діючих норм.

У зварних підкранових балках при кранах важкого (7К) і величезного (8К) режимів роботи при необхідності знизити напруження від місцевого кручення і, отже, збільшити ресурс балок за витривалістю доцільно встановлювати ламелі, які кріплять до верхнього поясу балки (рис. 8,б,в) конструктивним швом, а до ребер жорсткості, включаючи додаткові ребра з кутиків і опорним розрахунковим швом з повним проплавленням.

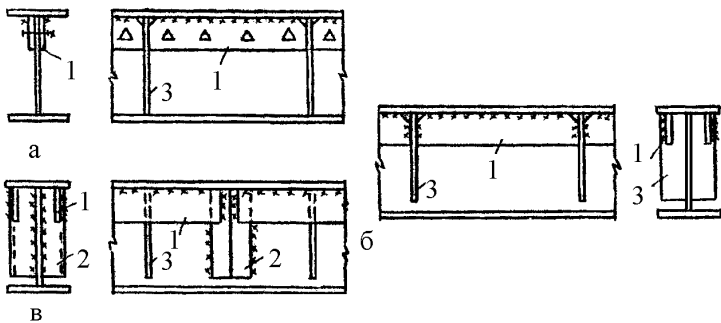


Рис. 8 – Підсилення підкранових балок:
 а-в – можливі схеми підсилення; 1 – ламелі; 2 – додаткове ребро з кутиків; 3 – існуюче ребро

ТЕМА 11 (2 години)

Конструктивні способи підсилення кроквяних ферм

Основні способи підсилення кроквяних ферм багато в чому аналогічні розглянутим способам підсилення балочних конструкцій. Підсилення *ферм шляхом зміни конструктивної схеми* можна здійснити:

- підведенням додаткових опор (рис. 9,а), що сильно знижує зусилля у всіх стержнях, за винятком двох середніх розкосів (застосування схеми дуже обмежене);

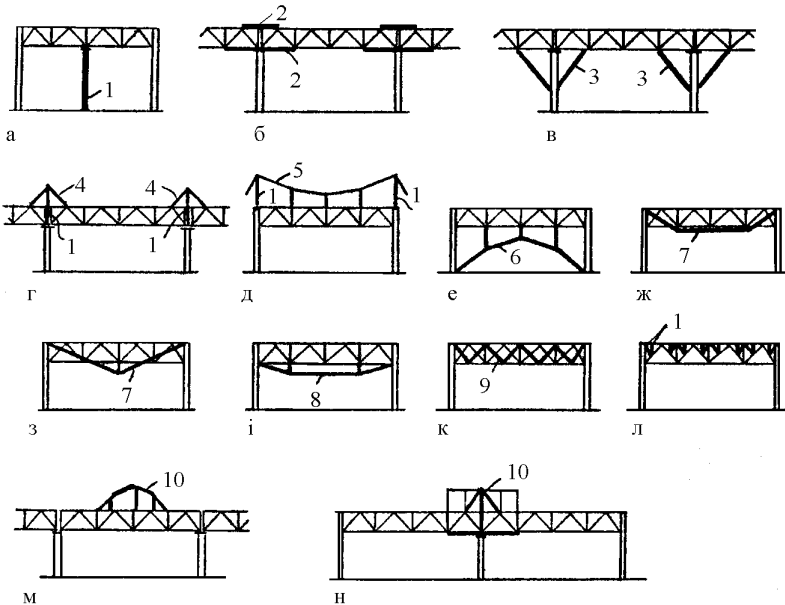


Рис. 9 – Підсилення кроквяних ферм шляхом зміни конструктивної схеми: а-н – схеми підсилення; 1 – додаткова опора; 2 – деталі підсилення опорних вузлів; 3 – підкіс; 4 – підвіски; 5 – несуча нитка; 6 – гнучка арка; 7 – шпренгель; 8 – затяжка; 9 – додаткові елементи ферми; 10 – ліхтар

- «замонолічуванням» шарнірних вузлів опирання ферм на колони (рис. 9,б) і перетворенням їх в багатопротітні (застосування схеми вимагає розбирання покрівлі);

- уведення підкосів (рис. 9, в) або підвісок (рис. 9,г);

- установкою підтримуючих тросових систем (рис. 9, д) або аروحних конструкцій (рис. 9,е);

- підведенням шпренгельних елементів (рис. 9,ж,з) або постановкою затяжок (рис. 9,і) по нижньому поясу (схема раціональна при використанні для затяжок високоміцних елементів);

- уведенням додаткових (рис. 9,к) і шпренгельних (рис. 9,л) елементів у грати ферм (застосування схеми зменшує розрахункову довжину поясів, але не впливає на стійкість їх з площини);

- включенням в роботу ліхтарних конструкцій (рис. 9,м,н).
Схема застосовується у разі, коли утруднена робота всередині будівлі, вимагає підсилення стояків і розкосів ліхтаря.

Підсилення ферм може бути виконане шляхом установки додаткових вертикальних в'язей по всій довжині покриття або горизонтальних в'язей і розпірок, що зменшують розрахункові довжини поясів.

При *підсиленні кроквяних ферм шляхом збільшення перерізу* стержнів слід прагнути до збереження центронування у вузлах ферм. При підсиленні стиснутих стержнів елементи підсилення доцільно розташовувати так, щоб максимально збільшити радіус інерції перерізу, при цьому їх можна не заводити на фасонки, якщо забезпечена міцність непідсиленого перерізу. Елементи підсилення розтягнутих стержнів заводять на фасонки на довжину, достатню для передачі сприйманій ними частині зусилля.

При підсиленні прямолінійних стержнів шляхом збільшення перерізів (рис. 10) для стиснутих стержнів найраціональніше схеми «а», «в», «г». Зручна схема «б», оскільки шви виконують в нижньому положенні, але при цьому істотно зміщується центр тяжіння перерізу і, крім того, при необхідності завести кутик підсилення на фасонку (наприклад, при підсиленні розкосів) в ньому необхідно влаштувати проріз. Використання схем «б» і «д» для підсилення верхнього поясу може виявитися неможливим через опираання прогонів або панелей покриття.

При підсиленні викривлених стержнів можуть бути використані схеми «л» і «м», що не вимагають підгонки елементів підсилення.

Підсилення зварних швів у вузлах кріплення стержнів кроквяних ферм можна виконувати в необхідних випадках з використанням додаткових фасонок (рис. 11,а,б). Підсилення вузлів клепанних ферм доцільно проводити за допомогою зварки (якщо дозволяє якість металу і шви сприймуть все зусилля) або способом передачі зусилля на кутиковий коротиш і потім на фасонку через болти класу точності А (рис. 11,в).

