

УДК 621.793:669.419

H5 + Ж41

Т.І. Матченко, канд. техн. наук
В.Є. Мурга

СТІЛЬНИКОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Інститут транспортних технологій НАУ, e-mail: veryzhsky@mbox.com.ua

Запропоновано конструктивну схему стільникових композиційних матеріалів для будівельних конструкцій, які мають такі властивості: високу жорсткість і міцність на стиснення та розтяг, термостійкість, стійкість до повзучості та малу щільність.

Вступ

Композиційні матеріали, що використовуються в конструюванні, повинні мати такі властивості: високу жорсткість, високу міцність, високу термостійкість, стійкість до повзучості, стійкість до старіння, стійкість до агресивного середовища, малу щільність, відносно малу вартість.

Штучні конструкційні матеріали класифікують на однонаправлені (сталеалюмінієві дроти), шарові за товщиною (труби, фанери, броньоване скло, тришарові листи), пористі й ніздрюваті, з наповнювачем різної фракції [1-5].

Природні біологічні матеріали можна класифікувати на пористі багатовимірні або полікристалічні, або багатовимірнокристалічні, заповнені рідиною тієї чи тієї в'язкості, стільникові, одновимірні-пошарові волокнисті, компактно волокнисті.

У біологічних матеріалах волокна – це полімерні трубки, заповнені рідиною тієї чи тієї в'язкості.

У композитах літаків використовують композиційні конструкції, які містять у собі стільникові структури, завдяки чому конструкція має відносно високу жорсткість.

Аналіз існуючих композитів

Композиційні матеріали класифікують за конструктивними ознаками, схемами розміщення волокон, матеріалом армованих волокон, матеріалом матриці, технологією створення матриць.

Композиційні матеріали за конструктивною ознакою класифікують на хаотично армовані короткими та довгими волокнами, однонаправлені короткими або довгими волокнами, двовимірні-армовані довгими нитками або тканинами, просторово-армовані системою ниток.

До композиційних матеріалів за матеріалом армованих волокон належать скловолокна і тканини, оргволокна і тканини, вуглеволокна і тканини, оргскловолокна і тканини, бороволокна і бороргтканини.

До композиційних матеріалів за матеріалом матриці належать смоли, пластики, силікати, бетони, неметали, метали.

Недоліки матрично армованих композитів

Композиційні матеріали, що армовані тканинами та полотнами, недостатню жорсткість при малих рівнях навантаження, тому що вони мають згини і включаються в процес деформування тільки після того, як волокна та нитки випрямляються під навантаженням. Це призводить до пошкодження матриці ще до того, як волокна та нитки включаються в роботу композиту.

Мета роботи – запропонувати конструкцію композиційного матеріалу, який ефективно працює на згин з діапазоном жорсткості та міцності, що використовують в будівництві, має малу масу та велику вогнестійкість, стійкий до повзучості, втоми, старіння, релаксації напруг у попередньо напружених елементах.

Значення розробки

Запропонована нова конструктивна схема конструкційного матеріалу складається з трьох елементів: стільнико-структурного каркаса, стінки стільника якого складаються з пластин із композиційного матеріалу з жорсткістю, міцністю та температурою плавлення більшою, ніж в матричному матеріалі, а чарунки стільників – піраміди, наповнювача стільників із матричного матеріалу, армованого повстиною, повстини з монокристалічного волокна високої жорсткості та міцності.

Чарунки стільнико-структурних каркасів у плані можуть мати форму шестикутників, чотирикутників, трикутників. Схеми стільникових структур показано на рис. 1.

Каркаси з шестикутними в плані чарунками менш жорсткі, але більш економічні порівняно з трикутними чарунками.

Для підвищення міцності конструкційного матеріалу потрібно перерозподіляти навантаження на більший простір.

Для цього малі чарунки структури мають стінки з малою жорсткістю.

Ці чарунки є складовими частками середніх чарунок, стінки яких мають велику жорсткість (рис. 2).

