

УДК 621.763

О. Р. ОНИСЬКО, канд. техн. наук, **О. М. БОГАЧЕНКО**,
Л. Я. РОП'ЯК, канд. техн. наук, Івано-Франківськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АРМУВАННЯ ТІЛ ОБЕРТАННЯ ГРАНУЛАМИ ЛЕГКИХ КАРБІДІВ У ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ

Описано технологічні аспекти і їх часткове аналітичне підтвердження стосовно процесу електрошлакового відцентрового армування твердосплавними гранулами густина яких є меншою від густини сталюї матриці. Серед аспектів технологічного процесу – застосування гальванічного покриття твердосплавних гранул з метою покращеного змочування останніх у сталюму розплаві, захист твердого сплаву від розчинення у сталі і збільшення питомої густини армуючих гранул. На думку авторів отримана композиція «сталюна матриця – гальванопокріті твердосплавні гранули» може бути застосована для якісного армування периферійної частини бурових інструментів у формі тіл обертання.

Описаны технологические аспекты и их частичное аналитическое подтверждение применительно к процессу электрошлакового центробежного армирования твердосплавными гранулами, плотность которых меньше плотности стальной матрицы. Среди аспектов технологического процесса – применение гальванического покрытия твердосплавных гранул с целью улучшенного смачивания последних в стальном расплаве, защита твердого сплава от растворения в стали и увеличение удельной плотности армирующих гранул. По мнению авторов полученная композиция «стальная матрица – гальванопокрытые твердосплавные гранулы» может быть применена для качественного армирования периферийной части буровых инструментов в форме тел вращения.

There are described the technological aspects and their partial analytical confirmation in relation to the process of centrifugal electroslag reinforcement by carbide granules with a density less than the density of the steel matrix. The aspects of the process include the application of the galvanic coating of carbide granules with a view to the improved wetting of the latter in the steel melt, the protection of a hard alloy from dissolving in the steel and increase the specific gravity of the reinforcing granules. According to the authors obtained composition "steel matrix & galvano-coated carbide granules" can be applied for the qualitative reinforcement of the peripheral part of boring tools which have the form of bodies of revolution.

© О. Р. Онисько, О. М. Богаченко, Л. Я. Роп'як, 2015

Вступ. Армовані твердим сплавом поверхні бурових інструментів, які експлуатуються в умовах абразивного чи ударно-абразивного навантажень є широко розповсюдженими у практиці нафтогазової індустрії, а також їх застосовують при проходженні тунелів і шахтних виробітків. Одним із способів армування є технологічний процес відцентрового армування, під час якого гранульований твердий сплав подається разом зі сталним розплавом у обертову ливарну форму, а під дією відцентрових сил гранули переміщуються до її країв. Упродовж кристалізації вилівка у периферійній його частині формується об'ємна композиція твердосплавних гранул і сталної матриці [1].

Актуальність проблеми. В силу різних обставин запропонований технологічний процес має ряд суттєвих недоліків. У першу чергу він потребує твердосплавного матеріалу густина якого значно перевищує густину сталного розплаву. По друге у процесі переміщення гранул у рідкому сталному середовищі відбувається їхня взаємодія, у результаті якої грануляція зменшуються, а стална матриця вбирає у себе надмірну кількість вуглецю, набуваючи надлишкової крихкості. Як результат процес вимагає дороговартісних витрат гранульованого карбиду вольфраму і при цьому не забезпечує достатньо стійку до викришування матрицю.

Метою даної роботи є визначення технологічних аспектів, що задовольнятимуть створення об'ємного композиційного утворення «стална зв'язка – легко-твердосплавні гранули» у периферійній області вилівка отриманого у процесі відцентрового електрошлакового лиття.

