

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 532.137: 666.97

І.А. Андреев, Л.О. Безугла

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОЕКСТРУЗІЙНОГО ЗМІШУВАННЯ ФІБРОБЕТОНУ В НЕСИМЕТРИЧНОМУ КАНАЛІ

Вступ

Дисперсне армування бетону є сучасним напрямком покращення практично всіх його основних фізико-механічних характеристик завдяки залучанню фібр до сумісної роботи з бетоном при виникненні напружень. Спосіб віброекструзії фібробетону, який був розроблений в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут”, дозволяє виготовляти тонкостінні будівельні вироби з повною або частковою заміною металеві арматури на будь-яку фіброву (в тому числі й відходи виробництва). При цьому не грудкуються і не руйнуються фібри при змішуванні і формуванні, підвищується ефективність використання фібр за рахунок можливості їх орієнтації у виробі, густішає кінцевий продукт тощо.

Змішування компонентів суміші, при якому закладаються основи майбутньої структури, впливає на фізико-механічні властивості і зовнішній вигляд виробів. У процесі віброекструзії має місце ламінарне конвективне змішування. Цей тип змішування розглянуто при переробці полімерів, де практично відсутні такі основні механізми змішування, як турбулентність і молекулярна дифузія через високу в'язкість системи. При віброекструзійному змішуванні система з високою міцністю первинної коагуляційної структури під впливом вібрації переходить у слабоструктуровану або безструктурну, тобто виконується основна умова досягнення максимальної однорідності структурованих дисперсних систем. Ступінь руйнування зв'язків структури залежить від параметрів вібрації і характеризується вібров'язкістю. Вібраційне змішування порівняно із звичайним дозволяє вводити в суміш більше фібр без їх грудкування, істотно диспергує структуру цементного каменю, збільшує кількість центрів кристалізації, прискорює процес структуроутворення і зростання міцності, зменшує тривалість термовологої обробки бетону та покращує його фізико-механічні властивості. Віброекструзійна ламінарна зсувна течія відбувається під дією гідростатичного тиску маси в результаті тиксотроп-

ного зниження в'язкості композиції. Кількісним критерієм ламінарного змішування є ступінь збільшення площі поверхні розділу між компонентами, яка, у свою чергу, залежить від сумарної деформації і початкової орієнтації поверхні.

Недоліком будь-якого типу ламінарного конвективного змішування є нерівномірність зсувних деформацій у всьому об'ємі матеріалу. Для його усунення компоненти суміші повторно пропускаються через змішувачі, доки не буде досягнуто потрібної якості суміші [1, 2]. У базовій установці віброекструзії [3] для якісного змішування базальтофібробетонних сумішей використовуються три віброекструдери, в тому числі й той, де формуються вироби. Вдосконаленням процесу є застосування спеціально розроблених каскадних віброекструдерів [4–7], в яких суміш пропускається через кілька змішувально-живильних ділянок. Але змішувальний ефект у центральних частинах кожної такої ділянки, як і в будь-якому каналі, залишається низьким, оскільки деформації зсуву в цих місцях наближаються до нуля.

Постановка задачі

Метою даної статті є вдосконалення процесу змішування фібробетону завдяки застосуванню нової конструкції віброекструдера. Згідно з метою поставлена задача статті: з'ясувати відмінності процесу змішування, який здійснюється у плоских несиметричних каналах нового віброекструдера [8], порівняно з традиційними симетричними каналами.