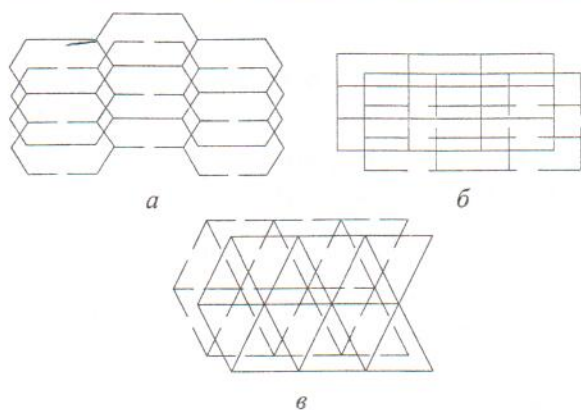


Рис. 1. Схеми стільникових структур у плані:
а – шестикутна; б – чотирикутна; в – трикутна;
— верхній пояс, --- нижній пояс

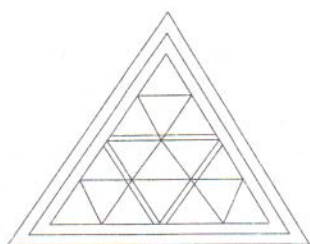


Рис. 2. Схема зміни товщини і кількості шарів стін чарунок структури в композиті:

≡ тришарова грань високої жорсткості; = двошарова грань середньої жорсткості; - одношарова грань малої жорсткості

Запропоновані композиційні матеріали доцільно виконувати у вигляді листів та плит, з яких виготовляють композиційні будівельні конструкції, різні за призначенням та схемами складання. У зв'язку з відносно великою вартістю композиційних матеріалів листи та плити треба виготовляти завтовшки від 5 до 20 мм.

Будівельні несучі конструкції, що працюють на згин у конструкційному матеріалі, жорсткий каркас стільників потрібно виготовляти з листів алюмінію, армованого сталеву фольгою або сталеву сіткою. Можливе використання вуглеалюмінієвих, бороалюмінієвих композиційних матеріалів, армованих тканинами. У вигляді матричного наповнювача стільників варто використовувати термопластичні полімери. Як наповнювачі можна використовувати боропластикові, вуглепластикові та склопластикові композити. У стислій зоні конструкції наповнювач стільників композиту доцільно армувати повстиною з монокристалів бору, вуглецю, скла.

У розтягнутому шарі бажано використовувати стільникову структуру зі сталевими стінками стільників з наповнювачем алюмінієм. Нижній шар структури армований сталевим високоміцним попередньо напруженим дротом.

У результаті компресорного просочення стільниково-структурного каркаса матричним матеріалом заготовка набуває заданої властивості: наявності просторого армованого каркаса, що утворюють стільники з плоскими стінками, в яких є отвори для просочення матричним матеріалом (рис. 3), відсутності внутрішніх пустот, міцності на межі розділу компонент композиту.

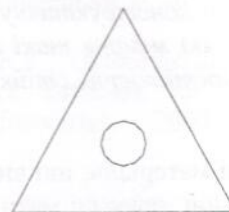


Рис. 3. Грань трикутної стільникової структури з отвором для заповнення пластиком під тиском

Для надання композиту заданих властивостей його піддають дозованому енергетичному впливу (температури, тиску, часу) для утворення монолітності. Існує декілька технологій отримання полімерних композиційних матеріалів: пресування, лиття під тиском, компресійне просочення, екструзія, формування та ін.

На початковій стадії компресійного просочення у відливу форму у верхню частину вакуумної камери поміщують стільниковий каркас, а в нижню – матричний розплав. Після вакуумування і прогрівання форму заглиблюють у матричний розплав і подають у камеру інертний газ під тиском, який забезпечує просочення. Кінцева стадія процесу – вилучення форми з розплаву, охолодження та розбирання для виймання готового виробу. Компресійне просочення виконують при великому тиску. Кристалізація при великому тиску сприяє побудові кристалічних ґрат матричного матеріалу, що має більшу жорсткість та міцність. Великий тимчасовий тиск можна створити вибухом газів у камері.

Для насичення пустот матричним матеріалом дуже корисним є введення в армовану пустоту до насичення малої кількості порошку матричного сплаву, частинки якого створюють канали, які забезпечують рівномірну текучість розплаву в процесі заповнення. Кількість матричного порошку в повстині має становити 5–7%.

Композиційний матеріал із запропонованою конструктивною схемою має високу жорсткість за рахунок жорсткості каркасу та попереднього напруження в каркасі і матриці, створеного компресійним насиченням, високу міцність за рахунок міцності на розтин стінок стільників з алюмінію, армованого метало-, скло-, вуглетканинами, високу термостійкість композиту за рахунок термостійкого матричного матеріалу з термо-

пласту, стійкість до повзучості, зумовлену тим, що матричний матеріал знаходиться в стільниках і не може з них витікати, стійкість до агресивного середовища через високий ступень монолітності та захищеність поверхонь агресивно стійкими пластиківими композитами, малу щільність за рахунок низької щільності пластиків і алюмінієвих сплавів.

