

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Омельченко Леонід Віталійович

УДК 621.793

ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ДЕТАЛЕЙ МОДИФІКОВАННЯМ ПОКРИТТІВ ВТОРИННОЮ
СИРОВИНОЮ

Спеціальність 05.02.01 – «Матеріалознавство»

(13 – Механічна інженерія)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ (Л.В. Омельченко)

Науковий керівник Скобло Тамара Семенівна, доктор технічних наук,
професор, Лауреат Державної премії України

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Омельченко Л.В. Підвищення експлуатаційної стійкості властивостей деталей модифікуванням покриттів вторинною сировиною. – Рукопис.

Дисертаційна робота представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка МОН України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота спрямована на підвищення якості і властивостей деталей при їх відновленні та експлуатації з використанням вторинної сировини, яка була спеціально одержана при утилізації певного набору боєприпасів, що завершили термін зберігання.

Відомо, що при внесенні в рідку ванну модифікуючи та мікролегуючі домішки суттєво знижують структуру утворення, яке можливо корегувати складом домішки, її часткою та параметрами технологічного процесу.

В останні роки особливу увагу приділяють домішкам, які включають наноструктурну алмазну фракцію, що не розчинюється при нанесенні покриттів, а відіграє роль мікроохолоджувачів, та суттєво знижує структуроутворення. Найбільш глибокі дослідження при нанесенні великих шарів покриття в університеті проводили на основі модифікування не магнітної частки шихти.

Представлена робота відрізняється тим, що вперше знайдені ефективні напрями використання магнітної складової шихти. Вона відрізняється формуванням дисперсних алмазних включень, які покриті кисневими плівками металів FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, Al₂O₃, CuO. Підвищена температура цих сполук не дозволяє ідентифікувати при дослідженнях складу шихти – зерен конгломерату тому їх аналіз, поведінки у експлуатації та склад дисперсних алмазів вивчали лише при різних параметрах та технологіях нанесення покриттів.

Метою роботи було підвищення експлуатаційних властивостей деталей відновленням їх зношеного шару модифікуванням магнітною складовою шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів.

Для реалізації поставленої мети було необхідно одержану при утилізації шихту поділити на фракції за розміром, а потім за складом, використовуючи магнітну обробку. Комплексними дослідженнями встановили, що магнітна фракція зерен конгломерату включає і частку не магнітної з наноалмазами та плівковими покриттями різних сполук комплексів. Тому для ефективного використання такої шихти було необхідно детально визначити вміст такої вторинної сировини для розробки новітніх технологій нанесення покриттів.

Дисертант є фахівцем в галузі матеріалознавства, виконував комплексні дослідження та використовував наукові підходи до одержання необхідних властивостей покриттів, що модифіковані шихтою.

В роботі аналізуються три нових методи одержання покриттів на деталі з різних матеріалів: низьковуглецевих, низьколегованих та дисперснозміцнених, в яких досягались необхідні властивості якості та ефективності у використанні. До них відносяться: підвищення споживчих властивостей; гальмування зміцнюючих фаз в відновлювальному покритті деталі та одноразове зміцнення і залікування дефектів. Для цього використовували різні технологічні підходи введення модифікуючої домішки в рідку ванну при наплавленні з попереднім її відпалом для корегування частки кисню також одноразово корегували і частку модифікуючої домішки, яка змінювалась в межах від 5,0 до 15,0% ваги електрода.

Стеновими та промисловими дослідженнями в умовах виробництва ДП «Завод імені В.О. Малишева» показана ефективність використання модифікуючої магнітної частки домішки для споживчих властивостей. Введення такої домішки підвищує зносостійкість отриманих покриттів до 25%, а зносостійкість відновлених таким методом деталей, котрі працюють у спряженні до 37%. Це досягається за рахунок створення вторинних кисневих захисних плівок, які формуються та оновлюються у період експлуатації. Така киснева плівка на поверхні тертя включає до 0,34% кисню.

Економічний ефект від впровадження технології відновлення 100 шт карданних валів, згідно розробленої технології та параметрів їх зміцнення досягає 187,5 тис.грн.

В роботі в перше одержана наукова новизна яка полягає у наступному:

Вперше:

- для модифікування одержали та використали магнітну частку детонаційної шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів;
- показана ефективність використання магнітної частки шихти при створенні вторинних структур у відновлюваному покритті, що забезпечує значне підвищення зносостійкості поверхонь тертя;
- гальмування спливання не металевих включень при наплавленні;
- досягнуто значне подрібнення структури;
- створення хвилястої перехідної зони зчеплення покриття з основою і зниження напружень у перехідній зоні;
- розроблені нові підходи для оцінювання змін у структуроутворенні при модифікуванні магнітною складовою детонаційної шихти, які дозволили виявити фазовий склад покриття та взаємодію складових.

Новизна розробок захищена 4 патентами України.

Практичне значення роботи полягає у наступному. На основі експериментальних і теоретичних досліджень отримані підстави для створення нових технологічних процесів підвищення споживчих властивостей покриттів при відновленні деталей з різних матеріалів та призначення.

Стендові та практичні випробування виконанні в умовах промислового виробництва ДП «Завод імені В.О. Малишева», підтвердили їх ефективність.

Нові технології відновлення деталей та підходи до їх реалізації використовуються у навчальному процесі при викладенні дисциплін «Технологічні системи ремонтного виробництва», «Нанотехнології в машинобудуванні та методологія наукових досліджень» а також «Матеріалознавство».

Ключові слова: Покриття електрода, шлікерне покриття, структуроутворення, технологічні параметри, неоднорідність, вторинна сировина, детонаційна шихта, наноалмази, модифікування, дисперсні домішки, наплавлення, відновлення, зносостійкість.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1.Применение детонационной шихты для модифицирования при восстановительной наплавке. / Омельченко Л.В. // Збірник тез доповідей Х Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 121

2.Применение вторичного сырья для модифицирования при восстановительной наплавке. / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Омельченко Л.В.// Промышленность в фокусе май №5 2016. С. 56-58.

3.Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов. / Скобло Т.С., Гончаренко О.О., Марков А.В., Омельченко Л.В., Телятніков В.В., Тупиченко С.В. //Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №6, 2016 м. Харків. С. 57-62.

4.Исследование влияния способа наплавки на свойства металла восстанавливаемой детали. / Скобло Т.С., Омельченко Л.В., Романюк С.П.//Вісник ХНТУСГ ім.П.Василенка. Випуск №183 2017року С.145-149.

5.Особенности структурообразования при модифицировании восстановленного слоя наплавкой. / А. А. Гончаренко, С. П. Романюк, А. С. Полянский, Л. В. Омельченко, В. В. Коломиец // Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №10, 2017 м. Харків. С. 20-28.

6.Повышение износостойкости упрочнённых и восстановленных деталей покрытием с применением модифицирования вторичным сырьём. / Скобло Т.С.,

Романюк С.П., Сидашенко А.И., Омельченко Л.В., Олейник А.К. // Проблеми трибології. Міжнародний науковий журнал №3 2017. С.51- 55.

7.Повышение стойкости деталей при восстановлении наплавкой и модифицированием. / Нанка А.В., Омельченко Л.В., Марков А.В. // Агротехника и энергообеспечение / Орловский ГАУ им.Н.В. Парахина – 2018. Т.18. №1. – С.16-26.

8.Модифицирование и микролегирование восстановительных покрытий / Л.В. Омельченко // Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №11, 2018 м. Харків. С. 301-310.

9.Особенности структурообразования при модифицировании покрытий для деталей из дисперсионно-упрочненных сталей / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк, А. А. Гончаренко, Л. В. Омельченко, В. А. Бантковский // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2019. -Т. 55, № 6. - С. 96-103. - С. 102-103

10.Теоретическая оценка формирования зерен конгломерата шихты / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, А. В. Захаров // Промышленность в фокусе. - 2019. - № 8. - С. 55-58. - С. 57-58.

11. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels / T. S. Skoblo, A. Sidashenko, S. Romaniuk, A. Goncharenko, L. Omelchenko, Vyacheslav Bantkovskiy // Materials Science. - 2020.

12.Склад детонаційної шихти з алмазною фракцією для модифікування покриттів. / Т. С. Скобло, С. П. Романюк, О. В. Сайчук, І. М. Рибалко, А. В. Захаров, Л. В. Омельченко // Промисловість в фокусі. - 2020. - № 11 (94). - С. 54-56.

13.Україна, МПК В22D 19/08 (2006.01) В22D 19/10 (2006.01).

Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні / Т. С. Скобло, О. І. Сидашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, І. М. Рибалко, О. О. Гончаренко, В. М. Заєць; власник: Т. С. Скобло. - № и 2017 01633; Заявл. 20.02.2017; Опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

14.Україна, МПК В23К 26/342 (2014.01) С04В 41/87 (2006.01). Комбінований спосіб модифікування для підвищення якості відновлення виробів / Т. С. Скобло, О. І. Сидашенко, О. І. Тришевський, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, В. М. Власовець,

О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № и 2017 02218; Заявл. 09.03.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

15.Україна, МПК В29С 41/16 (2006.01), С23С 8/00, В23Р 6/04 (2006.01), В22D 19/10 (2006.01). Спосіб відновлення деталей дисперснозміцнених або із значним скупченням неметалевих включень сталей / Т. С. Скобло, О. В. Нанка, О. І. Сідашенко, Л. В. Омельченко, С. П. Романюк, О. О. Гончаренко, Є. А. Сатановський, О.К. Олійник, О. В. Марков ; власник. Т. С. Скобло. - № и 201805772; Заявл. 23.05.2018; Опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

16.Україна, МПК (2006) В23Р 6/04 (2006.01) В23К 9/00 В23К 35/22 (2006.01) С23С 8/00. Спосіб підвищення експлуатаційної стійкості спряжень при відновленні деталей / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, О. О. Гончаренко, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № а 201812861; Заявл. 26.12.2018; Опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.

ABSTRACT

Omelchenko LV Improving the operational stability of the properties of parts by modifying coatings with secondary raw materials. - Manuscript.

The dissertation is presented for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.02.01 - Materials Science - Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation work is aimed at improving the quality and properties of parts during their restoration and operation with the use of secondary raw materials, which was specially obtained during the disposal of a certain set of ammunition that has completed its shelf life.

It is known that when introduced into a liquid bath, modifying and microalloying impurities significantly reduce the structure of the formation, which can be adjusted by the composition of the impurity, its proportion and parameters of the technological process.

In recent years, special attention has been paid to impurities that include nanostructured diamond fraction, which does not dissolve during coating, but plays the role of microcoolers and significantly reduces the structure. The most in-depth research in

the application of large layers of coating at the university was conducted on the basis of modification of the non-magnetic particle of the charge.

The presented work differs in that for the first time effective directions of use of a magnetic component of a charge are found. It differs in the formation of dispersed diamond inclusions, which are covered with oxygen films of metals FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, Al₂O₃, CuO. The elevated temperature of these compounds does not allow to identify in studies of the composition of the charge - grains of the conglomerate, so their analysis, operating behavior and composition of dispersed diamonds were studied only at different parameters and coating technologies. The aim of the work was to increase the performance properties of parts by restoring their worn layer by modifying the magnetic component of the charge with a diamond fraction from the disposal of a certain set of ammunition.

To achieve this goal, it was necessary to divide the mixture obtained during disposal into fractions by size, and then by composition, using magnetic treatment. Complex studies have shown that the magnetic fraction of the conglomerate grains includes a non-magnetic fraction with nanodiamonds and film coatings of various compounds of the kits. Therefore, for the effective use of such a charge, it was necessary to determine in detail the content of such secondary raw materials for the development of the latest coating technologies. The dissertation is a specialist in the field of materials science, performed complex research and used approaches to obtain the necessary properties of coatings with a modifying charge.

The paper analyzes three new methods of obtaining coatings on parts made of different materials: low-carbon, low-alloy and dispersion-strengthened, which achieved the required properties of quality and efficiency in use. These include: improving consumer properties; braking of the strengthening phases from the renewable part to the coating and one-time strengthening and healing of defects. For this purpose, various technological approaches were used to introduce the modifying impurity into the liquid bath during surfacing with its preliminary annealing to adjust the oxygen content

Bench and industrial research in terms of production of SE "Plant named after VO Malysheva " shows the efficiency of using a modifying magnetic particle impurity for consumer properties. Its introduction increases not only the wear resistance of

coatings when applied up to 25%, but also parts that work in conjunction up to 37% and this is achieved by creating secondary oxygen protective films that are formed and renewed during operation. This oxygen film on the friction surface includes up to 0.34% oxygen. The economic effect from the introduction of the technology of restoration of 100 pieces of cardan shafts, according to the developed technology and parameters of their strengthening reaches 187.5 thousand UAH.

Keywords: modification during surfacing, hardening coatings, structure formation, heterogeneity, phase interaction, properties, service life, diamond fraction.

List of applicant's publications.

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Application of detonation charge for modification at reductive surfacing. / Omelchenko LV // Collection of abstracts of the X All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Improving the reliability of machinery and equipment." - Kirovograd: KNTU, 2016. P. 121
2. Application of secondary raw materials for modification at reductive surfacing. / Skoblo TS, Sidashenko AI, Goncharenko AA, Omelchenko LV // Industry in focus May 2016.5 2016. P. 56-58.
3. Methods of research of structure formation at restoration of details with use of modifiers. / Skoblo TS, Goncharenko OO, Markov AV, Omelchenko LV, Telyatnikov VV, Tupichenko SV // Scientific journal: Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. №6, 2016 Kharkiv. Pp. 57-62.
4. Investigation of the influence of the surfacing method on the metal properties of the restored part. / Skoblo TS, Omelchenko LV, Romanyuk SP // Bulletin of KhNTUSG named after P. Vasylenko. Issue №183 2017 P.145-149.
5. Features of structure formation at modification of the restored layer by surfacing. / AA Goncharenko, SP Romanyuk, AS Polyansky, LV Omelchenko, VV Kolomiets //

Scientific journal: Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. №10, 2017, Kharkiv. Pp. 20-28.

6. Increase of wear resistance of the strengthened and restored details by a covering with application of modification by secondary raw materials. / Skoblo TS, Romanyuk SP, Sidashenko AI, Omelchenko LV, Oleynik AK // Problems of tribology. International scientific journal №3 2017. P.51- 55.

7. Increase of durability of details at restoration by surfacing and modification. / Nanka AV, Omelchenko LV, Markov AV // Agrotechnics and energy supply / Orel State Agrarian University named after NV Parakhina - 2018. Vol.18. №1. - P.16-26.

8. Modification and microalloying of restorative coatings / L.V. Omelchenko // Scientific journal: Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. №11, 2018 Kharkiv. Pp. 301-310.

9. TS Skoblo, AI Sidashenko, SP Romanyuk, AA Goncharenko, LV Omelchenko, VA Bantkovskii. // Physico-chemical mechanics of materials. - 2019. -T. 55, № 6. - P. 96-103. - P. 102-103

10. Theoretical assessment of grain formation of the charge conglomerate / TS Skoblo, AI Sidashenko, SP Romanyuk, LV Omelchenko, AV Zakharov // Industry in focus. - 2019. - № 8. - P. 55-58. - P. 57-58.

11. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels / T. S. Skoblo, A. Sidashenko, S. Romaniuk, A. Goncharenko, L. Omelchenko, Vyacheslav Bantkovskiy // Materials Science. - 2020.

12. Composition of detonation charge with diamond fraction for modification of coatings. / TS Skoblo, SP Romanyuk, OV Saychuk, IM Rybalko, AV Zakharov, LV Omelchenko // Industry in focus. - 2020. - № 11 (94). - P. 54-56.

13. Ukraine, IPC B22D 19/08 (2006.01) B22D 19/10 (2006.01). TS Skoblo, OI Sidashenko, SP Romanyuk, LV Omelchenko, IM Rybalko, OO Goncharenko, VM Zayets; owner: TS Skoblo. - № in 2017 01633; Application 20.02.2017; Publ. 26.06.2017, Bull. № 12.

14.Ukraine, IPC B23K 26/342 (2014.01) C04B 41/87 (2006.01). TS Skoblo, OI Sidashenko, OI Trishevsky, SP Romanyuk, LV Omelchenko, VM Vlasovets, OD Martynenko ; owner TS Skoblo. - № in 2017 02218; Application 09.03.2017; Publ. 12/26/2017, Bull. № 24.

15.Ukraine, IPC B29C 41/16 (2006.01), C23C 8/00, B23P 6/04 (2006.01), B22D 19/10 (2006.01). TS Skoblo, OV Nanka, OI Sidashenko, LV Omelchenko, SP Romanyuk, OO Goncharenko, Ye. Method for restoration of parts of dispersion-strengthened or with significant accumulation of non-metallic steel inclusions. A. Satanovsky, OK Oliynyk, OV Markov; owner. TS Skoblo. - № u 201805772; Application 23/05/2018; Publ. 10/10/2018, Bull. № 19.

16.Ukraine, IPC (2006) B23P 6/04 (2006.01) B23K 9/00 B23K 35/22 (2006.01) C23C 8/00. TS Skoblo, OI Sidashenko, SP Romanyuk, LV Omelchenko, OO Goncharenko, OD Martynenko; owner TS Skoblo. - 2018 a 201812861; Application 12/26/2018; Publ. 11/11/2019, Bull. № 21.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ПРИ МОДИФІКУВАННІ.....	20
1.1. Використання модифікування в сталеплавильному і ливарному виробництві	20
1.2. Мікролегування відновлюючих покриттів	34
1.3. Модифікування при відновленні та зміцненні зношених поверхонь деталей	36
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	47
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
2.1. Методологія наукових досліджень	50
2.2. Матеріали та методики досліджень	52
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	54
РОЗДІЛ 3 ВТОРИННА СИРОВИНА З АЛМАЗНОЮ ФРАКЦІЄЮ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ.....	55
3.1. Новий спосіб одержання детонаційної шихти для модифікування з алмазною фракцією	56
3.2. Розподіл детонаційної шихти за фракціями та властивості покриття при наплавленні	63
3.3. Теоретична оцінка формування конгломерату шихти для модифікування покриттів	69
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	75
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	78
4.1. Відновлення деталей з дисперснозміцнених сталей або зі значним скупченням неметалевих включень	78
4.2. Розробка технологій підвищення властивостей спряжень	86

4.3. Комбінований спосіб модифікування при відновлені деталей	92
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	96
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБОК В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА. ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ	99
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	104
ВИСНОВКИ	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	110
ДОДАТКИ	126

ВСТУП

Актуальність теми. Для підвищення якості металу виробів використовують крім легуючих домішок і модифікуючи суміші, які складаються із різних компонентів, що зумовлюють створення відновлювальних фазових складових та змінюють умови кристалізації. Такий підхід забезпечує корегування структурою стану металу і отримання при подальших технологічних обробках необхідних властивостей виробів.

Вміст компонентів домішок для модифікування виробів підбирають при одержанні виробів різними методами, в залежності від необхідності забезпечення їх конкретних властивостей при одержанні виробів різними методами.

В останні роки особлива увага приділяється маловитратним технологіям при одержанні виробів. Одним із напрямків є використовуються для модифікування вторинної сировини це - модифікування відновлювальних покриттів шлаками доменного виробництва, золою від спаленого вугілля ТЕЦ та шихтою отриманою при утилізації боєприпасів.

Новітніми є дослідження відновлюючих покриттів модифікованих нано- та дисперсними алмазами, які отримані статистичним навантаженням, динамічним та детонаційним методами. Основним недоліком алмазів з шихтових матеріалів є їх схильність до розпаду з формуванням графіту при навіть невеликому періоді зберігання. Одержання більш стабільних алмазних фракцій досягається багаторазовою детонацією, але це зумовлює високу коштовність стосовно їх отриманню.