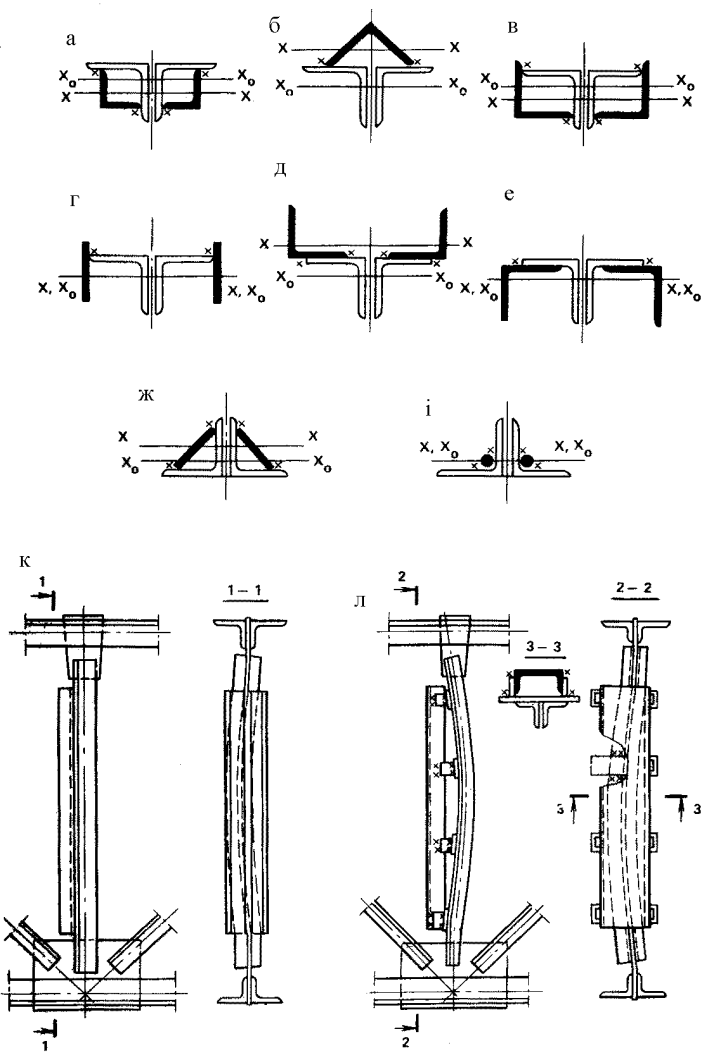


Рис. 10 – Підсилення елементів кроквяних ферм:
а-л – схеми підсилення

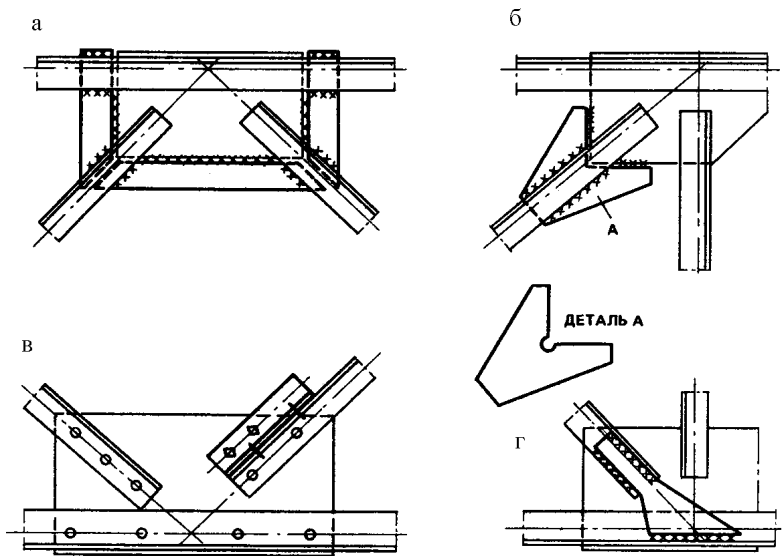


Рис. 11 – Підсилення вузлів кріплення стержнів кроквяних ферм

ТЕМА 12 (2 години)

Конструктивні способи підсилення колон і в цілому каркасі будівель

Підсилення колон необхідне, як правило, при значному збільшенні навантажень, у разі суттєвого корозійного зносу або при значних локальних пошкодженнях. Зважаючи на складність розвантаження колон їх підсилення звичайно виконують під навантаженням, що в основному визначає вибір способу підсилення.

При підсиленні колон шляхом збільшення *перерізів* (рис. 12) використовують симетричні й несиметричні схеми підсилення.

При підсиленні центрально-стиснутих колон і стійок рекомендуються симетричні схеми підсилення або схеми, що забезпечують мінімальний зсув центру тяжіння підсиленого перерізу від лінії дії стислюючих зусиль.

При підсиленні позацентрово стиснутих колон з переважаючими моментами одного знаку раціональне використання несиметричної схеми підсилення із зсувом центру тяжіння підсиленого перерізу в бік дії моменту.

При виборі способу підсилення слід враховувати умови, що утрудняють виконання робіт:

- улаштування підмостей для приварювання елементів підсилення;
- розбирання стінних огорож при підсиленні колон крайніх рядів.

При підсиленні колон шляхом зміни *конструктивної схеми* (рис. 13) можуть бути використані різні схеми.

У високих однопрольотних будівлях з покрівлею малої жорсткості (наприклад, з хвилястих листів азбофанери) доцільно підсилення в'язей по нижніх поясах (схема «а») для збільшення ефекту просторової роботи. Цей прийом рекомендується для відносно коротких будівель з жорсткими торцями.

Розрахункова довжина колон з площини рами може бути зменшена постановкою додаткових розпірок (схема «б»), а в площині рами – установкою підкосів (схема «г»).

Доцільне використання додаткових стояків і підкосів для зниження поздовжніх зусиль в колонах. Рекомендується також установка підкранових стояків, сполучених з основною колоною гнучкими в'язями (схема «в»).

При значному збільшенні кранових навантажень доцільно улаштування окремої крайової естакади, що сприймає всі вертикальні навантаження від крана.

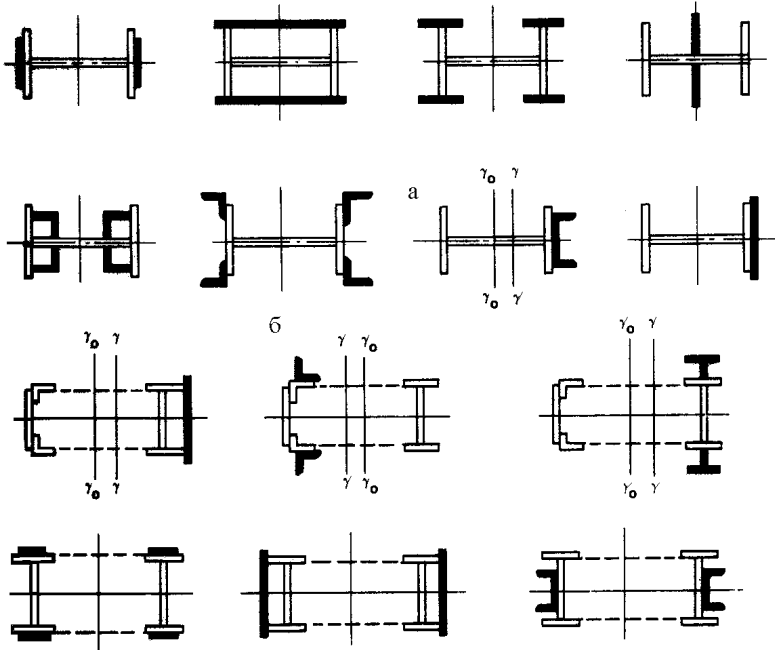


Рис. 12 – Підсилення колон шляхом збільшення перерізів:
а – симетрична без зсуву центру тяжіння; б – несиметрична із зсувом центру тяжіння

Для підсилення колон і стояків можуть застосовуватися заздалегідь напружені шпренгельні системи, основним призначенням яких є зменшення розрахункової довжини стиснутих елементів конструкції і збільшення моменту інерції колони або стояка в цілому. Недоліком цієї схеми є передача на підсилюваний стиснутий елемент додаткової стискуючої напруги від гнучких заздалегідь напружених елементів шпренгеля.

