

УДК 697.140(2)

д.т.н., доц. Лапенко О.І.,
Національний авіаційний університет, Київ

ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ БЕТОНУ І СТАЛІ В СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

У залізобетонних конструкціях спільна робота бетону й арматури, забезпечується силами зчеплення, що залежать в основному від здатності цементного тіста, сил тертя й механічного зачеплення виступів арматури по поверхні контакту. Ступінь впливу зчеплення обумовлена видом і станом арматури. Показано формули для розрахунку анкерів.

Зчеплення бетону із гладкою поверхнею смугових, листових арматур у сталебетонних конструкціях не може забезпечити монолітність конструкції навіть на першій стадії її роботи. У сталебетонних конструкціях зв'язкам-анкерам смугових, листових арматур з бетоном по довжині контакту надається першорядне значення, тому що надійний зв'язок - анкерування є єдиною гарантією експлуатаційної придатності їх.

Найявні дослідження й існуюча методика розрахунку анкерів й упорів комплексних конструкцій [1, 2], що поєднують сталеву балку із залізобетонною плитою стислої зони, не можуть бути повністю використані для розрахунку зв'язків смугових, листової арматур з бетоном сталебетонної балки, тому що умови роботи їх у розтягнутій і стислій зонах різні. У комплексних конструкціях зв'язку (анкери, упори) розташовують у стислій зоні, вони виконують роль самостійних конструктивних елементів і не мають ніякого зв'язку з арматурами плити. Для об'єднання смугових арматур з бетоном балки прямокутного перетину принцип конструювання незалежних зв'язків-анкерів, упорів і поперечної арматур економічно невигідний.

У залізобетонних конструкціях спільна робота бетону й арматури, розташованої в масі бетону, забезпечується силами зчеплення, що залежать в основному від здатності, що склеює, цементного тіста, сил тертя й механічного зачеплення виступів арматури по поверхні контакту. Ступінь впливу обумовлена видом і станом арматури.

У сталебетонній балці із зовнішнім армуванням зв'язок гладких смугових арматур з бетоном за рахунок різних типів анкерів є вирішальною для забезпечення надійності роботи конструкції під навантаженням. Призначення зв'язків - забезпечувати монолітність роботи такої конструкції, перешкоджати зрушенню смугових арматур щодо бетону й сприймати поперечні сили, що діють по похилих перетинах. І хоча умови роботи зв'язків смугової, листової

арматур з бетоном розтягнутої й стислої зон різні, у цей час немає інших конструктивних рішень крім зв'язків-анкерів комплексних конструкцій. Проводилися дослідження й розробка різних типів зв'язків (анкерів й упорів) (рис. 1) з метою обґрунтування методики їхнього розрахунку. Випробуванням піддавалися тверді й гнучкі упори, різні анкери, а також комбіновані зв'язки.

Несуча здатність зразків із твердими упорами при наявності одиночних зв'язків залежить від міцності бетону й площі зминання, а деформації зрушення - від твердості упору й ступеня зминання бетону. У дослідних зразках у момент руйнування напруги в бетоні, що лежить перед упором, перевищували осьові напруги стиску в 1,8 рази.