Аналіз останніх досліджень. Одним із способів уникнення вказаних вище недоліків є застосування електрошлакового відцентрового литва. Армований на своїй периферії вилівок отримують шляхом подачі твердосплавних гранул у розплав шлаку, який фактично є транспортним середовищем, що спричиняє відцентрове переміщення гранул, густина яких є більшою від густини шлаку, але може бути меншою від густини сталі [2, 3]. На рис. 1 показані вилівки отримані на базі лабораторного електрошлакового композиційного відцентрового обладнання ІФНТУНГ. Маса вказаних деталей досягає 1 кг. Діаметр 160 мм. Форма профілю відповідає профілю породоруйнівних дисків, що застосовували на бурових прохідних комбайнах типу «Robbins 151-191».



Рисунок 1 – Загальний вигляд лабораторних виливків отриманих у процесі електрошлакового відцентрового композиційного лиття

На рис. 2-4 схематично відображено означений вище технологічний процес. Спочатку із дозатора у шлак подається певна кількість гранульованого твердого сплаву, що потрапляє у рідкий шлак, що виливається із тигля у форму, що обертається (рис. 2). Під дією відцентрових сил гранули твердого сплаву переміщуються до периферії.

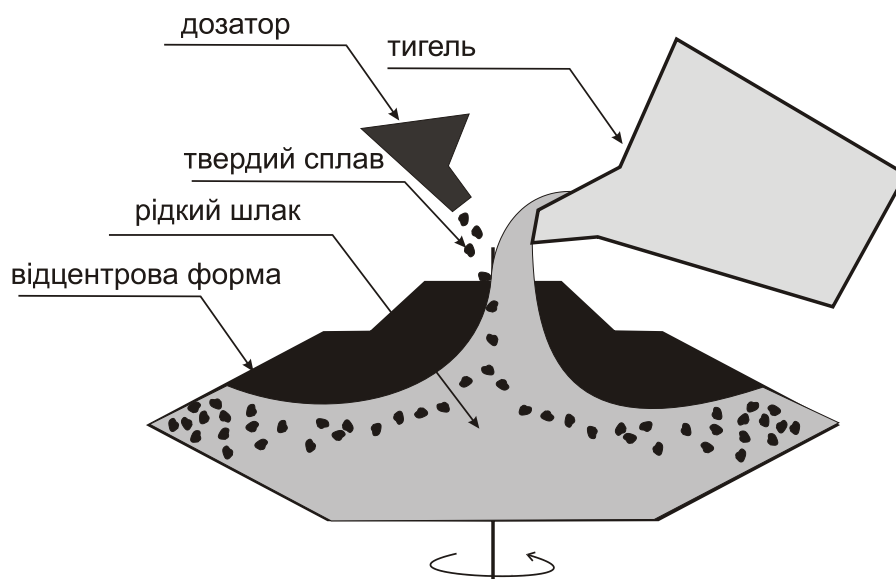


Рисунок 2 – Схема процесу подачі твердосплавних гранул у розплав шлаку

Наступним етапом вказаного технологічного процесу є подача із тигля сталю розплаву, що поступово витісняючи легкий шлак у верхню частину форми (рис. 3). У цей момент усі гранули зібрані на периферії у середовищі рідкого шлаку, густина якого менша за густина гранул.