При підсиленні колон і стояків можуть бути використані прийоми регулювання зусиль з частковим розвантаженням підсилюваного елемента і одночасним збільшенням розрахункового перерізу (рис. 14). Найбільш доцільне підсилення постановкою заздалегідь зігнутих або таких, що згинаються у процесі монтажу елементів (рис. 14,а,б), які при незміщуваних кінцях випрямляються шляхом до-

давання поперечних зусиль і скріплюються з колоною. Можна також підсилювати шляхом підведення телескопічних напружуваних стояків (рис. 14,в) з трубчастих або інших жорстких профілів.

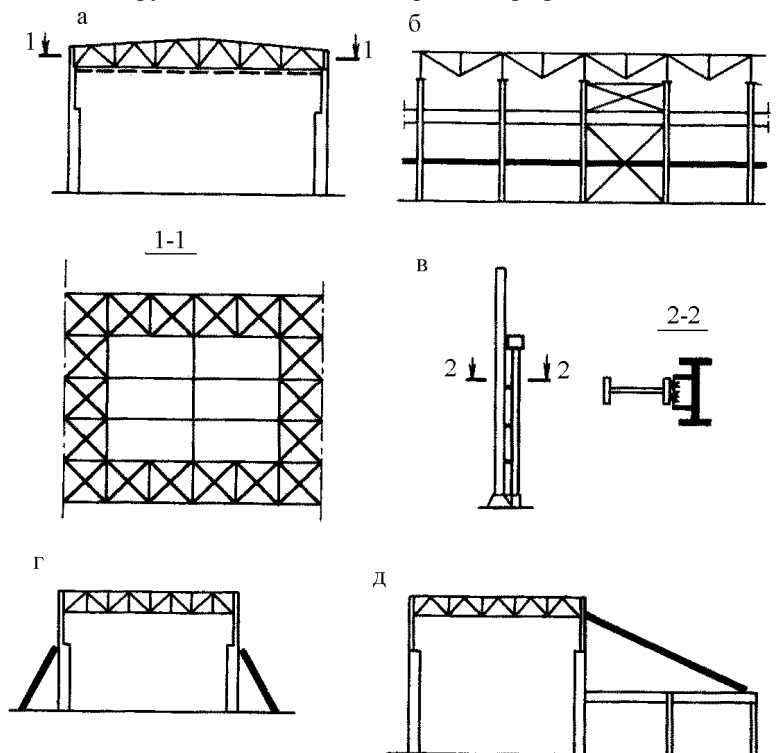


Рис. 13 – Підсилення колон і поперечника в цілому шляхом зміни конструктивної схеми: а-д – схеми підсилення

Підсилення колон, стояків та інших стиснуто-зігнутих елементів можна також здійснювати введенням в існуючу схему додаткових шарнірів, якщо це зменшить напругу в підсилюваних конструкціях (рис. 15). При цьому необхідно враховувати як можливе зменшення згинальних моментів, так і збільшення розрахункової довжини стиснутого елемента. Використовують також схеми підсилення колон і поперечника в цілому, що полягають в замиканні шарнірів.

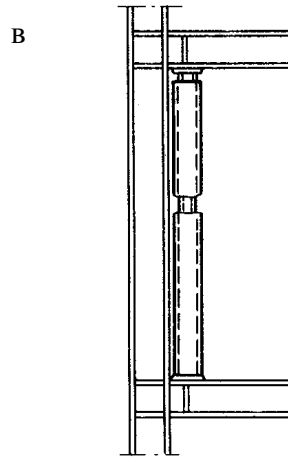
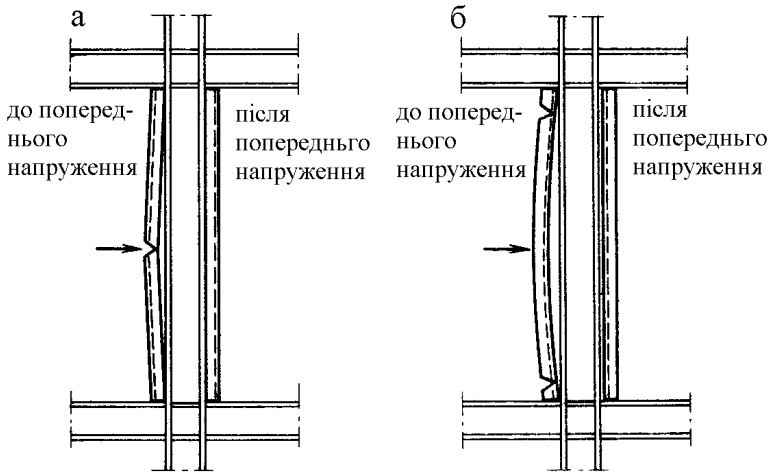


Рис. 14 – Підсилення суцільних колон:
 а-б – заздалегідь зігнутими елементами з подальшим випрямлянням; в – заздалегідь напруженим елементом

При значних горизонтальних навантаженнях на будівлю і великій кількості перенапружених колон підсилення їх рекомендується проводити шляхом введення горизонтальних жорстких конструкцій (спеціально влаштовуваних або використовуваних), які передають навантаження на торці будівлі. Конструкції торців будівлі мають бути розраховані й законструйовані з урахуванням сприйняття навантажень від всієї будівлі. При довжині будівлі більше двох прольотів слід спеціально влаштовувати додаткові поперечні вертикальні конструкції або в'язі, що сприймають горизонтальні навантаження і передають їх на фундаменти.

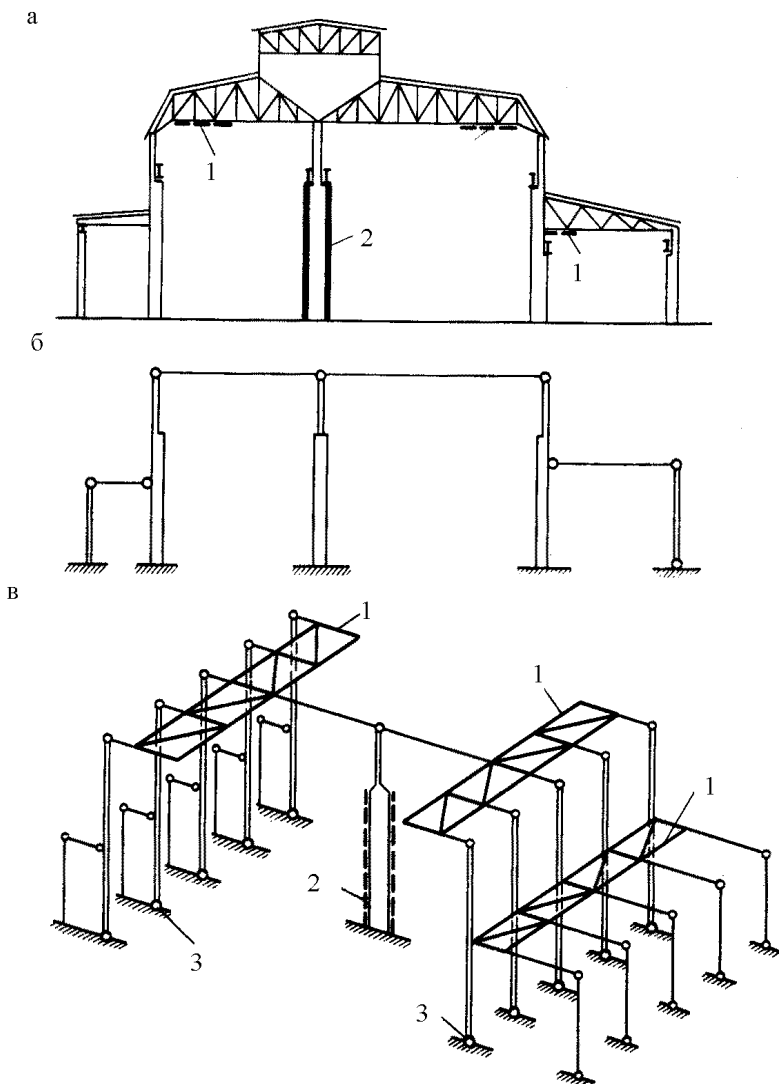


Рис. 15 – Підсилення шляхом введення в схему додаткових елементів жорсткості і шарнірів: а – поперечний розріз; б, в – розрахункові схеми відповідно до і після підсилення; 1 – елементи жорсткості; 2 – збільшення перерізів; 3 – шарніри

При збільшенні зусиль в колонах потрібно перевірити несучу здатність фундаментів і підвалин.