У ХНТУСГ імені Петра Василенка на протязі останніх років, разом зі іншими спеціалістами відповідного профілю, проводять дослідження по одержанню шихти з алмазною фракцією шляхом утилізації певного набору боєприпасів. Така шихта містить нано- та дисперсні алмази, які показали високу стабільність при відносно тривалому зберіганні. Виходячи зі складу формуючих фаз у такій шихті, на першому етапі раніш виконаних досліджень використовували лише не магнітну її фракцію. У виконаних в роботі дослідженнях в перше проводили пошук нових методів і напрямів використання магнітної частки такої шихти. Вперше

запропонований напрямок досліджень важливий тому, що може забезпечити нові підходи для ефективного модифікування покриттів з різних матеріалів, які працюють при різних умовах експлуатації. Виконані дослідження сприяють розширенню використання відходів вторинної сировини, забезпечують покращення експлуатаційних властивостей відновлених деталей тому є важливими та актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до держбюджетної тематики ХНТУСГ ім. Петра Василенка та згідно діючих програм:

- "Дослідження, наукове обґрунтування та впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, нових матеріалів і технологічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу" (ДРО109U000362) у період 2009-2014рр.;

- "Утримання і застосування детонаційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей" (ДРО117U 004157) у період 2014-2017рр.

Мета та завдання досліджень.

Підвищення експлуатаційних властивостей деталей відновленням їх зношеного шару модифікуванням магнітною складовою детонаційної шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні завдання:

- виконали аналіз відомих літературних джерел, для оптимального модифікування розплавленого металу та оцінили їх вплив на досягнення відновлювальних властивостей;

- одґрунтували можливість використання різних типів домішок з вторинної сировини для модифікування відновлюючих шарів деталей;

- розробили методологічний підхід та провели експериментальні дослідження для розробки процесу нанесення покриттів стосовно різних матеріалів і умов забезпечення властивостей деталей;

- виконали статистичний аналіз складу зерен конгломерату шихти для попереднього прогнозування ефективного її використання;

- теоретично оцінили якісний та кількісний вміст компонентів та фаз при структуроутворенні зерен конгломерату і встановили зв'язок між фазами, що формуються;

- обґрунтували основні параметри розробки нових технологій відновлення деталей для конкретних умов використання;

- дослідили вплив алмазної фракції та зерен магнітної шихти на технологічні процеси виробництва і експлуатацію;

- виконали випробування розробок та оцінили їх економічну ефективність.

Об'єкт досліджень. Процеси нанесення покриттів при відновленні та зміцненні робочої поверхні деталей при експлуатації.

Предмет досліджень. Підвищення експлуатаційної стійкості покриттів при їх модифікуванні вторинною сировиною.

Методи досліджень. В дослідженнях використовували сучасні експериментальні та теоретичні методи, методики і обладнання. Оцінювали зміну структуроутворення при модифікуванні вторинною сировиною від утилізації певного набору боєприпасів, у яких закінчився термін зберігання. Для прогнозування можливості та ефективності її використання, при відновленні деталей, вивчали якісний та кількісний склад одержаних зерен конгломерату. Оцінку структуроутворення проводили шляхом використання металографічної та електронної мікроскопії, та оптико-математичного методу.

Властивості покриттів оцінювали згідно вимірів мікротвердості і коерцитивної сили, а також іспитами на знос в умовах стендових випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше:

- для модифікування одержали та використали магнітну частку детонаційної шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів;

- показали ефективність використання магнітної частки шихти для створення вторинних структур на поверхні тертя при експлуатації відновлюваного покриття;

- забезпечили гальмування переміщення включень у ванні при наплавленні;
- подрібнення структури та підвищення властивостей; створення хвилястої перехідної зони зчеплення покриття з основою і зниження напружень у перехідній зоні;
- розроблені нові підходи для оцінювання змін у структуроутворенні при модифікуванні магнітною складовою детонаційної шихти, які дозволили виявити фазовий склад покриття та взаємодію складових.

Отримало подальший розвиток уявлення про вплив магнітної частки шихти мікролегуючих і модифікуючих домішок на структуроутворення і властивості покриттів:

- особливості використання магнітної фракції шихти при нанесенні покриття.

Удосконалено склад шихти, що використовується як модифікуюча домішка, технологію з урахуванням особливостей впливу її складу на структуроутворення та властивості покриттів.

Новизна розробок технології відновлення деталей захищена патентами України.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі теоретичних, та експериментальних досліджень надано рекомендації по використанню магнітної складової детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, яка відрізняється тим, що вона містить більше тонких кисневих включень заліза (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4), які покривають дисперсну алмазну фракцію. Одночасно у конгломератах зерен такої шихти є і наноалмази з пластичними покриттями, що подрібнюються в процесі багаторазової детонації. Враховуючи цю особливість запропоновані додаткові напрями використання магнітної частки шихти при модифікуванні відновлюючих покриттів.

Показали, що використання наведених модифікуючих домішок при запропонованій технології відновлення, забезпечує гальмування дисперсно зміцнених домішок з основного металу, та дозволяє прогнозувати властивості покриття.

Встановлено що шихта, яка містить дисперсну алмазну фракцію, при її внесенні в рідку ванну, ефективна для використання у деталях, що працюють в умовах спряження. Це досягається тим, що така фракція при терті в процесі роботи за рахунок деформації подрібнюється, та її частки довше зберігаються у порожнинах контактуючих поверхонь, а потім поступово заміщують зношені одночасно формуючи вторинні захисні кисневі плівки.

Розроблено новий комбінований метод модифікування. Обґрунтована можливість використання комбінованого метода модифікування рідкого розчину одноразово для відновлення покриттів та заварювання дефектів. Метод полягає у тому, що дефекти, які утворилися при експлуатації, можливо ліквідувати заваркою при нанесенні шлікерного покриття локально на місце їх розташування. В залежності від об'єму ванни розплавленого металу, який співвідноситься з розміром дефектної зони, доцільно використовувати частку домішки від 5,0 до 12% у вигляді шлікерного покриття. Після відновлення дефектів слід наносити покриття з електродом з відповідною обмазкою в якій оптимальна частка домішки складає від 5-7% , що коригується коефіцієнтом анізотропії.

Виконані дослідження згідно використання детонаційної шихти (магнітної та не магнітної фракції), отриманої від утилізації певного набору боєприпасів, пройшли стендові випробування на ДП "Завод імені В.О. Малишева" де підтверджена їх ефективність.

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі при вивченні дисциплін «Технологічні системи ремонтного виробництва», «Нанотехнології в машинобудуванні та методологія наукових досліджень» а також «Матеріалознавство».

Особистий внесок здобувача. Експериментальні та теоретичні дослідження, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно та викладенні у роботах [1-16]. В дослідженнях опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: виконання експериментів [1,2]; теоретичний опис конгломератів фаз у шихті від утилізації боєприпасів [4,5,10]; обґрунтовані нові технології одержання покриттів та підвищення експлуатаційної стійкості деталей з вуглецевих, низьковуглецевих та

дисперснозміцнених сталей [14,15,16]; встановлений вплив способу та параметрів модифікування на досягнення різних властивостей [3,6,7,8,9,11,12,13,]; розроблено новий підхід до виявлення вмісту у конгломератах шихти взаємодії фаз при детонації і підходи до виявлення алмазних фракцій та їх покриттів.

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень роботи розглядалися та обговорювалися на Міжнародних наукових конференціях: "Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК" (Мінськ, 4-6 червня 2014р.); «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» (м. Харків, ХНТУСГ, 20-21 березня 2014р., 19-20 березня 2015р., 24-25 березня 2016р.); VIII Міжнародна конференція молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» (Київ, 20-22 травня 2015р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 12-ти наукових виданнях України; 2 у – закордонних ; 1 – увійшла до ресурсу Skopus; отримано 4 патенти на винаходи України (Додаток А).

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 120 сторінки, в тому числі додатки на 4 сторінках. Обсяг основного тексту становить 116 сторінок, 18 рисунків, 21 таблиць. Список нараховує 165 використаних джерел, які викладенні на 12с.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ПРИ МОДИФІКУВАННІ

Модифікування відноситься до процесів активного регулювання первинної кристалізації, які визначаються дисперсністю домішок що вводяться в рідкий розчин та формуються з невеликих концентрацій елементів або їх з'єднань [1-3]. Модифікування забезпечує подрібнення макро- і мікроструктури первинних кристалів; змінює їх форму, а також форму часток неметалевих включень і їх розподіл. Модифікування металів виконують декількома способами:

- введенням в рідкий розчин домішок-модифікаторів;
- коригуванням технологічних параметрів за рахунок зміни температури розплаву, попереднього його охолодження при переливанні, зміною швидкості кристалізації, а також додатковим впливом різних чинників: ультразвуку, електромагнітного перемішування;
- комбінованими способами, що поєднують вищевикладені.

За природою впливу модифікатори можна поділити на три види:

Модифікатори 1-го роду впливають на структуру за рахунок зміни енергетичних характеристик (енергія активації і поверхневий натяг), зародження нової фази. Модифікатори 2-го роду, сприяють зародженню, змінюють структуру, впливаючи на неї. Модифікатори 3-го роду - мікроохолодильники (інокулятори - знижують температуру рідкого металу і підвищують швидкість кристалізації, гальмуючи тим самим розвиток ліквіації компонентів [4,5]).

1.1 Використання модифікування в сталеплавильному і ливарному виробництві

Відповідно до джерел [6-10], найбільше застосування отримали модифікатори 1-го роду. До них відносять домішки які, необмежено розчинюються в рідкій фазі і незначно у твердій, (Частка таких домішок становить (0,001 ... 0,1%). Від чого? Ці домішки, в свою чергу, можна поділити на наступні типи: такі, що не змінюють

поверхневі властивості фаз, та такі, що кристалізуються і змінюють поверхневий натяг на межі розплав-кристал. Модифікатори першого типу можуть гальмувати зростання твердої фази тільки за рахунок концентраційного бар'єру на межі розподілу [7]. При цьому не відбувається зміни енергетичних характеристик процесу. Домішки другого типу, знижують поверхневий натяг на межі розплав-твердий розчин і концентруються на поверхні кристалів (дендритів) [8]. Введення модифікаторів 1-го роду супроводжується зміною поверхневого натягу і енергії активації в протилежних напрямках, одночасно відповідаючи подрібненню макро- і мікроструктури, комплексно на них впливає [9-10]. Модифікатори 1-го роду приведені в табл.1.1. Дані по їх змісту, стосовно різних марок сталі розглянуті в табл.1.2.

Мікродомішки титану, створюючи дисперсні карбіди, нітриди, кабонітриди збільшують число центрів кристалізації, подрібнюють зерно в сталі.

Також на параметри кристалізації і макроструктуру можуть впливати модифікатори 2-го роду (нерозчинні). Цей вплив пов'язаний з контактною дією на процес зародження центрів кристалізації. При введенні в рідкий розчин нерозчинної домішки з властивостями, близькими до металу, що кристалізується, це супроводжується істотним зниженням інтервалу метастабільного стану і подрібненням макрозерн. Такі домішки називають ізоморфними. Звичайний вміст модифікаторів цього типу складає менше 0,1 %[5].

В роботах [6-16] представлені рекомендації для вибору нерозчинних домішок-модифікаторів з найбільшим їх впливом для досягнення необхідних властивостей:

- використання тугоплавких компонентів, що утворюють в розплаві нову фазу;
- частки твердої фази і модифікуючої домішки, які повинні відповідати структурному і розмірному принципам;
- дисперсні частки с більшою сумарною поверхнею розділу фаз та, які співвідносяться за розмірами з кластерами порядку 1-10 нм;

- домішки металічні зі спеціальними властивості (хімічним зв'язком);
- порошкові композиції, які мають стійкі хімічні з'єднання ендogenousного походження, що взаємодіють з одним із компонентів або основою сплаву.

Таблиця 1.1 – Модифікатори, що використовуються для різних металів і сплавів (1-го роду)

Метал (сплав)	Модифікатор	Примітка
	Бор, РЗМ, церій, кальцій, магній, лантан, цирконій, літій, барій, уран	
Алюміній і сплави алюмінію з кремнієм (силуміни)	Натрій (0,006-0,012%), калій, літій, вісмут, сурма 0,1-0,3%, стронцій 0,01-0,05% (сурма і стронцій - модифікатори тривалої дії), суміш солей (0,1% натрію і 2% суміші фтористого і хлористого натрію)	Переохолодження до 15°C Подрібнення евтектики натрієм, стронцієм. Пластинчата форма кристалів кремнію переходить в компактну розміром 2-5 мкм
Мідь, мідні сплави без заліза, мідні сплави із залізом	Олово, сурма, ванадій, цирконій, молібден, титан, бор, вольфрам	
Чавун	Магній, кремній, кальцій, церій	
Чавун високоміцний з кулястим графітом	Первинне модифікування сотими долями магнію або церію плюс вторинне (що графітизує) модифікування феросиліцієм ФС75 для відвертання появи в чавуні структурновільних карбідів	Формування кулястого графіту
Ковкий чавун, що підлягає термообробці	Малі домішки вісмуту, сурми або олова	
Магнієві сплави, що містять алюміній	Вуглецевмісні речовини (0,3-0,6%), хлорне залізо, крейда, мармур, магнезит, гексахлоран. Перегрівання розплаву с попередньою витримкою.	
Магнієві сплави, що не містять алюміній	Цирконій 0,5-0,7% кальцій 0,1-0,2%	

Крім того важливо, щоб домішки формували з основним металом сплаву інтерметаліди, евтектику, та інші з'єднання.

Таблиця 1. 2 – Модифікатори, що використовуються для різних марок сталі

Марка сталі	Модифікатори	Кількість добавки в %
20Л	Титан	0,75
У12	Церій	0,50
У12	Титан	0,25
40ХЛ	Титан	0,50
30ХНЗМ	Бор	0,50
1Х1 8Н9	Титан	0,50
1Х1 8Н9	Цирконій	0,25

Модифікатори 2-го роду які часто використовують приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Модифікатори 2-го роду

Тип сплаву	Модифікатор	Ступень впливу
Алюмінієві	Хлористий натрій, титан, ванадій – до 0,15%, цирконій, бор	Формують тугоплавкі з'єднання: $TiAl_3$, $ScAl_3$, Val_6 , $ZrAl_3$, TiB_2
Заевтектичні силуміни	Фосфор 0,05-0,1% або сірка	Домішки формують центри кристалізації (фосфід алюмінію - AlP), подрібнене зерно
Сталі	Алюміній, титан	Утворюють тугоплавкі з'єднання Al_2O_3 , TiN
Сірий чавун з пластичним графітом	Графітизирующий модифікатор - кремній; модифікатори що стабілізують- олово, мідь, сурма та ін.	Силикокальцій СК30 (0,3-0,6 %) або феросиліцій ФС75 (0,5-0,8 % від ваги чавуну). Використовують для подрібнення графіту і зменшення схильності чавуну до відбілювання

Спадковий тип домішок в металах[17-22] відрізняється тим, що вони потрапляють в рідкий розчин з шихтою, яка піддавалася попередній кристалізації (наприклад, лом, відходи виробництва, чушки). Ці домішки не мають структурної подібності зі сплавом, що кристалізується, але при попередній кристалізації вони

набули певних властивостей і створюють тверду підкладку для зародження нових кристалів. Спостереження зумовлено тим, що в попередній період кристалізації між частками цієї домішки і твердою фазою речовини проявляється молекулярне контактування пограничних шарів, що мають структурну схожість. Якщо температура плавлення цих часток вища за основні матричні кристали, то після їх розплавлення на поверхні домішок зберігається відмічений пограничний (перехідний) шар. Це забезпечує перетворення вказаних часток домішки на активні центри кристалізації. В результаті можлива їх роль в подрібненні структури подібно до впливу модифікаторів 2-го роду[23-28].

У останні 10-15 років виявлені нові розробки [29-33] у напрямках використання нових галузей модифікування сплавів, які спрямовані на управління структурою і властивостями відливання, зливків за допомогою явища спадковості.

Залежно від завдань, що стоять, застосовують і комплексні модифікатори [34-38] що залежить від ряду чинників.

Показано, що спільна дія двох і більше компонентів посилює ефект, що отримується при використанні тільки одного модифікатора. Це пов'язано з розглянутим вище зародженням центрів кристалізації на нерозчинних домішках в рідкій фазі з дифузійним переохолодженням.

При використанні комплексних модифікаторів створюється можливість мінімізувати зміст кожного з його компонентів, що полегшує виконання умов обмеження складу сплаву по домішках.

Поєднання різних типів модифікаторів посилює ефект і створює можливість отримання особливо дрібних і спеціальних структур.

Згідно даних цих літературних джерел розрізняють комплексні модифікатори трьох типів :

- що рафінують, містять активні елементи Mn, Si, Ca, Mg, Al, PЗМ та ін.;
- зміцнюючі карбідами (борід, нітрид), які формуються в сплаві в при взаємодії відповідних елементів і це сприяє дисперсійному зміцненню основи;

- ті що мають рафінуючий та зміцнюючий вплив, який в результаті дії активних елементів і з'єднань подрібнюють структуру металу і зменшують вміст шкідливих домішок і неметалічних включень в сплаві.

Модифікатори, що містять такі активні елементи, як РЗМ, Ва, Са, є ефективним засобом зміни природи і форми неметалевих включень, отримання найбільш прийняттого типу оксидних включень.

Отримало застосування модифікування сталей [39-44] нітридами ванадію, титану, цирконію, алюмінію шляхом введення їх у вигляді спеціальних лігатур або азотованих феросплавів. В результаті в сталі при загартуванні і подальшій відпустці виділяються нітридні і карбонітридні дисперсні включення. При модифікуванні конструкційних сталей нітридом ванадію відбувається подрібнення аустенітного зерна на 3-4 бали, підвищення пластичності, ударної в'язкості і міцності.

При модифікуванні сталі комплексними сплавами є важливим і той факт, що паралельно з подрібненням структури змінюється природа і форма неметалевих включень, знижується в 1,5-2,0 рази забрудненість меж аустенітних зерен оксидними, сульфідними і нітридними включеннями, підвищується рівномірність розподілу структурних складових, забезпечується збільшення пластичності і ударної в'язкості сталі.

При виробництві чавуну з кулястим графітом разом з окремими модифікаторами (магній або церій) застосовують і комплексний модифікатор (магній + церій). Добавка церію до магнію нейтралізує дію шкідливих домішок (свинець, сурма, миш'як, вісмут, олово), що створюють негативний вплив на якість чавуну, модифікованого магнієм. Найчастіше використовуються комплексні модифікатори приведені в таблиці.1.4.

Введення модифікаторів 3-го роду (інокуляторів) розглянуто в роботах [45-49]. У розплаві, що кристалізується, вони забезпечують підвищення однорідності металу і дисперсності литої структури, оптимізацію форми і розподілу неметалевих включень, зниження деяких ливарних дефектів. Потрапляючи в метал, інокулятори сприяють локальному охолодженню зон металевого розплаву. При цьому спочатку на них наморожується плівочка твердої фази, яка надалі, внаслідок нагріву від

навколишнього розплаву розчинюється, а також і сам інокулятор. Таким чином, інокулятори в розплаві відбору і розплавлення, внаслідок чого знижується температура рідкого розчину. Ефект охолодження призводить до зростання швидкості кристалізації, що сприяє підвищенню однорідності механічних властивостей у великих виробх відповідального призначення. і збільшення маси інокуляторів, що вводяться, змінюють швидкість кристалізації, яка зростає

Таблиця 1.4 – Комплексні модифікатори

Тип сплаву	Модифікатор	Ступінь впливу
Сірий чавун	Fe-Si-Ca + Al, Ti, Ce, La	
Сірий чавун зі зниженим вуглецевим еквівалентом C + 0,3 Si (3,5-3,7)	Si-Mn-Zr	Отримання чавуну з пластинчатим графітом
Сталь	РЗМ з силікокальцієм; феромарганцем, феросиліцієм	Видалення сульфідів церію
Сталь	Ti-B-Ca, Ti-Ce-B, Mg-Zr-Ce, Ti-V-Ca	
Алюмінієві сплави	Ti+B та суміші хлористих і фтористих солей (хлористий натрій, фтористий натрій, хлористий калій і кріоліт)	Отримання більш дисперсних і стабільних інтерметалідів
Ковкий чавун	Al + Bi + B	Скорочення тривалості відпалу
Чавун з вермикулярним графітом	Mg + Ti, Y, Ce, Ca	Отримання роз'єднаних, потовщених включень з округлими кінцями (компактніше за пластинчастий графіт)

Проте, незважаючи на поліпшення макроструктури, використання металевого порошку як інокулятора, може призводити до збільшення забрудненості стали відливання неметалічними включеннями, в основному оксидами. Тому при розробці

і застосуванні нового покоління модифікаторів особливу увагу слід приділяти оцінюванню формуванню неметалевих включень.