Пропозиції щодо конструктивних схем композиційних матеріалів для будівництва

Тришарові композити можуть мати чотири варіанти:

1) верхній та нижній шари – алюмінієва фольга, середній шар – пластик;

2) верхній та нижній шари – боралюмінієва фольга, середній шар – боропласт;

3) верхній та нижній шари – фольга з титану, армованого моноволокнами бору або карбиду кремнію, середній шар – алюміній, армований волокнами бора;

4) верхній та нижній шари – фольга з вольфраму, середній шар – магнієва матриця, армована вуглецевими волокнами.

П'ятишарові композиційні матеріали, що працюють на згин, дозволяють підвищити жорсткість верхніх та нижніх шарів створенням переднапружених біметалів, коли один шар попередньо розтягнутий, а сусідній – стиснутий. Середній шар повинен добре працювати на зсув.

Можливі два варіанти п'ятишарових композитів:

1) два верхні шари являють собою два сплавлені титанові листи, один з яких мав попереднє розтягнення, два нижні шари мають таку саму конструкцію, як і верхні шари, середній шар виготовлений з алюмінієвого листа;

2) два верхніх і два нижніх шари аналогічні першому варіанту, середній шар має стільникову структуру, стінки виготовлені з алюмінію або боралюмінію, стільники заповнені пластиком під тиском.

Для плит із композиційних матеріалів, які для забезпечення жорсткості потребують щоб їх висота становила декілька сантиметрів, верхній та нижній шари виготовляли один на стиснення, а другий – на розтягнення. Ці композити повинні одночасно мати велику жорсткість і високу міцність на стиснення або розтягнення. Схему трьох шарів композиційної плити показано на рис. 4.

Кожний з шарів має своє призначення.

Шар, що працює на стиснення, – це композит, який складається зі сталевих стільників з товщиною стінки 0,2–0,5 мм, стільники прямокутні в перерізі або з закругленими кутами, заповнені стовпчиками або таблетками з кремнієвуглецевого карбиду або інших карбідів. Щілини між стільниками та карбідами заповнені під тиском розплавленим цинком, який після кристалізації захищає сталь та карбід від корозії.

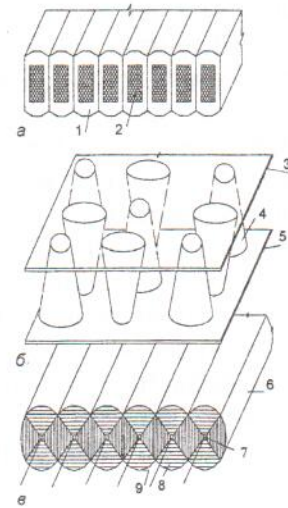


Рис. 4. Складові композиту, що працює на згин з висотою перерізу більше 30 мм:

a – композиційний матеріал, який ефективно працює на стиснення; *b* – композиційний матеріал, який ефективно працює на зсув; *c* – композиційний матеріал, який ефективно працює на розтягнення; 1 – сталеві стільники; 2 – кремнієвуглецевий карбід – наповнювач стільників; 3 – лист з композиційного матеріалу з пазами для забезпечення надійного склеювання композиційних шарів; 4 – конусні оболонки з композиційного матеріалу; 6 – сталеві стільники; 7 – сталеві трубки для пропуску високоміцного дроту; 8 – високоміцний дріт; 9 – склопластик з однонаправленими волокнами

Шар, що працює на розтягнення, – це композит, який складається зі сталевих стільників у перерізі у вигляді прямокутних оболонок із трубками всередині. Трубки та оболонки з'єднані ребрами. Трубки використовуються для пропускання високоміцного дроту і для утворення перенапруженої системи – розтягнений дріт і стиснена стільникова сталеві матриця. Це дозволяє підвищити жорсткість композиту за рахунок перенапруження. Стільники матриці заповнені під тиском склопластиком з однонаправленими волокнами скла.

Щілини між стільниками та карбідом заповнені під тиском розплавленим цинком. Пластиком заповнюють стільники. Середній шар композиту (рис. 4) складається з одного або кількох шарів стільникової структури у вигляді оболонок із зрізаних конусів. Конструктивна схема середнього шару (рис. 4) має високу жорсткість на зсув і малу вагу. Стінки оболонок конусів можуть бути з алюмінію, боралюмінію або з тришарового композита.

Стільникові композити з металевими стільниками захищають пластикові наповнювачі стільників від швидкого старіння.

Стільники, які працюють на стиснення, запобігають повзучості матеріалу, що заповнює стільники.