При недостатній несучій здатності опорної плити бази колони її підсилення найдоцільніше виконувати шляхом установки додаткових ребер, що зменшують розміри ділянок плити.

При перенапруженні анкерів рекомендується встановлювати додаткові фундаментні болти, закріпивши їх у фундаментах або в додатковій набетонці.

ТЕМА 13 (2 години)

13.1. Розрахунки металевих конструкцій з урахуванням дефектів і пошкоджень

Перевірочний розрахунок конструкцій, що мають послаблення у вигляді вирізів, виривів, підрізів і т. п., проводять згідно із СНиП П-23-81*.

Міцність центрально-розтягнутих і центрально-стиснутих елементів, що мають симетричні послаблення перерізів, перевіряють за формулою

$$\frac{N_o}{A_{o,c}} \leq R_{yo} \gamma_c, \quad (1)$$

де $A_{o,c}$ – площа ослабленого перерізу; γ_c – коефіцієнт умов роботи, приймають $\gamma_c = 1$.

При несиметричному послабленні міцність елементів перевіряють за нормами з урахуванням ексцентриситету від зсуву центру тяжіння ослабленого перерізу щодо центру тяжіння початкового перерізу.

В елементах, що згинаються і мають послаблення, міцність перевіряють з урахуванням характеристик ослабленого перерізу.

Облік впливу корозійних пошкоджень проводять за рахунок зменшення розрахункової площі поперечного перерізу.

При рівномірному корозійному зносі елементів розрахункову площу поперечного перерізу допускається визначати за формулою

$$A_{ef} = (1 - k_{SA} \Delta^*) A_0, \quad (2)$$

де A_0 – площа поперечного перерізу елемента без урахування корозійних пошкоджень; k_{SA} – коефіцієнт злитності перерізу, рівний відношенню периметра, що контактує з середовищем, до площі поперечного перерізу. Приблизно величину коефіцієнта k_{SA} можна приймати для кутиків – $2/t$, для замкнутих профілів – $1/t$, для швелерів і двотаврів – $4/(t+d)$, тут t і d – товщина полиці й стінки відповідно.

Розрахунковий момент опору для перевірки міцності згинаємих елементів допускається визначати за формулою

$$W_{ef} = (1 - k_{sw} \Delta^*) W_o, \quad (3)$$

де W_o – момент опору перерізу без урахування корозійних пошкоджень; k_{sw} – коефіцієнт зміни моменту опору внаслідок корозійного зносу.

Коефіцієнти k_{sw} , для деяких типорозмірів прокатних профілів наведені в табл. 1 дод. 4 [8].

Величина проникнення корозії Δ^* у формулах (2) і (3) приймається:

$\Delta^* = \Delta$ – при односторонній корозії замкнутих профілів;

$\Delta^* = \frac{\Delta}{2}$ – при двосторонній корозії відкритих профілів (двотаврів, швелерів, кутиків і т. п.), де Δ – зменшення товщини елемента, рівне різниці між номінальною і фактичною товщиною.

Стиснуті суцільстінчасті елементи сталевих конструкцій, які мають загальне викривлення, слід розраховувати як позacentрово стиснуті. Відмінність роботи викривлених стержнів від позacentрово стиснутих (рис. 16) рекомендується враховувати множенням стрілки викривлення стержня f_0 в ненавантаженому стані на коефіцієнт k переходу від максимальної стрілки викривлення до еквівалентного ексцентриситету, приймаючи $m_{ef} = k\eta m_f$, де $m_f = f_0 A / W$.

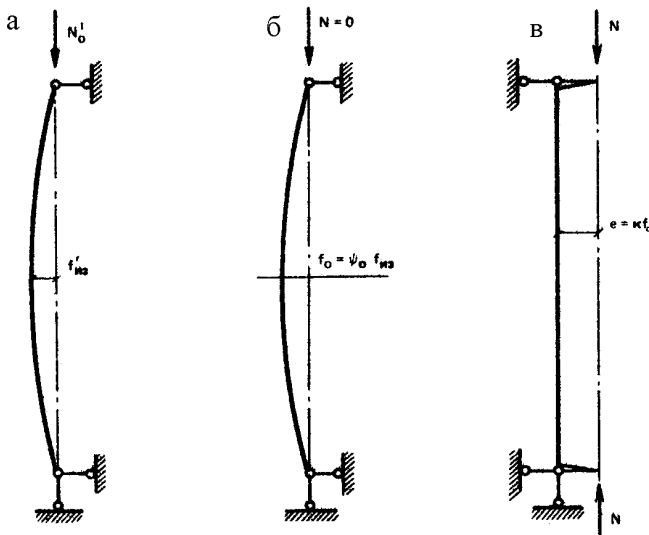


Рис. 16 – Стиснутий стержень із загальним викривленням: а – навантажений; б – незавантажений; в – еквівалентний позacentрово стиснутий

Коефіцієнт обчислюють за формулою

$$k = 0,82 + 0,1 \sqrt{\eta m_f / \bar{\lambda}}, \quad (4)$$

де $\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість стержня у площині викривлення; η – коефіцієнт впливу форми перерізу, приймають за табл. 7.3 СНиП 11-23-81*.

Стрілку викривлення стержня в ненавантаженому стані визначають за формулою

$$f_0 = \psi_0 f', \quad (5)$$

де f' – повна стрілка викривлення, заміряна при навантаженні стержня силою N'_0 (див. рис. 16); ψ_0 – коефіцієнт ($0 \leq \psi_0 \leq 1$), обчислюваний за формулою

$$\psi_0 = 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}^2\sigma'}{R_{yo}}, \quad (6)$$

де $\sigma' = \frac{N'_0}{A_0} \leq \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ – напруження в стержні у момент виміру стрілки f' ; R_{yo} – розрахунковий опір сталі.

Якщо зусилля у стержні N'_0 в момент виміру стрілки визначити неможливо, слід приймати $\psi_0 = 1$.