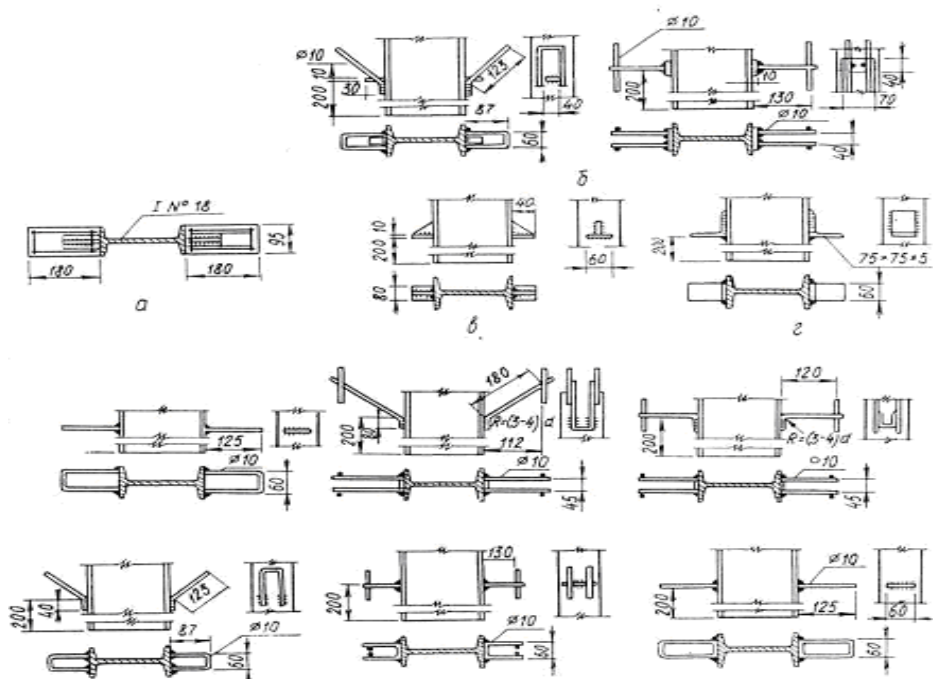


Рис. 1. Конструкції дослідних зразків зв'язків-упорів анкерів:
 а — дослідний зразок із твердими упорами; б — комбіновані зв'язки;
 в — жорсткий упор. г — гнучкий упор.

Несуча здатність гнучких упорів обумовлена міцністю бетону й самого упору при вигині, деформація зрушення в значній мірі залежить від величини зминання бетону в підставі упору.

Для анкерів зі стрижневих арматур характерна робота їх у бетоні на вигин подібно роботі гнучких упорів. Анкери зі стрижнів, розташовані під кутом 45° до напрямку сили, що зрушує, мають значно більшу несучу здатність і меншу загальну деформативність, ніж анкери, розташовані під кутом 90° . У момент руйнування деформації зрушення для анкерів, розташованих під кутом 90° до напрямку сили, що зрушує, виявилися на 46 % менше ніж для анкерів, розташованих під кутом 45° . Крім того, було

встановлено, що несуча здатність і деформативність анкера багато в чому залежить від кута сполучення анкерного стрижня з металевим елементом і від радіуса його загину в підставі. Виміри деформацій показали, що анкер працював тільки на розтягання.

Деформації й напруги в анкерах зі стрижневих арматур і гнучких упорів виникають із найперших щаблів навантаження, задовго до видимої появи порушення зчеплення бетону у шві.

В петлевих анкерах висотою $12d$, розташованих під кутом 90° до напрямку сили, що зрушує, відносні деформації в петлі до моменту руйнування були рівні $25 \cdot 10^{-5}$. При збільшенні висоти стрижнів петля не грає істотної ролі в анкерівці, тому що величина розтяжних зусиль у стрижнях залежить від довжини анкерівки їх у бетоні.

Спільна робота стрижневих анкерів і низьких твердих упорів у вигляді шпонки й пластини, привареної в притул до сталевій полиці елемента, сприятливо відбивається на несучій здатності й зменшує загальні деформації зрушення залізобетонного зразка.

Характер розподілу сил, що зрушують, і деформацій зрушення при роботі ряду зв'язків досліджувався на зразках, що складаються із двох парних залізобетонних блоків. Несуча здатність ряду зв'язків визначається несучою здатністю першого зв'язку в ряді. Із цього випливає, що для більш раціонального використання зв'язків у ряді необхідно застосовувати зв'язки різної несучої здатності аби розташовувати їх по довжині з різним кроком. Для зв'язків, що працюють у залізобетонному елементі малої ширини, установлена залежність між дослідними значеннями припустимих сил на один зв'язок і розрахунковими[2].

Отримані відношення дослідних припустимих сил до розрахункових змінюються в межах 0,88-1,27, що свідчить про можливість застосування існуючої методики для розрахунку допустимої сили на зв'язок у залізобетонному елементі малої ширини, якими є сталобетонні балкові конструкції.

