

ПРИКЛАДИ 3D-ДРУКУ В ЛИВАРНИЦТВІ І БУДІВНИЦТВІ



Володимир Дорошенко
ст. наук. співробітник,
Фізико-технологічний
інститут металів і сплавів
НАН України,
м. Київ

Вступ

Нині важливою та актуальною потребою є підвищення продуктивності будівництва як житлових будинків, так і службових споруд. Саме тому напрямком на створення модульних литих легких конструкцій для побудови житлових чи промислових будівель є важливим і актуальним. Намагання поєднати в одному матеріалі різні властивості є одним з рушійних напрямів сучасної будівельної науки. Зокрема, ця наука зробила холодний, важкий, але міцний бетон легким і «теплим», ввівши в структуру полімер, спінений у вигляді кульок-гранул. Новий матеріал отримав назву «полістиролбетон» (ПСБ).

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів (ФТІМС) НАН України НАН України під науковим керівництвом проф. *Шинського О.Й.* проводилися багаторічні дослідження і відпрацьовувалися виготовлення ливарних разових моделей з пінополістиролу (ППС) методами спінування ППС в оснастці для лиття металу за моделями, що газифікуються (ЛГМ). Моделі з ППС часто армуються. Наразі виконується дослідження з оптимізації 3D-друку ливарних моделей та форм. Перспективним є будівельний матеріал ПСБ (рис. 1) [1]. Недавно був запатентований спосіб адитивного формування з нього стін 3D-друком одночасно зі спінуванням ППС [2, 3]. Задача цієї статті полягає в аналізі досвіду будівництва з блоків ПСБ та розробці технічного рішення з удосконалення недавно запатентованого способу [2].

Результати огляду і дослідження

Основні переваги ПСБ: високі енергозберігаючі характеристики, відсутня потреби в додатковому утепленні та в гідроізоляції матеріалу. Міцність на стискання у ПСБ невисока (максимум М35), тому будувати з нього будівлі висотою більше двох поверхів не слід. Низька паропроникність ПСБ має свої плюси та мінуси [4]. Блоки з нього практично не вбирають воду, тому мають стійкість при переході температури через 0°. Саме тому морозостійкість у ПСБ дуже висока.

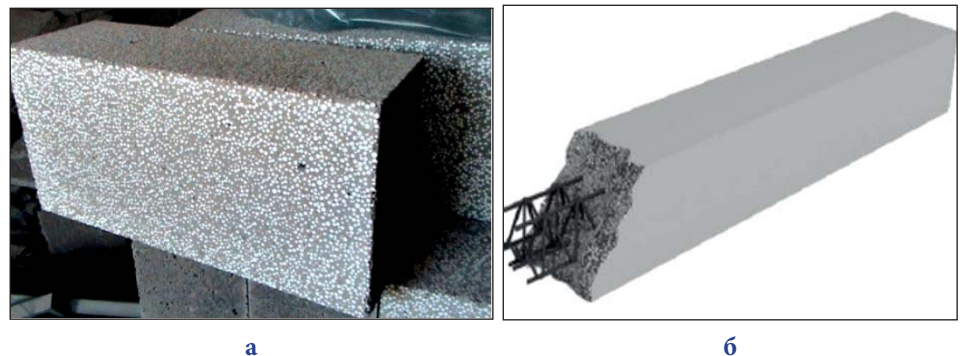


Рис. 1. Приклади використання ПСБ у вигляді блоку (а) [3] та армованої перемички (б)

Продовження циклу статей
В. Дорошенка
про застосування технології
3D-друку
у різних напрямках
науки і техніки

А ось «дихати» стіна з пінополістиролу не буде, бо водній парі пройти крізь нього дуже важко.

Незважаючи на досить високу міцність (для малоповерхового будівництва), блоки з ПСБ досить крихкі. Для запобігання тріщинам у стінах та руйнуванню під панелями перекриття їм потрібен монолітний армований пояс із бетону, виготовлення якого призводить до зайвих витрат матеріалів та часу. Нерідко при використанні ПСБ виникають проблеми при оштукатурюванні (погане зчеплення з розчином).

Ще один негативний момент – нездатність стін з ПСБ тримати кріплення для полиць та шафок, тому оптимальна сфера застосування блоків з ПСБ – не капітальні житлові будинки, а господарсько-побутові та технічні споруди [4]. Деякі виробники роблять із ПСБ густиною 500-600 кг/м³ армовані (металевою арматурою) віконні та дверні перемички різної довжини (від 1,3 до 4,4 м). Вони виконують відразу дві функції: несучих та теплоізолюючих конструкцій. Самонесуча перемичка виготовляється з армуючим зварним каркасом. При застосуванні в конструкціях будівель збірних стінових блоків з ПСБ, перемичок і плит рекомендується в горизонтальних швах кладок встановлювати штукатурні сітки [1].

