

УДК 621.74.01:69.035.4

**В. С. Дорошенко**, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-0070-5663**І. А. Шалевська**, д.т.н., доц., ORCID 0000-0002-8410-7045*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України*

## ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА СЕГМЕНТІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЗА СУЧАСНИМИ МЕТАЛУРГІЙНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

**Анотація.** Стаття стосується досліджень і проектних розробок металоконструкцій для галузі будівництва таких споруд, бліндажів, та дотична до технологій зведення фортифікаційних споруд та броньових перешкод. Розробка нових технологій для будівництва захисних споруд багатофункціонального призначення відображає нинішню необхідність поліпшення заходів захисту цивільних людських і матеріальних ресурсів, а також підвищення обороноздатності. Для зведення захисних споруд запропоновано застосування будівельних конструкцій з металу, зокрема литого металевого сегменту масою до 50 кг, що мають суттєві переваги в порівнянні з конструкціями з каменю, залізобетону та дерева. Цим вирішується задача нескладного монтажу таких споруд з сегментів, навіть в польових умовах, і можливість варіювання конструкції споруд, наприклад, довільного їх нарощування шляхом додавання кількості сегментів або утворення отворів у споруді. Такий сегмент зумовлює легку збірно-розбірну здатність для релокації споруд. Сегмент нескладний для виливання навіть в невеликих діючих ливарних цехах чи дільницях, які можливо переобладнати до нових технологій лиття та зміцнення виливків термообробкою, що дозволяє збільшити відношення показників міцності до маси сегмента. Також за аналогією з відомими патентами наведено варіант конструкції термообробленого сегмента з чавуну чи сталі з підвищеними механічними властивостями. Показано, що за рахунок ефекту самозагартування при навантаженні у зонах ураження, що полягає в частковому поглинанні енергії зовнішньої деформації, відбувається структурна перебудова матеріалу з утворенням сегменту кристалічних структур мартенситу, який підвищує міцність металу. Для виробництва легковагих сегментів рекомендовано спосіб лиття металу за моделями, що газифікуються.

**Ключові слова:** захисні споруди, сегмент, виливки, чавун, термообробка, лиття за моделями, що газифікуються.

**Посилання для цитування:** Дорошенко В. С., Шалевська І. А. Проектування виробництва сегментів захисних споруд за сучасними металургійними технологіями. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 476-486. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-476-486.

**Стан питання.** За нинішніх умов воєнного часу захист людських і матеріальних ресурсів, продукції та об'єктів ВПК конче потребує створення нових технологій для виготовлення захисних споруд

багатофункціонального призначення та збільшення живучості наявних для цього споруд чи будівель. Стаття стосується досліджень і проектних розробок металоконструкцій для галузі будівництва захисних споруд, укриттів, сховищ, бліндажів, а також дотична до технологій зведення фортифікаційних споруд та броньових перешкод.

Будівельні конструкції з металу в порівнянні з конструкціями з каменю, залізобетону та дерева мають ряд суттєвих переваг: найбільш легкі з огляду їх міцності на одиницю маси, тому найбільш транспортабельні, легко монтуються, а також за умов болтових з'єднань демонтуються, тобто можуть випускатися збірно-розбірними та мобільними для перевезення на інше місце, що важливо для укриттів, ангарів, складів тощо, які змінюють локацію. Зокрема, до найдовговічніших будматеріалів відносять чавунні вироби. Так, у Санкт-Петербурзі покрівля Казанського собору з листів чавуну, служить майже два століття, а чавунні покрівлі Версальського палацу у Франції ще більше – понад триста років [1].

**Мета роботи** полягає в аналізі металоконструкцій захисних споруд і проектуванні комплектуючих таких споруд з наступними перевагами: легкий монтаж їх із сегментів в польових умовах і можливість варіювання конструкції споруд, зокрема з утворенням в них отворів; легка збірно-розбірна здатність для зміни їх місця розташування (релокації); а також нескладні умови виробництва, зокрема в невеликих ливарних цехах (діючих підприємств в різних регіонах країни), які легше (за витратами) піддаються адаптації до новітніх технологій як виливання з металу, так і зміцнення виливків термообробкою (ТО) для збільшення відношення міцності до маси легковагих виливків.