Розрахунок на стійкість стиснутих стержнів з двох спарених кутиків, розташованих в тавр і що мають викривлення в двох площинах більше ніж за табл. 2 дод. 4 [8], слід виконувати за формулою

$$\frac{N}{\varphi_{uv} A_0} \leq R_{yo}, \quad (7)$$

де φ_{uv} – коефіцієнт зниження несучої здатності, що визначається з табл. 3-5 дод. 4 [8] залежно від умовної гнучкості в площині симетрії перерізу:

$$\bar{\lambda}_x = \frac{l_0}{i_x} \sqrt{\frac{R_{yo}}{E}}$$

і умовних відносних стрілок викривлень у двох площинах

$$\bar{u}_0 = \frac{f_{x0}}{l_0} \sqrt{\frac{E}{R_{yo}}}; \quad \bar{v}_0 = \frac{f_{y0}}{l_0} \sqrt{\frac{E}{R_{yo}}}.$$

Перевірку стійкості стержнів із спарених рівнобоких кутиків, що мають окрім просторового викривлення осі ще й місцеві дефекти у вигляді вирізів або локальних зігнутостей полиць, для випадку $\mu_x = \mu_y = 1$ рекомендується виконувати за формулою

$$\frac{N}{\varphi_{uv} k_{ocл} A_0} \leq R_{yo} \gamma_c, \quad (8)$$

де φ_{uv} – коефіцієнт, визначуваний за табл. 3 дод. 4; $k_{ocл}$ – коефіцієнт, що враховує вплив місцевого вирізу полиці, приймається рівним: $k_{ocл} = 1$ – якщо виріз розташований на кінцевій ділянці стержня (в межах вузлової фасонки); за табл. 7 дод. 4 – якщо виріз розташований в межах середньої третини довжини стержня; за інтерполяцією – в інших випадках; A_0 – площа неослабленого перерізу. Для стержнів, що не мають місцевих дефектів і пошкоджень, слід вважати $k_{ocл} = 1$.

Урахування впливу місцевого дефекту у вигляді локального викривлення полиць здійснюється шляхом переходу до еквівалентного вирізу з параметрами $l_{ocл}$ і визначуваними за зігнутістю l_m і f_{om} (табл. 8 дод. 4 [8]).

Розрахунок наскрізних стержнів на стійкість у площині сполучних грат слід виконувати за загальною формулою

$$\frac{N}{\varphi \varphi_{zл} A_0} \leq R_{yo} \gamma_c, \quad (9)$$

де коефіцієнт поздовжнього згину φ визначають за нормами з урахуванням поправочного коефіцієнта до відносного ексцентриситету:

$$k_1 = 0,8 + 0,25 \sqrt{\frac{\eta m}{\bar{\lambda}_{ef}}}, \quad (10)$$

для гратчастих колон за відсутності пошкоджень елементів грат коефіцієнт поздовжнього згину гілки $\varphi_{zл} = 1$, за наявності пошкоджень $\varphi_{zл}$ знаходять за нормами з поправочним коефіцієнтом: $k_2 = 1 + 0,04 \lambda_{zл}$

при $\bar{\lambda}_{zл} \leq 2,5$; $k_2 = 1,1$ при $\bar{\lambda}_{zл} > 2,5$; $\bar{\lambda}_{zл} = \lambda_{zл} \sqrt{\frac{R_0}{E}}$.

13.2. Особливості розрахунку підсиленних сталевих елементів під навантаженням

При розрахунку конструкцій, що підсилюються під навантаженням, необхідно враховувати рівні напруження в існуючих елементах і послідовне включення в роботу додаткових деталей, а також початкові і додаткові деформації основних конструкцій, що виникають на стадії підсилення. Прийнята розрахункова схема підсилюваних

конструкції повинна відображати їх фактичний стан і дійсні умови роботи, виявлені при обстеженні.

Теоретичний аналіз роботи згинального елемента, що підсилений під навантаженням, заснований на розгляді роботи ідеального пружно-пластичного матеріалу, що відповідає діаграмі Прандтля. Можна відзначити кілька стадій роботи підсиленого елемента.

1-ша стадія – до прикладення додаткового навантаження, але після здійсненого підсилення. Напруження в основному перерізі розподілені за висотою пропорційно відстані від центра ваги основного перерізу, а напруження в елементах, використаних для підсилення, дорівнюють нулю;

2-га стадія – до підсиленої балки прикладається додаткове навантаження. Напруження в основному перерізі та елементах підсилення зростають, досягаючи у граничних фібрах основного перерізу (переріз існуючої балки) межі текучості;

3-тя стадія – зі збільшенням навантаження пластичні деформації проникають в середину основного перерізу, а напруження у граничних волокнах підсилюючих елементів досягають межі текучості;

4-та стадія – граничний стан підсиленого згинального елемента настає з утворенням пластичного шарніра.

До запасу міцності, для підвищення надійності підсиленого елемента конструкції, для розрахунку умовно приймаються епюри напружень, наведені на рис 17,б.

Нижче розглядається питання розрахунку підсилення балок, викликаного збільшенням навантажень. Навантаження, що діють на балку до і після підсилення, приймають рівномірно розподіленими за довжиною. Збільшення навантаження, що викликає необхідність підсилення балок, відбувається за рахунок зростання тимчасового навантаження. Підсилення балок здійснюється при відсутності тимчасового навантаження.

Розрахунок балок, підсилених під навантаженням способом збільшення площі перерізу, можна виконувати як у пружній стадії, так і враховуючи розвиток пластичних деформацій. Розрахунок у пружній стадії слід виконувати для балок, що виготовлені з киплячої сталі або із сталі, що не має площадки текучості, а також для балок, що експлуатуються при температурі нижче -30°C або тих, що працюють під впливом динамічного і вібраційного навантаження.

За критерій міцності балки, підсиленої під навантаженням і розрахованої в пружній стадії, приймають рівність напружень в поясі балки розрахунковому опору сталі R_y . Тому для підсилення балок в

цьому випадку недоцільно використовувати сталі з розрахунковим опором, який перевищує розрахунковий опір балки, що підсилюється.

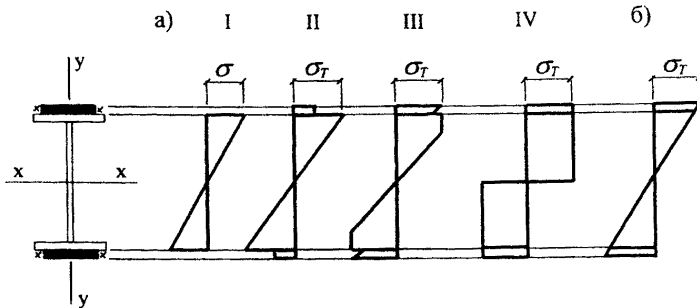


Рис. 17 – 1-4 стадії напруженого стану:

а – підсиленого під навантаженням; б – епюра напружень, прийнята для розрахунків

За критерій міцності балки, що підсилюється під навантаженням і розраховується в пружно-пластичній стадії, може бути прийняте досягнення напруженням в елементі підсилення величини розрахункового опору сталі. При цьому в поясах та частині стінки балки з'являються пластичні деформації. Якщо розрахунковий опір сталі підсилення не більше ніж на 15 % перевищує розрахунковий опір матеріалу існуючої балки, норми припускають розраховувати переріз як єдине ціле на сумарний згинальний момент.

Залежно від умов роботи підсилюючі елементи конструкції розділені на чотири класи, які відрізняються нормою допустимих граничних пластичних деформацій:

I. Зварні конструкції, які працюють в особливо тяжких умовах експлуатації (підкранові балки для кранів режиму роботи 7К, 8К, елементи конструкцій бункерних та розвантажуючих естакад безпосередньо сприймаючих навантаження від рухомих составів). Розрахунки міцності елементів умовно виконують у передбачанні пружної роботи сталі.

II. Елементи конструкції, безпосередньо сприймаючі рухомі, динамічні або вібраційні навантаження, які не ввійшли до групи I. Норма граничних пластичних деформацій $\varepsilon_{p,lim} = 0,001$.

III. Елементи конструкцій, працюючих при статичних навантаженнях, крім елементів, які відносяться до класу IV, $\varepsilon_{p,lim} = 0,002$.

IV. Елементи конструкцій, працюючих при статичних навантаженнях і задовольняючих умовам СНіП II-23-81* з забезпечення за-

гальної і місцевої стійкості при розвинених пластичних деформаціях, $\varepsilon_{p,\text{lim}} = 0,004$.