Конструкція віброекструдера

Авторами було запропоновано віброекструдер, в якому забезпечується більш рівномірне змішування компонентів суміші у всьому об'ємі матеріалу [8]. Для цього в бункері 1 (рис. 1) віброекструдера з похилими плоскими стінками 2, які своїми нижніми ділянками 3 утворюють роздавальне вікно 4, змонтовано один над одним в шаховому порядку щонайменше два ряди перегородок у вигляді вертикальних пластин 5. Збудник коливань 6 закріплено на одній із похилих стінок бункера 1. Кількість пластин у рядах зменшується по ходу течії суміші, а самі пластини в рядах розташовані в шаховому порядку. Виконання перегородок у вигляді вертикальних пластин виключає утворення окремих змішувально-живильних діля-

нок, внаслідок чого течія суміші здійснюється суцільним потоком. Збільшення кількості каналів призводить до підвищення сумарної деформації зсуву, а розташування пластин у рядах в шаховому порядку – до зрівняння остаточної деформації зсуву суміші в перерізі бункера віброекструдера. Це забезпечує рівномірність змішування і сприяє одержанню якісної продукції.

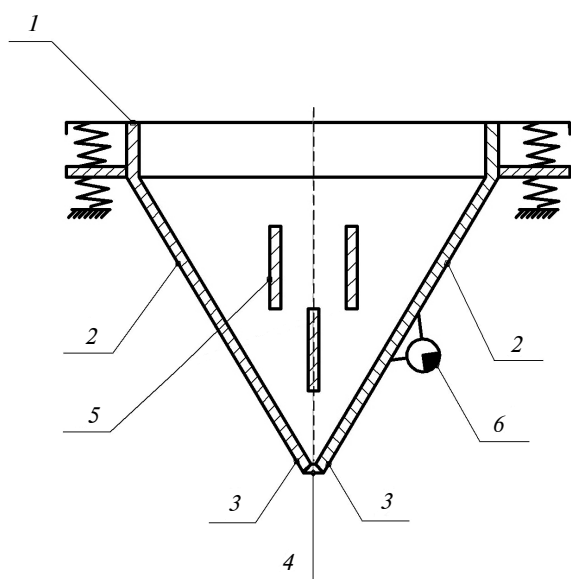


Рис. 1. Віброекструдер для змішування компонентів суміші

Наведена конструкція віброекструдера має, крім симетричних каналів, ще й плоскі несиметричні канали. Тому виникла необхідність описання процесу змішування в таких каналах.

Процес віброекструзійного змішування в несиметричному збіжному каналі

При розгляді даного процесу використовується феноменологічний підхід, за яким фібробетонна суміш приймається як однорідне ізотропне середовище, а щодо структури суміші робляться лише загальні застереження. Враховується, що віброуючі фібробетонні суміші при віброекструзії є псевдоньютонівськими системами [9]. Для спрощення розв'язання задачі процес течії суміші в каналі бункера віброекструдера розглядається як течія між плоскими збіжними нерухомими стінками, одна з яких вертикальна (поздовжній переріз бункера). Розрахункову схему процесу в циліндричних координатах (r, φ, z) зображено на рис. 2. Початок координат вибрано у точці перетину ліній, які є продовженням похилих стінок каналу. Пе-

редбачається, що всі промені, які проходять через початок координат, – це лінії течії, а висота шару суміші в каналі при віброекструзії підтримується постійною.

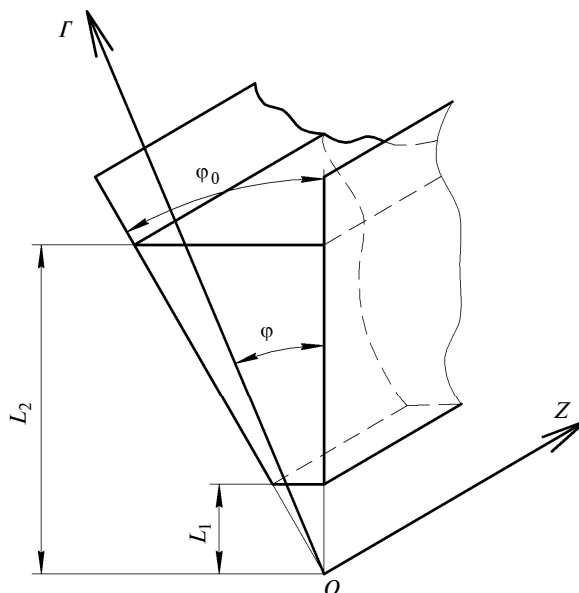


Рис. 2. Розрахункова схема течії фібробетону в каналі бункера віброекструдера

За аналітичними формулами, які були запропоновані авторами праць в [10, 11] і будуть наведені нижче, зробимо описання процесу змішування компонентів суміші у збіжному каналі з однією вертикальною стінкою.