**Результати огляду та проектування.** Відома фортифікаційна споруда з комплекту хвилястої сталі [2], що за зовнішніми обрисами має циліндричну форму. Прикладом подібної споруди вітчизняного виробництва є капсули, що виготовлені з хвилястої сталі на Метінвест Холдинг [3]. На кінець жовтня 2022 р. 30 таких капсул (рис. 1) передано ЗСУ. У такій споруді 8 спальних, або ж 30 сидячих місць.

Особливістю такої капсули є те, що вона може бути виготовлена на крупних металургійних підприємствах, що мають капіталомістке валкове обладнання. Виробничі потужності таких підприємств знаходяться переважно на сході України, де можуть мати перешкоди для свого виробництва в зв'язку з воєнними діями. Товщина сталі і діаметр такої споруди обмежені можливостями потужного устаткування – вальців. Для вигинання вибирають сталь невисокої твердості. Також для збирання та демонтування цієї споруди необхідний автомобільний кран, як показано в описі [2]. В корпусі цієї споруди не передбачена можливість відкривання люків, бійниць, інших отворів в довільно визначеному місці у процесі експлуатації. Також сталеві конструкції при підземній експлуатації піддаються корозії 2-2,5 мм/рік [4].

Це одна з основних причин того, що металеві тьюбінги для підземних тунелів і сховищ виготовляють переважно з чавуну, для чого з середини ХХ століття в Україні технологію виливання чавунних тьюбінгів використовували на семи крупних заводах [5].



Рисунок 1 – Металева капсула при встановленні краном та її внутрішній інтер'єр.

Для оптимального використання ресурсу металу при виготовленні в піщаних формах виливків з чавуну з кулястим графітом (ЧКГ) рекомендується [6] не перевищувати товщину їх стінок більше 30 мм, а при виготовленні литтям в вакуумовану піщану форму - 16 мм. Такі виливки досліджено на прикладах стінок люків оглядових колодязів, а обмеження по збільшенні товщини обґрунтовано тим, що до 30 мм переважає перлітна складова ЧКГ, а подальше нарощування товщини стінок при кристалізації виливків в піщаних формах проходить переважно за рахунок утворення феритної металеві матриці ЧКГ. Вигідно використано ту властивість, що перліт приблизно в 3 рази міцніший за ферит [6] і збільшення частки перліту дозволяє підвищити механічні властивості ЧКГ на одиницю маси. Для вакуумованих піщаних форм завдяки впливу вакууму на тепловідвід «метал-форма» такі переваги найкраще реалізуються на стінках товщиною до 16 мм від їх перлітизації та здрібнення кристалічного зерна металу (кристалітів).

Проектування оптимальних конструкцій чавунних тьюбінгів для підземних споруд також відноситься до галузі зведення захисних споруд, для яких застосовують тунелі, облицювання яких монтують з тьюбінгових кілець [7]. Конструкція тьюбінга традиційно включає такі його частини, як спинку, ребра та фланці (борти). Аналогічно до литих люків з огляду збільшення відношення міцності до маси доцільне обмеження товщин цих трьох елементів для конкретних виливків тьюбінгів як сегментів кілець. Тьюбінги складають несучу металеву конструкцію - тьюбінгове кріплення,

що встановлюють у стовбурах гірничих шахт та рудників [7], а також тунелів метро. Майже всі шахтні стовбури Метробуду, багато стовбурів Міноборони та інших міністерств постійно використовували чавунні тюбінги на своїх об'єктах [4]. З шістдесятих років минулого століття на кріплення підземних споруд різного призначення, у тому числі й для захисних та спеціальних об'єктів, щорічно вироблялося 25-40 тис. тонн чавунних тюбінгів. За даними статті [5], що включає огляд практично всіх видів серійних литих металевих тюбінгів, їх маса складає від 196 до 1950 кг і вони в переважній більшості призначені під зведення тунелів для рельсового транспорту.