Перевірку міцності елементів залежно від їх класу виконують для елементів першого-третього класів за критерієм крайової текучості (КТ), а для елементів четвертого класу – за критерієм розвинутих пластичних деформацій (РПД). При оцінці міцності розвиток пластичності в перерізі підсиленого елемента припускається, але обмежується введенням спеціальних знижуючих коефіцієнтів γ_N та γ_M , що гарантують рівень пластичних деформацій $\varepsilon_0 = 0,004$. Значення цих коефіцієнтів приймають залежно від схеми підсилення, співвідношення характеристик сталі, рівня та умов навантаження.

Граничний рівень початкового навантаження елементів для конструкцій, підсилених за допомогою зварки, залежно від класу конструкцій обмежується, як правило, умовами:

$$\begin{aligned}\beta_0 &\leq 0,2 \text{ для I класу;} \\ \beta_0 &\leq 0,4 \text{ для II класу;} \\ \beta_0 &\leq 0,8 \text{ для III та IV класів,}\end{aligned}$$

$$\text{де } \beta_0 = \frac{\sigma_{0,\text{max}}}{R_y}.$$

Якщо вказані умови не виконуються, то необхідно або попереднє розвантаження конструкцій, або використання спеціальних технологічних заходів при підсиленні, що забезпечують обмеження деформацій конструкцій (зокрема, зварних).

13.3. Розрахунки міцності елементів, що підсилюються

Перевірка міцності елементів за критерієм крайової текучості (КТ) виконують за формулами:

- центрально-розтягнуті або стиснуті симетрично підсилені елементи

$$N / A_n \leq R_{yo} \gamma_c \gamma_N, \quad (11)$$

де γ_N – коефіцієнт, що враховує рівень і знак початкової осьової сили; для розтягнутих і стиснутих елементів, підсилених без використання зварки, $\gamma_N = 0,95$; для стиснутих елементів, підсилених з допомогою зварки, $\gamma_N = 0,95 - 0,25\beta_0$;

- елементи, що згинаються

$$M / W_n \leq R_{yo} \gamma_c \gamma_M; \quad (12)$$

- стиснуто- й розтягнуто-зігнуті елементи

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \leq R_{yo} \gamma_c \gamma_M . \quad (13)$$

У формулах (12) і (13) для елементів I класу приймають $\gamma_M = 0,95$; для елементів II і III класів – $\gamma_M = 1$. При $N/(A_n R_{yo}) \geq 0,6$ значення γ_M прирівнюють γ_N .

Перевірку міцності елементів за критерієм розвинених пластичних деформацій (РПД) виконують за формулами:

- центрально-розтягнуті або стиснуті симетрично підсилені елементи

$$N \leq [N] \gamma_c ;$$

- елементи, що згинаються

$$M \leq [M] c_\tau \gamma_c , \quad (15)$$

де c_τ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив поперечних сил і визначуваний для двотаврових перерізів за формулою

$$c_\tau = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau \leq 0,4R_{so} \\ 1,05 \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_{so})^2}{1 - 0,5(\tau/R_{so})^2}} & \text{при } \tau > 0,4R_{so}; \end{cases}$$

- стиснуто- і розтягнуто-зігнуті елементи

$$\left(\frac{N}{[N] \gamma_c} \right)^n + \frac{|M_x|}{[M_x] \gamma_c} + \frac{|M_y|}{[M_y] \gamma_c} \leq 1 ,$$

де n – приймають за табл. 66 СНіП II-23-81* залежно від форми підсиленого перерізу.

$[N]$ визначають за формулою

$$[N] = (A_{on} + \alpha A_{rn}) R_{yo} \gamma_N , \quad (17)$$

де $\alpha = R_{yi} / R_{yo}$; $\gamma_N = 0,95$ – для розтягнутих елементів або стиснутих елементів, підсиленних без використання зварки; $\gamma_N = 0,95 - 0,1(\alpha + \beta - 1)$ – для стиснутих елементів, підсиленних за допомогою зварки.

$[M]$ визначають за формулою

$$[M] = [A_{oc} y_{oc} + A_{op} y_{op} + \alpha (A_{rc} y_{rc} + A_{rp} y_{rp})] R_{yo} \gamma_M , \quad (18)$$

де $A_{oc} = \frac{1}{2} [A_{on} - \alpha (A_{rc} - A_{rp})]$ – площа нетто стиснутої зони перерізу

підсилюваного елемента; A_{op} – те ж розтягнутої зони; A_{rc}, A_{rp} – площі нетто елементів підсилення, розташованих відповідно з боку стиснутої і розтягнутої зон перерізу (рис. 18,а) Для несиметричних односторонніх схем підсилення з боку стиснутих або розтягнутих волокон приймають відповідно $A_{rp} = 0$ або $A_{rc} = 0$; абсолютні величини відстаней від центрів тяжіння стиснутих і розтягнутих площ до центральної осі підсилюваного перерізу (рис. 18,б).

Коефіцієнт γ_M у формулі (18) слід приймати:

- при симетричному двосторонньому підсиленні елементів симетричного перерізу $\gamma_M = 0,95$;

- при несиметричному двосторонньому або односторонньому підсиленні елементів з боку розтягнутих волокон $\gamma_M = 0,95 - 0,2\beta_0(\alpha - 1)$;

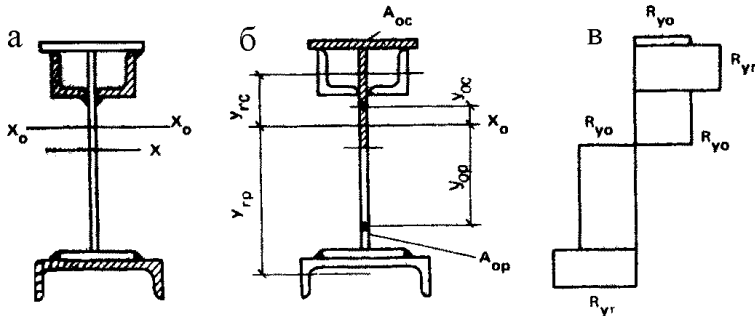


Рис. 18 – До визначення моменту внутрішніх сил в підсиленому перерізі при розвитку шарніра пластичності: а – схема підсилення; б – розташування стиснутих (заштриховано) і розтягнутих зон в перерізі; в – епюра напруги

- при односторонньому підсиленні елементів з боку стиснутих волокон $\gamma_M = 0,95 - 0,1(\alpha + \beta_0 - 1)$.

Використання формули (16) допустиме при $\tau \leq 0,5R_{so}$ інакше перевірка міцності при стиску-розтягу з вигином виконується за формулою (13).

Перевірку міцності згинаємих і стиснуто- або розтягнуто-зігнутих елементів по дотичних, місцевих і приведених напруженнях проводять звичайним способом за вказівками розд. 5 СНІП II-23-81* з урахуванням геометричних характеристик перерізу, що змінилися.

ТЕМА 14 (2 години)

14.1. Розрахунки стійкості елементів, що підсилюються

Розрахунок на стійкість симетрично підсилених стиснутих елементів суцільного перерізу виконують за формулою

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y^* \gamma_c, \quad (19)$$

де φ – приймають за нормами з урахуванням геометричних характеристик перерізу, що змінилися; R_y^* – усереднене значення розрахункового опору

$$R_y^* = R_{y0} K_A K_J; \quad K_A = \alpha - A_0 \frac{\alpha - 1}{A}; \quad K_J = \alpha - J_0 \frac{\alpha - 1}{J}.$$

При використанні для елементів підсилення сталі, розрахунковий опір якої R_{yN} близько до розрахункового опору сталі підсилюваного елемента R_{y0} ($1 \leq \alpha \leq 1,5$), приймають $R_y^* = R_{y0}$ і $\gamma_c = 0,9$.