Найбільш економічним способом підвищення якості слід визнати модифікування розплаву розчинними і нерозчинними домішками, оскільки при цьому не потрібно додаткове використання дорогого устаткування і великих витрат на технологічний процес [50,51]. Малі добавки розчинних і нерозчинних домішок, що вводяться в рідкий розчин, впливають на параметри кристалізації, дислокаційну структуру (табл.1.5.), дегазацію, утворення неметалевих включень і формування вторинних фаз, ліквідацію компонентів, а також на зміну усадки, схильність до деформації, швидкість твердіння, та зниження схильності до дефектоутворення.

Таблиця 1.5 – Вплив модифікаторів на структуру

Тип сплаву	Ступінь впливу
Сплави - тверді розчини (вуглецеві сталі з феррито-перлітною структурою)	Подрібнення первинного зерна
Те ж	Фазова перекристалізації з визначеною швидкістю
Те ж	Подрібнення вторинного зерна після фазової перекристалізації. Зменшення долі неметалевих включень
Сплави с первинними виділеннями і евтектикою (сірий і високоміцний чавуни)	Подрібнення структурних складових Зменшення долі неметалевих включень
Те ж	Крупно кристалічна евтектика
Те ж	Тонко пластинчаста евтектика з дуже короткими пластинами
Те ж	Подрібнення окремих великих структурних складових
Те ж	Коагуляція і сфероїдизація структурних складових

Останнім часом досягнуті значні успіхи у використанні модифікаторів [52-55] для поліпшення якості сталей підвищення їх механічних властивостей (табл.1.6). Встановлено, що в чавунах і силумінах позитивний ефект від дії модифікаторів особливо помітний при підвищенні пластичних характеристик ливарного металу.

Таблиця 1.6 – Вплив модифікаторів на механічні властивості

Тип сплаву	Ступінь впливу
Чавун з кулястим графітом порівняно з сірим чавуном з пластинчастим графітом	Збільшення межі міцності на розтягання в 2-4 рази, а подовження в десятки разів
Сталь	Підвищення міцності на 25-30%, зносостійкості на 15-50%, жароміцності до 45%, пластичності, ударної в'язкості
Силумін	Збільшення межі міцності на розтягання в 1,14-1,55 разу і відносного подовження в 2,2-6,5 раз

Закордонною та вітчизняною практикою накопичено великий досвід застосування ефективних типів лігатур для модифікування сталевого і чавунного лиття, а також високолегованих сталей, отриманих в електропечах малої місткості [55-64]. Одночасно, дуже обмежена інформація про використання модифікуючих домішок при відновленні деталі наплавленням.

Щоб уникнути втрат легкоокиснюючих елементів при плавленні сталі модифікування металу рекомендують проводити як можна ближче до моменту початку періоду кристалізації рідкого розплаву, аж до введення таких добавок в ливарні форми. Результати модифікування визначаються, головним чином, вмістом активних елементів (Са, Ті, РЗМ та ін.) як в рідкому металі (у ківші, виливниці, кристалізаторі), так і в кристалічному стані. Доля їх концентрацій залежить від багатьох чинників: марки сталі, місця і способу введення домішки модифікатора, наявності і складу шлаку в ківші, тривалості розливання та ін. [65]. Тому заздалегідь визначити оптимальні параметри або передбачити результати модифікування практично не представляється можливим. Вплив модифікування залежить не лише

від кількості модифікатора, що вводиться, але і також від умов швидкості охолодження і подальшої термічної обробки сплаву. Ефект модифікування залежить і від активності домішок, що вводяться, їх газонасиченості, забрудненості, фізико-хімічних властивостей металу, температури розплаву, тривалості його витримки в ківші в період заливання форм. Тому при розробці різного призначення сталей і сплавів, їх зміцнення, слід проводити систематичні комплексні дослідження для накопичення достовірних даних і встановлення оптимальних параметрів введення технологічних домішок [66].

Розробка технології модифікування сталі включає обґрунтований вибір складу лігатури, який може забезпечити рішення поставленої задачі. До таких, найчастіше виникаючих проблем відносяться усунення дефектів газоусадкового характеру, зниження забрудненості металу неметалічними включеннями, поліпшення його механічних властивостей, підвищення хладо- і жаростійкості, зносостійкості та ін. [67].

У загальному вигляді можна відмітити, що введення в сталь кальцію підвищує її рідкотекучість, змінює оксидні і сульфідні включення, покращує пластичні властивості [68]. Додаткове введення з лігатурою барію сприяє підвищенню засвоєння кальцію і, відповідно, посилює позитивну його дію на процес модифікування, хоча у ряді випадків відзначається ефективність використання одного барію (без кальцію). Рідкоземельні метали (РЗМ) [69,70] не погіршують рідкотекучості сталі, але знижують вміст в ній сірки, ефективно зменшують частку неметалевих включень, подрібнюють дендрити литої структуру виливка, послаблюють ліквацийні процеси і чутливість до водню та інших чинників.

Активні нітридоутворюючі елементи (титан, ванадій) послаблюють негативний вплив підвищених концентрацій азоту, подрібнюють зерно, покращують характеристики міцності виливків [71] за рахунок формування нітридів і карбонітридів, які відіграють роль додаткових центрів кристалізації.

Як вже відзначалося вище, ефективність модифікування визначають, головним чином, змістом в металі активних елементів (кальцію, РЗМ, магнію, титану та ін.), і тому технологія модифікування, що розробляється, повинна забезпечити рішення двох основних завдань:

- забезпечувати максимальне і стабільне засвоєння активних елементів рідким розчином;

- визначати оптимальні концентрації введення активних елементів.

Досвід, що мається, знайшов відображення в дослідженнях і він дозволяє зробити наступні рекомендації по розробці технології модифікування сталі.

Домішки повинні вводитися в метал, який заздалегідь розкислюють, щоб виключити безпосередню взаємодію активних елементів (Са, РЗМ та ін.) з киснем розплаву і зберегти їх для модифікування з утворенням необхідного типу і розміру неметалевих включень, а також забезпечувати формування необхідної структури металевої матриці. Бажано проводити розкислювання сталі алюмінієм або в печі перед випуском плавки, або в розливному ківші під час випуску. У останньому випадку модифікування повинне проводитися вже при зливі металу в розливні ківши. При наплавленні деталей такий підхід не прийнятний, тому до складу модифікуючої домішки повинні входити компоненти, які забезпечують якісний технологічний процес відновлення при формуванні малої за величиною рідкої ванни.

Враховуючи, що ефективність модифікування істотно залежить від концентрації в металі алюмінію [72], для надійної і оперативної оцінки отриманих результатів, потрібен обов'язковий контроль його змісту. Бажано також визначати, хоча б періодичну, зміну концентрацій використовуваних активних елементів (Са, РЗМ, Ті та ін.).

Потрібно також процес відпрацювати відносно часу і місця введення домішки модифікаторів. Наприклад, при використанні обробки малої частки металу вводять домішки на самому початку випуску металу з печі. При наповненні великої кількості рекомендується порційна присадка фракціонованих матеріалів під струмінь виливання, починаючи, приблизно, з однієї чверті-третьої висоти заповнення ківша металом і, закінчуючи при наповненні його на дві третини. У обох випадках не допускається попередня засипка матеріалів в гарячий метал, що може призводити до займання модифікаторів і низької ефективності їх засвоєння.

Є досвід примусового введення лігатур, так зокрема РЗМ-міських, на штангах після заливання виливки або модифікування за допомогою порошкового дроту

[73]. Використовується технологія і внутрішньоформеного модифікування домішкою матеріалів [74]. Ці технології забезпечують максимальну міру засвоєння і використання активних елементів. При всіх відмічених вище способах модифікування, введення алюмінію повинне задаватися в розчин до присадки в нього модифікатора.

Обов'язкова регламентація мінімального розміру використовуваних порошкових домішок-модифікаторів пов'язана з необхідністю відсівання дрібних і пилоподібних фракцій, що згорають в повітрі до попадання часток матеріалів на струмінь металу. Максимальний розмір використовуваного модифікатора визначається мірою його засвоєння, яка, у свою чергу, залежить від температури рідкої сталі, потужності струменя, місткості ківша і тривалості його наповнення. При занадто великому розмірі досаджуваних матеріалів, вони можуть не встигати розчинитися в металі і згорають на його поверхні в ківші. При використанні домішки Si - Ca - Ba, що містить лігатури з поданням її у вигляді крупки в ківши місткістю 1,0...1,5т холодостійкість виливків зростає при переході від фракції 5,0 мм до фракції 1,0...10,0 мм, а максимальною вона була відзначена при фракції 3,0...10,0 мм; у "чипсовому" варіанті фракція 1,0...15,0 мм, де вона виявилася кращою в порівнянні з 1,0...10,0 мм. Для ківшів місткістю 400кг оптимальними виявилися фракції 1,0...10,0 мм в "чипсовому" варіанті і 0,8...3,0 мм – при використанні крупки.

Що стосується фракцій модифікатора, який вводять, при відновному наплавленні, то в цьому випадку підхід має бути іншим: фракція має бути дрібною і встигнути розплавиться в невеликому об'ємі рідкої ванни.

Необхідно враховувати, що при зберіганні на повітрі звичайних кускових модифікаторів, що містять кальцій і барій, в результаті взаємодії з вологою атмосфери відбувається їх розкладання з утворенням значної кількості дрібної фракції. Це може привести до нестабільності результатів модифікування. Вказаний недолік в набагато меншому ступені мають швидкоохолоджувані (загартовані) дрібнокристалічні модифікатори, що мають практично необмежений термін зберігання [75]. Пасивація модифікаторів гарантується також введенням до їх

складу $\sim 3\%$ алюмінію. При цьому повністю виключається виділення токсичних і горючих газів.

Оптимальна питома витрата модифікатора залежить від його складу, способу введення і конкретних особливостей цього виробництва. Тому при відпрацювання технології модифікування має бути оцінена ефективність використання декількох питомих витрат. Для активних елементів існує їх оптимальна концентрація. Наприклад, більшість дослідників відмічають наявність оптимальної витрати РЗМ, яка визначається, в основному, вмістом сірки в металі. Так, в роботі [76] вказується, що підвищення залишкового вмісту РЗМ більше $0,05\%$ викликає утворення скупчень оксидосульфідних і сульфідних включень ("церієва неоднорідність") в макроструктурі низьколегованої ферито-перлітної сталі зі змістом сірки $0,02\%$. Одночасно підкреслюється, що для сталі з нижчим вмістом сірки підходять і інші критерії оптимальної концентрацій РЗМ. Для литої сталі з аустенітною структурою ($C=0,21\%$; $Cr=25,8\%$; $Ni=19,5\%$; $Si=1,7\%$; $S=0,011\%$) оптимальний вміст при модифікуванні металу церієм або церієвим мішметалом знаходиться в межах $0,020\dots 0,025\%$, тобто результати цієї роботи [77] при оцінюванні оптимуму за критерієм $[\%PЗМ]/[\%S]$ також близькі до даних [76].

Оптимальні концентрації введення домішок відзначаються також при використанні алюмінію, титану і інших активних елементів. В той же час, більшість дослідників вважають, що при використанні кальцію перемодифікування сталі не визначається [76]. Відсутній цей ефект також при плавленні і литті феритно-карбідної сталі, $C=0,86\%$, що містить: $Cr=28,7\%$; $Si=1,2\%$; $S=0,009\%$, при модифікуванні її мішметалом або сумішшю церію з силікокальцієм в співвідношенні 1:1 [76].

При тривалому знаходженні металу, що розкислюється алюмінієм, в печі (фракційне розливання) або в роздавальному ківші, особливо при кислому футеруванні і наявності окислювального шлаку, хімічний склад металу до кінця розливання може помітно змінитися в порівнянні з його початком. Зокрема, відбувається збільшення концентрації азоту [78], істотне зниження вмісту алюмінію і марганцю. Може відбуватися також зменшення концентрації активних елементів (Са, РЗМ та ін.), внаслідок чого ефект модифікування стає не стабільним або може

ефект навіть знижуватися. Тому розробникам технології модифікування необхідно заздалегідь оцінити зміну хімічного складу металу по ходу розливання з тим, щоб вибрати місце відбору найбільш представницьких проб для визначення складу і механічних властивостей сталі. При цьому можливе деяке коригування хімічного складу сталі, наприклад, за вмістом в ній алюмінію.

При виявленні переваг технології модифікування і оцінюванні її техніко-економічних показників доцільно враховувати наступне:

- модифікування знижує чад від розкислювачів-алюмінію, кремнію, марганцю, які вводяться. Наприклад, на сталі 110Г13Л середній маркувальний вміст марганцю зріс на 0,6%. Необхідно також враховувати кількості алюмінію і кремнію, що вносяться модифікаторами, і, відповідно, зменшувати витрату цих розкислювачів у вигляді кускового алюмінію і кремнійвмісних сплавів;

- використання комплексних і різних фракцій модифікаторів істотно спрощує підготовку матеріалів та до цього виключаються операції просушування, дроблення, розсівання, змішування окремих компонентів;

- усунування пилоутворення і пожежовибухонебезпеки при проведенні цих операцій;

- поява можливості використання важкоподрібнювальних матеріалів та ін.;

- одержання порівняльної оцінки усього комплексу якісних показників модифікованого і звичайного металу, а також змін технології їх виробництва.

Так, при порівнянні якості тільки за величиною аустенітного зерна сталі 100Г13Л позитивного ефекту не спостерігається, більше того, при модифікуванні його розмір може зрости. Але при цьому за рахунок очищення границь зерен ударна в'язкість металу істотно підвищується [79].

Дослідженнями показано, що підвищення рідкотекучості модифікованого металу сприяє поліпшенню заповнювання форми, особливо у кінці періоду розливання. Одночасно воно дозволяє понизити температуру металу і за рахунок цього – зменшити брак по тріщиноутворенню, усуває пригар, покращує якість поверхні виливка [80,81].

Автори робіт [82-85] звертають увагу на те, що слід враховувати можливість при модифікуванні підвищити холодостійкість виробу, а також опір їх корозії при

експлуатації. Перевагою модифікування металів може бути і використання менш якісної шихти (особливо за вмістом сірки), зниження витрат на великокоштовні компоненти.

Що стосується методу введення модифікуючих домішок у відновлене наплавленням покриття, то це слід експериментально оцінити, виходячи з досягнень необхідних експлуатаційних властивостей, до яких відносяться: добра зцілюваність покриття з основою, наявність мінімальної зони термічного впливу, підвищення зносостійкості, забезпечення якості поверхні: відсутність тріщин, грубих неметалевих включень, наявність дрібного зерна і однорідних властивостей по перерізу шару.

1.2 Мікролегування відновлюючих покриттів

При різних методах наплавлення кристалічна будова покриття, пов'язана з умовами переходу зварювальної ванни рідкого стану в твердий, це є одним з чинників, що визначають якість і властивість покриття [86]. Окрім природних центрів вільної кристалізації розплавленого металу зварювальної ванни, існують центри невідільної кристалізації у вигляді зерен нового металу на межі з основним. [87]. На практиці це явище використовують для модифікування і мікролегування відновлюваних покриттів для подрібнення кристалів при твердінні, що сприяє зміні його механічних властивостей.

Винахід академіком К.К. Хреновим керамічного флюсу стало першим кроком в легуванні металу зварних швів, так в роботі [88] було показано, що структура зварних швів деталей із сталі 30ХГСА під керамічним флюсом, що містить титан, має дрібнозернисту розорієнтовану структуру, а шов виконаний під плавленим флюсом крупнозернисту, транскристалітну. Концерн «Фольксваген» рекомендує проводити мікролегування середньуглецевих сталей, що використовуються для виготовлення шатунів, замість термозміцнення яке використовувалось раніше. Це дозволяє понизити вартість шатуна на 38%, за рахунок виключення процесу, та витрат енергоносіїв, що складає до 25% від загальної вартості деталі.

У роботі [89] показано, що при мікролегуванні 0,27% ванадієм роторної сталі 25X2H2MФ спостерігається підвищення її міцності і прожарюваності. Мікролегування титаном (до 0,06) і берлом (до 0,0032%) сталі 65Г при виготовленні лап культиваторів яке розглянуто в роботі [90] сприяло підвищенню міцності, пластичності і ударної в'язкості робочої поверхні металу, що дозволило в 2,1 рази підвищити їх надійність і довговічність, на 17% знизити металоємність. Фазовий аналіз показав, що підвищення опору сталі зносу пояснюється формуванням карбонітридів титану і частково бору.

Механізм впливу мікродомішок Ti, V, Nb на структуру і властивості низьковуглецевих сталей розглянуто в роботі [91-94]. Підвищення міцності сталі мікродобавками Ti, V і Ni (до 0,1 %) з утворенням дисперсних карбонітридів кристалізації, що є центрами, можна пояснити зменшенням розміру зерен. Підвищення ударної в'язкості і порогу холодноламкості сталі, забезпечується рафінуванням фериту при введенні мікродобавок дією мікродобавки 0,04% V. Це робить вплив на подрібнення зерна фериту і зменшення в структурі доли цементиту і перліту.

Підвищення границі текучості σ_T , автори робіт [95-99] пояснюють збільшенням дисперсності перліту (вклад його в підвищення σ_T складає до 60 - 65 %), σ_B до 30 %. В роботі [100] показано, що відливання із сталі 110Г13Л з мікродомішками V і Ti відрізняються від серійних меншою схильністю до формування дендритної структури, відзначаються більш високою міцністю, в'язкістю, щільністю і зносостійкістю.

Аналіз розглянутих робіт дозволяє зробити висновок, що легуючі мікродомішки, що розчиняються в металі і не розчиняються в ньому, сприяють істотному впливу на умови кристалізації. Вони впливають на підвищення стійкості переохолодженого аустеніту сталі, подрібнюють зерно, підвищують дисперсність перліту, уповільнюють падіння твердості при відпустці, формуванню дрібнодисперсних включень, а також створенню локальної напруги і збільшенню щільності дислокацій, що гальмує їх ковзання.

Такі механізми дії мікролегуючих і модифікуючих домішок забезпечують необхідні споживчі властивості виробів.

1.3 Модифікування при відновленні та зміцненні зношених поверхонь деталей

Актуальність застосування модифікування для підвищення якості наплавленого шару підтверджує ряд нових наукових розробок у ремонтному виробництві. Так, в роботі [101] представлені дослідження по введенню 1-3% Ва в електродне покриття. Автори відмічають, що таке модифікування забезпечує високу тріщиностійкість зварних з'єднань. Такий метод ефективний як для використання в умовах повітряного середовища, так і в - корозійно-агресивних. Модифікування структури наплавленого металу нанодисперсними карбідами вольфраму за даними [102] сприяє перерозподілу компонентів між межами і об'ємами зерен. Зменшення розміру зерен забезпечує підвищення меж плинності і міцності, пластичності і деформованості сталі, а також знижує коефіцієнт тертя в процесі експлуатації деталей.