Монтаж таких тунелів чи стовбурів з металевим масивним кріпленням потребує потужного високовартісного обладнання і не застосовується для порівняно невеликих металевих укриттів, захисних споруд, сховищ, бліндажів тощо, тим більше для тих, що зводяться в польових умовах. Також виробництво таких тюбінгів можливе в крупних цехах з потужними плавильними печами зі значною масою разового випуску виплавленого металу. Зараз залишилось єдине вітчизняне підприємство – ПАТ «Дніпроважмаш», що пропонує до реалізації серійну тюбінгову продукцію та має відпрацьовану технологію виливання таких досить масивних металевих тюбінгів і патентує конструкцію кільця з них [7].

Проектуючи металевий сегмент для виготовлення захисних споруд за аналогією з конструкцією тюбінга для збирання із цих сегментів захисних споруд, не лише круглої конфігурації в перерізі, але й прямокутних, аркових, комбінованих, з метою нескладного монтування їх із сегментів в польових умовах і можливості варіювання конструкції споруди, в тому числі з утворенням в ній отворів, легкої збірної-розбірної здатності для релокації, а також спрощення виробництва, зокрема в невеликих ливарних цехах, рекомендовано масу цього сегмента не перевищувати 50 кг. Крім того, для відкриття отворів в металевій споруді металевий сегмент (як дверці з шарнірним поворотом) може бути вилитим з проушинами. У варіанті виготовлення з ЧКГ виливанням в піщану форму товщини його спинки, ребер та фланців доцільно не перевищувати 30 мм, а виливанням у вакуумовану піщану форму, товщини цих елементів витримувати не більшими 16 мм. Також, впроваджуючи сучасні металургійні технології підвищення міцності виливків, доречно до різновидів процесів виготовлення такого сегменту долучити такі, щоб у вилитому із залізовуглецевого сплаву готовому виробі отримувати структуру, яка складалася б з бейніту чи аусфериту, або при виливанні з ЧКГ з наступною ТО в структурі цього чавуну отримувати 27-35 % метастабільного залишкового аустеніту, а при застосуванні для цього високовуглецевої сталі в її структурі - 25-30 % метастабільного залишкового аустеніту.

Обмеження маси металевого сегмента не більше 50 кг дозволяє згідно вимог Державних Нормативних Актів з Охорони Праці НПАОП 52.0-1.01-

96 та НПАОП 63.12-1.03-96 для чоловіків віком понад 18 років ручне переміщення вантажів з робочої поверхні масою не більше 50 кг. Тому навіть у польових умовах в ручному режимі з такої маси сегментів, як невеликих тюбінгів, створюється можливість монтувати чи збирати металеві захисні споруди, укриття, сховища, бліндажі, а також деякі фортифікаційні споруди та броньові перешкоди.

Такі споруди в свою чергу можуть збиратись болтовим з'єднанням з кілець і бути у вигляді вертикального (як за патентом [7]) чи горизонтального (як за патентом [2]) циліндрів, торці якого можуть бути металевими конструкціями (з подібних сегментів) чи бетонними тощо. Для циліндричної частини слід застосовувати сегменти одного виду, а для торцевих частин – другого виду. Металеві сегменти можуть виливати як з провущинами, так і без них, а їх конструкції видозмінюють для збирання і виготовлення з подібних сегментів споруд, відмінних від круглої конфігурації в перерізі (прямокутних, аркових, комбінованих), зокрема, як фортифікаційна споруда [8] з вертикальними стінами і арковим дахом. Відпрацьовані методи герметизації (гідроізоляції) стиків сегментів описано для чавунних тюбінгів, зокрема в роботах [4, 7]. По суті, досвід метробуду прагнули перенести (масштабувати) на тюбінгові споруди ручної збірки.