При несиметричному підсиленні в стержнях виникають додаткові вигинальні моменти від зсуву центру тяжіння перерізу щодо осі дії поздовжньої сили, тому розрахунок на стійкість проводять як для стиснуто-зігнутих або позацентрово стиснутих стержнів.

Стійкість позацентрово стиснутих елементів суцільного перерізу в площині дії моментів

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y^* \gamma_c, \quad (20)$$

де $\gamma_c = 0,9$; φ_e визначають за вказівками СНіП II-23-81* у функції $\bar{\lambda}$ і $m_{ef} = \eta m_f$:

$$m_f = \frac{e_f A}{W_c}, \quad (21)$$

W_c – момент опору найбільш стиснутого волокна; e_f – еквівалентний ексцентриситет

$$e_f = e + f_1 + k_\omega f_\omega,$$

e – ексцентриситет поздовжньої сили щодо центру тяжіння підсиленого перерізу (якщо положення центру тяжіння не змінилося після під-

силення, то $e = e_0 + \Delta e$; якщо змінилося, то $e_0 = \frac{M_0}{N_0}$; Δe – зміщення

центру тяжіння після підсилення;

f_1 – результуючий прогин після приєднання елементів підсилення

$$f_1 = f_0 \left[1 - \alpha_N \sum \frac{J_r}{J_0} + \sum J_r \right],$$

де f_0 – початковий (фактичний) прогин підсилюваного елемента, визначуваний при обстеженнях, але не менше $1/750l$;

$$\alpha_N = \frac{N_e}{N_e - N};$$

N_e – Ейлерова критична сила для підсиленого стержня; $\sum J_r$ – сума моментів інерції елементів підсилення, що приєднуються одночасно щодо їх власних головних осей (якщо $\sum J_r < 0,1J_0$, то $f_1 = f_0$); $k_\omega = 1$; f_ω – додатковий залишковий прогин через приварювання елементів підсилення.

Стійкість позацентрово стиснутих елементів з площини дії моментів перевіряють за нормами. При вигині колони в площині найбільшої жорсткості f_1 і f_ω враховують тільки тоді, коли збільшують e_f .

Розрахунок на стійкість підсиленних позацентрово стиснутих і стиснуто-зігнутих стержнів з ґратами, розташованими в площинах, паралельних площині вигину, співпадаючої з площиною симетрії, виконують за формулою

$$\frac{N}{\varphi_e \varphi_{2л} A} \leq R_y^* \gamma_c, \quad (22)$$

де φ_e приймають за нормами у функції

$$\bar{\lambda}_{ef} = \left(\lambda_y^2 + \alpha_1 \frac{A}{A_d} \right) \varphi_{2л} \frac{R_y^*}{E} \quad (23)$$

і $m = e_f A \frac{a}{J_y}$; λ_y – гнучкість підсиленої колони щодо осі, перпендикулярної до площини вигину; α_1 приймають за нормами; A_d – площа підсиленого перерізу розкосів, розташованих у площині вигину;

$e_f = \frac{M}{N} + f_\omega$; a – відстань від осі підсиленого перерізу, перпендикулярної до площини вигину, до осі найбільш стиснутої гілки; φ_{2n} визначають за нормами у функції $\bar{\lambda}_{2n}$ і приведенного ексцентриситету m_{ef}^B ; A – площа перерізу підсиленних гілок.

14.2. Оцінка деформативності підсиленних елементів

Переміщення (прогини, відхилення від вертикалі) підсиленних елементів конструкцій слід визначати в загальному випадку за формулою

$$f = f_0 + f_\omega + \Delta f, \quad (24)$$

де f_0 – початкове переміщення, визначуване за даними обстеження або розрахунком для навантажень, що діяли в момент підсилення, по характеристиках бруто підсилюваного елемента; f_ω – додаткове переміщення (прогин) при підсиленні елемента з використанням зварки, визначуване за (25); Δf – приріст переміщення від нормативних навантажень, прикладених після підсилення, визначуваний розрахунком за характеристиками бруто підсиленого елемента:

$$f_\omega = \frac{aVl_r(2l-l_r)}{8J} \sum n_i y_i, \quad (25)$$

де a – середній коефіцієнт переривності шва шпонки з урахуванням протяжності його ділянок (при суцільних швах $a = 1$); $V = 0,04k_f$ – параметр поздовжнього укорочення елемента від накладення одиночного шва з катетом k_f ; l_r – довжина елемента підсилення; J – момент інерції підсиленого перерізу; $n_i = 1 - u \frac{\ln(1 - \xi_i)}{\ln 2}$ – коефіцієнт, що враховує початковий напружено-деформований стан елемента і схему його підсилення; $\xi_i = \frac{\sigma_{0i}}{R_{y0}}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень початкової напруги в зоні i -го шва в найбільш навантаженому перерізі елемента; значення u приймають: 1,5 – при швах, розташованих в розтягнутій зоні перерізу; 0,5 – при швах, розташованих у стиснутій зоні, в розрахунках на стійкість; 0,7 – у розрахунках на деформативність; при схемах підсилення, пов'язаних з накладенням двосторонніх швів, розташованих в розтягнутій і стиснутій зонах перерізу, приймають $u = 1$;

y_i – відстань від i -го шва до нейтральної осі підсиленої балки; Δf – прирощення переміщення від нормальних навантажень, прикладених після підсилення.

Додаткові переміщення від зварки допускається не враховувати:

- при рівні початкового навантаження $\beta_0 \leq 0,3$;
- при несиметричному односторонньому підсиленні елементів з боку розтягнутих волокон;
- при підсиленні нерозрізних багатопролітних елементів (наприклад, нерозрізних балок), або елементів рамних конструкцій, що мають жорсткі вузли сполучення з примикаючими елементами.

Переміщення f підсиленних конструкцій не повинні перешкоджати нормальній експлуатації, а прирости переміщень Δf – перевищувати значення, рекомендовані п. 13.1 13.4 СНиП II-23-81*.

14.3. Розрахунок зварних швів при підсиленні

При підсиленні статично навантажених конструкцій третього і четвертого класів, що працюють в неагресивному середовищі при температурі вище -30^0C , застосовують переривисті шви (крок шпонок в розтягнутих елементах $80i$, у стиснутих – $40i$, де i мінімальний радіус інерції елемента підсилення). Для елементів першого і другого класів застосовують тільки суцільні шви.

Довжина ділянки переривистого шва, см

$$l_{\omega} \geq \frac{T_r}{\beta_f k_f R_{\omega} \gamma_{\omega} \gamma_c} + 1, \quad (26)$$

(але не менше 50 см), де $T_r = Q_{\max} S_r a_{\omega} / J$; Q_{\max} – найбільше значення поперечної сили в межах елемента підсилення (для стиснутих стержнів $Q_{\max} \geq Q_{fic}$); S_r – статичний момент елемента підсилення щодо нейтральної осі; a_{ω} – крок шпонок; $\beta_{\omega}, R_{\omega}, \gamma_{\omega}$ – відповідають значенням $\beta_f, \beta_z, \gamma_{af}, R_{af}, R_{ax}$.