Для підвищення продуктивності праці в будівництві створено спосіб виготовлення стін із блоків з ПСБ за допомогою 3D-принтера [2, 3]. Цей спосіб включає попереднє підігрівання в'язучого матеріалу в екструдері. Подача цього матеріалу із сопла екструдера для формування конструкційної й теплоізолюючої частини стіни відрізняється тим, що в'язучим матеріалом є ПСБ з неспіненим полістиролом, який через сопло подають на поверхню раніше покладеного шару на всю його ширину, після чого нагрівають електричним струмом, що пронизує його, потім подають на бічні шпатель-електроди до температури спінювання полістиролу і формують у новий шар за допомогою верхнього притискного шпателя і шпатель-електродів. Цим досягається пошарове виготовлення стін будівель з необхідними теплоізоляційними та конструкційними властивостями.

Стіни виконуються одночасно на всю їхню товщину за один прохід друкуючої голівки-екструдера, що видавлює в'язучий матеріал з одного сопла за допомогою однієї системи подачі в'язучого матеріалу, на відміну від раніше відомих способів друку бетонних стін, зокрема (за критикою в способі [2]) складною роботизованою системою автоматизованого будівництва за допомогою 3D-принтера з подачею в'язучого матеріалу з екструдера, який видавлює в'язучий матеріал через три сопла для формування стіни в два етапи. При цьому спочатку з бокових сопел формують одним в'язким матеріалом зовнішню та внутрішню версти стіни. Потім, дочекавшись втрати його плинності, слід заповнити іншим в'язким матеріалом порожнину, що сформувалася між зовнішньою та внутрішньою верстами стіни. В останньому випадку потрібні дві системи різних в'язучих, а також швидке тверднення бічних шарів, щоб утримували бічний тиск середнього шару. Приклад описаної роботизованої системи 3D-друку показано на рис. 2 [5].

У способі [2] рівномірно розподілені в об'ємі в'язучого матеріалу гранули полістиролу знижують тепловтрати від конструкції в навколишнє середовище, збільшуючи тривалість дії високих температур та забезпечуючи тим самим інтенсивне наростання міцності бетону. Змінюючи в рецепті вміст в'язкого тверднучого матеріалу та полістиролу,

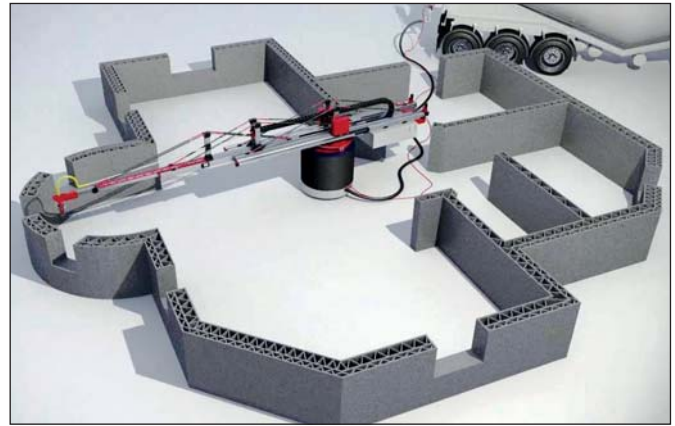


Рис. 2. Приклад будівництва з застосуванням 3D-принтера [5]

можна залежно від потреби збільшувати або зменшувати теплоізоляційні або конструкційні властивості стіни.

Друкувальна голівка 3D-принтера для друку теплоізолюючих стін із ПСБ на рис. 3 [2] має екструдер 1, обладнаний системою попереднього підігріву 2 в'язучого матеріалу 9 з неспіненими гранулами полістиролу, підключеною до електричної мережі 7, системою подачі 3 в'язучого матеріалу 9 і випускним соплом 4, через яке в'язучий матеріал – ПСБ 9 видавлюється на поверхню раніше відформованого шару ПСБ 11, що втратив рухливість. Ширина випускного сопла 4 дорівнює ширині стіни, що зводиться. До випускного сопла 4 жорстко закріплені бічні шпатель-електроди 5 з технологічними відгинами. Шпатель-електроди 5 за допомогою кабелів 6 підключаються до електричної мережі 7. Між шпателями-електродами 5 у верхній частині закріплений притискний шпатель 8, разом вони формують новий шар в'язучого матеріалу 10 зі спіненими гранулами

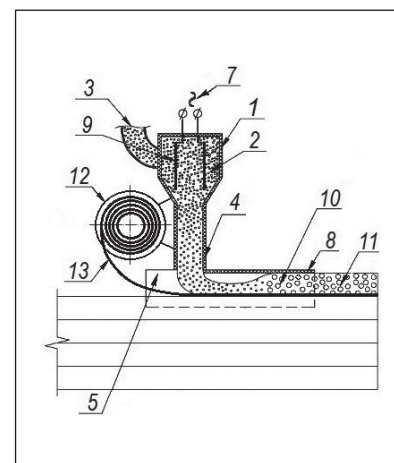
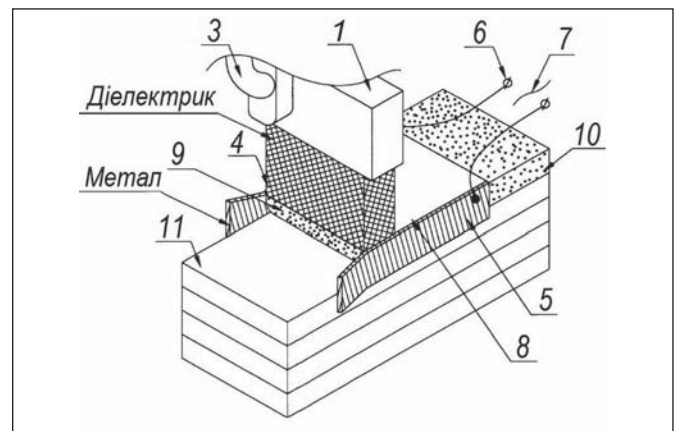