Монтування споруд доступне вручну на плоскому майданчику, в котловані чи траншеї тощо. Споруди можуть частково чи повністю покриватись ґрунтом, бетоном, герметичним рулонним матеріалом з наступним засипанням ґрунтом або місцевими матеріалами. Для переважної більшості робіт при монтуванні болтовим з'єднанням знизу вверху і кріпленням до попередньо зібраної частини достатньо двох чоловік з електричними (акумуляторними) чи пневматичним ручним гайковертом і відповідним опорним, страхувальним, ручним чи електричним підйомним обладнанням, яке може бути збірно-розбірним і укомплектованим згідно техніки безпеки.

Застосування всіх чи часткової кількості сегментів з провущинами (для шарнірних з'єднань) у корпусі такої споруди дає можливість виготовлення люків, бійниць, дверей, воріт, вентиляційних, димохідних чи інших отворів з одного чи кількох у стик змонтованих сегментів. Такі отвори у корпусі можуть повністю чи частково відкриватись – закриватись поворотами у шарнірних з'єднаннях, в тому числі суміщених провущин сусідніх сегментів з вставленими в їх отвори болтами (шкворнями чи валами). Включення в споруду сегментів, що виліті з провущинами, дозволяє у запланованому місці споруди утворення різних отворів з нескладним регулюванням поворотом рухомих сегментів пройм цих отворів у процесі експлуатації.

Вищеписане дозволяє легкий монтаж споруд з сегментів в польових умовах і можливість варіювання конструкції споруд як за розмірами з різними кількістю сегментів, різновидами їх скріплення, так і щодо утворення в них отворів. Легка збірно-розбірна здатність дозволяє зміну їх

місцеположення (релокації). Також в більшості випадків сегменти з провусинами при збиранні зручніше наживляти болтами (шкворнями), ніж наживляти крізь отвори у фланцях, які по чотирьох сторонах сегменту також мають кріпильні отвори. По суті, сегмент проєктується як невеликий тубінг для ручного монтажу, аналогічно [7]. Якщо монтаж ведуть подібно до монтажу кілець [7] зі зсувом їх вздовж обода на  $\frac{1}{2}$  довжини сегменту, то для утворення крупних отворів (воріт) з поворотними сегментами можливе виготовлення і встановлення окремих сегментів, рівних  $\frac{1}{2}$  довжини основних сегментів, а також для цього кільця можуть збирати також без зсуву. Теж, застосувавши сегменти, в яких розміри довжини до ширини відносяться як 1:1, 1:1,5 чи 1:2, створюється можливість варіантів комбінування («переплетіння») сегментів, вздовж і поперек в процесі збирання.

Виливання з металу сегментів масою до 50 кг доступне для переважної більшості діючих чисельних ливарних цехів по всій території країни, на відміну від окремих крупних металургійних чи ливарних заводів для виготовлення деталей конструкцій за описами [2, 3, 5, 7, 8]. Такої невеликої маси виливки потребують лише свої нескладної модельної оснастки і вписуються у діючі технологічні процеси з наявним опочним оснащенням для виготовлення піщаних ливарних форм. У варіанті з вищевказаними обмеженнями товщин всіх елементів вилитого сегменту з ЧШГ, а саме: спинки, ребер і фланців, реалізується умова утворення в литому стані переважно перлітної структури з найбільш дрібним зерном утворених кристалітів.

Особливо вигідна для виготовлення металевих сегментів технологія лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam Casting Process), у вакуумовані форми з сухого піску. За цією технологією для подібних до таких сегментів виливків відпрацьовано і стабільно роками отримують виливанням (без піщаних стрижнів) отвори у металевому тілі вказаних товщин, що без різьби мають діаметр не менший за 11 мм, а з різьбою - не менший за 15 мм.