Матеріали з великою вогнестійкістю повинні мати: малий коефіцієнт теплопровідності, велику температуру горіння, високий коефіцієнт відношення енергії, яку треба витратити на підтримання горіння до енергії, що випромінюється під час горіння, малу залежність механічних властивостей матеріалу від температури.

Для захисту композиційних конструкцій від вогню рекомендується одягати їх у сорочку з вуглепластиків – композитів на основі високоміцних вуглецевих волокон. Їх вирізняють висока міцність і жорсткість, термостійкість до 570 К, низький температурний коефіцієнт лінійного розширення, ерозійна стійкість та стійкість до агресивного середовища.

Переріз балки з композиційних матеріалів показано на рис. 5.

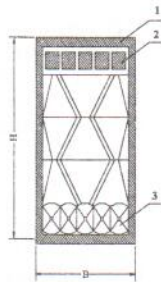


Рис. 5. Переріз балки з композиційних матеріалів для будівництва:

1 – пористий вогнетривкий пластик; 2 – стільниковий композит, який працює на стиснення; 3 – стільниковий композит, який працює на розтягнення у вигляді сталевих оболонок армованих високоміцним сталевим дротом

Існуючі залізобетонні конструкції можна розглядати як композиційний матеріал, у якому бетон виконує роль матриці, а армовані елементи – це сталеві арматурні стрижні, ґрати, каркаси, сталеві сітки та сталеві мати. Сталеві стільники заповнені стовпчиками карбиду бора. Для підвищення жорсткості залізобетонних конструкцій деякі арматурні дроти та стрижні можуть бути попередньо розтягненні, що дозволяє зменшити висоту перерізу та масу конструкцій.

Поряд з багатьма перевагами залізобетонні конструкції мають ряд недоліків: малу міцність на розтягнення, що призводить до появи тріщин, порівняно велику масу залізобетонних виробів, неефективність працювання бетону в розтягненій та малонавантаженої зонах, неможливість виготовлення залізобетонних конструкцій з тонкими стінками.

Суть розробки

Конструктивна схема залізобетону пропонується у вигляді металевої стільникової структури з заповненням стільників бетоном, склеєних між собою розплавленим цинком (рис. 6).

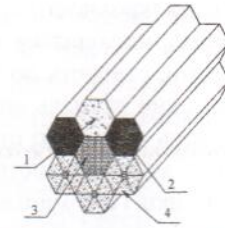


Рис. 6. Металева стільникова структура:
1 – звичайний бетон; 2 – пінобетон; 3 – ніздрюватий бетон; 4 – фібробетон

Стінки стільників – це сталеві перфоровані листи товщиною 0,1...0,2 мм. Стільникова структура дозволяє застосовувати бетон різних марок різної густини в межах стільників залежно від характеру їх навантаження. Також для надійності стільникову структуру можна обв'язати скріплювальними ремнями.

Стільники можна поділити за видами навантаження (у межах конструкції): розтягнення, стиснення, зсув, ненавантажені стільники.

Залежно від залізобетонної конструкції до матеріалу стільників можуть висуватися такі вимоги: підвищена жорсткість, підвищена міцність, низька густина бетону.

Конструктивні схеми стільників

У перерізі сталеві стільники можуть мати форму шестикутників, прямокутників і трикутників. Трикутні стільники мають більшу жорсткість та міцність. Шестикутні стільники потребують менших витрат сталі.

У зонах залізобетонних конструкцій, що працюють на стиснення, використовують високоміцні бетони, які в процесі кристалізації розширюються. Властивість розширення бетону призводить до перенапруження бетону та готової структури, що підвищує жорсткість конструкції. Підвищення жорсткості дозволяє зменшувати висоту перерізу конструкції та її масу.

У зонах стиснення з великим навантаженням можна використовувати бетони з кремнієвуглецевим наповнювачем дрібних фракцій, або наповнювачем з інших карбідів.

Карбідні наповнювачі можуть мати форму правильних рівнобічних тетраєдрів, покритих тонким шаром цинку. Цинкове покриття захищає карбід від вологи та інших агресивних забруднень, які руйнують його структуру. У бетонах, що працюють на стиснення як наповнювач замість піску з оксиду кремнію, що має малу міцність, доцільно використовувати відсів кремнію.

Стільники, що працюють на зсув, у конструкції повинні мати орієнтацію, перпендикулярну до можливого зсуву. Матеріал стільників має бути з металів з високим модулем деформації на зсув та високою міцністю на переріз.

У залізобетонних конструкціях, що працюють на згин, середній шар перерізу малонавантажений. Тому стільники середнього шару потрібно заповнювати легкими бетонами, наприклад, ніздрюватим бетоном або пінобетоном малої міцності та густини. Стільники середнього шару можна заповняти полістиролом.