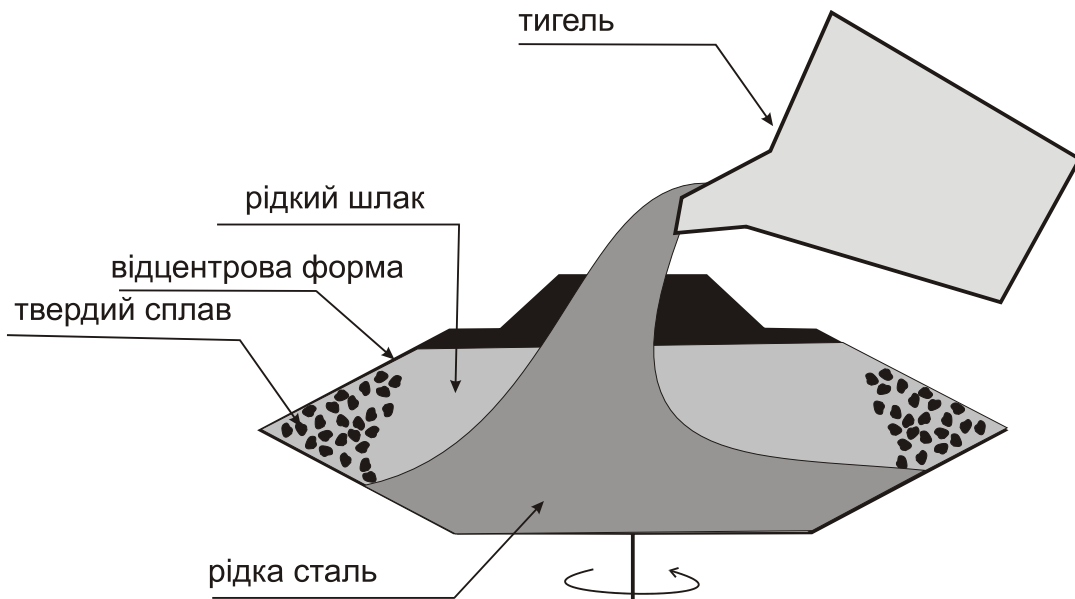


Рисунок 3 – Схема початку процесу подачі сталю розплаву у обертову форму

Поступово сталю розплав витісняє легший шлак до центра форми, при цьому гранули потрапляючи у середовище із більшою аніж у рідкої сталі густиною розпочинають доцентровий рух. Після кристалізації помітним стає менш щільне розміщення гранул у сталюній матриці, аніж це було у шлаковому середовищі (рис. 4).

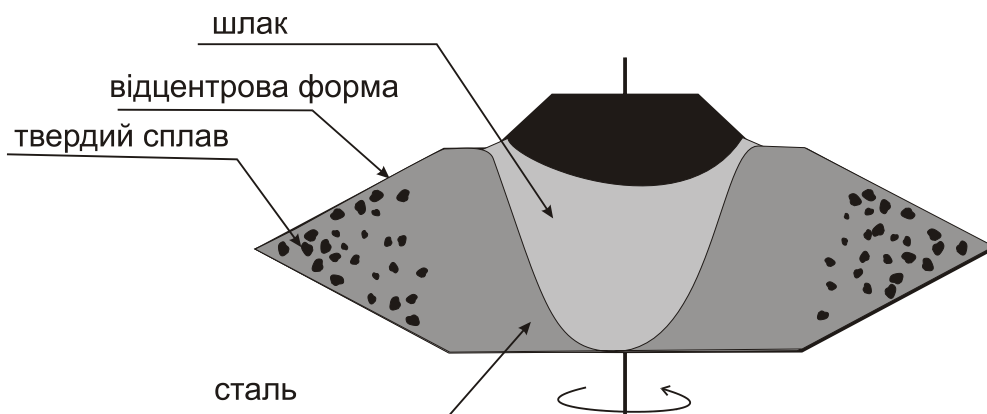


Рисунок 4 – Схема виливка із периферійною композицією «сталь-гранульований твердий сплав»

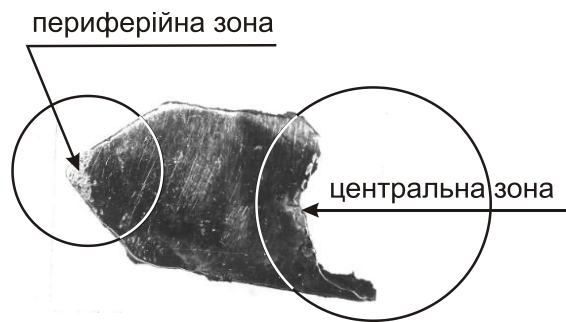


Рисунок 5 – Фрагмент виливка із відображеними відцентровою і доцентровою композиційними зонами

Окрім зменшення щільності розміщення відслідковується і зменшення величини самих гранул, що втратили свої розміри за рахунок термохімічної взаємодії із сталним розплавом. Причому кількість менших за розміром гранул збільшується в міру віддалення від периферії. Серед публікацій, що стосуються вказаного технологічного процесу є такі, в яких пропонується покриття твердосплавних гранул нікелем, або іншими гальванопокриттями, що унеможливило хімічний контакт твердого сплаву з розплавом сталі [3].

