

Лекція 10. Попередньо напружені конструкції

П л а н

Історія виникнення попередньо-напружених залізобетонних конструкцій.

Послідовність зміни напруження по перерізу балки.

Типи попередньо-напружених елементів та засоби натягнення арматури.

Матеріали, які застосовуються при виготовленні попередньо-напружених елементів.

Застосування попередньо-напружених конструкцій.

Попередньо напруженими залізобетонними конструкціями називаються конструкції, в яких штучно у процесі виготовлення створюється напружений стан: бетон стиснутий, а арматура розтягнута.

Метою попереднього напруження є обтиснення бетону в тих зонах конструкцій, де під навантаженням буде виникати розтяг. Розтяг арматури є тільки засіб для обтиснення бетону.

10.1 Історія виникнення попередньо-напружених залізобетонних конструкцій

Згадаємо, що в бетоні розтягнутої зони напружених залізобетонних елементів створюється раннє виникнення тріщин (стадія 1б). При цьому напруження в арматурі до моменту виникнення тріщин досягає $\sigma_{si} = 300 \text{ кг} / \text{см}^2$, що складає приблизно 10% розрахункової міцності стержнів, тобто бетон руйнується при малому напруженні в арматурі.

Щоб не допустити виникнення тріщин у експлуатаційній стадії і якось уникнути їх виникнення, з'явилась ідея створення попередньо-напружених залізобетонних конструкцій. Цю ідею у 1913 році висунув французький інженер Фрейсіне.

Фрейсіне виготовив балку, у якій спочатку арматуру розтягнутої зони натягнув, далі у натягнутому вигляді її закріпив, потім забетонував опалубку, витримав 28 діб і арматуру відпустив. Реактивне зусилля в арматурі стиснуло балку у нижній частині і вона набула вигнутого положення.

Але поки балку витримували, установлювали, навантажували, з'ясувалося, що вона нічим не відрізняється від балки без попереднього напруження. Тріщини виникли одночасно. Що ж сталось, адже ідея була дуже гарна. На цьому зупинимось пізніше у розділі розрахунку елементів, а тепер розглянемо, як можна виконувати попереднє напруження арматури, та як воно впливає на конструктивну та розрахункову схеми залізобетонного елемента.

10.2 Послідовність зміни напруження по перерізу балки

Спочатку розглянемо послідовність зміни напруження по перерізу

балки у процесі її виготовлення та навантаження. Коли і в процесі якого перетворення можна уникнути появи тріщин та збільшити деформативність балки, показано на рис.22.