При зварюванні жароміцних нікелевих сплавів для підвищення властивостей металу шва в роботі [103] подаються результати застосування дисперсного інокулятора – карбонітриду титану. При дослідженні мікроструктури модифікованого шва виявлено, що карбіди мають компакту форму і розташовані вони більшою мірою по межах зерен, що і є зміцнюваним чинником при експлуатації в умовах, де потрібно підвищувати жароміцність.

У роботі [104] розглянута технологія застосування наноматеріалів при високотемпературній обробці нікельхромових сплавів при електрошлаковому відливанні і електрошлаковому зварюванні.

Для отримання зварювального шва з істотно поліпшеними характеристиками міцності в роботі [104] представлена технологія лазерного зварювання з введенням в шов порошку тугоплавкого з'єднання карбіду або нітриду титану, з нанорозмірними частками. Відзначимо, що в цьому випадку зменшується розмір неметалевих включень, підвищуються механічні властивості (σ_T, σ_B), зростає у декілька разів відносне подовження.

Процес лазерного зварювання із застосуванням модифікаторів у вигляді суміші нанопорошків тугоплавких з'єднань TiN, TiC, Y₂O₃ представлено в роботах

[105,106]. Композиція наносилася у вигляді суспензії на поверхню пластин, що зварювалися. Вона дозволила підвищити швидкість зварювання при тій же потужності променя за рахунок збільшення коефіцієнта поглинання інтенсивності лазерного випромінювання.

Лазерне зварювання сталі з титановим сплавом також розглянуто в роботі [107]. Проведені експерименти, під час яких використовували корозійностійку сталь і титановий сплав з проміжними вставками на основі міді М1, які мають досить високу міцність. У роботі [108] розглянуті елементи-модифікатори (табл.1.7), які рекомендовано застосовувати у складі функціональних покриттів для поліпшення процесу зварювання, властивостей і структури наплавленого металу. У дослідженнях [109-110] відзначається, що до перспективних зварювальних матеріалів відноситься порошковий дріт, який дозволяє мікролегувати і модифікувати метал шва в широких межах.

Отриманню зварювального з'єднання з високою ударною в'язкістю присвячена робота [111-113]. Умовою для отримання такого з'єднання, являється досягнення певного балансу між титаном, бором, киснем і азотом, а також активними розкислюючими елементами.

Таблиця 1.7 – Склад функціональних покриттів що покращують процес зварювання

Елемент	Густина г/см ³	Атомна маса	Температура плавлення °С	Температура кипіння °С
Магній	1,74	24,3	651	1107
Кальцій	1,55	40,1	848	1487
Стронцій	2,6	87,6	769	1384
Барій	3,5	137,3	725	1637
Лантан	6,19	138,9	920	3469
Церій	6,7	140,1	795	3424
Празеодим	6,78	140,9	935	3127

Мікролегування зварювального з'єднання порошковим дротом, встановленому на одній дузі при багатодуговому зварюванні розглянуто в роботі [114]. Експеримент проводили з використанням двох марок дроту суцільного перерізу і трьох марок

металопорошкового дроту, представлених в табл.1.8. При цьому порошковий дріт використали на другій дузі у зварювальному процесі.

Використання у багатодуговому зварювальному процесі таких порошкових дротів дозволило знизити в з'єднаннях С-1...С-5 погонну енергію зварювання внутрішніх і зовнішніх швів на 8-12%.

Таблиця 1.8 – Поєднання зварювальних матеріалів

Умовний № з'єднання	Поєднання зварювальних дротів	Марка флюсу
С-1	S ₂ Mo	ФСА ЧТ А 650-20/80
С-2	S ₂ Mo+S ₃ TiB	
С-3	S ₂ Mo+S ₃ TiB+Fluxocord 35 25 3D	
С-4	S ₂ Mo+S ₃ TiB+Power Pipe 3D-Ni	
С-5	S ₂ Mo+S ₃ TiB+Power Pipe 3D-Ni	

Результати хімічного аналізу шва, металографічних досліджень і механічних випробувань представлені в таблицях 1.9.,1.10.

Результати табл.1.9. свідчать про досить близький хімічний склад усіх зварювальних з'єднаннях, за винятком С- 4 і С- 5, у яких дещо підвищений вміст нікелю.

Отримані дані показують, що межа міцності металу шва мікролегованого молібденом знаходиться нижче нормативних вимог для зварювальних з'єднань із сталей необхідного класу міцності, багатоконпонентне, мікролегування молібденом, титаном, бором і нікелем дозволяє підвищити властивості міцності металу шва, до необхідного рівня.

З даних таблиці 1.11 видно, що при мікролегуванні зварювальних з'єднань тільки молібденом не вдається досягти необхідного показника ударної в'язкості (не

менше 70 Дж/см²), а додаткове мікролегування титаном, бромом і нікелем дозволяє значно підвищити цю характеристику.

Таблиця 1.9 – Хімічний склад металу шва зовнішніх зварювальних з'єднань

Масова частка елементів %											
	C	Mn	Si	P	S	Ni	V	Mo	Ti	Pb	B
C1	0.075	1.54	0.10	0.013	0.003	0.14	0.01	0.27	0.009	0.03	-
C2	0.07	1.58	0.28	0.015	0.004	0.13	0.02	0.19	0.025	0.04	0.0024
C3	0.06	1.69	0.31	0.010	0.003	0.12	0.02	0.22	0.030	0.03	0.0024
C4	0.07	1.58	0.27	0.011	0.003	0.59	0.02	0.25	0.025	0.03	0.0025
C5	0.07	1.72	0.39	0.011	0.004	0.82	0.018	0.25	0.018	0.03	0.0015

Таблиця 1.10 – Випробування зварювального з'єднання на статичне розтягування (зразки циліндричні подовжні відносно зовнішнього шва)

№ зразка	Межа текучості МПа	Межа міцності МПа	Відносне подовження %
C-1	560	640	22,0
C-2	620	690	23,0
C-3	620	710	23,5
C-4	650	720	25,0
C-5	640	710	23,5

На увагу заслуговує робота [115] в якій запропоновано використати детонаційну шихту, отриману від утилізації боєприпасів, для модифікування рідкого металу при відновленні виробів наплавленням.

Такий похід до вибору модифікуючої домішки особливо важливий, оскільки він містить різні компоненти, а також нано- і мікроалмази і не вимагає великих витрат, оскільки така шихта є побічним продуктом.

У роботах ХСТУСГ ім. Петра Василенка [116-117] досліджували спеціальні методи введення вторинної шихти для модифікування при відновленні деталей наплавленням.

Проведені дослідження показали, що шихту, отриману методом детонації можна поділити по складу на фракції. Магнітна фракція, містить оксиди заліза і

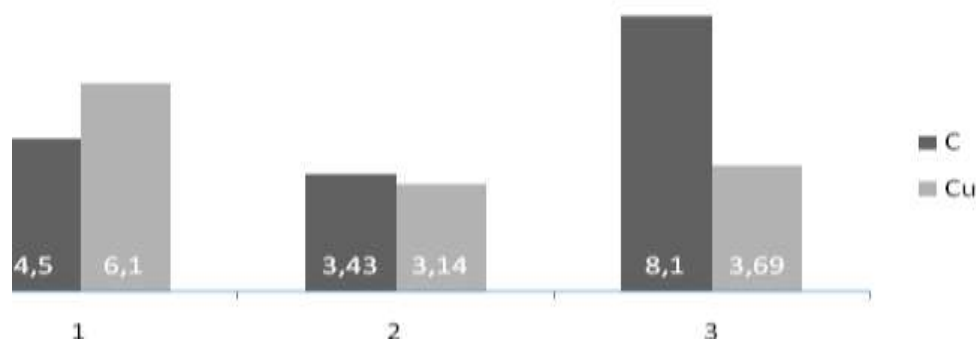
міді, а також вуглець (нано- і мікроалмази, малу долю графіту). Не магнітна містить ті ж компоненти, але залізо у вигляді порошку.

Таблиця 1.11 – Пластичність сталей зварного шва

№ зразка	Ударна в'язкість KCV, Дж/см ² , при температурі випробувань											
	Мінус 40 °С						Мінус 60 °С					
	Метал шва			Ливарний сплав			Метал шва			Ливарний сплав		
С-1	72	9	8	52	39	6	7	2	1	7	7	7
С-2	58	34	46	28	8	3	46	88	41	0	8	0
С-3	74	43	79	15	21	43	3	60	69	1	04	0
С-4	69	44	35	86	44	93	33	32	9	73	1	06
С-5	52	93	91	40	33	41	07	80	65	7	63	34

Проведені дослідження показали, що шихту, отриману методом детонації можна поділити по складу і фракції. Магнітна фракція, містить оксиди заліза і міді, а також вуглець (нано- і мікроалмази, малу долю графіту). Не магнітна містить ті ж компоненти, але залізо у вигляді порошку.

Первинний хімічний склад детонаційної шихти, оцінений спектральним аналізом надається на рис.1.1. Показано, що велику частку не магнітної шихти складає вуглець. Відомо, що алмазна фракція не розчинюється при температурах електродугового метода наплавлення, але такі включення змінюють умови кристалізації, будучи мікрохолодильниками.



1 – змішана фракція (велика); 2 – дрібна магнітна; 3 – дрібна не магнітна

Рис.1.1 – Хімічний склад шихти від утилізації боєприпасів, що утилізували, за вмістом С і Cu

Для використання такої шихти при зміцненні відновлююмого шару деталей запропонований новий спосіб [118], який полягає в попередньому розділенні порошку на фракції, його просушуванні, а також дробленні з подальшим введенням спільно з обмазкою електроду або у вигляді шлікерного покриття з подальшим розплавленням. При цьому, використовували лише не магнітну складову шихти, яка не містить оксидів заліза. Це пов'язано з тим, що такі фази, для їх розчинення, вимагатимуть більш високих температур плавлення, які перешкоджатимуть їх відновленню.

Враховуючи викладене при виконанні даної роботи насамперед необхідно було вивчити склад і будову магнітної складової шихти (порошку), щоб прийняти рішення про ефективний напрямок її використання. Крім того, було доцільним встановити яка роль оксидів заліза, що формуються при детонації, та як вони впливають на формування алмазної фракції. З літературних джерел [116] відомо, що наявність SiO_2 і металу при детонації, для отримання алмазної фракції, забезпечує велику стабільність цієї фази завдяки підвищеному тепловідводу, а Cu та Zn стимулюють процес детонації.

У раніше виконаних в ХНТУСГ дослідженнях було показано, що застосування нано і дисперсних алмазів є ефективним для вирішення різних проблем в технологічних процесах відновлення деталей. Для цього використовували не магнітну складову вторинної сировини від утилізації певного набору боєприпасів.

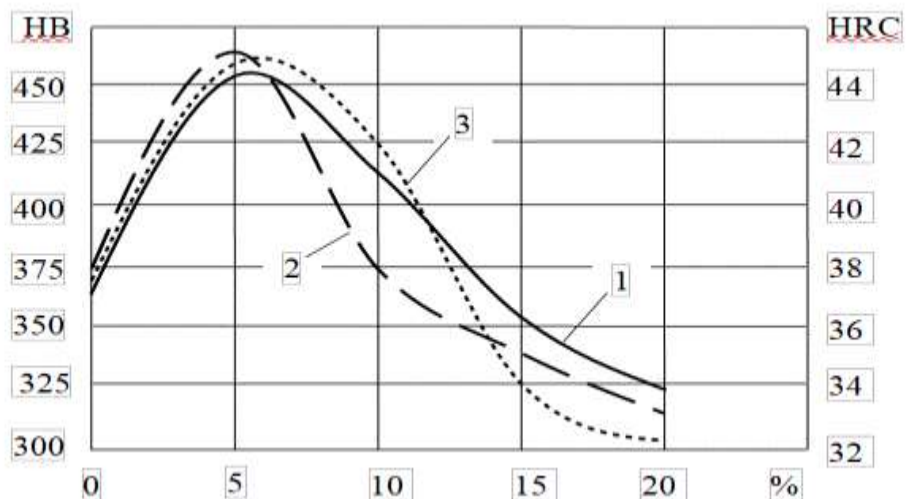
Успішне застосування не магнітної складової шихти базувалося на розробках, що забезпечують рівномірне введення такої домішки для формування хвилястої зони сплавлення покриття з основою, для отримання підвищеної міцності її зчеплення з основою і мінімізацією локальної напруги в перехідній зоні.

В той же час успіх в розвитку застосування модифікування істотно залежить від вимог по забезпеченню конкретних споживчих властивостей виробів, що визначаються складом модифікуючої домішки, способом і долею її введення, матеріалом (його структурою), властивостями і параметрами обробки. Тому, при використанні нового типу вторинної шихти для модифікування при відновленні

деталей наплавленням - магнітної складової шихти, необхідним є врахування усіх перелічених вище чинників, для розробки нових технологічних процесів.

У зв'язку з цим була потрібна розробка принципово нового підходу до оцінки можливого ефекту від застосування детонаційної шихти зі значною долею кисневих включень заліза FeO , Fe_2O_3 та Fe_3O_4 . Для вирішення проблем, що виникли необхідно використовувати комплексний підхід в дослідженнях для отримання надійних результатів. Виконавши зіставлення застосування різних методів і матеріалів-модифікаторів, їх можна розділити на такі, які змінюють умови кристалізації, та такі, і що в більшій мірі забезпечують споживчі властивості зміцнених поверхней. До останніх – можливо віднести використання нанотехнологій, які за рахунок наявності алмазної фракції змінюють формування фазового складу, рівень напруг і споживчі властивості.

До розробок, які відносяться до нетрадиційних слід віднести дослідження, розглянуті у цьому розділі. Особливу увагу слід приділити роботі [119], у якій досліджувалися властивості покриттів, нанесених з різною долею (від 5% до 20%) зольних відходів Змієвської ГРЕС у флюс. Дослідження структури показало, що при збільшенні долі зольних відходів у флюс (до 20%) значно зростає кількість неметалевих включень і дефектів, також збільшилась неоднорідність, як за величиною зерна, так і сформованому троститу. Зразок з 5% долею зольних відходів у флюс має менші розміри зерен, чим покриття з 10,15 і 20% домішками. Це підтверджує і аналіз твердості отриманих покриттів, представлений на рис. 1.2.



1 – НВ ($d_{\text{кульки}} = 5 \text{ мм}$, при навантаженні 750 мПа), 2 – НВ ($d_{\text{кульки}} = 10 \text{ мм}$, при навантаженні 3000 мПа), 3 – HRC [119]

Рис.1.2 – Залежність твердості покриття від частки введеної домішки зольних відходів у флюс

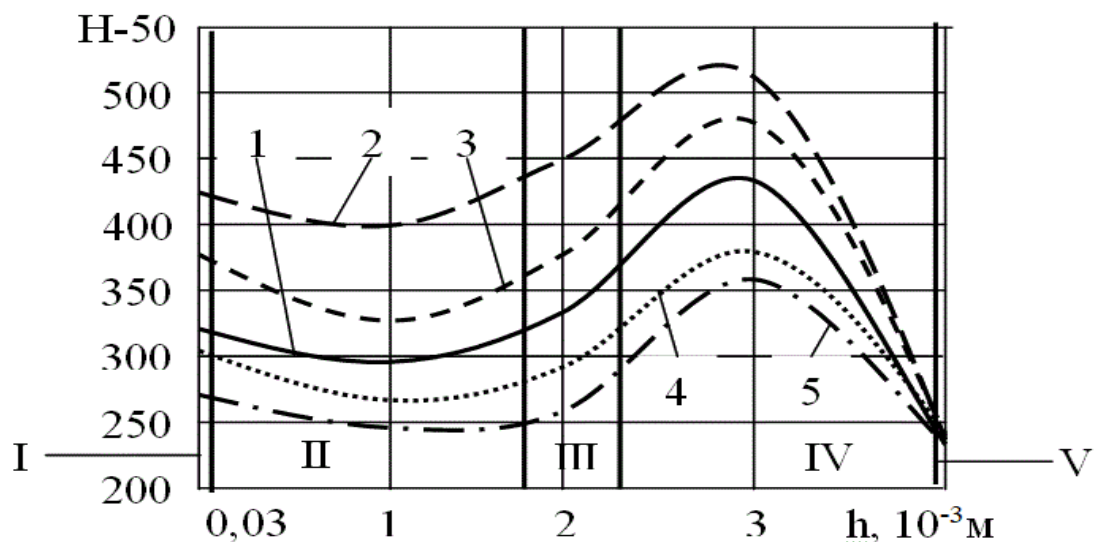
Значення твердості до 32 HRC, при долі зольних відходів у флюсі близько 20%, що нижче рівня початкового покриття (твердість покриття без домішки 35 - 38 HRC), автори зв'язують з формуванням підвищеної пористості в покритті.

Стабільність значень твердості покриттів з 5-7% домішками підтверджують і результати математичної обробки даних, які представлені в табл.1.12. Для цього покриття розкид значень складає, в середньому, 5-6%.

. Характер розподілу мікротвердості покриття по глибині, залежно від долі золи у флюсі представлений на рис. 1.3. Максимальне значення мікротвердості має крива 2, що характеризує покриття з 5% зольною домішкою, а мінімальна - крива 5 - з 20%.

Таблиця 1.13 – Розподілення мікротвердості покриття по глибині в залежності від частки золи у флюсі [119]

№ п/п	%	Відстань від поверхні до середини, мм				
		0,05	1,0	2,0	3,0	4,0
1	Без шлаку	322	298	337	440	238
2	5	433	402	456	518	240
3	10	375	326	378	472	243
4	15	304	262	283	374	236
5	20	280	256	262	357	237



I – поверхня; II – робочий шар; III – перехідна зона; IV – зона термічного впливу; V – основний метал

Рис.1.3 – Розподілення мікротвердості покриття по глибині в залежності від частки золи у флюсі

Проведені дослідження вказують на доцільність для зменшення зерна, підвищення твердості і міцності покриттів, що наносяться автоматичним дуговим наплавленням, введення у флюс 5-7% зольних відходів Змієвської ГРЕС.

У роботах [120-128] представлені технології, які розроблені в інституті електрозварювання ім. Е.О. Патона по електрошлаковій переробці металовідходів різних металургійних виробництв, що можуть використовуватися в наплавлювальному виробництві. Так, додаткове легування покриття ванадієм (0,1 - 0,15%) за рахунок відновлення його із зольних відходів ГЕС, що подаються в шлак при електрошлаковому наплавленні штампів стружкою сталі 5ХНМ, сприяє підвищенню їх стійкості на 30%.

Таблиця 1.12 – Середні значення твердості, та їх відхилення, % розкидання показників міцності

№ п/п	Без домішок			5% золи			10% золи			15% золи			20% золи		
	HB*	HB**	HRC	HB*	HB**	HRC	HB*	HB**	HRC	HB*	HB**	HRC	HB*	HB**	HRC
1	341	388	35	444	444	43,5	404	321	39	378	321	30	317	302	29
2	363	375	37,5	464	467	45	432	388	43	3543	363	33	333	321	32
3	341	563	37	464	477	46	388	363	42	354	352	33	333	302	34
4	415	415	38	432	464	47	432	415	45	333	341	34	321	311	33
5	363	341	37	464	461	45	415	388	43	341	352	34	325	321	32
6	364,6	376,4	36,9	453,6	462,6	44,3	414,2	375	42,4	352	345,8	32,8	325,8	311,4	32
7	30,25	27,66	2,64	14,86	12,01	1,86	18,87	35,35	2,19	17,07	15,9	1,64	7,16	9,5	1,87
8	9,79	9,79	9,09	3,57	3,58	5,62	5,37	6,68	7,14	6,33	6,14	6,25	2,46	3,05	7,94
9	80,5	74,1	87,4	100	100	100	91,3	81,1	95,7	77,6	74,8	74,0	71,8	67,3	72,2
10	127	131	127	158	161	146	145	131	142	123	121	111	114	109	109

HB* - виміри твердості при: $d_k = 5$ мм; $P = 750$ кг;

HB** - виміри твердості при: $d_k = 10$ мм; $P = 3000$ кг;

1-5 – значення твердості; 6 – середнє значення; 7 – квадратичне відхилення; 8 – % розкиду;

9 – відсоткове відношення твердості покриттів до покриття з домішками 5 % золи;

10 – міцність σ_B .