Отвір без різьби діаметром 11 мм підходить до болта М10, а, наприклад, отвори з різьбою DW15 надійно відпрацьовані методом ЛГМ при крупносерійному литті у вітчизняних цехах різноманітних сталейних гайок для стяжних гвинтів будівельної опалубки. Анкерний стяжний гвинт з різьбою DW15 (шпилька для опалубки) поставляється в Україні у вигляді стопки прокатних прутів довжиною по 3,0 м і нарізається на задані розміри по довжині. При виконанні такої різьби у отворах вилитих сегментів допустиме таке їх скріплення, що не менше три десятиліття застосовується для стяжки будівельної опалубки, яку нерідко використовують для зведення багатоквартирних будинків. Виробництво сегментів з отворами методом ЛГМ, як точного способу лиття, не потребує застосування піщаних стрижнів, а також у переважній більшості випадків механічної обробки виливка. Лише контрольної перевірки шаблонами посадочних

розмірів виливків і литих отворів достатньо зі звичними для ливарних цехів відділенням ливниково-живильної системи та можливим місцевим очищенням виливка для отримання годного за геометрією виробу.

Зміцнення у 1,5- 2 рази виливків із залізовуглецевого сплаву термообробкою (ТО) також розроблено останніми роками як процес, що дозволяє доповнити чи продовжити ЛГМ-технологію, зокрема на території ливарних дільниць [9]. При цьому замість заповнення дільниць ливарних цехів піщаними формами, в яких годинами охолоджуються виливки, їх в гарячому стані можливо видаляти з форм при ЛГМ і виконувати їх ТО з отриманням металевої структури, що складається з бейніту чи аусфериту [10, 11]. Форми з сипким піском після видалення з них виливків слід відправляти на стенд висипання для охолодження піску і оборотного його використання, що звільняє від них територію цеху (зайнятою під традиційне вистоювання форм з виливками, що охолоджуються), звільняючи місце для операцій ТО на ливарних дільницях, що також нерідко скорочує традиційний процес отримання охолодженого виливка, до того ж в результаті зміцненого завдяки ТО [9-11]. Навіть таке лиття з доповненням ТО розроблено для тонкостінних виливків броньових перешкод [12], як метод, що дозволяє легковагим виливкам збільшення відношення міцності до маси.

Крім того, якщо при виливанні сегментів з ЧКГ з наступною ТО в структурі цього металу досягати 27-35 % метастабільного залишкового аустеніту [12], а при виливанні сегментів з високовуглецевої сталі в її структурі - 25-30 % метастабільного залишкового аустеніту [13], то це може дати підвищення механічних властивостей сегментів за рахунок ефекту самозагартування при навантаженні, в тому числі при імпульсному руйнуванні виливка. Зазначені відсоткові показники взято з опису способів лиття металовиробів з ЧКГ [12], а також - з високовуглецевої сталі, для якої такі результати ТО відпрацьовано при виробництві броньованих плит [13]. І це підвищує їх твердість та довговічність завдяки тому, що метастабільний залишковий аустеніт зазнає при абразивно-ударному впливі деформаційне мартенситне перетворення та проходить динамічне старіння мартенситу і аустеніту. На таке утворення мартенситу деформації витрачається частина енергії зовнішньої дії, що зменшує її долю, яка йде на руйнування. Такий ефект традиційно застосовували для виливків зі сталі Гадфілда, а наявність вищевказаної приблизно однакової долі метастабільного залишкового аустеніту дозволяє його реалізувати, поширюючи на графітізовані чавуни (найвигідніше на ЧКГ) та високовуглецеві сталі.

При конструюванні сегмента орієнтувались на оптимізацію його маси, міцності, протиударних властивостей, нескладності виготовлення і збирання при варіативній комплектації споруд. Тому різновиди його конструкції можуть мати, чи не мати: ребра, суцільні фланці (борти) по

периметру, провусини. Також провусини можуть виконуватись для повороту сегмента всередину чи назовні споруди. Приклад одного з варіантів сегменту зображено на рис. 2.

Сегмент 1 з провусинами 2 і 3 складається із спинки 4, може мати зовнішні ребра 5, фланці (борти) 6 по периметру і внутрішні ребра 7. Фланці виконуються з отворами 8 для можливості кріплення сегментів між собою болтами з кожної сторони сегменту.