На рис. 5 показано фрагмент виливка із відображеними відцентровою (периферійною) і доцентровою (центральною) композиційними зонами. У роботі [2] представлена аналітична залежність величини доцентрового переміщення твердої частинки R у ньютонівській рідині:

$$R = C_1 e^{\left(m + \sqrt{m^2 + n^2}\right)t} + C_2 e^{-\left(m + \sqrt{m^2 + n^2}\right)t}, \quad (1)$$

де

$$C_1 = \frac{R_0 \left(m + \sqrt{m^2 + n^2}\right)}{2\sqrt{m^2 + n^2}},$$

$$C_2 = \frac{R_0 \left(m + \sqrt{m^2 + n^2} - m\right)}{2\sqrt{m^2 + n^2}},$$

де R_0 – радіус ливарної форми;

$$m = \frac{9\mu}{d^2 \left(\gamma_m + \frac{\gamma_p}{2} \right)},$$

$$n = \sqrt{\omega^2 + \left(\frac{\gamma_m - \gamma_p}{\gamma_m + \frac{\gamma_p}{2}} \right)},$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості сталюї рідини Н·см/м²;

d – діаметр гранули, м.

ω – кутова швидкість обертання форми, с⁻¹;

γ_m – питома густина твєрдосплавної гранули, Н/м³;

γ_p – питома густина сталюго розплаву, Н/м³.

Очевидним є те що величина доцентрового переміщення у сталюму розплаві R обмежуватиметься процесом кристалізації вилівка, що і слід аналітично підтвердити, враховуючи параметри грануляції.

Постановка проблеми. Задля забезпечення утворення композиційності у периферійній частині вилівка, слід установити необхідні параметри та аналітичні співвідношення густини твєрдого сплаву і густини гальванопокриття, та їх розмірів.

Аналітичні залежності, що визначають швидкість фронту і об'єму кристалізації. Враховуючи загальний вектор кристалізації від периферії до центру форми, можна описати динаміку процесу кристалізації через величину об'єму вилівка V , який кристалізувався з плином часу:

$$V = V_0 \left(1 - e^{-\frac{\pi}{3} n v^3 t^4} \right), \quad (2)$$

де V_0 – загальний об'єм композиційної (периферійної) частини вилівка, м³;

t – час, впродовж котрого кристалізувався об'єм вилівка V , с;

v – лінійна швидкість росту кристалів у переохолодженому розплаві, м/с;

$$v = \frac{1.124d}{t_0},$$

де t_0 - час до повної кристалізації вилівка, с;

n – швидкість зародження центрів кристалізації в об'ємі, $\text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$;

$$n = \frac{3.1}{t_0 d^3}.$$

Як уже йшлося раніше, для реалізації можливості локалізації гранул у потрібному об'ємі V , потрібно щоб фронт кристалізації випередив швидкість переміщення гранул у момент t , що відповідає часу заповнення гранулами цього об'єму. Для визначення потрібної величини x переміщення фронту кристалізації скористаємося схемою за рисунком 6. Об'єм периферійної зони можна визначити за формулою:

$$V = \frac{\pi h x}{3} (3R_0 - 2x), \quad (3)$$

Отже, знаючи конкретні розміри бурового інструменту R_0 і h (тобто вилівка), а також глибину армованої периферійної зони x (формула 3), можна визначити необхідний об'єм кристалізації за час t , який має бути менший чи дорівнювати часу на доцентрове переміщення гранул R (формула 1), яке співпадає з обраною глибиною армування x .