Виміри кулькою 5 і 10 мм проводили, щоб при необхідності вимірів на поверхні деталі використовувати мінімальне навантаження. Хоча виміри з 10 мм кулькою дають більші середні значення показника, але зменшують похибку оператора.

Виконаний аналіз робіт свідчить про високу ефективність застосування модифікування і мікролегування відновлювальних покриттів. При цьому для ще більшого підвищення економічних показників вказаної технології особливо важливо виконання досліджень, спрямованих на зниження вартості покриттів за рахунок використання як домішок-модифікаторів вторинної сировини або відходів промислового виробництва.

1.4. Мета та завдання досліджень

Узагальнені дослідження по модифікуванню рідкого розчину виявили ефективність цього технологічного процесу на якість деталей з сплавів, що дозволяють зменшити витрати на додаткове легування яке потребує значних додаткових витрат при виробництві.

В останні роки велика увага приділяється модифікуванню рідкого розчину з ефективними домішками та легуючими компонентами такими, що змінюють умови кристалізації (нано- та дисперсних алмазів). Їх особливо ефективно використовувати при відновленні зовнішнього шару.

Разом з цим відомо, що використання для модифікування рідкого розчину алмазних домішок є дуже витратною технологією, тому знайшли спосіб одержання їх при утилізації спеціального набору боєприпасів, що завершили термін зберігання. Одержану шихту від утилізації поділяють за фракціями її зерен.

Виходячи з аналізу різних фракцій детонаційної шихти з нано- та дисперсними алмазами, було встановлено, що її не магнітна складова, яка використовується якості модифікуючої домішки є теж ефективною для введення у рідкий розчин при відновленні деталей зміцнюючими покриттями. Вона забезпечує зменшення зерна в покритті, рівень напружень, що дозволить відновлювати тонкі за перерізом виробу і забезпечувати їх підвищену експлуатаційну стійкість.

Разом з цим, може бути ефективним і використання магнітної складової такої шихти для інших різних напрямів її використання та потребує подальших

досліджень її впливу як модифікуючої домішки на експлуатаційні властивості для досягнення різних та необхідних якісних показників.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних властивостей деталей відновленням їх зношеного шару з модифікуванням магнітною складовою детонаційної шихти з алмазною фракцією від утилізації боєприпасів.

Для досягнення поставленої мети було необхідним виконати наступні завдання:

- виконати аналіз відомих джерел, що стосується модифікування рідких розчинів та оцінити їх вплив на досягнення різних властивостей відновлюваних шарів деталей;
- оцінити можливість використання різних домішок з вторинної сировини для модифікування відновлюваних шарів деталей;
- розробити методологію та провести експериментальні дослідження для досягнення поставленої мети при нанесенні покриттів для різних матеріалів і умов забезпечення властивостей;
- теоретично виконати аналіз складу зерен конгломерату шихти для попереднього прогнозування ефективного її використання;
- обґрунтувати основні параметри розробки новітніх технологій відновлення деталей з різних матеріалів для конкретних умов використання;
- дослідити вплив алмазної фракції та зерен магнітної шихти на технологічні процеси виробництва та експлуатацію;
- виконати промислові випробування розробок та оцінити їх економічну ефективність.

Висновки

1. Літературні джерела виявили велику кількість публікацій, що передбачають підвищення експлуатаційних властивостей виробів, виготовлених із сталі і сплавів з використанням мікролегування та модифікування виробів. Такий метод позапічної обробки металу дозволяє отримувати вироби з підвищеними експлуатаційними властивостями.

2. Найчастіше процеси модифікування рідких розчинів в ківшах використовують в сталеплавильному і ливарному виробництвах. Більшість модифікуючих домішок є стандартизованими і вони можуть забезпечувати: гальмування зростання долі твердої фази, знижувати поверхневе натягнення на межі розплав-твердий розчин, змінювати енергію активації процесу.

3. Виконаний аналіз використання різних типів модифікаторів стандартного складу, а також оцінений вплив малих домішок мікроелементів, що забезпечують зміну зерна в сплавах. Найбільше подрібнення зерен досягається при введенні мікродомішок Ti, B і V (до 0,1%).

4. В якості комплексних модифікуючих домішок при виробництві сталі рекомендовані композиції РЗМ з домішкою SiCa; FeMn; FeSi; Ti-Ce-B; Mg-Zr- Ce; Ti-Ce-B. Введення таких модифікаторів не лише подрібнює структуру сталі, але і змінює тип неметалевих включень, рідкотекучість, механічні властивості, усуває формування дефектів.

Виявлені публікації дають рекомендації щодо способів введення домішок. Їх слід вводити тільки в метал, що заздалегідь розкислюється, щоб виключити взаємодію з різними компонентами та запобігти нівеляції їх впливу на властивості.

5. У опублікованих роботах одночасно приділяється увага можливості використання і не розчинних модифікуючих домішок, які можуть істотно впливати на властивості сплавів за рахунок зміни умов кристалізації, формування різних фаз, зміни дислокаційної структури, схильності до дефекто- утворення. При цьому ефективність такого модифікування залежить від міри активності домішок і ступеню зв'язку з киснем, газонасиченістю оброблюваного металу. Важливим також є встановлення оптимальних домішок модифікатора та спосіб його введення.

6. Узагальнена інформація про використання відновлювальних покриттів, які виконані на основі формування зварювальної рідкої ванни. Такий метод відновлення деталей дозволяє коригувати умови кристалізації відновлювального шару, подрібнювати зерно, забезпечувати достатню міцність покриття і перехідної зони, знижувати схильність до дефектоутворення, а також витрати легуючих домішок.

7. Модифікуючі домішки, що використовуються при відновленні деталей наплавленням є досить дорогим матеріалом, тому у ряді випадків для модифікування використовують вторинну сировину, яка є відходами різних виробничих процесів. Це шлаки металургійного виробництва, зола від спалювання вугілля на ТЕС, детонаційна шихта від утилізації боєприпасів. У роботах виконаних на кафедрі "Технологічні системи ремонтного виробництва" ХНТУСХ ім. Петра Василенка для модифікування відновлюваних шарів деталей використовується немагнітна складова детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, термін зберігання яких закінчився. Вона була використана для відновлення різних деталей з різних матеріалів (сталей, чавунів), та показала високу ефективність завдяки можливості коригувати умови кристалізації, подрібнювати зерно, підвищувати споживчі властивості (міцність зчеплення з основою, знижувати температуру плавлення, відновлювати дефектні зони зварюванням). В той же час, виділена магнітна складова такої шихти поки ще не знайшла практичного застосування.

Для оцінки можливості використання модифікуючої домішками – магнітної складової детонаційної шихти необхідно виконати комплекс досліджень та виявити ефективні напрямки її використання

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розробка новітніх технологій базувалася на пошуку технологічних процесів відновлення та зміцнення робочої поверхні покриттями, що компенсують зношений шар.

Розділ включає розробку методологічного підходу до пошуку новітніх технологій зміцнення вторинною сировиною, що забезпечить досягнення не тільки якісних показників, а і витратних на придбання модифікуючих домішок.

В роботі розглядається використання вторинної сировини, яка одержана від утилізації боєприпасів. Така модифікуюча домішка вже використовувалася в роботах [129;130], однак в них вивчали вплив лише її не магнітної частки на модифікування відновлюваних шарів деталей, а у даній – досліджено можливість використання її магнітної частки.

Для виділення магнітної частки модифікуючої домішки, отриману шихту попередньо розділяли на фракції, а потім виділяли її магнітну складову після механічного подрібнення мілкої фракції.

2.1 Методологія наукових досліджень 2.2. Матеріали та методики досліджень

Для розробки модифікування та зміцнення покриттів використовували магнітну складову вторинної сировини. Її одержання досягали розподілом різних фракцій, а потім статистично аналізували окремі зерна (конгломерати), які склалися з різних сполук.

В залежності від потреб використання та можливостей технологічних процесів таку шихту вводили різними методами: як покриттям електродів, так і нанесенням шлікерного шару перед наплавленням на поверхню, що відновлюється.

Після одержання таких покриттів проводили детальні дослідження змін фазового складу металу покриття та порівняльно оцінювали з вихідним станом (без модифікування). Методологічні підходи та послідовність виконання у дослідженнях представлені діаграмою Ісікави (рис.2.1).

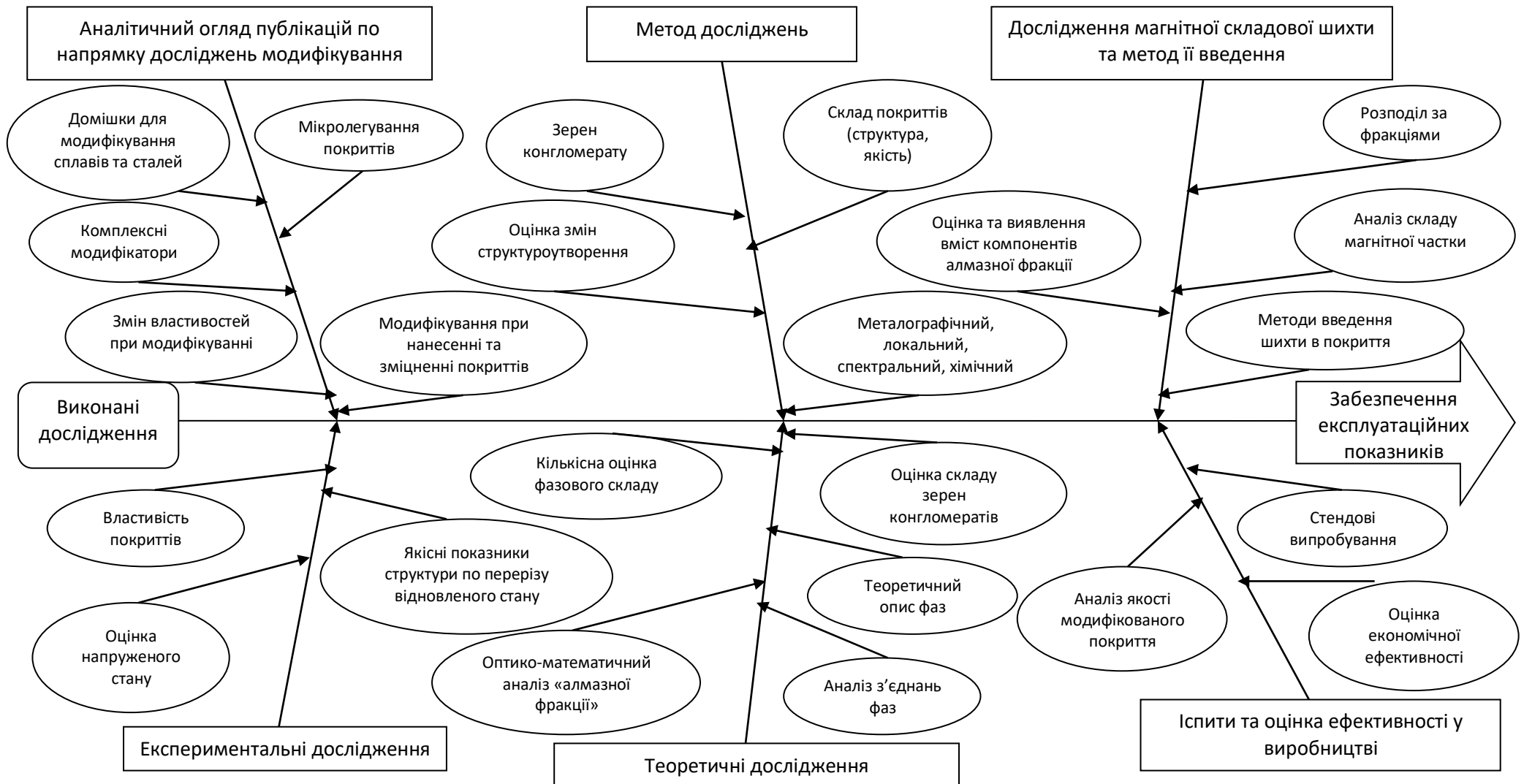


Рис. 2. 1 – Діаграма Ісікави яка відображає напрям та послідовність виконаних досліджень

Діаграма висвітлює роботи і методики експериментальних і теоретичних досліджень, метою яких вивчення впливу модифікуючих домішок з детонаційної шихти на структуру та властивості відновлювальних покриттів, особливу увагу переділено таким механічним характеристикам, як твердість та міцність та експлуатаційним – зносостійкості в парах спряження. В останні роки при модифікуванні використовують алмазну фракцію. Недоліком цього методу є те, що при широкій зміні температури одержання алмазної фракції, неможливо корегувати технологічний процес без чіткого представлення про вміст компонентів у такій шихті та її розподіл на локальному рівні у зернах. Це потребує, в залежності від умов використання, підбирання відповідної шихти за складом.

В роботах [131,132] показано, що одержана детонаційна шихта включає леткі, низькоплавкі компоненти та легуючі домішки. Вона складається з 75 - 90% алмазів; 0,8 - 1,2% водню; 1,5 - 4,5% азоту; 4,3 - 22,7% кисню. При цьому азот є технічною домішкою природного алмазу, а наявність кисню можна пояснити методами одержання цього компонента, або параметрами та технологією детонації.

В даному дослідженні розглядали одержання алмазної фракції у технологічному процесі, пов'язаному з утилізацією боєприпасів які завершили період їх зберігання . При цьому детально вивчали як загальний склад одержаної шихти, так і покриттів з модифікованими.

2.2. Матеріали та методики досліджень

Для реалізації поставленої в роботі мети використовували сучасні методи досліджень, які базувалися на використанні оптичної та електронної мікроскопії, мікрорентгеноспектральному і спектральному аналізах. Такими методами досліджували, як покриття з домішками модифікуючої шихти, так і її конгломератів, що входять до магнітної частки зерен. Властивості покриттів без модифікування та з їх введенням оцінювали статистично по зміні властивостей: мікротвердості;

розподілу компонентів; змінах структури і напруженого стану; якості перехідної зони та її розмірів.

Особливу увагу приділяли напруженням, що виникають при нанесенні покриттів та є відповідальними за утворення дефектів на перехідній межі покриття - основний метал.

Напружений стан оцінювали по перерізу перехідного шару, рівень зони напружень оцінювали згідно показників зміни мікротвердості та структури, а також по показникам відхилень коерцитивної сили.

По перерізу нанесених покриттів у верхній, середній та перехідній зонах металографічно оцінювали розмір зерен та ступень подрібнення карбідної фази.

При відновленні деталей використовували електроди для наплавлення, які забезпечували рівень необхідних властивостей.

Введення модифікуючої домішки проводили двома способами: обмазкою електроду та нанесенням шлікерного покриття. Вибір частки введення модифікуючої домішки у рідкий розчин покриття залежав також від завдань, які вирішувалися. Стосовно матеріалів деталей досліджували нанесення покриттів на вуглецеві, низьколеговані та дисперсно зміцнені сталі. Ці всі підходи детально розглядаються у відповідних розділах роботи.

Теоретичні дослідження виконували з використанням нового підходу до оптико-математичного методу, який дозволив оцінити вплив модифікування на якісні та кількісні структурні зміни в покриттях порівнянням з показниками, що відповідають показникам вихідного стану без використання домішки детонаційної шихти. Властивості покриттів оцінювали вимірами мікротвердості та по змінам показників коерцитивної сили. В якості основи при математичних обробках використовували машинний аналіз, який дозволяє оцінювати відображення по їх статистичним характеристикам і розподілу та щільності пікселів на відображеннях мікроструктури.

Докладніше підходи до досліджень викладаються у відповідних розділах роботи. Стендові промислові випробування проводили в умовах виробництва ДП «Завод ім. Малишева», згідно діючого договору.

Висновки

1. Методологічно виконання роботи побудовано на основі діаграми Ісікава, і відображає послідовність, напрями та зміст досліджень.

Виконали аналіз літературних джерел, згідно напрямку підвищення експлуатаційних властивостей металу при модифікуванні різними домішками. Провели структурний аналіз нової, шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів для розробки способу одержання та поділення її на фракції. Крім цього розглянуто розробку технології введення такої домішки у рідкий розчин при наплавленні в залежності від завдань, що вирішувалися на основі експериментальних теоретичних досліджень, промислових випробувань з оцінкою ефективності нових технологічних напрямів.

2. При виконанні розробок нових технологічних процесів вперше виконували оцінку змін структуроутворення у вуглецевих, низьколегованих, дисперснозміцнених сталях при модифікуванні домішкою покриттів з дисперсною алмазною фракцією магнітної складової детонаційної шихти, одержаної від утилізації певного набору боєприпасів.

Експериментальні дослідження базувалися на методах: металографічної та електронної мікроскопії, локальному спектральному та хімічному аналізах. Конгломерати зерен оцінювали статично спектральним та хімічним аналізами. Така шихта після розподілу її з виділенням магнітної складової включала крім основних компонентів С, Fe, Cu, Al незначну концентрацію модифікуючих та летких складових.

3. Зміни структурного стану описували теоретично оптико-математичним аналізом, який дозволив виявити якісний та кількісний склад фаз, їх зміну при модифікуванні, а також взаємодію між окремими складовими.

Властивості покриттів оцінювали методами мікротвердості та показниками коерцитивної сили (неруйнівним методом контролю), зміни яких відображають деградацію структурного стану при експлуатації та рівень виникаючих напружень.

РОЗДІЛ 3

ВТОРИННА СИРОВИНА З АЛМАЗНОЮ ФРАКЦІЄЮ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ

В останні роки велика увага у машинобудуванні приділяється розвитку технологій, які для зміцнення та відновлення деталей використовують модифікуючі дисперсні домішки наноматеріалів та спеціальні способи їх одержання. При цьому, особливу увагу надають зменшенню витрат на їх одержання та забезпечення значного технологічного і економічного ефектів.

Для деталей, які при експлуатації мають незначний знос використовують нанопокриття як одно – так і багатошарові, а ті, які зношуються більш інтенсивно і потребують відновлення наплавленням для компенсації зношеного шару. В ряді випадків використовують методи наплавлення дротом або електродом. Якість відновлення характеризується такими властивостями, як відсутність дефектів у такому шарі, забезпеченням формуванням міцної зони зчеплення покриття з основою, забезпеченням необхідних експлуатаційних властивостей. Якість відновлення в значній мірі залежить як від структури так і властивостей матеріалу деталі, що відновлюється [133]. Для зміцнення використовують різні карбідні фази та алмазну фракцію різного способу одержання.

Домішки нано- та дисперсних алмазів одержують, згідно діючої нормативно-технічної документації, а також у вигляді шихти з алмазною фракцією по додатковим технічним умовам.

У ХНТУСГ імені Петра Василенка одержана вторинна сировина від утилізації спеціального набору боєприпасів, які мають у своєму складі нано- та дисперсні алмази. Така шихта має різні фракції зерен та може знайти використання в різних галузях виробництва – машинобудуванні, металургії, транспортного і видобуванні газу та нафти.

3.1. Новий спосіб одержання детонаційної шихти для модифікування з алмазною фракцією

Для зменшення витрат у виробництві розроблено нову технологію та спосіб одержання детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, які завершили період використання та зберігання на складах.

Одержання такої вторинної сировини дозволить її використовувати для модифікуванні рідкого розчину при відновленні деталей наплавленням зношеного шару.

Новий спосіб одержання шихти з алмазною фракцією при утилізації боєприпасів, у яких збігає термін використання, полягає в тому, що проведений аналіз хімічного складу їх різновиду, запроповано оптимально-доцільне співвідношення, та внесені корективи щодо їх розміщення і послідовності проведення в дію. Отримана вторинна сировина дозволяє одержувати стабільну алмазну фракцію, а і використовувати додатково домішки модифікуючих компонентів що входять до вмісту шихти. Це такі як Mg, Ca, Al.