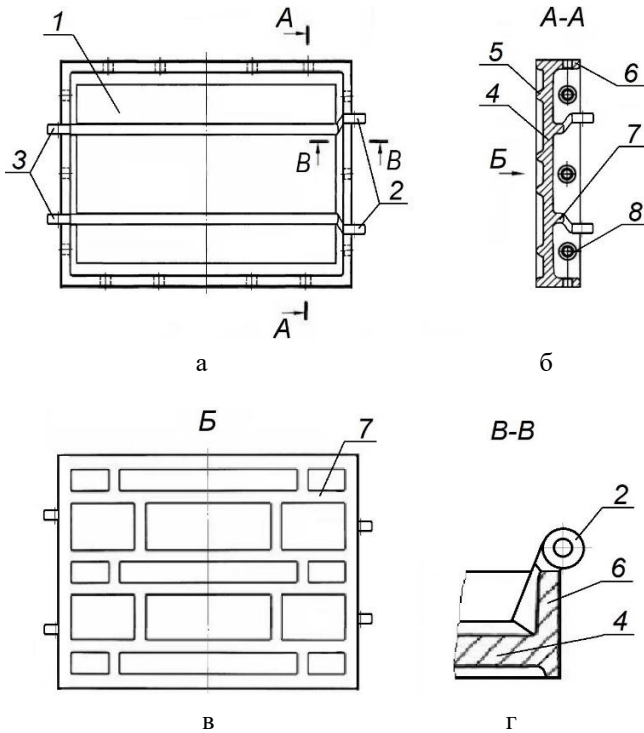


Рисунок 2 - Сегмент захисної споруди: а - вид в плані сегмента зсередини споруди, що збирається з таких сегментів; б - переріз А-А на рис. а; в - вид Б на рис. б; г - переріз В-В на рис. а (розміщення провусини на фланці сегмента).

Шарнірне з'єднання виконується при одному таких варіантів конструкції: провусини 3 розміщуються між провусинами 2 і в їх суміщених отворах вставляються болти (шкворні чи вали). Для цього провусини 2 розміщено так, щоб вони відповідно стикувались і дозволяли поворот сегментів. Фланці (борти) 6 по периметру можуть бути не подібні пластинам, а можуть мати подібне до провусин підсилення під болт з



більш тонкою перемичкою між такими підсиленнями.

Розрахункові маси сегмента з варіантами його габаритних розмірів при густині чавуну  $7000 \text{ кг/м}^3$  такі. При середній товщині 16 мм плоскої спинки розмірами в плані (мм)  $600 \times 600$  її маса складатиме 40,4 кг, а розмірами  $500 \times 750$  – 42,0 кг, решта маси (до 50 кг) слід відвести під фланці, ребра. При середній товщині 25 мм маса такої ж спинки сегмента з габаритами  $400 \times 600$  складатиме 42,0 кг, а розмірами  $500 \times 500$  – 43,75 кг, решта маси займуть фланці, ребра. У зв'язку з можливістю виготовлення сегменту з різних сплавів і варіацією його конструкції конкретні розміри та маса до 50 кг уточняється при його виготовленні для конкретних споруд. Крім збирання споруд, конструкція сегменту має широкий потенціал застосування: від монтажу броньових перешкод у вигляді вертикальних, аркових чи горизонтальних стінок (навісів) на нерухомі чи рухомі об'єкти захисту до металевої черепаці довготривалого використання.

### Висновки

Конструктивні відмінності металевого сегменту, який запропоновано для зведення захисних споруд вирішують задачу, що полягає у нескладному монтажу таких споруд з сегментів, навіть в польових умовах, і можливості варіювання конструкції споруд, наприклад, довільним нарощуванням їх додаванням кількості сегментів чи утворенням у споруді отворів. Такий сегмент зумовлює легку збірно-розбірну здатність для релокації споруд. Сегмент нескладний для виливання в численних навіть невеликих діючих ливарних цехах чи дільницях, які можливо переобладнати до нових технологій лиття та зміцнення виливків методами ТО для збільшення відношення показників міцності до маси сегмента. Також за аналогією з відомими патентами наведено варіант конструкції термообробленого сегмента з чавуну чи сталі з підвищеними механічними властивостями за рахунок ефекту самозагартування при навантаженні, що полягає в частковому поглинанні енергії зовнішньої деформації на структурну перебудову матеріалу з утворенням в зонах ураження сегмента кристалічних структур мартенситу деформації, який підвищує міцність металу в зоні деформації.