Залежно від характеру деформування залізобетонної конструкції, форма стільників та характер їх наповнення можуть відрізнятися підвищеною жорсткістю або підвищеною міцністю конструкції. Так, для стільників, що працюють на розтягнення, як заповнювач можна використати фібробетон. Фібробетон має підвищену тріщиностійкість, міцність на розтягнення, ударну в'язкість, опір на стирання.

Як фібр зазвичай використовують тонкий дріт діаметром 0,1–0,5 мм і довжиною 10–50 мм. Сталеві фібри вводять у бетонну суміш у кількості 1–2,5% від об'єму бетону. Міцність бетону на розтягнення зростає на 10–30%.

Для конструкцій, що працюють на розтягнення, треба щоб у перерізі стільники склалися з двох труб великого і малого діаметрів, з'єднаних ребрами. Через труби малого діаметра пропускають високоміцні арматурні стрижні для перенапруження конструкції. Пустоту між трубами можна заповнювати пінобетоном малої міцності для підвищення вогнестійкості конструкції.

Конструкції, що працюють на розтягнення, з високим значенням напружень у металах стільників доцільно заповнювати високоміцними бетонами, армованими сталевими вусами, припаяними до стінок стільників.

Стінки металевих стільників можуть мати рифлену або шипову поверхню для сумісної роботи сталевих стільників та їх бетонного наповнювача. Стінки стільників повинні мати (перфоровані) отвори для забезпечення заповнення стільників бетоном.

Стільникова структура залізобетону дозволяє ефективно використовувати прошарки бетонів. Стільники з оцинкованих сталевих листів запобігають розповсюдженню тріщин. Сталева стіль-

никова структура дозволяє застосовувати високоміцну арматуру для перенапруження не тільки бетону, а й каркасу стільників, що зменшує повзучість бетону, та падіння перенапруження в арматурі. Стільникові структури для розтягнутої зони дозволяють підтягувати перенапружену арматуру в процесі експлуатації. Наповнювач стільників середньої зони з пінобетонів та ніздрюватих бетонів дозволяє зменшувати масу залізобетонних конструкцій і конструювати вироби з залізобетону з великою жорсткістю, міцністю та малою масою порівняно з іншими конструктивними схемами.

Висновки

Запропонована конструктивна схема стільнико-структурних композиційних матеріалів для будівельних несучих конструкцій має високу жорсткість, міцність, термостійкість, стійкість до повзучості і малу щільність. Конструктивні схеми композиційних матеріалів для листів, дощок, плит, три- та п'ятишарові, ефективно працює на згин у будівельних конструкціях. Стійкі до розповсюдження тріщин конструктивні схеми стільникових залізобетонів дозволяють конструювати жорсткі, міцні залізобетонні конструкції з малою масою.

Список літератури

1. Заявка 60-108156. МКИ В 22d 19/00 / С. Котаки, Т. Сугисита (Японія). – №58-217532; Заявлено 17.11.83; Опубл. 13.06.85. РЖМет, 1986, 6Е173П.
2. Пат. 4419389. МКИ В 22d 19/00/ Т. Дономото, А. Танака, М. Окада, А. Китакура, Т. Кионо (США). – №43126; Заявлено 30.08.82; Опубл. 06.12.83. РЖМет. 1985, 3Е100П.
3. Заявка 59-31837. МКИ С22 с 1/09 / Ц. Куриями (Японія). – № 57-139163; Заявлено 12.08.82; Опуб. 21.02.84. РЖМет, 1985.3Е117П.
4. Вишняков Л.Р., Грудина Т.В. Композиционные материалы: Справ. – К.: Наук. думка, 1985. – 595 с.
5. Кобец Л.П. Композиционные материалы. Т. 3. Композиционные материалы с металлической матрицей. – М.: ВИНТИ, 1988. – 103 с.

Стаття надійшла до редакції 26.05.03.

Т.И. Матченко, В.Е. Мурга

Сотовые композиционные материалы для строительных несущих конструкций

Предложена конструктивная схема сотовых композиционных материалов для строительных конструкций, которые имеют такие свойства: высокую жесткость и прочность на сжатие и растяжение, термостойкость, стойкость к ползучести и малую плотность.

T.I. Matchenko, V.Ye. Murga

The comb's composite materials for bearing building constructions

The constructive scheme of selling composite materials for building constructions was proposed, which have next properties: great hardness and firmness on compression and bending, heat resistance, stable to creepage and small density.