В роботі [134] представлені способи технологічних особливостей одержання нанопорошків різного складу одно- та багатокomпонентних (легованих домішками карбідів і оксидними), які створюють з використанням методів термічного впливу з розкладанням суміші дисперснозміцнених сплавів, наприклад, з алюмінієм для спеціального призначення.

Використання таких методів потребує попередню обробку, раніше одержаних порошків на основі різних технологічних процесів, а потім додавання цих нанодомішок в розплавлений розчин з метою зміцнення поверхневого шару. Проте методи одержання алмазних домішок не розкривають суттєвості їх одержання.

Шихту з включеннями алмазів, отримують різними методами деформування, статичним, динамічним і детонаційним. В цих дослідженнях показано, що більш стабільні та якісні порошки з алмазною фракцією досягаються при використанні детонаційного методу їх одержання [133,134,135]. У відомих публікаціях теж відсутні особливості параметрів технологічного процесу одержання такої шихти.

Експерименти по синтезу алмазів при детонації конденсованих вибухових речовин складу $C_aH_bN_cO_d$, надаються в роботах [136,137], де показано, що вони розчиняються з виділенням вуглецевої фази, до якої входять дисперсні алмази.

Такий спосіб одержання алмазної фази відрізняється значною ефективністю у зв'язку з тим, що відсутні принципові границі на одержання конкретних статичних об'ємів та маси вибухових зарядів, з підвищенням яких зростає час дії високого тиску, що забезпечує необхідну якість та розміри формуємих включень. Вони базуються на специфічних керуючих параметрах одержання алмазної дисперсної фази в умовах процесу детонації та мають конкретне призначення.

В роботах [138,139] показано, що детонацію боєприпасів проводять індивідуально для кожного великокаліберного одиничного снаряду в приміщенні зі зовнішнім регулюванням технологічного процесу. Одержану вторинну сировину використовують при плавленні у металургійних процесах.

Цей спосіб не є економічним, та достатньо екологічним. Крім того, кожний з боєприпасів має своє призначення, виготовляється з відповідних матеріалів та може використовуватися лише як модифікатор, згідно хімічного складу конкретної сировини у достатній кількості.

Виявлено також методи які висвітленні у дослідженнях [140,141]. Це дві принципово різні схеми: перша – контактне ударно-хвильове навантаження вуглецьграфітного матеріалу, який знаходиться в контакті з зарядом або через шар з металом; друга – безконтактна, при якій на вуглецьграфітовий матеріал діє металевий ударник, що може досягти 100ГПа та більше.

Такі методи детонації можуть використовуватися неодноразово, особливо при хвильових вибухах.

На кожний 1 кг заряду рекомендується використовувати об'єм контейнера для детонаційного вибуху розміром 1-4м³.

Такі методи детонації не враховують хвильовий вплив на технологічні параметри процесу, а також додаткову дію на вибухові параметри піроефекту від вмісту магнію, який є у боєприпасах, що планувалися до утилізації.

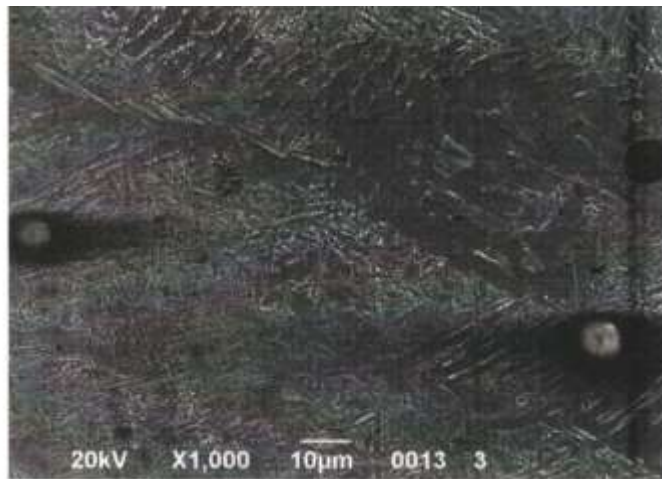
В основу нового способу одержання шихти при утилізації боєприпасів, покладена задача розробки оптимального технологічного процесу з одержанням стабільної алмазної фракції для модифікування рідкого розчину при відновленні деталі наплавленням. Це можливо лише при підборі відповідної номенклатури боєприпасів, які завершили період зберігання і не можуть використовуватися, згідно призначення.

Вирішення такої задачі досягли детонацією 12,5мм (основна їх частина складала – 99%) та 15мм – (до -1,0%) сигнальних. Частку сигнальних патронів не слід перевищувати тому, що вони містять магній та будуть посилювати піроефект. Ця частка сигнальних патронів буде достатнім для підвищення локальної температури детонації до 3000⁰С та одержання стабільної фракції алмазів. При детонації такі патрони поділили на чотири рівні частини та розташували їх пошарово у контейнері.

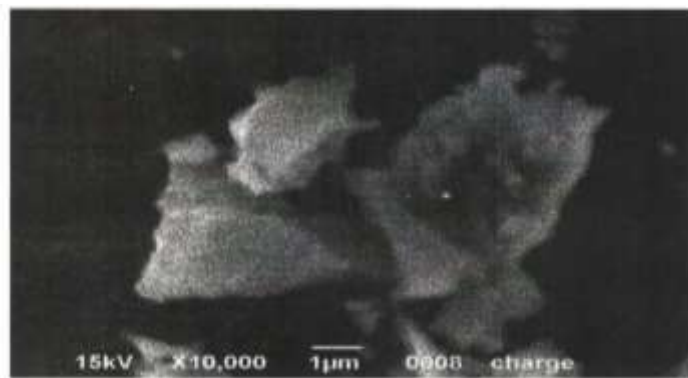
Суттєвий вплив на стабілізацію алмазної фракції мають хвильові багаторазові деформації, це досягається детонацією послідовно кожного шару з різним інтервалом процесу за часом. Дослідженням встановлено, що детонація першого шару відбувається у період 1-2 с; другого 2-3 с; третього 3-5 с; четвертого 5-10 с.

Таким чином у період між часом дії вибухової хвилі від детонації кожного шару відбуваються ще і зворотні менш інтенсивні додаткові хвильові деформації, що створюються від стінок контейнера. Така багатохвильова деформація сприяє, як

спіканню алмазної фракції так і створенню конгломератів зерен так і подальшому їх подрібненню (рис 3.1.). Це залежить від покриття, що кристалізується на алмазній фракції. У цьому випадку, коли кисневмісні тверді фази заліза кристалізуються навколо алмазної фракції створюючи конгломерати (див. рис 3.1.а), інші немагнітні сполуки деформується та подрібнюється у зернах.



а)



б)

а – алмазні включення; б – кисневі плівки

Рис.3.1– Алмазна фракція, що формується у конгломератів зерен з

Статистичним локальним спектральним аналізом зерен, які покриті плівками, встановлено, що доля алмазної фракції складає від 7,04 до 24,17 % С (див. рис 3.1.б). Алмази покриті залізокисневими плівками можливо виявити лише при багатократному збільшенні цих кисневих сполук.

Одержання такої шихти проводили утилізацією боєприпасів в контейнері об'ємом 1 м^3 з отворами для виходу газів та летких компонентів, а підпал для пошарової детонації – з використанням печі, яка була розташована знизу поза контейнером. З урахуванням безпеки контейнер розташовували в полі на відстані приблизно 1,5 км від забудов. Для відділення газів у верхній та бокових стінках контейнера, а знизу для стікання компонентів з низькою температурою плавлення створили отвори діаметром 6 мм, які розташовували на відстані 50 мм одне від одного.

Стабільну якість алмазної фази контролювали використанням її в протягом терміну який склав 4^и роки. За цей термін властивості алмазів не змінювалися. Встановлено, що такий спосіб детонації забезпечує отримання матеріалу шихти що має стабільні характеристиками алмазних включень, це дозволяє їх використовувати, певний час і не проводити додаткового очищення. Такий спосіб одержання вторинної сировини є маловитратним та може змінити стандартні великокоштовні порошки алмазів при їх використанні. Одержана шихта та спосіб її детонації крім алмазної фракції включає і модифікуючі домішки.

Детонаційна шихта отримана таким способом не потребує ні яких додаткових домішок. Разом з цим, при одержанні такої модифікуючої домішки її можливо легко поділити за фракціями та складом (дисперсна магнітна та немагнітна, або конгломерати – їх суміш).

Статистично виконано аналіз складу зерен одержаної детонаційної шихти хімічним (загальним аналізом табл. 3.1) та – окремих спектральним, що дає повне представлення про вміст компонентів (табл. 3.2).

На рис 3.2 наведено приклади аналізу зерен шихти та вихідного матеріалу при детонації гільзової сталі (табл.3.1). Однак інші складові шихти включають додатково легуючі, модифікуючі, литкі та легкоплавкі домішки.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад гільзової сталі,

Компоненти	Біметал	Холоднокатана сталь
Вуглець	0,12 – 0,20	до 0,11
Марганець	0,35 – 0,60	0,35-0,55
Хром	до 0,15	до 0,15
Нікель	до 0,30	до 0,30
Кремній	до 0,08	до 0,06
Мідь	до 0,20	до 0,20
Сірка	до 0,06	до 0,04
Фосфор	до 0,035	до 0,035

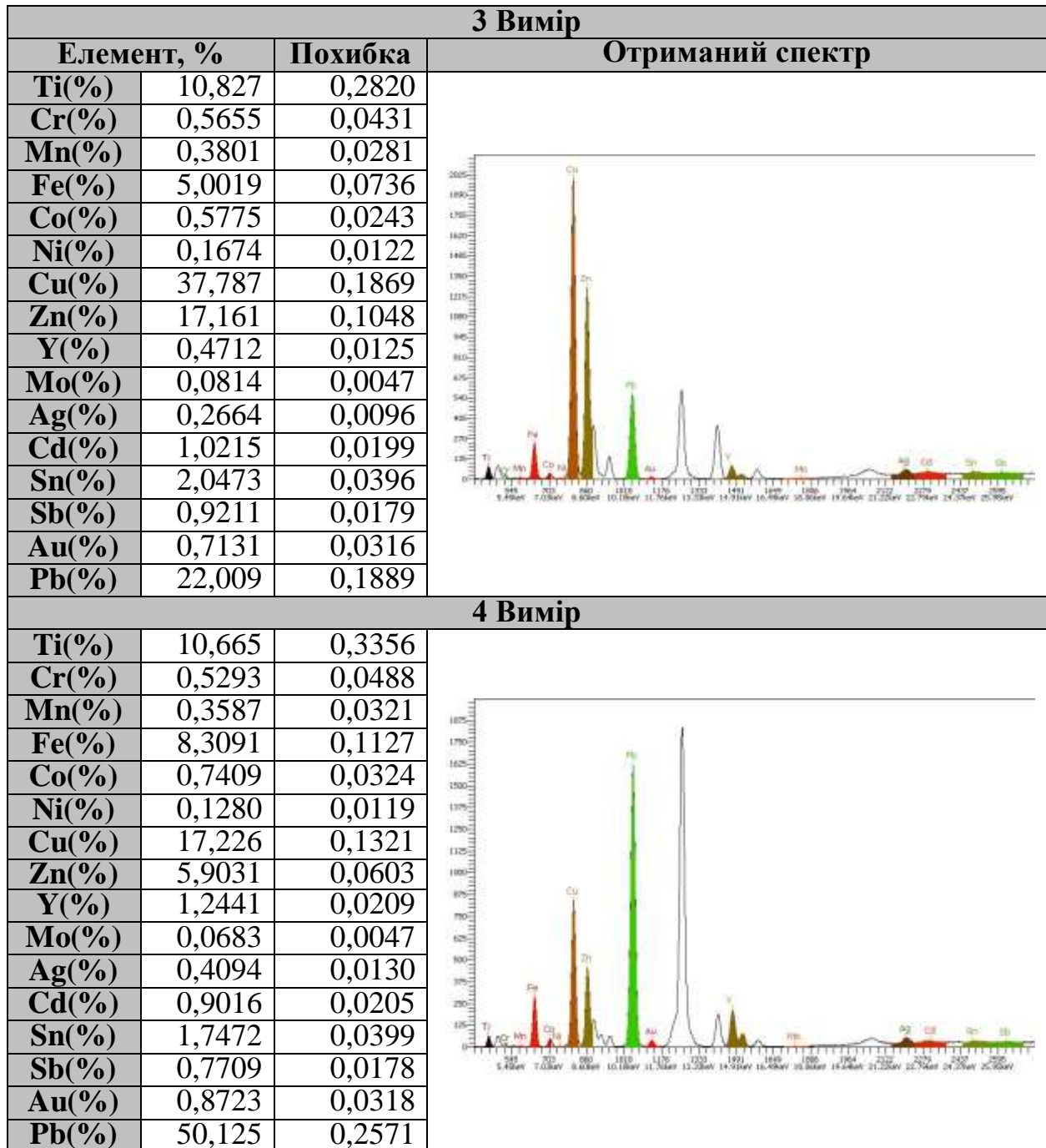


Рис 3.2 – Розподіл компонентів у зернах магнітної шихти

Після детонації боєприпасів формується шихта різних фракцій і властивостей. Для ефективного використання алмазомісткої шихти, при модифікуванні металу відновлюваних покриттів та задоволення різних споживчих властивостей було необхідно провести її розділення за фракціями на складові, що містять конгломерати зерен дрібних фракцій – магнітної та немагнітної, а також – конгломератів.



Рис.3.3 – Змішана дрібна фракція магнітної і немагнітної шихти від утилізації боєприпасів

Таблиця 3.2 – Хімічний склад змішаної фракції шихти

Елемент	Середній вміст в шихті %
Ti	10,61
Cr	0,57
Mn	0,38
Fe	8,45
Co	0,83
Ni	0,14
Cu	25,41
Zn	10,45
Y	0,90
Mo	0,09
Ag	0,26
Cd	1,22
Sn	2,36
Sb	1,03
Au	0,75
Pb	36,54

Для розділення шихти, на першому етапі, її просіювали на ситі. Для отримання лише дрібної фракції просіювання здійснювали багаторазово. Потім проводили магнітну обробку дрібної фракції для розподілу на магнітну і немагнітну складові. Обробку також проводили багаторазово.

3.2. Розподіл детонаційної шихти за фракціями та властивості покриття при наплавленні

В раніше проведених дослідженнях [142-143] широко використовували для модифікування не магнітну складову шихти, яка показала високу ефективність в досягненні необхідних властивостей. В даному дослідженні вивчені процеси використання магнітної шихти, склад якої, було розглянуто у розділі 3.1. Отриманні дисперсні алмазні включення в серединні зерен покритті кисневими сполуками заліза FeO , Fe_2O_3 та Fe_3O_4 . Проведеними дослідженнями встановлено, що розташовані всередині конгломерату алмазні включення не подрібнюються, а зберігаються більш великими та мають округлу форму.

Змішана фракція – це великі зерна конгломерату в яких присутні всі складові шихти (магнітна та не магнітна). Немагнітна фракція, включає нано- дисперсні включення алмазів, алюмінію, а магнітна – окисневі фази заліза у вигляді феритів - шпінелі (MeFe_2O_3). При цьому в якості шпінелей можуть бути малі домішки Cu , Si та інших компонентів. Загальним хімічним аналізом встановлено, що в такій шихті присутні Cu , Al , Fe , O , C .

Кисневі включення нанорозмірних частинок Fe_2O_3 відрізняються сильними магнітними властивостями. Враховуючи їх властивості провели магнітне розділення дрібної шихти на фракції та використали для модифікування відновленого наплавленням шару.

Аналізом встановлено, що магнітна шихта містить значну кількість кисневих включень у вигляді оксидів. При цьому, підвищеним магнетизмом відрізняються навіть сильно подрібненні кисневі включення заліза, доля яких більша в дрібній магнітній фракції. Така шихта містить до 0,2-0,3% міді. Завдяки малій концентрації міді, у відсутності сірки отриманий модифікатор використали для відновлення деталей наплавленням нержавіючим електродом ER321. Подрібнений модифікатор наносили у вигляді шлікерного покриття на поверхню що відновлюється за допомогою клейової основи. Перед тим провели підготовку зношеної поверхню – зачистили та активували механічною обробкою що забезпечило доброго зчеплення з основним металом при наплавні. Після нанесення покриттів дослідні зразки

розрізали і за допомогою електронної мікрорентгеноскопії вивчали їх мікроструктури. При цьому, проводили порівняльний аналіз отриманих шліфів без модифікування магнітною часткою детонаційної шихти та з її введенням.

На першому етапі аналізували наявність неметалевих включень. Слід зазначити, що їх кількість є значно більшою у зразку без модифікування (рис 3.4). Такі включення при виготовленні металографічного шліфа для досліджень частково викришувалися, залишаючи слід подряпинами, мали низькі механічні характеристики.

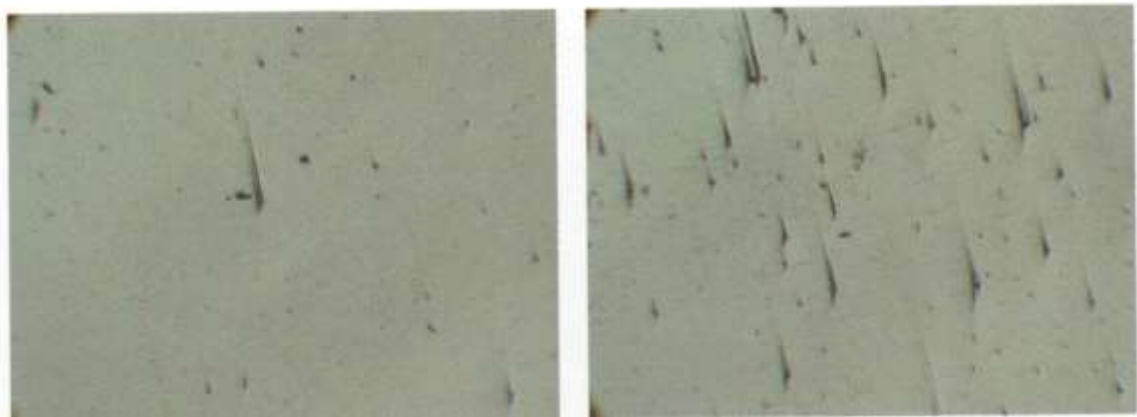


Рис.3.4 – Неметалеві включення при наплавленні без модифікування $\times 100$

Дослідженнями встановлено, що в шліфи модифікованих зразків мають рівну межу розділу покриття – основний метал, без дефектів і на ній виявлено значно менше осадів з неметалевими включеннями, тобто компоненти що входять до складу модифікуючої домішки у вигляді дрібно дисперсного порошку (рис.3.5).