Довжину кінцевих швів, що прикріплюють елемент підсилення до основного стержня або до вузлової фасонки, розраховують за формулою, см:

$$l_{ok} \geq \frac{T_r + N_r}{\beta_f k_f R_{\omega} \gamma_{\omega} \gamma_c} + 1, \quad (27)$$

де $N_r = N - N_0 \frac{A_r}{A}$; для елементів, що згинаються $N_r = 0,5A_r R_{yr}$.

Катет суцільних швів прикріплення

$$k_f \geq \frac{Q_{\max} S_r}{J \beta_\omega R_\omega \gamma_\omega \gamma_c}. \quad (28)$$

При підсиленні зварних швів під навантаженням наплавленням додаткових шарів у цілях збільшення катета повинна виконуватися умова

$$N_0 \leq R_{of} \gamma_{of} \gamma_c \beta_f k_f (l_\omega - D), \quad (29)$$

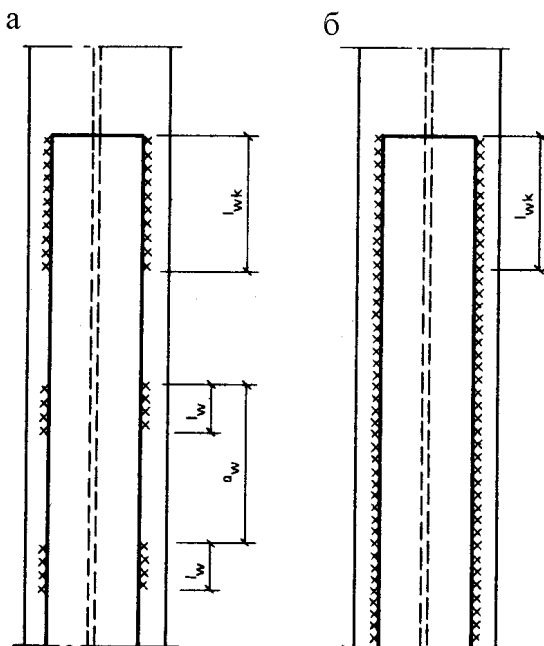


Рис. 19 – Приєднання елементів підсилення:
а – переривистими швами; б – суцільними швами

де $R_{of}, \gamma_{of}, \beta_f$ приймають за нормами; k_f – катет вуглового шва до підсилення; l_ω – довжина підсилюваного шва; D – довжина ділянки шва, що не бере участі в роботі в момент підсилення в результаті переходу металу шва в пластичний стан

$$D = 0,15m^2 A_s J_{CB} / t^2, \quad (30)$$

m – коефіцієнт, що враховує зв'язок між товщиною зварюваної деталі і збільшенням катета підсилюючого шва, приймають за табл. 6; A_s – площа поперечного перерізу наплавленого шару шва, см^2 ; J_{CB} – сила зварювального струму, що приймається за табл. 7; t – товщина зварюваного металу (у фермах – товщина фасонки), см .

Приєднання деталей підсилення до підсилюваної конструкції рекомендується, як правило, виконувати за допомогою механізованої зварки у вуглекислому газі або вручну – штучними електродами.

Розташування нових зварних швів, а також взаємне розташування швів, що приєднують деталі підсилення, і існуючих швів повинне задовольняти вимогам п. 6.8 [8].

У стикових з'єднаннях листів різної товщини, якщо різниця між товщиною стикуваних елементів більше 4 мм, а уступ більше 1/8 товщини листа, слід передбачати на найтовшому листі пристрій передідного скосу з ухилом не менше 1:5.

При необхідності підсилення конструкцій групи 1 за табл. 50 СНиП Н-23-81* за допомогою накладних листів рекомендується забезпечувати плавну зміну жорсткості накладок при переході до основного перерізу (рис. 20, а-г), а при товщині накладного листа 12 мм необхідна обробка скосу листа (див. рис. 20, г).

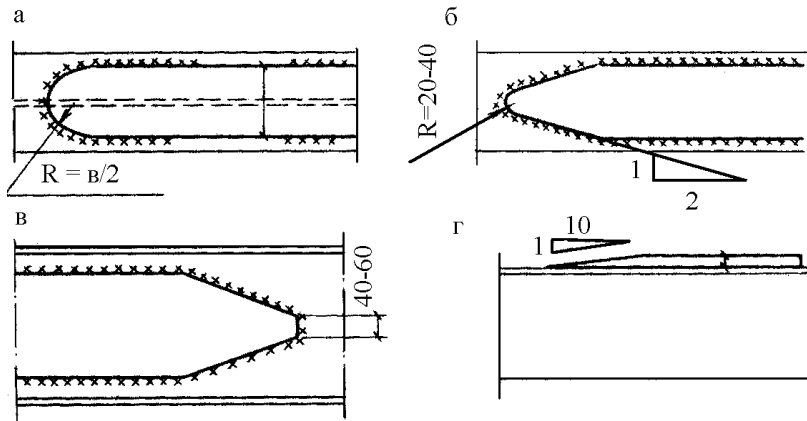


Рис. 20 – Форми кінців накладного листа

Таблиця 6

Значення коефіцієнту m

Товщина наплавленого шару, мм	Товщина елемента, мм			
	8	12	16	20
6...8	1	1,08	1,24	1,5
8...10	1	1,04	1,14	1,33

Таблиця 7

Запропонована сила зварного струму

Діаметр електроду, мм	Сила струму A , при положенні зварки		
	нижня	верхня	стельовому
4	160...200	120...160	110...150
5	200...250	-	-

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Молодченко Г.А., Гринь В.И. Реконструкція и усиление зданий и сооружений. – К.: ИСИО, 1993. – 173 с.
2. Шагин А.Л., Бондаренко Ю.В. и др. Реконструкция зданий и сооружений / Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 352 с.
3. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции. – М.: Стройиздат, 1987. – 220 с.
4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП, 1990. – 96 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. – К.: Минстрой, 2006. – 60 с.
6. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогнибы и перемещения. – К.: Минстрой, 2006. – 10 с.
7. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт и усиление несущих и ограждающих конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений. – К.: Госстрой, 2003. – 82 с.
8. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	3
Тема 8	4
8.1. Дефекти і пошкодження металевих конструкцій при виготовленні, монтажу та експлуатації	4
8.2. Особливості обстеження металевих конструкцій	15
Тема 9 Класифікація методів підсилення металевих конструкцій	23
Тема 10 Конструктивні способи підсилення балок і балочних елементів	27
Тема 11 Конструктивні способи підсилення кроквяних ферм	32
Тема 12 Конструктивні способи підсилення колон і в цілому каркасів будівель	36
Тема 13	42
13.1. Розрахунки металевих конструкцій з ураху- ванням дефектів і пошкоджень	42
13.2. Особливості розрахунку підсилених сталевих елементів під навантаженням.....	45
13.3. Розрахунки міцності елементів, що підсилюються	48
Тема 14	51
14.1. Розрахунки стійкості елементів, що підсилюються	51
14.2. Оцінка деформативності підсилених елементів	53
14.3. Розрахунок зварних швів при підсиленні.....	54
Список літератури	57

Навчальне видання

ТЕХНІЧНА РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ
Частина 2 «ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

Конспект лекцій

(для студентів 4-5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності
6.092.100 – «Міське будівництво та господарство»)

Автор: Євгеній Серафимович СЄДИШЕВ

Редактор: М.З.Аляб'єв

План 2009, поз. 2Л

Підп. до друку 07.09.09	Формат 60x84 1/16.	Папір офісний.
Друк на ризографі.	Умовн.-др. арк. 2.7.	Обл.-вид. арк. 2.9.
Замовл. №	Тираж 50 прим.	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії при ЦНІТ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12