Рис. 3. Схема способу виготовлення стін із ПСБ за допомогою 3D-принтера, вигляд частин пристрою в аксонометрії і розрізі



Рис. 4. Приклади металевих кріплень з литою різьбою, їх моделей з ППС (білого кольору) та модельних кластерів (кущів) для формування їх у ливарному контейнері

полістиролу. Випускне сопло 4 і шпатель притискний 8 виконуються з електроізоляційного матеріалу.

Наше технічне рішення з удосконалення цього способу полягало в запровадженні армування кожного чи окремих шарів, які нарощуються при друкуванні стіни, шляхом установки котушки 12 поряд з друкувальною головкою і подачі з неї неметалевої сітки 13 (базальт, скловолокно, полімер). Таке армування збільшує жорсткість конструкції і бажане для зони кріплення до стіни навісних полиць, стелів тощо. Сітка сприяє паропроникності вдовж своїх прутів. Також з такої котушки за потреби можна прокласти в стіні кабелі, гофровані рукави чи трубки для електропроводки чи комунікацій або дріт в ізоляції, виводячи їх за межі стіни в кутках приміщення, щоб уникнути додаткового вирізання каналів у стіні з наступними штукатурними роботами. Для покращення плинності суміші і змочуваності сітчастої арматури рекомендується добавка в ПСБ поверхнево-активної речовини, наприклад, смоли омиленої деревної (СДО) за ТУ 13-0281078-02-93 в кількості 0,1-0,3% від маси цементу.

Для виготовлення в стінах блоків з ПСБ, армованих металом монолітного поясу з бетону під панелі перекриття, а також перегородок, блоків, плит чи панелей для перекриття застосовують опалубку, металеві деталі кріплень якої виготовляються методом ЛГМ з невисокою собівартістю. При цьому сталеві гайки для горизонтальних стяжок (виготовлені способом прокатки) опалубки, а також вузлові

деталі будівельних рамних лісів серійно виливають, як правило, з литою різьбою від М16 і більшого розміру, що не потребує їхньої механічної обробки. Приклади такого литого металевого кріплення, виконаного в ливарних цехах ФТІМС НАН України, показано на рис. 4.

Висновки

Виконано короткий аналіз застосування полістиролбетону (ПСБ) в будівництві та способи підвищення автоматизації будівництва з ПСБ за допомогою 3D-друку. Недавно запатентований спосіб друкування стін зі спінням полістиролу безпосередньо в плинному шарі ПСБ, яким нарощують накладанням на затверділі шари, удосконалено технічним рішенням його армування. Збільшується таким чином міцність будівельних конструкцій, а також створюється можливість прокладання в стінах кабелів, гофрованих рукавів чи трубок для електропроводки чи комунікацій. Для виготовлення в стінах з вмістом ПСБ армованих металом монолітного поясу з бетону під панелі перекриття, перегородок, блоків, плит чи панелей для перекриття застосовують опалубку, металеві деталі кріплень якої налагоджено виготовляти методом лиття. При цьому сталеві гайки для стяжок опалубки, а також вузлові деталі будівельних рамних лісів виливають серійно, як правило, з литою різьбою від М16 і більшого розміру, що не потребує їхньої механічної обробки, як показано на прикладах литого металевого кріплення. ■

Література

1. Полистиролбетон. Технические условия: ГОСТ 33929-2016. М.: ФГУП Стаидартинформ, 2016. – 20 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Патент 2739244 РФ, МПК: E04B2/02, B33Y30/00, B33Y10/00, B29C64/106. Устройство и способ для изготовления теплоизолирующих стен из полистиролбетона при помощи 3D-принтера. Опубл. 22.12.2020, Бюл. № 36.
3. Молодин В.В. (Сибстрин): "Идея печати полистиролбетоном появилась три года назад, а шел к ней 30 лет.". URL: <https://additiv-tech.ru/publications/vladimir-viktorovich-molodin-sibstrin-ideya-peschati-polistirolbetonom-poyavilas-tri>
4. Полистиролбетонные блоки: характеристики, плюсы и минусы, размеры и цены. URL: <https://greensector.ru/stroymaterialy/polistirolbetonnye-bloki-kharakteristiki-plyusy-i-minusy-razmery-i-ceny.html>
5. Чечуга А.О. Преимущества и перспективы развития АМ-технологий в строительстве // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11. – С. 311-314.