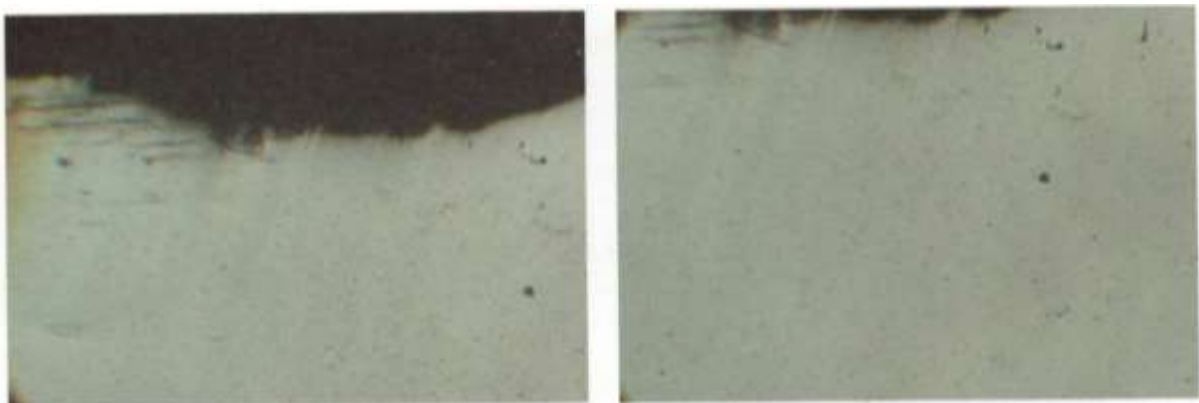


Рис 3.5 – Неметалеві включення при наплавленні з додаванням магнітної фракції детонаційної шихти $\times 100$

Введення модифікованої домішки помітно подрібнює зерно, що добре видно на травлених шліфах (рис 3.6)

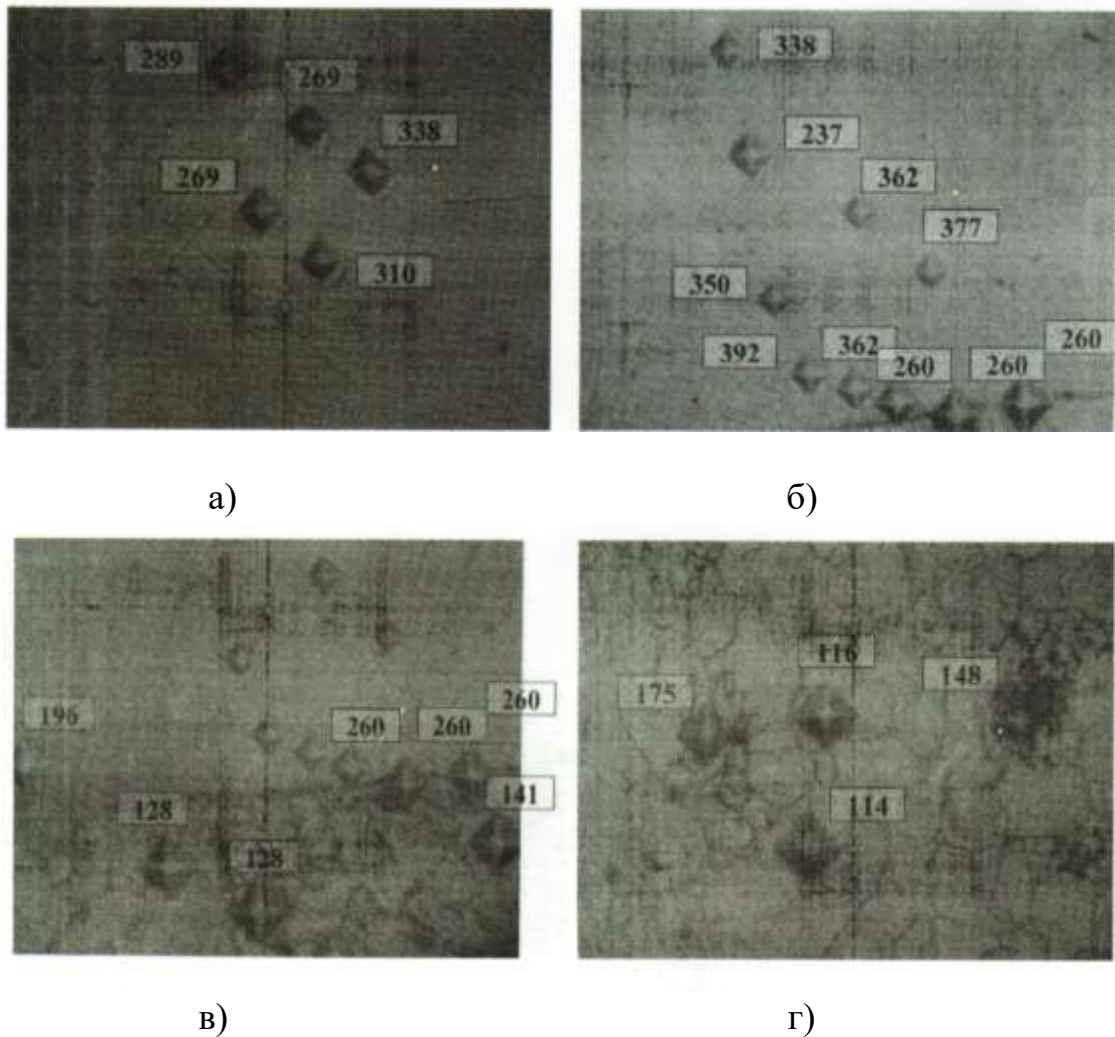
Рівень властивостей оцінювали за результатами вимірювання мікротвердості прибором ПМТ-3, при навантаженні 50г.



а) – при наплавленні без домішок; б) – з введенням модифікатора
Рис.3.6 – Подрібнення зерен при введенні модифікуючої домішки $\times 100$

Аналізом встановлено, що у випадку відновлюваного наплавлення без введення модифікуючої домішки відзначається великий розкид показників мікротвердості. Так, у відновленому покритті розкид показників змінюється на 25% (від Н-50-269 до 338). В перехідній зоні, поблизу межі розподілу з основним металом, мікротвердість знижується і коливання показників досягають 30,0% (від Н-50-196 до 260), а зона термічного впливу складає Н-50-128-141. Мікротвердість основи не перевищує Н-50-114-128 (рис.3.7)

При введенні модифікуючої домішки магнітної частки шихти детонаційного синтезу мікротвердість підвищується, в порівнянні з максимально досягнутими показниками без її введення, приблизно на 10% (до Н-50-362). Крім того, мікротвердість стає більш однорідною по всьому перетину відновлюваного шару, але в перехідній зоні та – зоні термічного впливу вона не змінюється і становить Н-50-125 та Н-50-112-141 відповідно (рис.3.8).



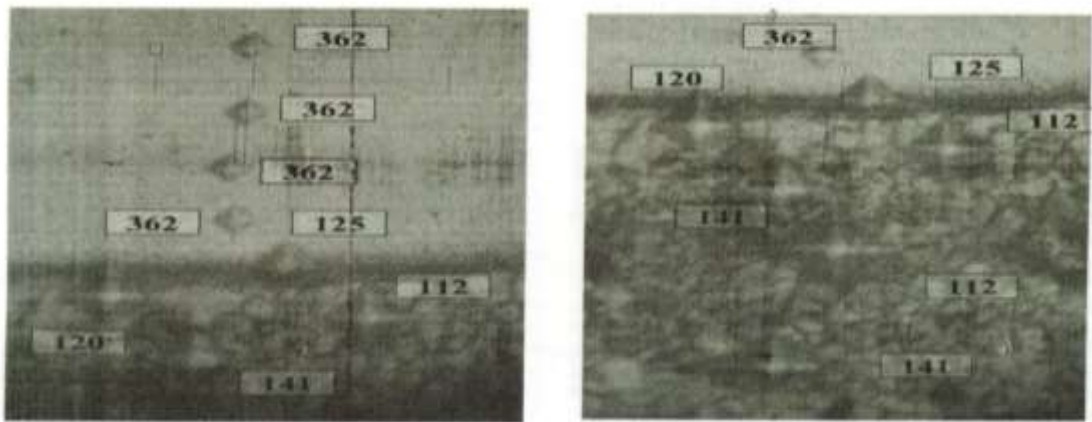
а, б – наплавлення; в – перехідна; г – термічного впливу

Рис.3.7 – Показники твердості у різних зонах відновлювального шару

При введенні модифікуючої домішки відзначається відсутність в наплавленому шарі формування тонкої дендритної структури, яка характерна для вихідного варіанту наплавлення, (рис.3.9), відповідно направленому тепловідведенню.

Такими змінами пояснюється забезпечення рівномірної мікротвердості по перетину відновленого шару при введенні модифікуючої домішки. Суттєвого осідання не металевих включень на межу розподілу покриття – основа, при такому способі наплавлення та часки модифікуючої домішки введення 5-7% відносно дроту, не виявлено. Показано, що такий метод і склад шихти доцільно

використовувати при відновленні деталей, що вийшли з експлуатації за зносом робочого шару.



а) б)
а – відновлювального шару; б – зони термічного впливу
3.8 – Зміна твердості по перерізу

Вивчали для попередньої перевірки можливості використання магнітної складової шихти, яка має значну частку дисперсних алмазів у оболонках кисневих складових з більш високою температурою плавлення ніж у – немагнітній. Визначили ступінь ефективності внесення модифікуючої домішки у відновлений шар згідно методу нанесення шлікерного покриття в зону наплавлення.



Рис.3.9 – Формування тонкої дендритної структури в наплавленому шарі без модифікуючої домішки x100

Наведений метод використовували для встановлення інтенсивності осідання дисперсних алмазів на границі сплавлення покриття з основним металом деталі.

Вивчали властивості та зміни в матеріалі відновленого шару неруйнівним методом контролю шляхом вимірюванням коерцитивної сили приладом КРМЦ, при

нанесенні шлікерного покриття з модифікованою домішкою, а також до його наплавлення (табл.3.3)

Таблиця 3.3 – Оцінка показників коерцитивної сили, Нс

Місце вимірювання	Показники коерцитивної сили, А/см				Середнє значення
Після нанесення шлікерного покриття (до наплавлення)					
Тіло деталі	2,1	2,1	2,2	2,0	2,1
Деталь з шлікерним покриттям	2,4	2,8	2,6	2,5	2,58
Після оплавлення покриття					
Деталь з наплавленням без модифікування	4,1	3,8	3,8	4,0	3,95
Деталь з покриттям при модифікуванні	4,2	4,1	4,1	4,1	4,12

Порівняльні дослідження показують наявність прояву тенденції до підвищення коерцитивної сили у зразках після наплавлення. Але суттєвих підвищень рівня напружень, причиною яких могло стати модифікування, не відзначаються. Разом з тим, виявлено, що наплавлення легованою проволокою підвищує коерцитивну силу в два рази, а модифікування призводить лише до її незначного зростання. Слід визначити, що воно складає не більше 4%.

На основі виконаних попередніх порівняльних досліджень показана доцільність використання магнітної складової детонаційної шихти, яка може забезпечити потрібний ефект за рахунок вмісту певних компонентів та введені їх в зварну ванну при відновленні наплавленням легованим електродом. Це досягається формуванням дрібнозернистої однорідної структури та підвищенням мікротвердості на 10%, це забезпечує збільшення зносостійкості відновлюваних деталей в експлуатації, а також знижує витрати на виробництві за рахунок використання вторинної сировини. Така технологія модифікування, як показали вимірювання коерцитивної сили, не викликає збільшення напруженого стану у відновленому шарі в порівнянні з традиційним методом наплавлення. Наведений технологічний процес

доцільно рекомендувати для використання, після вивчення створеного структурою стану покриття і його зчеплення з основним металом.

3.3. Теоретична оцінка формування конгломерату шихти для модифікування покриттів

Як було показано в останні роки особливу увагу при створенні нових технологій приділяється використанню нанотехнологій. Їх використовують в різних галузях виробництва. В машинобудуванні нанотехнології використовують для зміцнюючих покриттів при виробництві деталей, а також використання в процесі експлуатації. Для цього ефективними є різні модифікуючі домішки кисневих включень, карбідів, нітридів, алмазів. Вони великокоштовні у виготовленні і тому у використанні є економічно не доцільними. Вихід з цього може лежати в площині пошуку нових домішок за рахунок використання вторинної сировини.

Особлива увага приділяється матеріалам, що містять алмазну фракцію, яка змінює умови кристалізації металу та його властивості.

У зв'язку з цим, у даному розділі роботи аналізували склад детонаційної шихти від утилізації боєприпасів з отриманням алмазної фракції на основі аналізу вмісту фаз у конгломератах зерен.

Зерна конгломерату, що формуються при циклічній детонації, суттєво відрізняються від аналогічного матеріалу, який одержують однократним вибухом. Багаторазова деформація сприяє подрібненню зерен та їх складових і одночасно – з'єднує. У ряді випадків такі фази у з'єднаннях зміцнюють алмазну фракцію і це залежить від складу зерен (м'які, тверді). Як було встановлено, алмазна фракція шихти дуже активна до взаємодії з киснем та формує з'єднання з цим компонентом. Тому алмазна фракція, частіше знаходиться в центрі зерен, а її покривають киснеутримуючі з'єднання. У випадку, як що вони пластичні, то при циклічній детонації порушується їх цілісність, а – в не пластичних, що швидко охолоджують алмазні включення і вони їх захищають від подрібнення одночасно формуються зерна тільки у вигляді конгломерату (рис.3.10).



Рис.3.10 – Зрощені зерна конгломерату

Перш ніж оцінювати фазовий склад зерна шихти, детально аналізували відомі літературні джерела для отримання уявлення про можливість фазових з'єднань за виявленим хімічним складом методом мікрорентгеноспектрального аналізу компонентів (табл.3.4). Виходячи з результатів оцінки хімічного складу детонаційної шихти, оцінили можливість формування різних фаз.

Таблиця 3.4 – Фази, які можуть формуватися в зернах конгломерату детонаційної шихти

Компоненти шихти	Можливі фази або з'єднання
Fe	FeO, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , FeC, Fe ₂ C, Fe ₃ C, FeP, Fe ₃ P, FeS, Fe
Cu	CuCl, CuO, Cu
Al	Al ₂ O ₃ , AlCl
Mg	MgO, MgCl ₂
Zn	ZnO, ZnH ₂ (кристали)
Ba	BaCl, BaH ₂ (солі); BaSO ₄ та BaNO ₃ , BaC ₂ , BaPb, Ba ₂ Pb (кристали)
Pb	PbO ₂ , Pb ₂ O ₄ , PbO ₃ , PbO ₄ , PbCl ₄
C	Кисень, що покриває алмази
Cl	Всі можливі з'єднання приведені вище

З наведених даних бачимо, що такий компонент як хлор, може з'єднуватися з міддю, алюмінієм, магнієм та барієм.

Кисень покриває алмазну фракцію та утворює з'єднання з залізом, міддю, магнієм, цинком, свинцем.

Тверду порошкову фракцію формують з'єднання ZnH_2 , $BaSO_4$ та Ba_2Pb . Найбільш твердими є кисневі з'єднання з залізом.

Саму високу температуру плавлення мають кисневі з'єднання Al_2O_3 (2015-2030° C) та вони утворюють неметалеві включення.

Статистичним локальним спектральним аналізом конгломератів зерен встановлено, що вони складаються з компонентів: кисню, вуглецю, хлору, алюмінію, магнію, міді, цинку, барію, свинцю та середній їх локальний вміст складає, %: 0,98 Fe; 4,4 Cu; 11,7Al; 7,7C; 6,08Ba; 4,4Mg; 7,6Cl; 45,2O₂.

Проте, при введенні такої модифікуючої домішки в покриття при наплавленні, доля її складає всього 5-7% від використаного електроду.

При переведенні на частку введеної домішки основними з них є, %: 0,7Al; 2,56 O₂; 0,46C; 0,26Cu; 0,45Cl; 0,36Ba та 0,21Mg. Тому, повертаючись до табл.3.2, можемо очікувати, що в якості кисневих з'єднань в формованих конгломератах шихти можуть бути такі, що включають з PbO_2 ; PbO_3 ; PbO_4 ; Pb_2O_4 ; CuO ; FeO ; Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; Al_2O_3 ; MgO ; ZnO та кисень, що покриває алмазну фракцію.

Для отримання уяви про розподілення різних комбінацій кисневих з'єднань та окремих фаз в конгломераті використовували оптико-математичний метод оцифрування металографічних зображень формованих структур.

Оптико-математичним описом фаз підтверджена частка вуглецю 0,46% і вона належить алмазам. При такій технології одержання детонаційної шихти графітова фаза відсутня. При наплавленні покриття леткі компоненти виділяються.

Оцінку проводили по методикам [144-147], заснованих на гідродинамічних аналогіях з використанням рівнянь Нов'є–Стокса, які враховують дисипацію енергії, дифузійні процеси та ступень неоднорідності структури на металографічних зображеннях.

Аналіз цих зображень мікроструктури для виявлення фазового складу проводили оптико-математичним методом за розрахованими значеннями у цифровому форматі bmp, шляхом сканування зображень, відповідно до розміру

комірки 3x3 пікселя. Умовні кольори оцінювали в кожній точці координат такої матриці:

$$C_y = \begin{pmatrix} C_{i-1j-1} C_{i-1} C_{i-1j+1} \\ C_{y-1} C_y C_y C_{ij+1} \\ C_{i+1j-1} C_{i+1j} C_{i+1j+1} \end{pmatrix}$$

Весь інтервал можливих фаз складається з 225 кольорів (відтінків сірого) поділених на 16 інтервалів. В кінцево-різницевому уявленні $C_{(x,y)}$ - буде мати вид матриці C_{ij} (i -номер рядка; j - номер стовпця). Одночасно C_{ij} розглядали як код кольору у заданому цифровому форматі. Кінцеве-різницеве уявлення лапласіана (характеризує дифузію) і для кожної точки аналізуемого фрагмента зображення має вигляд

$$L(x, y) = \frac{\Delta^2 c}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 c}{\Delta y^2} = L_{x,y} = c_{i,j-1} + c_{i,j+1} + c_{i-1,j} + c_{i+1,j} - 4c_{i,j}$$

Матриця умовних кольорів $C_{(x,y)}$ фрагменту зображення в кінечно-різницевому представленні. Відповідає кроку за координатами на цифровому зображенні $\Delta x = \Delta j = 1$

Детальному дослідженню піддавали групу зерен шихти та окремих конгломератів. Одночасно ступінь неоднорідності структури оцінювали і з урахуванням густини фрагмента по дивергенції.

Оптико-математичній обробці піддавали слідувачі конгломерати зерен: загальну їх кількість та четверо окремих, в середині яких знаходилися роздробленні дисперсні алмази, розташовані в оболонці різних кисневих з'єднань.

Оцінюючи загалом, слід відзначити, що сумарна їх оцінка виявила наступне. Частка фаз одного кольору складає 11,26%, двійні з'єднання – 80,9%, трійні – 6,19% та більше 4-6 з'єднань, які сумарно не перевищують 1,65%, що відповідає 0,81; 0,52; 0,22%.

Оцінити частину кожного конкретного з'єднання не представляється можливим через формування їх різної товщини, що вносить похибку не тільки через велику локальність їх розподілення, а також змінюваності співвідношення

компонентів у аналізованих зондом областях мікроренгеноспіктрального методу, але і – оптико-математичним через велику змінюваність відтінків на металографічних зображеннях.

Разом з тим, на основі проведених базових досліджень (в тому числі локальним мікроренгеноспіктральним аналізом) можливо припустити, що одного кольору можуть бути дисперсні алмази, γ - Fe залізо, кристали цинку. Подвійні з'єднання – це кисневі включення, які формуються в умовах використовуваного метода детонації. Багатокомпонентні з'єднання аналізувати складно через їх малу частку та великого об'єму необхідного математичного опису.

Враховуючи значний досвід використання такого методу оцінки фазового складу в сплавах, чавунах, сталях можливо припустити проходження при циклічній детонації фазової перекристалізації з формуванням γ -Fe, доля якої при з'єднанні з киснем (колір 10) серед інтервалів фаз 6-7; 7-8; 9-10 є максимальним (табл.3.5)

Примітка: поєднання кольорів 1-5 не наводяться, оскільки вони описують підкладку, на якій розміщували шихту для проведення аналізу.

З табл.3.5 бачимо, що максимальна частка з'єднань належить кисневим з'єднанням з номерами інтервалів: 9-10; 10-11; 11-12; 12-13 та 13-14.

Таблиця 3.5 – Кількість двійних складових з'єднань фаз

Поєднання кольорів	Частка з'єднань
6-7	5,08
7-8	6,42
9-10	12,64
10-11	18,91
11-12	20,36
12-13	20,25
13-14	11,20
14-15	3,21
15-16	1,23

В залежності від типу кристалів, а також – солі вони розміщуються у вигляді дрібного порошку на зернах конгломерату рис 3.10, а окремі (більш великі) у незначній кількості тільки на фракції алмазів.