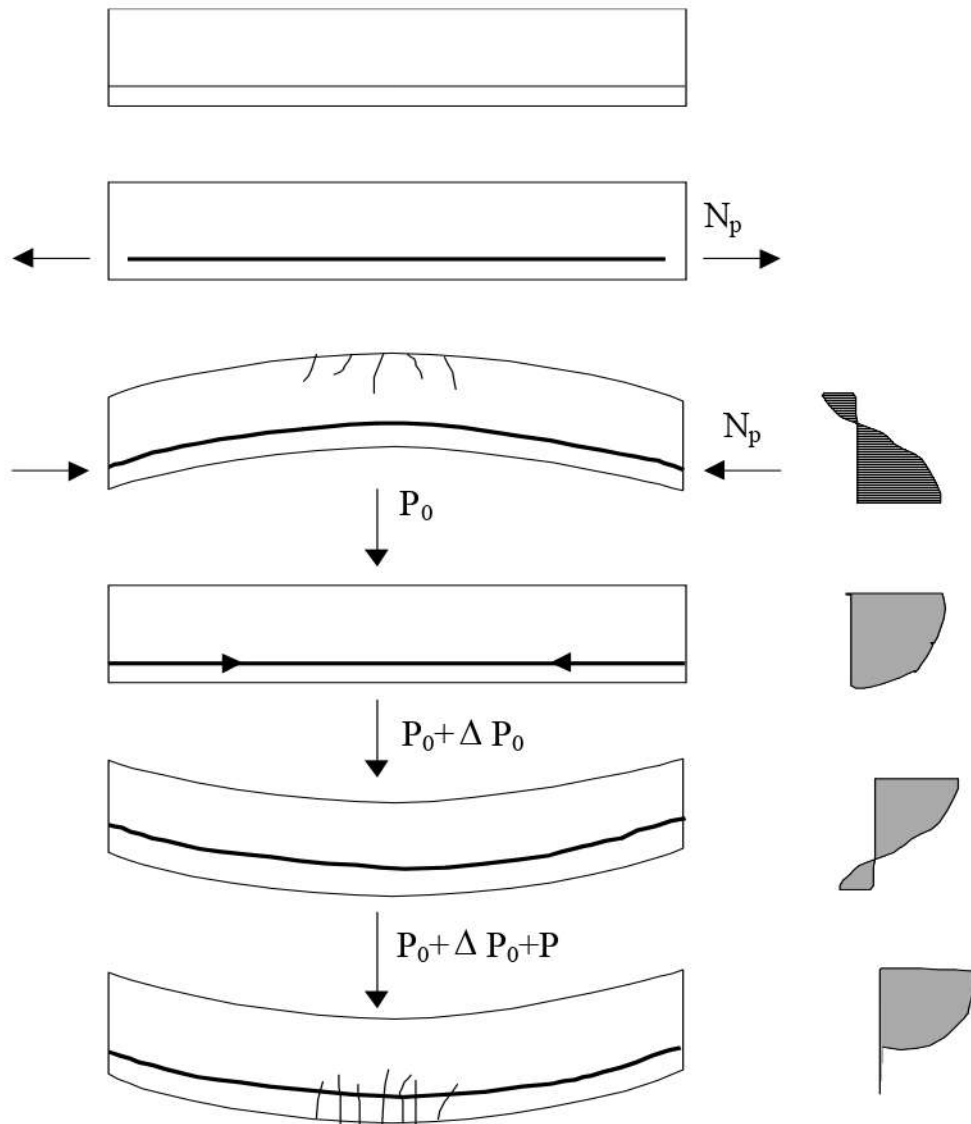


Рис.22. Зміна напруженого стану попередньо-напруженої балки

Як бачимо, щоб погасити вигинання балки у стиснуту зону, необхідно витратити частину навантаження P_0 , а потім балка працює як звичайна. На величину цієї частини навантаження P_0 і відсувається виникнення тріщин.

10.3 Типи попередньо-напружених елементів та способи натягнення арматури

Перш за все слід уяснити, що попередньо-напружений залізобетонний елемент має напружений арматурний каркас та арматуру. Для чого ставиться напружена арматура: для окреслення поперечного перерізу елемента, для сприйняття поперечної сили, а також вся конструктивна та монтажна арматура.

Існує два типи попередньо напружених елементів:

1. Натягнення арматури на упори

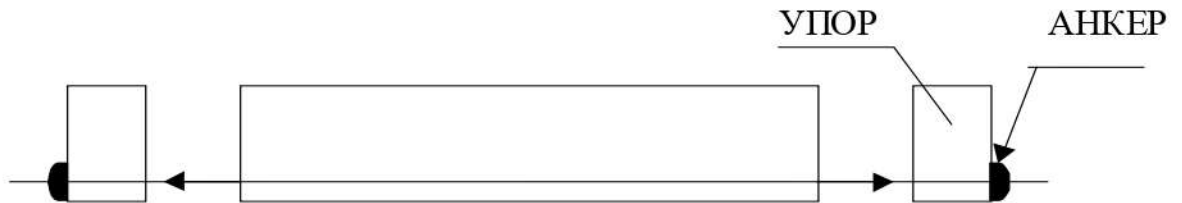


Рис. 23. Натягнення арматури на упори

В цьому разі арматуру заводять в опалубку, якимось засобом натягують, потім на упорах її закріплюють (анкерять), далі встановлюють в опалубку ненапружені арматурні каркаси, бетонують, витримують 28 днів, щоб бетон набув проектної міцності, і тільки після цього відпускають. Арматура при відновленні напружених деформацій в умовах зчеплення з бетоном обтискує й бетон, що знаходиться поруч. Тобто, коротко можна сказати, що арматуру натягують у формах до виготовлення конструкції.