Час перебування суміші в каналі бункера віброекструдера t розраховується за формулою

$$t = \frac{(L_2 - L_1)^2}{c (\operatorname{tg} \varphi_0 \sin 2\varphi + \cos 2\varphi - 1) \cos^2 \varphi \ln \frac{L_2}{L_1}}, \quad (1)$$

де $c = -\frac{\rho g L_1^2 L_2^2}{2\mu_B \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2)}$; ρ – густина оброблюваної суміші, кг/м^3 ; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння; μ_B – вібров'язкість суміші, $\text{Па}\cdot\text{с}$; φ_0 – кут нахилу похилої стінки до вертикалі, рад; L_1 – відстань від початку координат до вихідного зрізу бункера, м; $L_2 - L_1$ – висота стовпа суміші в бункері, м.

Середня по довжині каналу деформація зсуву $\bar{\gamma}(\varphi)$ обчислюється за формулою

$$\bar{\gamma}(\varphi) = \frac{2(\operatorname{tg} \varphi_0 \cos 2\varphi - \sin 2\varphi)(L_2 - L_1)^2}{L_1 L_2 (\operatorname{tg} \varphi_0 \sin 2\varphi + \cos 2\varphi - 1) \ln \frac{L_2}{L_1}}. \quad (2)$$

Середнє значення деформації зсуву в каналі, що звужується, $\bar{\gamma}$ на ділянці $0 \leq \varphi \leq 0,5\varphi_0$ становить

$$\bar{\gamma} = \frac{(L_2 - L_1)^2(1 - \cos \varphi_0)}{L_1 L_2 \ln \frac{L_2}{L_1} (\operatorname{tg} \varphi_0 - \varphi_0) \cos \varphi_0},$$

а на ділянці $0,5\varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ —

$$\bar{\gamma} = \frac{(L_2 - L_1)^2(\cos \varphi_0 - 1)}{L_1 L_2 \ln \frac{L_2}{L_1} (\operatorname{tg} \varphi_0 - \varphi_0) \cos \varphi_0}.$$

Частка об'ємної витрати на ділянці від 0 до φ визначається у вигляді

$$F(\varphi) = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0(1 - \cos 2\varphi) + \sin 2\varphi - 2\varphi}{2(\operatorname{tg} \varphi_0 - \varphi_0)}. \quad (4)$$

Середнє значення часу перебування суміші в каналі бункера віброекструдера становить

$$\bar{t} = \frac{(L_2 - L_1)^2 \operatorname{tg} \varphi_0}{c \ln \frac{L_2}{L_1} (\operatorname{tg} \varphi_0 - \varphi_0)}. \quad (5)$$