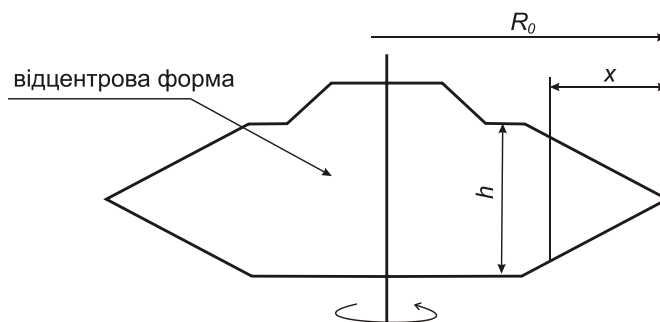


Рисунок 6 – Схема до розрахунку переміщення фронту кристалізації

Визначення потрібної густини гранул покритих нікелем або іншими матеріалами гальванічного покриття. Як уже йшлося у постановці задачі, бажано покрити твердосплавні гранули нікелем, задля захисту останніх від хімічної взаємодії твердого сплаву і сталюого розплаву.

Окрім того крайовий кут змочування у нікеля зі сталюю рідиною значно нижчий ніж у карбідів, а особливо легких карбідів і нітридів титану. Ще одним аспектом, що виникає при покритті гранул нікелем значної товщини є збільшення середньої густини гранул, що очевидно мусить привести до зменшення швидкості доцентрового їх переміщення у сталюму розплаві. На рис. 7 показано схему круглої гранули твердого сплаву діаметром d_1 і діаметром , що враховує гальванічне покриття – d_2 .

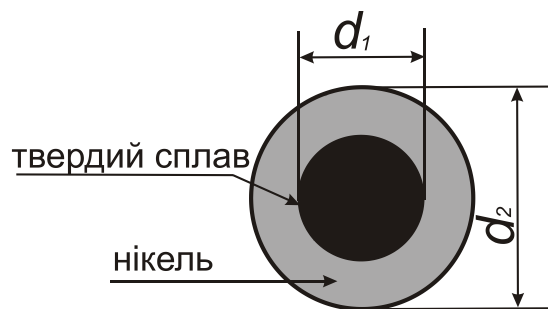


Рисунок 7 – Схема до розрахунку середньої густини круглої гранули

Для визначення середньої питомої густини покритої гранули можна застосувати формулу

$$\gamma_c = \frac{d_1^3}{d_2^3}(\gamma_1 - \gamma_2) + \gamma_2, \quad (4)$$

де γ_1 - питома густина твердого сплаву, Н/м³;

γ_2 - питома густина нікелю, чи іншого гальванопокриття, Н/м³.

Таким чином у формулу 1 замість величини γ_m слід поставити величину γ_c і тим самим досягти меншої величини x (доцентрового переміщення). Реальні гранули твердого сплаву є не круглими, а величина їх грануляції d_1 визначається за їх найменшим розміром, як це показано на рис. 8. Отже насправді об'єм гранули є більшим аніж об'єм кулі, діаметр якої d_1 . Можна вважати, що тіло гранули покрите нікелем, яке має величину грануляції d_2 є геометрично подібним до тіла непокритої гранули. Отже, лінійні параметри покритої гранули d_1 і d_2 є величинами, що гарантують, що об'єм некруглої гранули з цими параметрами є

більшим аніж відповідної за параметрами круглої. З цього маємо, що формула 4 дає гарантоване значення середньої питомої густини гранули з гальванічним покриттям.

Приклад розрахунку середньої питомої густини твердосплавної гранули. Густина сплаву ТВ4 (карбонітриди титану на залізній звязці) становить 6.3 г/см^3 , тобто питома його густина γ_1 дорівнює 630 Н/м^3 . Густина нікелю становить 8.1 г/см^3 , тобто питома його густина γ_2 дорівнює 810 Н/м^3 . Якщо розмір гранули твердого сплаву марки ТВ4 d_1 становить $0,4 \text{ мм}$, а товщина покриття - 30 мкм , тоді маємо покриту гранулу із діаметром $d_2=0,46 \text{ мм}$. Згідно із формулою 4 середня питома густина такої гранули становитиме 700 Н/м^3 , у той сам час як питома густина перегрітого сталю розплаву має значення 680 Н/м^3 , тобто у такому разі можна досягнути межі після якої доцентрове переміщення армуючи гранул не відбуватиметься.