2. Натягнення арматури на бетон

У цьому разі арматуру натягують після виготовлення конструкції, тобто

встановлюють в опалубку ненапружений арматурний каркас та бетонують, а для попередньо-напруженої арматури залишають у процесі виготовлення канали. Для цього використовують гофровану металеву трубку

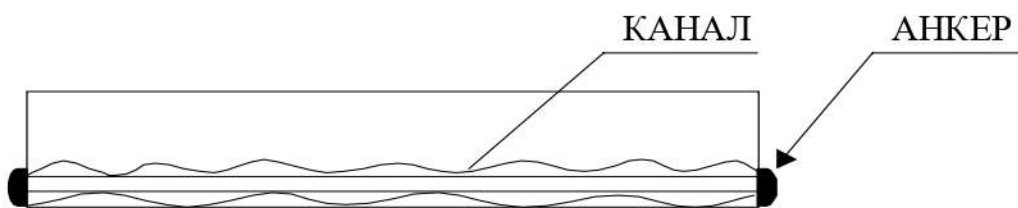


Рис. 24. Натягнення арматури на бетон

Способи натягнення арматури

1. Механічний спосіб – за допомогою домкратів будь-якого типу та конструкції.

2. Термоелектричний спосіб. Відомо, що метал збільшується у довжину при нагріванні. При цьому подовження залежить від температури нагрівання. Тому, враховуючи закон Ома, досить пропустити через стержень

великий струм з малою напругою, і він буде нагріватись і подовжуватися на певну довжину. Потім нам необхідно кінці стержня заанкерити і зняти напругу. Стержень почне охолоджуватися, скорочуватись, і в ньому виникне напруження.

3. Електромеханічний спосіб – застосовується для створення попереднього напруження при спорудженні силосних корпусів, резервуарів, труб і т. п. В цьому разі виконують комбіноване натягнення арматури і домкратами (навивальною машиною), і електричним струмом, який пропускають через арматуру, щоб вона нагрівалась.

4. Фізико-хімічний спосіб, коли застосовують розширюваний цемент. Цей спосіб застосовується при натяганні арматури у вузлах.

5. Термічний спосіб, який повністю використовує електротермічний метод, але для закріплення арматури застосовується спеціальна обмазка.

10.4 Матеріали, які застосовуються при виготовленні попередньо-напружених елементів

Бетон – важкий, на щебінці, не нижче класу В15, нормальної щільності з В/Ц відношенням 0,4.

Арматура, яка застосовується для виготовлення конструкцій:

1. Гарячекатана арматура періодичного профіля, класів АІІв, АІV, АV, АVI, діаметрів 10 – 40 мм.

2. Холоднотягнутий дріт $d = 2,5 \div 8$ мм рівного та періодичного профілю. З розрахунковою міцністю від 7500 до 2100 кг/см², який застосовується у вигляді:

- а) струн, коли натягується кожна дротина окремо;
- б) пучків, коли дріт збирається у пучок, в якому він паралельний один одному;
- в) пасма, коли дріт скручується або сплітається;
- г) канатів, коли скручуються окремі пасма.

Для закріплення арматури застосовуються анкери різного типу (рис.2.5).