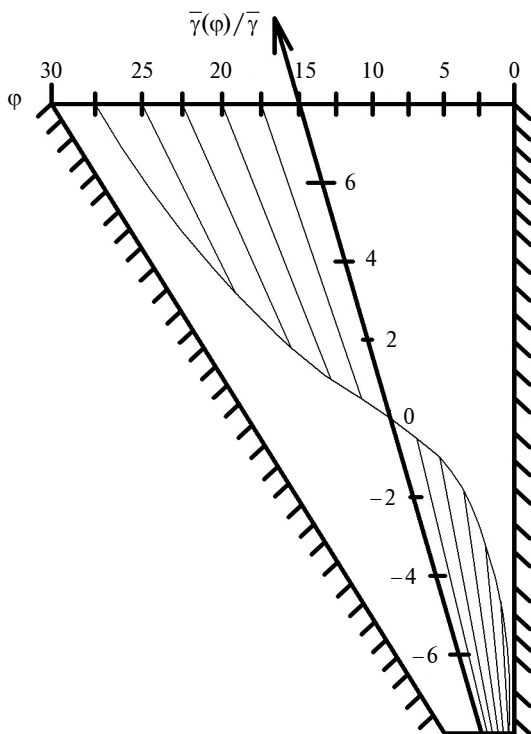


Рис. 3. Розподіл деформацій зсуву в несиметричному збіжному каналі (при $\varphi = 0$ і $\varphi = \varphi_0$ деформації зсуву відповідно до виразу (2) дорівнюють нескінченності)

На рис. 3 наведено графік відносних зсувних деформацій $\bar{\gamma}(\varphi)/\bar{\gamma}$ у несиметричному каналі, що звужується ($\varphi_0 = 30^\circ$), побудований за допомогою формул (2), (3).

Кількісний опис відмінностей в деформуванні суміші при віброекструзії для визначеного каналу можна здійснити за допомогою функції розподілу деформацій [12]. Для каналу віброекструдера, який розглядається як змішувач безперервної дії, функція розподілу деформацій (ФРД) $f(\gamma)d\gamma$ визначається як частка об'ємної витрати на виході з віброекструдера із сумарною деформацією зсуву в інтервалі між γ і

$\gamma + d\gamma$. Інтегральна ФРД $F(\gamma) = \int_0^\gamma f(\gamma)d\gamma$ є часткою об'ємної витрати на виході з каналу, що характеризується деформацією, яка менша або дорівнює γ .

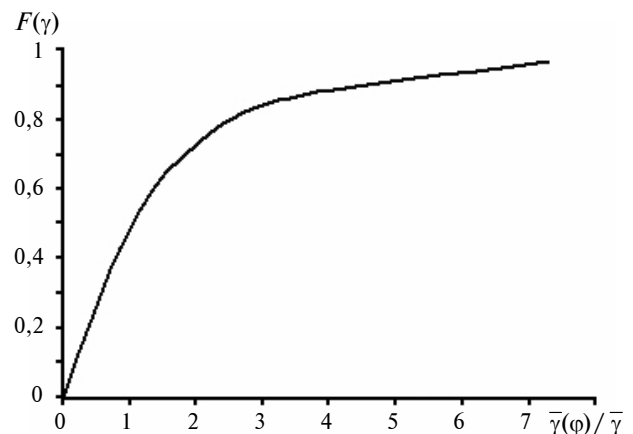


Рис. 4. Залежність функції розподілу деформацій $F(\gamma)$ від $\bar{\gamma}(\varphi)/\bar{\gamma}$

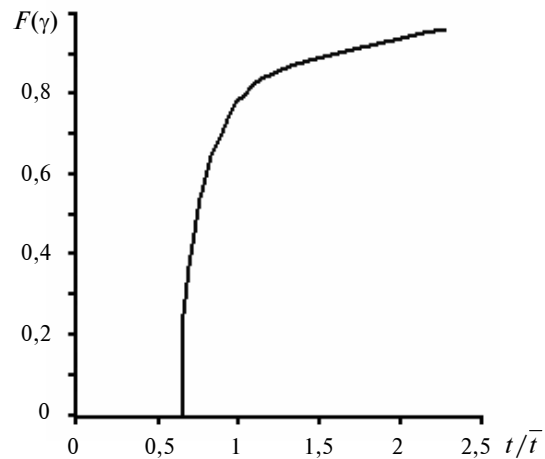


Рис. 5. Залежність функції розподілу часу перебування суміші $F(t)$ від t/\bar{t}

Залежність функції розподілу деформацій $F(\gamma)$ від $\bar{\gamma}(\varphi)/\bar{\gamma}$ (рис. 4) розрахована за допомогою формул (2), (3), (4), а залежність функції розподілу часу перебування суміші $F(t)$ від t/\bar{t} (рис. 5) – за допомогою формул (1), (4), (5).