При виборі конструкції анкерів для застосування в сталобетонних зразках виходили з простоти й надійності їх кріплення до стрічкової, листової арматури за допомогою зварювання. З різних видів зв'язків-анкерів найбільш простими у виготовленні і найменш металоємкими є анкери у вигляді окремих стрижнів, приварені в тавр до стрічкової, листової арматури. Прототипом їх послужили петлеві анкери, приварені до сталевому елементу під кутом 90° , а також окремо розташовані стрижні.

Постановка зв'язків (анкерів, упорів) по довжині листової арматури у сталобетонних балках окремо від поперечних стрижнів арматурного каркаса балки, як це виконується в комплексних балках, не може бути виправдана по

конструктивних й економічних міркуваннях. Для сталобетонних балок із зовнішніми арматурами прийняті анкери у вигляді вертикальних стрижнів, приварені до смугових арматур під прямим кутом й одночасно виконуюча роль поперечних арматур каркаса балки. По монтажних і конструктивних вимогах, а також з метою сприйняття значних сил, що зрушують, на опорній частині арматурного каркаса рекомендується постановка торцевих твердих упорів.

При роботі сталобетонних балкових конструкцій на вигин виникають значні сили зрушення по площині з'єднання смугових, листових арматур і бетону по довжині балки. При цьому, хоча по цих площинах контакту й існують сили зчеплення між бетоном і внутрішньою гладкою поверхнею смугових, листових арматур, величина їх незначна. Елементами, що забезпечують монолітність поперечного переріза сталобетонних балок, є зв'язки (анкери, упори), які встановлюються з певним кроком по довжині балки й надійно поєднують смугові арматури з бетоном.

Зусилля, що зрушують, між смуговою, листовою арматурами й бетоном перетину при кроці зв'язків-анкерів, рівному a й обумовленому з умови роботи вертикальних стрижнів балки по похилому перетині,

$$T = \frac{QS_l a}{I_{np}} (1) \text{ або } T = N_{л(i-1)} - N_{ли} (1)$$

де Q — зовнішня поперечна сила; S_l — наведений статичний момент поперечного перетину листової арматури щодо нейтральної осі; I_{np} — наведений момент інерції.

Міцність зв'язку смугових, листових арматур з бетонним перетином буде забезпечена, якщо будуть задовольнятися умови

$$T \leq m(N_{px} + T_{доод}^0) (3) \text{ або } T \leq m(N_{px} + T_{cp}^0) (2)$$

$N_{зч}$ — зусилля, сприймане силами зчеплення між поверхнею смугових, листової арматур і бетоном на ділянці між зв'язками-анкерами, $N_{зч} = \tau_{зч} b a$; $T_{доод}^0$ — додаткове зусилля, що зрушує, в основу якого покладена міцність бетону під стрижневими анкерами, обумовлене як у комплексних конструкціях; T_{cp}^0 — зусилля, що зрушує, сприйманим зв'язком - вертикальними поперечними стрижнями при їхній роботі на зріз, як заклепки або нагеля.

Одночасно анкерні стрижні розтягнутої листової арматури повинні розглядатися як поперечні стрижні (хомути) і розраховуватися на зусилля від поперечної сили. Достатність перетину анкерних стрижнів як поперечної арматури, що сприймає розтяжні зусилля від поперечної сили, і як анкерів, що сприймають сили, що зрушують, між бетоном і смуговою арматурою,

незалежно один від іншого, перевіряється. У зв'язку із цим розрахунок вертикальних стрижнів-анкерів виконується подвійно. У першому випадку при заданому кроці спочатку підбирають перетин анкерних стрижнів як зв'язків, що гарантують міцність проти сил, що зрушують, а потім виконується перевірка їх на міцність по поперечній силі. У другому випадку вертикальні стрижні як поперечна арматура розраховуються й конструюється з умови роботи на поперечну силу, а потім перевіряється як анкери на зрушення. Якщо умова міцності на зрушення не задовольняється, перетин анкерів необхідно збільшити. Цей метод розрахунку й конструювання є найбільш прийнятним, тому що не порушується послідовність існуючого методу розрахунку й конструювання залізобетонних елементів, що згинаються.