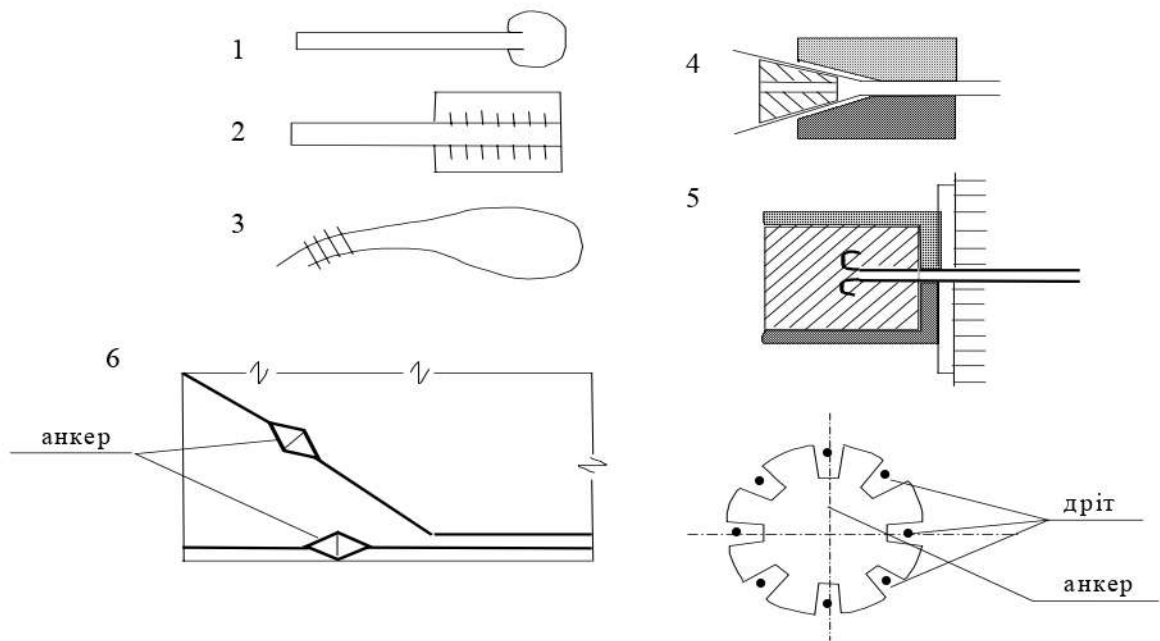


Рис. 25. Типи анкерів: 1 – висаджена головка; 2 – з навареними коротишами; 3 – у вигляді петлі; 4 – конусний; 5 – стаканного типу; 6 – у вигляді внутрішнього анкера.

Слід звернути увагу, що тип анкера залежить від типу арматури, тобто стержньової чи дротової.

У мостобудуванні дуже часто застосовується внутрішній анкер при виготовленні погінних споруд.

8.5. Застосування попередньо-напружених конструкцій

Попередньо-напружені залізобетонні конструкції застосовуються:

1) для зниження витрат сталі та бетону, шляхом використання арматури та бетону високої міцності;

2) збільшення опору бетону щодо виникнення тріщин, а також обмеження їх розвитку;

3) збільшення жорсткості, та зменшення деформативності;

4) обтиснення стиків елементів;

5) збільшення витривалості елементів при багаторазовому повторюванні навантаження.

Виникає запитання, а чи збільшується міцність попередньо-напружених елементів? Якщо звернути увагу на умову міцності, то можна зробити висновок, що сам процес попереднього напруження на міцність залізобетону не впливає. Міцність змінюється тільки за рахунок застосування матеріалів з більшою міцністю (бетону та сталі). Для виготовлення таких матеріалів збільшуються витрати (на 20 – 30%), але сама міцність цементів та сталі збільшується в $2,3 \div 10$ разів. Ось тут і криється питання економічності попередньо-напружених конструкцій.

Принципи конструювання попередньо-напружених елементів

1. Загальні вимоги до їх конструювання залишаються такими ж, що і до звичайних залізобетонних конструкцій.

2. Поздовжня попередньо-напружена арматура розташована в середині ненапруженого каркасу. При цьому напружена арматура по довжині у поперечному перерізі не закріплюється.

3. Попередньо-напружені залізобетонні конструкції не застосовуються без напруженого каркасу.

4. У попередньо-напружених балках особливого значення набуває конструювання приопорних ділянок. Тут, в разі позаосьової дії напруженої арматури на елемент, виникають місцеві перенапруження у торцевій частині елемента, внаслідок чого можуть виникати тріщини, які розкриваються по торцю або на поверхні в кінці елемента. Тому необхідно зміцнювати ці ділянки за допомогою закладних металевих деталей або поперечними сітками.

5. Якщо арматуру натягують на бетон, то відстань поверхні елемента до поверхні каналу повинна бути не меншою, ніж 40 мм і не меншою, ніж діаметр каналу.

6. Відстань у просвіті між каналами для арматури має бути не меншою, ніж діаметр каналу і не меншою, ніж 50 мм.

7. При високих елементах необхідно ставити попередньо-напружену арматуру і в стиснуту зону.

Розрахунок попередньо-напружених залізобетонних елементів.

У процесі розрахунків виконується:

- а) розрахунок несучої здатності (міцності);
- б) розрахунок тріщиностійкості за нормальних та похилих перерізів;
- в) обмеження ширини розкриття тріщин;
- г) розрахунок деформативності (за прогинами);
- д) перевірка міцності тріщиностійкості у різних стадіях виготовлення, транспортування та монтажу.

Запитання для самоперевірки

1. Що називається попередньо-напруженим залізобетоном?
2. Чому інженера Фрейсіне спіткала невдача при здійсненні попереднього напруження?
3. Типи попередньо-напружених елементів.
4. Засоби натягнення арматури.
5. Яка застосовується арматура?
6. Які застосовуються анкерні кріплення?
7. Коли застосовується попереднє напруження?
8. Які конструктивні особливості у попередньо-напружених елементів?