### Перелік посилань

1. Новые строительные материалы в строительстве. Дек. 23, 2020. веб-сайт. URL: <http://sklad-stroika.ru/NovieTehnologiiStroitelstva/novie-stroitelnie-materiali-v-stroitelstve>.
2. *Фортифікаційна споруда з комплекту хвилястої сталі*: пат. 71000 Україна. МПК E04H 9/00; заявл. 18.01.2012. Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
3. Бровінська М. Українські металурги виготовляють захисні капсули для ЗСУ. 13.09.2022: веб-сайт. URL: <https://dev.ua/news/metinvest-1663082794>.
4. Мишедченко А. А. История развития крепи из чугуных тубингов и перспективы ее применения в современном подземном строительстве. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. №1. С. 36-40.

5. Белобров Е. А., Карпенкова О. Л., Белобров Л. Е., Белобров Е. Л. Технологии производства литых тубингов. *Литве України*. 2017. № 2. С. 18-23.
6. *Виливок з чавуну з кулястим графітом*: пат. 126031 Україна. МПК В22D 7/00, В22D 23/00; заявл. 03.10.2017. Опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.
7. *Тубінгове кільце для кріплення вертикальних стовбурів гірничих виробок*: пат. 38941 Україна. МПК Е21D 5/00; заявл. 22.08.2008. Опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
8. *Військова фортифікаційна споруда для захисту особового складу*: пат. 95042 Україна. МПК Е04Н 9/00, Е04Н 9/04; заявл. 16.06.2014. Опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.
9. *Ливарний комплекс для виготовлення виливків з високоміцного чавуну у ливарних контейнерах з сипким піском*: пат. 140588 Україна. МПК В22 D7/00, В22 D47/00; заявл. 18.06.2019. Опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5.
10. *Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом*: пат. 123731 Україна, МПК В22 D7/00, В22 D23/00, С21D5/02, С21D1/20, В22 D27/04; заявл. 04.08.2017. Опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.
11. *Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного залізобуглецевого сплаву (чавуну, сталі)*: пат. 131581 Україна, МПК В22D 7/00, В22D 23/00, С21D 5/02, С21D 1/20, В22D 27/04; заявл. 25.06.2018. Опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.
12. *Спосіб виробництва броньової перешкоди з високоміцного чавуну у ливарних формах з сипкого піску*: пат. 139560 Україна, МПК В22D 7/00, В22D 23/00, F41H 5/00; заявл. 18.06.2019. Опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1.
13. *Спосіб термообробки сталі для броньовувальних плит*; пат. 64796 Україна, МПК С21D 1/00; заявл. 28.02.2011. Опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