Результати досліджень, їх аналіз і рекомендації

Недоліком процесу змішування в несиметричному каналі, що звужується, як і в разі симетричної течії, є нерівномірність деформацій зсуву у всьому об'ємі матеріалу (див. рис. 3).

У симетричному збіжному каналі суміш, яка становить лише 0,274 об'ємної витрати, піддається деформації вище середнього рівня, а час перебування суміші, що дорівнює 77 % об'ємної витрати, менше середнього в каналі [13], тоді як ці самі показники для несиметричного каналу (з похилою і вертикальною стінками) при такому ж куті $\varphi_0 = 30^\circ$ становлять відповідно 0,483 і 78 % (див. рис. 4, 5). Таким чином, процес змішування компонентів суміші в несиметричному каналі бункера віброекструдера стає більш рівномірним, в той час як розташування кривої функції розподілу часу перебування залишилося практично незмінним.

Розрахунок необхідної сумарної деформації зсуву для забезпечення якісного змішування залежить від компонентів суміші, а також від матеріалу і питомої поверхні фібр. Для якісного змішування всього об'єму матеріалу (особливо для сильно наповнених фібрами складів) недостатнім є використання одного каналу, що виражається в неповному змочуванні розчином фібр, які перебувають найменше часу в змішувачі. Практично ступінь змішування характеризується швидкістю віброекструзії. Через те що при віброекструзійному змішуванні не відбувається руйнування фібрової арматури, в результаті послідовного проходження суміші через кілька каналів настає момент, коли швидкість віброекструзії стабілізується (зростання її припиняється). Це свідчить про повне змочування фібр розчином.

Так, при проектуванні дослідно-промислової установки віброекструзії [3] розмір і кіль-

кість віброекструдерів визначалися фізичним моделюванням процесу змішування із врахуванням складів базальтофібробетонів.

Змішування було визнано задовільним, якщо сумарна деформація зсуву при використанні трьох симетричних збіжних каналів $\sum \bar{\gamma}$ була не менше 26. При застосуванні запропонованого авторами віброекструдера [8] необхідна сумарна деформація зсуву знижується на 16–20 %, що підтверджує більш рівномірний розподіл деформацій зсуву в несиметричних каналах. Тому при розробці конструкції віброекструдерів необхідне проведення нескладних дослідів, які моделюють процес течії суміші у збіжних каналах і виконання розрахунку за запропонованими формулами відповідної необхідної сумарної деформації зсуву, що забезпечує задовільне змішування.

Висновки

Впровадження запропонованої авторами і наведеної у статті конструкції віброекструдера дасть змогу значно вирівняти ступінь змішування в поздовжньому перерізі всього апарата. Важливим є те, що такий апарат має несиметричні збіжні канали, які порівняно із симетричними (у випадку застосування звичайних і каскадних віброекструдерів) забезпечують відчутне зменшення нерівномірності розподілу цих деформацій в окремих каналах. Це, в свою чергу, покращує процес змішування, а отже, і властивості суміші по всьому її об'ємі, що сприяє одержанню продукції високої якості.

Авторами в даному дослідженні вперше було отримано і наведено залежності функцій розподілу деформацій $F(\gamma)$ і розподілу часу перебування суміші $F(t)$ для плоского несиметричного збіжного каналу, що сприяє кількісному описанню відмінностей у деформуванні суміші.

Отримані результати буде використано при розрахунку процесу віброекструзійного змішування композиційних матеріалів. У подальших дослідженнях за цією темою планується розглянути особливості протікання процесу змішування компонентів суміші в торцевих зонах плоских збіжних каналів і в каналах відмінної від розглянутих раніше форми.