Залежно від характеру роботи в сталобетонній балці розрізняють зв'язки в торці, так названі кінцеві упори, і зв'язки, розташовані по довжині балки. Зв'язки в торці сприймають сили, що зрушують, що виникають при вигині, а також зрушують і відривають сили, що виникають на торцевих ділянках балок від усадки та температурних впливів.

Зрушуюча сила, яку може сприйняти кінцевий упор або упор у прольоті балки,

$$T_{дон} = 1,6R_m F_{зм} \quad (3)$$

де 1,6 — коефіцієнт, що враховує, що зминання відбувається на частині поверхні; R_m — міцність бетону при стиску; $F_{зм}$ — площа зминання бетону упором, $F_{зм} = b_m h_m$

Для розрахунку упору з листа вирізають умовно горизонтальну смужку шириною 1 см і визначають у ній згинальні моменти, потім необхідну товщину упорного листа.

При подвійному смуговому армуванні сталобетонних балок силу, що зрушує, на анкери у стислій зоні поперечного переріза знаходять за (3).

Величина кроку анкерів у місцях дії максимальних згинальних моментів має визначальне значення при розміщенні зв'язків на стиснутій смуговій арматури сталобетонних балок. Поздовжній крок між анкерами, крім зазначеного, повинен прийматися таким, щоб стиснута смугова арматура на ділянці кроку анкерів не втратила стійкості від дії нормальних сил, що викликані моментом, до появи в ній границі плинності. З урахуванням рекомендацій для сталевих балок, що стосуються місцевої стійкості стислого пояса, попередньо його приймають не більше $15t_l \sqrt{2100}$ (t_l — товщина аркуша). З відомим наближенням можна для забезпечення стійкості ділянок смугових арматур стислої зони, закріплених по довжині анкерами — поперечними стрижнями, скористатися рівняннями для розрахунку гнучких стислих сталевих стрижнів [3], при цьому значення граничної гнучкості $\lambda_{cp} \leq 120$.

Для визначення кроку анкерів - поперечних стрижнів у стислих смугових арматурах сталобетонних балок використовується рівняння

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{\mu l_{ef}}{i_x} \leq \lambda_{zp} \quad (4)$$

Тоді розрахункова довжина — граничний крок постановки поперечних стрижнів – анкерів на стиснутій смуговій арматурі.

$$l_{ef} = \lambda_{zp} i_x$$

Зв'язком смугових арматур з бетоном на довжині стиснутої ділянки сталобетонної балки нехтуємо, так як втрата стійкості сталеві смуги можлива тільки убік, вільну від закріплення.

Використана література

1. Клименко Ф. Е., Барабаш В. М. Исследование прочности и деформативности сталежелезобетонных изгибаемых элементов с листовой сталью на тяжелом и легком бетонах. — Бетон и железобетон, 1972, № 8. - С. 5—6.
2. Клименко Ф. Е., Гайдаш Н. Л. Экспериментальное исследование связей-анкером, упоров в сталежелезобетонных изгибаемых конструкциях. — Вести. Львов, политехн, ин-та. Вопр. соврем, стр-ва, 1971, № 13. - С. 9—15.
3. ДБН В.2.6.-163.2010. Сталеві конструкції. К. Мінрегіонбуд. 2010. – 220 с.

Аннотация

В железобетонных конструкциях совместная работа бетона и арматуры обеспечивается силами сцепления, что зависит в основном от способности цементной смеси, сил трения и механического сцепления выступов арматуры на поверхности контакта. Степень влияния сцепления обусловлена видом и состоянием арматуры. Приведены формулы для расчета анкеров.

Abstract

In reinforce-concrete constructions joint work of concrete and armature, provided tripping forces, which depend mainly on ability of cement dough, forces of friction and mechanical hooking of appearances of armature, for the surfaces of contact. Degree of influence of tripping conditioned a kind and state of armature. Formulas are rotined for the calculation of anchors.