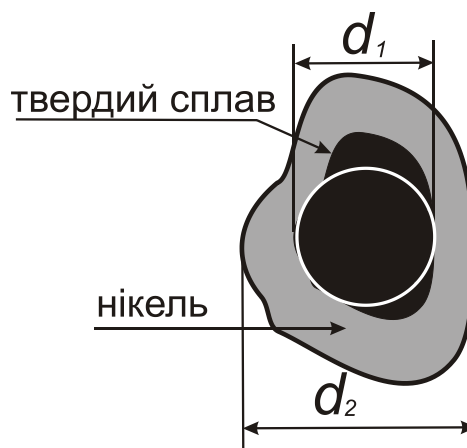


Рисунок 8 – Схема до розрахунку середньої густини некруглої гранули

Аспект розчинення гальванічного покриття. До переваг застосування нікелю, окрім його більшої ніж у сталі питомої густини, як уже згадувалося раніше є і його доволі низький крайовий кут змочування, що позитивно впливає на створення щільного зчеплення гранул із сталюю матрицею. На рис. 9 зображена схема розміщення покритих гранул у сталюї матриці. Але низький крайовий кут змочування спонукає до тісного контакту нікелю і рідкої сталі, що вочевидь призводитиме до часткового його розчинення у розплаві.

На рис. 10 показана схема розміщення гранул твердого сплаву нікелеве покриття яких частково розчинилося у сталій матриці створивши у останній леговану нікелем сталю перехідну зону.

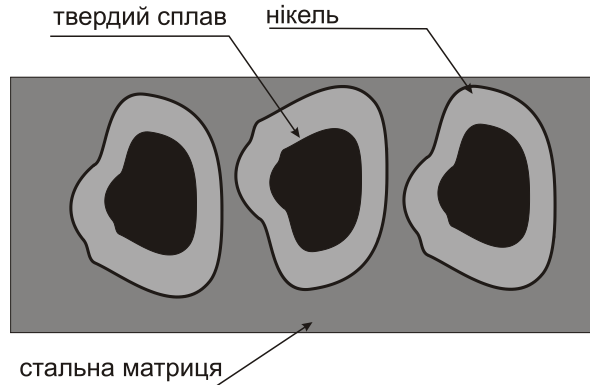


Рисунок 9 – Схема розміщення гранул у сталій матриці без часткового розчинення у ній гальванопокриття

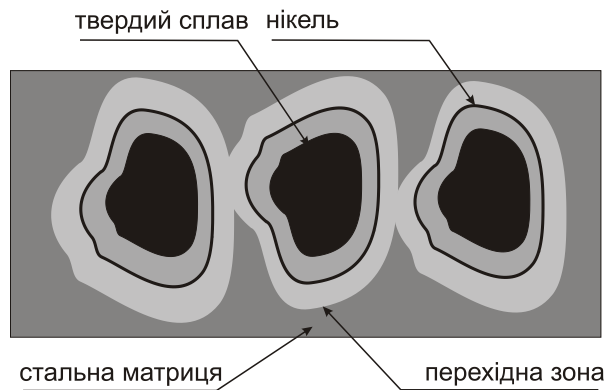


Рисунок 10 – Схема розміщення гранул у сталій матриці з частковим розчиненням у ній гальванопокриття

Очевидно, що розчинення певної кількості гальванопокриття призведе до зменшення середньої густини покритої армуючої гранули, аж до того, що може змінитися її положення внаслідок доцентрового переміщення. Швидкість розчинення у свою чергу залежатиме від швидкості переміщення гранули у розплав. Важливим є те, щоб не розпочинався процес розчинення власне твердосплавного компоненту, що призведе до його зменшення і значного збільшення крихкості сталюї матриці. На рис. 11 показана схема оголення твердосплавної частини композиту «сталю-твердий сплав», внаслідок абразивного спрацювання

“м’якої” сталевій матриці. Подальша експлуатація характеризуватиметься контактом із пороною власне виступаючих гранул, які надійно закріплені у пластичній матриці.