### References

1. New building materials in construction. Dek. 23, 2020. Retrieved from <http://skladstroika.ru/NovieTehnologiiStroitelstva/novie-stroitelnie-materiali-v-stroitelstve>.
2. *Fortification structure made of a set of corrugated steel*: пат. 71000 Ukrayina. IPC E04H 9/00. Publ. 25.06.2012, Bull. 12.
3. Brovinska M. Ukrainian metallurgists produce protective capsules for the Armed Forces. 13.09.2022. Retrieved from <https://dev.ua/news/metinvest-1663082794>.
4. Mishedchenko A.A. The history of the development of lining from cast-iron tubing and the prospects for its use in modern underground construction *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten*. 2007. No. 1. P. 36-40.
5. Belobrov E. A., Karpenkova O. L., Belobrov L. E. Belobrov E. L. Technologies for the production of cast tubing. *Lite Ukrainy*. 2017. No. 2. P. 18-23.
6. *Cast iron with spherical graphite*: пат. 126031 Ukrayina. IPC B22 D7/00, B22 D23/00. Publ. 11.06.2018, Bull. 1.
7. *Tubing ring for fastening vertical trunks of mining products*: пат. 38941. IPC E21D 5/00. Publ. 26.01.2009, Bull. 2.
8. *A military fortification for the protection of personnel*: пат. 95042 Ukrayina. IPC E04H 9/00, E04H 9/04. Publ. 10.12.2014, Bull. 23.
9. *Foundry complex for the production of castings from high-strength cast iron in foundry containers with loose sand*: пат. 140588 Ukrayina. IPC B22 D7/00, B22 D47/00. Publ. 10.03.2020, Bull. 5.
10. *The method of manufacturing castings from bainite or ausferite cast iron with spherical graphite*: пат. 123731 Ukrayina Україна, IPC B22 D7/00, B22 D23/00, С21D5/02, С21D1/20, В22 D27/04. Publ. 12.03.2018, Bull. 5.

11. *The method of manufacturing castings from bainite or ausferite iron-carbon alloy (cast iron, steel):* pat. 131581 Ukrayina. IPC B22D 7/00, B22D 23/00, C21D 5/02, C21D 1/20, B22D 27/04. Publ. 25.01.2019, Bull. 2.
12. *The method of production of an armored obstacle from high-strength cast iron in casting molds from loose sand:* pat. 139560 Ukrayina. IPC B22D 7/00, B22D 23/00, F41H 5/00. Publ. 10.01.2020, Bull. 1.
13. *The method of heat treatment of steel for armored lining plates:* pat. 64796 Ukrayina. IPC C21D 1/00. Publ. 25.11.2011, Bull. 22.

**V. S. Doroshenko**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-0070-5663

**I. A. Shalevska**, D. Sc. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0002-8410-7045

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine*

### **DESIGNING THE PRODUCTION OF SEGMENTS OF PROTECTIVE STRUCTURES BY MODERN METALLURGICAL TECHNOLOGIES**

**Summary.** The development of new technologies for the construction of protective structures of multifunctional purpose reflects the current need to improve measures for the protection of civilian human and material resources (and double -purpose), as well as to increase defense capability through structures, buildings, storage and shelter. The article concerns research and design development of metal structures for the field of construction of such structures, armor, and relevant to the technologies of erection of fortifications and armor obstacles. Construction structures made of metal compared to structures made of stone, reinforced concrete and trees have significant advantages that are proposed to be implemented by the use of a cast metal segment weighing up to 50 kg for the erection of protective structures. This solves the problem, which is the simple installation of such structures from segments, even in the field, and the possibility of variation of the structure of structures, for example, an arbitrary increase in their addition of segments or the formation in the structure of holes. Such a segment causes a slight collapsing ability to relax the structures. The segment is simple to pour in numerous even small foundry shops or sites, which can be converted to new casting technologies and strengthening of heat treatment for increasing the ratio of strength to segment mass. Also, by analogy with known patents, a variant of the design of the heat -processed segment of cast iron or steel with high mechanical properties due to the effect of self -aggregation during loading, which consists in partial absorption Increases metal strength in the deformation zone. For the production of lightweight segments, it is recommended to use the Lost Foam Casting Process.

**Key words:** protective structures, segment, castings, cast iron, heat treatment, Lost Foam Casting Process.

**For citation:** Doroshenko V. S., Shalevska I. A. Proektuvannia vyrobnytstva sehmentiv zakhysnykh sporud za suchasnymy metalurhiinymy tekhnolohiiamy [Designing the production of segments of protective structures by modern metallurgical technologies]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Collection 36. 2022. P. 476-486. [In Ukrainian]. DOI 10.52150/2522-9117-2022-36-476-486.

*Стаття надійшла до редакції збірника 27.10.2022 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*

*"Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії". 2022. Випуск 36  
"Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy". 2022. Collection 36*