И.А. Андреев, Л.О. Безуглая

ОСОБЕННОСТИ ВИБРОЭКСТРУЗИОННОГО СМЕШИВАНИЯ ФИБРОБЕТОНА В НЕСИММЕТРИЧНОМ КАНАЛЕ

Приведена конструкція віброекструдера для змішування фібробетона. Розглянуто процес ламінарного конвективного змішування компонентів суміші в несимметричному сходящомуся каналі. Показано перевагу використання несимметричного плоского каналу порівняно з симетричним.

I.A. Andreyev, L.O. Bezuhla

THE FEATURES OF VIBROEXTRUSION MIXING OF FIBRE CONCRETE IN THE ASYMMETRICAL CHANNEL

In this paper we propose the novel construction of vibroextruder for fibre concrete mixing. We describe the process of the convectional laminar mixing of the mixture components in an asymmetrical con-silient channel. In addition, we highlight the advantage of using asymmetrical flat channel as compared to symmetric.

1. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
2. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
3. *Андреев И.А., Магазий П.М., Трач В.Ю., Дрожжин Л.М.* Формування фібробетону // Сільське будівництво. – 1986. – № 2. – С.19.
4. *Авторское свидетельство СССР № 1458243.* Вибро-экструдер для укладки бетонных смесей в форму / И.А. Андреев, Ю.Е. Лукач, П.Н. Магазий, В.Ю. Трач. – Оpubл. в бюл. 15.02.89, № 6, МКИ⁴ В 28 В 13/02.
5. *Авторское свидетельство СССР № 1616821.* Вибро-экструдер для укладки бетонных смесей в форму / И.А. Андреев, Ю.Е. Лукач, П.Н. Магазий, В.Ю. Трач. – Оpubл. в бюл. 30.12.90, № 6, МКИ⁵ В 28 В 13/02.
6. *Патент України на корисну модель № 26869.* Вибро-екструдер для подавання бетонних сумішей у форму / І.А. Андреев, П.М. Магазій, І.О. Мікульонок, В.В. Фурманська. – Оpubл. у бюл. 10.10.2007, № 16, МПК (2006) В28В 13/00.
7. *Патент України на корисну модель № 26911.* Вибро-екструдер для подавання бетонних сумішей у форму / І.А. Андреев, О.О. Голова, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок. – Оpubл. у бюл. 10.10.2007, № 16, МПК (2006) В28В 13/00.
8. *Патент України на корисну модель № 34957.* Вибро-екструдер для змішування та формування фібробетонних виробів / І.А. Андреев, Л.О. Безугла. – Оpubл. у бюл. 26.08.2008, № 16, МПК (2006) В28В 13/00.
9. *Андреев И.А., Магазий П.Н.* Вискозиметр для вибро-экструдированного фибробетона // Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1987. – Вып. 45. – С. 95–99.
10. *Андреев И.А., Безугла Л.О.* Перемішування фібробетонної суміші в каналі бункера віброекструдера // Збірка тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Екологія. Людина. Суспільство”. – К., 2008. – С. 88–89.
11. *Андреев И.А., Безугла Л.О.* Процес змішування фібробетонної суміші у плоскому збіжному несимметричному каналі при віброекструзії // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Міністерство освіти і науки України. – Одеса, 2008. – Вип. 32. – С. 44–47.
12. *Lidor G., Tadmor Z.* Theoretical Analysis of Residence Time Distribution Functions and Strain Distribution Functions in Plasticating Screw Extruders // Polymer Engineering a Science. – 1976. – 16. – P. 450–461.
13. *Андреев И.А., Лукач Ю.Е., Магазий П.Н.* Процесс смешения при виброэкструзии фибробетона // Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1989. – Вып. 49. – С. 34–37.

Рекомендована Радою
Механіко-машинобудівного інституту
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
17 листопада 2008 року