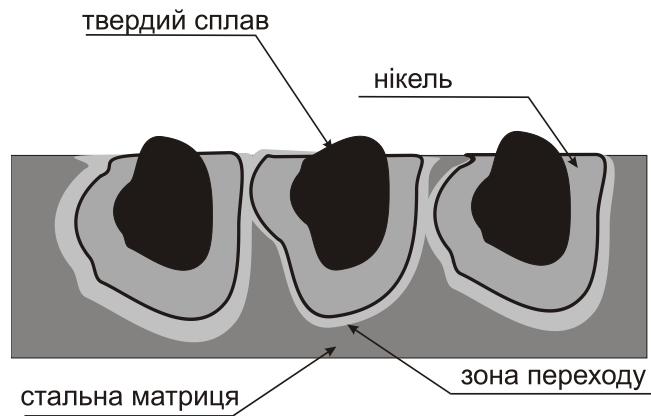


Рисунок 11 – Схема оголення сталевій зв’язки і гальванопокриття у процесі експлуатації із абразивним спрацюванням

Висновки.

1. Електрошлакове тигельне лиття у комплексі із відцентровим литтям уможливує застосування легких твердосплавних гранул для створення композиційної структури «сталевій – гранульований твердий сплав» у периферійній частині виливка.

2. Важливим технологічним аспектом цього процесу є застосування гальванопокриття твердосплавних гранул, що надає їм кращого змочування у сталевій розплаві, захищає твердий сплав від часткового його розчинення і збільшує питому густину армуючої гранули створеної на основі твердого сплаву, з питомою густиною меншою ніж у рідкої сталі.

3. До технологічних аспектів слід віднести процес часткового розчинення гальванопокриття у сталевій розплаві, що супроводжуватиметься зменшенням середньої питомої густини гранул, яке може привести до їх доцентрового зміщення на певну величину.

У подальших дослідженнях варто аналітично розглянути процес розчинення гальванопокриття гранул в умовах відцентрового лиття.

Список використаних джерел: 1. Кацов, К. Б. Способ получения армированных отливок : а. с. 685429 СССР (1978) : кл. В 22 D 19/02 / К. Б. Кацов, Ю. Н. Бугай,

М. А. Пятибратов, С. И. Кантор, О. М. Богаченко. 2. Онисько, О. Р. Разработка технологического процесса композиционного электрошлакового армирования дискового породоразрушающего бурового инструмента : Дис. ... канд. техн. наук; 05.16.04 – литейное производство, 05.02.08 – технология машиностроения / *О. Р. Онисько; Ивано-Франков. ин-т нефти и газа. – Ивано-Франковск., 1990. – 206 с.*
3. Бугай, Ю. Н. Способ центробежного объемного армирования : а. с. 1185733 СССР (1980) : кл. В 22 D 19/02 / *Ю. Н. Бугай, К. Б. Кацов, О. Р. Онисько.*

Bibliography (transliterated): 1. Касов, К. В., et al. Sposob poluchenija armirovannyh otlivok: a. s. No. 685429 USSR (1978), IPC B 22 D 19/02. Print.
2. Onis'ko, O. R. Razrabotka tehnologicheskogo processa kompozicionnogo jelektroshlakovogo armirovanija diskovogo porodorazrushajushhego burovogo instrumenta: Dys. ... kand. tehn. nauk. Ivano-Frankivsk, 1990. Print. 3. Bugaj, Ju. N., K. B. Kasov and O. R. Onis'ko. Sposob centrobezhnogo ob#emnogo armirovanija: a. s. No. 1185733 USSR (1980), IPC B 22 D 19/02. Print.