Різні кисневі з'єднання, що покривають алмазну фракцію добре її виявляють, а деякі з них покривають і інші зерна та розміщуються по межах зерен конгломерату. В якості прикладу окремі поєднання кольорів: 0-17; 7-8; 10-11 приведені на рис.3.11. Таким поєднанням надано червоний колір.

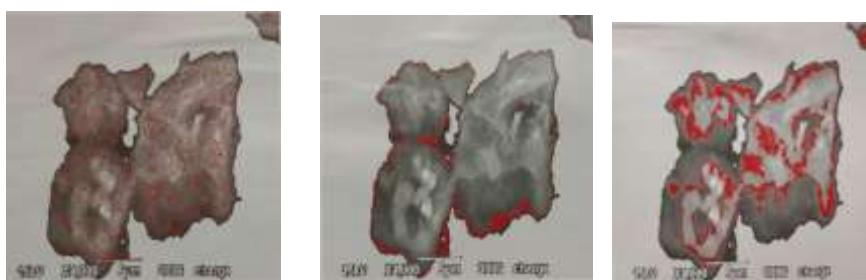


Рис.3.11 – Розподілення подвійних груп фаз по кольору на алмазних зернах

Аустенітна фаза заліза входить і в немагнітну складову шихти. Загальний аналіз порошку за співвідношенням фаз є близьким для різних фракцій шихти відносно приведеного вище середнього локального аналізу зерен.

Локальний спектральний аналіз та оптико-математичний опис структуроутворення досліджених електронних структур при збільшенні до $\times 10000$ виявив декілька інше розподілення фаз. Це стосується, в першу чергу, їх великої неоднорідності розподілу. При цьому відзначається чітке виявлення нових з'єднань, які мають колір (відтінки) більше 255 та, імовірно, відносяться до – трійних, четвертних і т.д. з'єднань.

Використання опису структуроутворення зерен шихти у поєднанні з локальним мікрорентгеноспектральним аналізом електронною мікроскопією та оптико-математичним методом, що виявляють частку типу з'єднань дозволили оцінити локальний склад компонентів шихти, та їх розподіл навколо алмазної фази. Показано, що така вторинна сировина крім алмазної фракції містить і модифікуючі компоненти (Mg, Ca, Ba), які плавляться при більш низькій температурі та будуть

ефективні для подрібнення зерна, зниження шкідливих домішок з додатковою рафінуючою дією на рідкий розчин металу.

Насиченість магнітної частки кисневими включеннями та поверхні алмазної фракції може бути важливим для експлуатації відновлених деталей у спряженні, що забезпечить їх зносостійкість за рахунок створення вторинних захисних структур на протязі всього періоду їх використання.

Висновки

1. Розглянуто склад детонаційної шихти від утилізації певного набору боєприпасів, які перевищили термін зберігання та використання. Оцінено її хімічний склад та можливість розподілу за властивостями та фракціями. Раніше виконаними дослідженнями було оцінено ступінь впливу на структуроутворення використання такої вторинної сировини, яка складалася з не магнітної фракції, але вона є лише частиною утилізованої шихти, яка включає нано- та незначну частку дисперсної алмазної фракції.

Розглянуто склад і можливість використання магнітної частини такої шихти, а також способи її одержання.

2. Встановлено, що магнітна складова вторинної сировини від утилізації боєприпасів відрізняється тим, що в її складі є підвищена кількість кисневих включень FeO ; Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; Al_2O_3 ; які створюють покриття на алмазній фракції та не подрібнюють її при багат шаровій детонації. Наявність значної долі кисню в цих з'єднаннях, а також покриття цими компонентами алмазної фракції може підвищувати їх експлуатаційну стійкість на протязі всього періоду використання зміцнюючих модифікуванням покриттів при наплавленні.

3. Оптимальна частка такої модифікуючої домішки, яка виноситься в рідку ванну залежить від напрямку її використання. Таке модифікування при внесенні домішки 6% супроводжується додатковим внесенням з шихтою у рідку ванну слідуючих компонентів %: 0,7Al; 2,56 O_2 ; 0,46 C; 0,26 Cu; 0,45 Cl; 0,36 Ba; та 0,21 Mg.

Введення такої шихти з алмазною фракцією, а також додатковими компонентами, сприяє модифікуванню рідкої ванни, що зменшує розмір зерен, підвищує мікротвердість. Так, при нанесенні відновлюючого покриття електродом ER321 на деталь з вуглецевої сталі максимальна мікротвердість без модифікуючої домішки дорівнює Н-50-338, а при її введенні підвищується до Н-50-362 та стає більш однорідною.

4. Одноразово оцінювали вплив модифікування на напружений стан та використовували неруйнівний метод контролю за коерцитивною силою. Аналізом одержаних результатів вимірів встановлено, що цей показник без модифікування змінюється в межах 25% після нанесення покриття, а після його формування з домішкою не перевищує 4,4%. Та це свідчить про відсутність напружень, які можуть вносити суттєві зміни у експлуатаційні показники.

5. Вперше виконана теоретична оцінка зерен конгломерату шихти, що використовувалась для модифікування рідкого розчину при нанесенні покриттів. Дослідження проведені статистично оптико-математичним методом опису структуроутворення зерен конгломерату. Показано, що алмазна фракція частіше за все знаходиться у середині зерен та її покривають різні типи сполук. Перші – відносно м'які з'єднання з компонентами різних з'єднань, що включають модифікуючі домішки, легкоплавкі компоненти та леткі (в цьому випадку алмазна фаза подрібнюється при детонації та виявляється лише при збільшенні $\times 10000$). Другі – складаються з покриттів кисневих включень, які мають достатньо високу твердість і при циклічних вибухах детонації така алмазна фракція залишається не змінною по формі та розміру. Її форма скруглена і вивчається лише після наплавлення та розчину оксидів заліза.

Виходячи з цієї інформації, модифікування вторинною магнітною часткою шихти може бути використане для забезпечення інших умов експлуатації ніж немагнітна складова.

6. Теоретично оптико-математичним методом встановлено, що при детонації з формуванням конгломератів кристалізуються різні фази та сполуки, які оцінювали згідно зміни кольорів. Встановлено, що в шихті частка одного кольору складає лише

11,26%; з'єднання двох - 80,9%; трьох – 6,19% , чотирьох не перевищує 1,65% , а більше – відповідає 0,81; 0,52; 0,23%.

7. Оцінити конкретно частину кожного із цих з'єднань не є можливим у зв'язку з тим, що аналізували інтервали з'єднань зі змінним вмістом компонентів, тому на основі базових досліджень можливо припустити лише окремі. Одного кольору можуть бути: алмазна фаза, γ -залізо, кристали цинку. Подвійні з'єднання це кисневі включення, що формуються при багаторазовому методі детонації, а також такі, що утворюють солі. Інші з'єднання з трьома та більшим числом компонентів оцінити практично не можливо та їх частка не значна. В табл.2 наведені можливі з'єднання компонентів, які досліджені мікрорентгеноспектральним аналізом та відповідно до літературних джерел на рис наведені групи фаз, що покривають алмазну фракцію, $\times 10000$.

8. Оптико-матиматичний аналіз виконували на основі 255 кольорів з розподіленням їх на 16 інтервалів. Розрахунки виявили, що оцінювання подвійних з'єднань тільки по одному інтервалу виконати не можливе тому, що вони чітко не поділяються по одній фазі. Це пов'язано з тим, що вони дуже дисперсні, тому вони повторюються в - іншому. У зв'язку з цим розрахунки проводили одноразово по двом, близько розташованим інтервалам.

Показано, що максимальна частка подвійних з'єднань це інтервали 10-14 і вони, виходячи з аналізу типу таких з'єднань належать – кисневим.

Особливістю магнітної складової шихти є наявність значної долі та розміру включень дисперсної алмазної фракції, насиченої на поверхні киснем (покриттями твердих кисневих сполук).

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

В даному розділі роботи розглядається не лише вплив параметрів відновлення деталей наплавленням, а і ефективні напрямки використання такої технології модифікування для зміцнені деталей, спосіб введення домішки, а також ефективні напрямки використання новітніх процесів. Такі технологічні процеси найшли відображення у 4 патентах України та наукових публікаціях (Додаток А).

4.1. Відновлення деталей з дисперснозміцнених сталей або зі значним скупченням неметалевих включень

Досліджували метал валу хімічного складу %: 0,62C; 0,67Al; 7,91Si; 10,2Cr; 10,02Mn та останнє Fe, який відновлювали згідно діючої технології. Аналізом одержаних результатів досліджень встановлено, що при відновленні наплавленням деталей які мають не тільки хромовмісні карбіди та кисневі включення, але і різні складні з'єднання з ними та вони можуть бути такими як: хромоалюмініва шпінель, хроміт марганцю $FeO \cdot (Cr, Al)_2 O_3$ і $MnO \cdot Cr_2O_3$, які формують відповідно, не стехіометричні карбіди хрому, марганця – типу $Cr_xC_y \cdot Mn_xC_y$, сульфід хрому і марганця – CrS, MnS. Температури плавлення цих з'єднань знаходиться в інтервалі 1530-1850⁰C, мінімальні відповідають сульфідним неметалевим включенням, що підтверджено мікрорентгеноспектральним аналізом локальних зон. Це пов'язано с тим, що при нанесенні покриття на першому етапі плавлення, коли температура рідкої ванни підвищена (1600⁰C) включення з основи переходять у наплавлений шар та послідовно розчинюються, або частково оплавляються і заповнюють середню та верхню зони відновленого шару .

Одноразово слід відмітити, що виявлений розкид по розподілу компонентів та кисню, або його відсутність можуть бути пов'язані с тим, що під аналіз мікрозонда підпадають не всі включення та їх розчини, що було знайдено локальним аналізом представлено в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Локальний розподіл компонентів в зоні сплавлення покриття з основним металом вала, відновленого згідно діючої технології

Елемент	Умови концен.	Інтенсив. поправки	Ваговий %	Питомий % Сігма	Атомний %	Аналізуєма зона
O	0,05	0,8436	0,49	0,24	1,56	Поверхня покриття
Si	0,41	0,7099	4,95	0,28	8,96	
S	0,04	0,8925	0,40	0,15	0,64	
Cr	1,68	1,0748	13,45	0,47	14,28	
Mn	7,59	0,9558	68,34	0,79	63,29	
Fe	1,41	0,9824	12,37	0,71	11,27	
Ітого	100,00					
O	0,08	0,6797	1,04	0,29	3,25	Середня зона
Al	0,02	0,5878	0,34	0,10	0,63	
Si	0,36	0,7249	4,27	0,22	7,57	
S	0,03	0,9093	0,28	0,13	0,43	
Cr	2,54	1,0648	20,66	0,46	21,50	
Mn	7,70	0,9428	70,80	0,66	64,27	
Fe	0,29	0,9715	2,62	0,53	2,34	
Ітого	100,00					
Si	0,45	0,7179	6,10	0,25	11,06	Перехідна зона
S	0,04	0,8907	0,48	0,13	0,76	
Cr	1,38	1,0788	12,28	0,38	13,06	
Mn	7,62	0,9585	76,52	0,62	70,92	
Fe	0,47	0,9849	4,61	0,54	4,20	
Ітого	100,00					

У середній частині покриття виявлені аналогічні локальні зони, які містять%: 1,04O₂; 0,34Al; 4,27Si; 0,28S; 20,66Cr; 70,89Mn.

Перехідна зона покриття – основний метал вала у локальному аналізі не виявила кисень, алюміній та по інших компонентах вона близька до основи.

Технологія відновлення таких деталей з використанням додаткового модифікування ефективна для зокрема, деталей сільськогосподарських машин при їх використанні зі сталей дисперснозміцнених або зі значним скупченням неметалевих включень (виготовлені зі засміченими домішками). Це дозволить підвищити якість перехідної зони, а також гальмувати перехід включень до появи їх у відновлювальному шарі.

Відомі захисні покриття, що включають нітриди кремнію, карбіди [148], які наносять у вигляді шлікерного покриття і нагрівають до $t=1700-1800^{\circ}\text{C}$. Таке покриття не може бути використано при послідуєчому наплавленні для відновлення робочого шару у зв'язку з тим, що температура рідкої ванни при наплавленні електродом не перевищує 1600°C , та це не забезпечить формування якісної перехідної зони та її зчеплення з основою, а також не буде сприяти подрібненню структури і зменшенню напружень у зоні термічного впливу.

Для одержання необхідної структури при відновленні і зміненні робочого шару деталей також використовують низьковуглецевий дріт та модифікуючу домішку, яку попередньо укладають на відновлювальну поверхню перед наплавленням [149]. Крім того, відомі підходи до зміцнення та відновлення робочого шару різними методами [150-152]. Такі методи включають використання компонентів, які розчинюються при наплавленні тому вони не можуть гальмувати перехід включень основного металу деталі у рідкий відновлювальний шар.

Підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні вторинною сировиною – магнітної складової детонаційної шихти [153], одержаної від утилізації боєприпасів, можливо досягти дозованою обмазкою електрода, але такий метод не передбачає гальмування у відновлений шар дисперснозміцнених або засмічених неметалевих включень сталей, що буде призводити до зниження якості відновлювального шару: показників механічних властивостей, зносостійкості деталей та супроводжуватися зародженням дефектів у виробництві.

Розробка нового способу підвищення властивостей та якості відновлення деталей наплавленням з дисперснозміцнених або засмічених неметалевими скупченнями включень сталей рекомендовано використанням модифікуючої домішки – магнітної частки детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, яка складається з основних компонентів і 2,87 – 4,5% нано- та дисперсних алмазів, оксидів до 6,1Cu та заліза (FeO , Fe_2O , Fe_3O_4).

Технічний результат такого модифікування полягає у наступному. Нано- та дисперсні алмазні складові шихти мають вплив мікроохолоджувачів, тому що вони не розчиняються та знижують температуру рідкої ванни при наплавленні електродом, в першу чергу, змінюють параметри технологічного процесу кристалізації при наплавленні електродом та охолодженні, при якому гальмується перехід неметалевих включень у відновлювальний шар (рис 4.1).



Рис4.1 – Гальмування включень у основному металі при нанесенні покриття
×100

Одноразово інші складові модифікуючої домішки (оксиди) розчинюються та кисень виділяється і це додатково призводить до зниження температури рідкої ванни. Такий процес сприяє подрібненню зерен структури у перехідній зоні та термічного впливу, яка суттєво зменшується (рис4.2) – в 1,8-2 рази по відношенню до відновлення без модифікування.

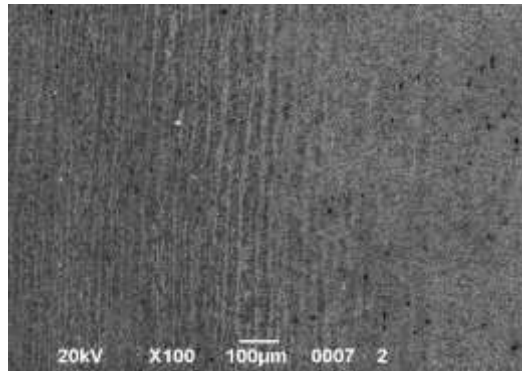


Рис.4.2 – Подрібнення включень в перехідній зоні

Використовували електродугове наплавлення електродом E46, $d=3,2$ мм та силою постійного струму 150А оберненої полярності, а домішку вводили нанесенням його шлікерним покриттям. При таких параметрах обробки хромвмісні включення не з'являються в покритті і не розчиняються.

Аналізом одержаних результатів досліджень встановлено, що при відновленні наплавленням деталей з модифікуванням магнітної частки шихти при її введенні у рідку ванну містить не тільки хромовмісні карбіди та кисневі включення у основному металі і різні складні з'єднання виявлена лише незначна частка компонентів основного металу з включеннями.

Методом локального мікроструктурного аналізу зони, що граничить з основою, де осідають алмазні включення при відновленні наплавленням виявили незначне підвищення концентрації Si, S, Al і Ca, але однозначно не можливо стверджувати про їх появу, тому що включення алмазної фракції покривають кисневі включення різного складу та температури плавлення. Тому детально аналізували границю сплавлення (табл.4.2).

Локальний аналіз (див. табл. 4.2) виявив підвищення в цій зоні лише до 3,3% Cr, а вміст S, Si та Fe не змінюється. У іншій зоні, що міститься на тому ж рівні, концентрація компонентів інакша, %: 0,23Al; 1,5Si; 4,0Cr та це підтверджує, що навіть у перехідному шарі при модифікуванні домішкою детонаційної шихти включення основного металу не з'являються у наплавленому шарі.

Підвищена концентрація Cr пов'язана з вмістом цього компонента в покритті пов'язано з дифузією його високою концентрацією в металі – до 13% (див.табл.4.1)

Разом з цим, за рахунок формування локальних термічних напружень, що формуються введенням мікроохолоджувачів (алмазної фракції) та зниженням температури рідкої ванни, має місце подрібнення та упорядкування неметалевих включень на границі покриття – основний метал

Таблиця 4.2 – Локальний розподіл компонентів в зоні сплавлення покриття з основним металом вала при модифікуванні магнітною часткою шихти.

Елемент	Умови концентр.	Інтенсивніс. поправки	Ваговий%	Ваговий% Сігма	Атомний%
Si	0,02	0,6216	0,18	0,04	0,36
S	0,05	0,8494	0,33	0,06	0,57
Cr	0,71	1,2463	3,30	0,14	3,52
Fe	16,62	0,9927	96,19	0,15	95,55
Ітого	100,00				
Si	0,02	0,62	0,18	0,06	0,36
S	0,04	0,8489	0,29	0,09	0,50
Cr	0,24	1,2613	1,20	0,16	1,28
Mn	0,21	0,9769	1,39	0,24	1,41
Fe	15,16	0,9968	96,94	0,31	96,45
Ітого	100,00				

Для забезпечення гальмування неметалевих та дисперснозміцнених фаз при відновленні деталей наплавленням використовували магнітну складову фракції детонаційної шихти домішкою 5-10% від долі оброблюємої поверхні. При використанні модифікуючої домішки менш ніж 5% відбувається поява неметалевих включень у відповідному шарі, а більше 10% має місце формування структури перехідної зони з більш неоднорідною по твердості зоною, за рахунок осідання нано- та дисперсних алмазів [154,155].

При реалізації такої технології необхідно, щоб при наплавленні зношеної поверхні деталей з дисперснозміцнених сталей проводили підготовку до відновлення і детонаційну шихту до її використання. Робочу поверхню слід шліфувати, а модифікуючу шихту подрібнювати і піддавати її відпалу при $t=500-550^{\circ}\text{C}$ з витримкою 20-25 хв. Для відновлення частки кисню, який при детонації створює покриття з введенням твердої фракції нано- і дисперсних алмазів, та вони не розчиняються. Такий спосіб використання шихти зменшує долю кисню з 0,9% до 0,1%, який буде виділятися при наплавленні і менш впливати на зниження температури рідкої ванни, тому що вона повинна бути не нижче 1500°C . Таку температуру також необхідно забезпечити і для повного розчинення кисневих включень CuO , FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 при формуванні якісного покриття.

Прийнятий температурний режим наплавлення та попередній відпал шихти з відділенням частки кисневих покриттів на алмазних фракціях (рис.4.3 – до, та 4,4 – після відпалу) також забезпечить твердість у перехідній зоні наплавлення. Особливістю порівняльних способів є досягнення при модифікуванні більш високого коефіцієнта анізотропії структури, який змінюється від 0,8 до 0,95 відповідно.

Магнітний параметр, який оцінювали, згідно рівня коерцитивної сили, що є показником рівня напружень та якості сформованої структури при використанні модифікуючої домішки, показав ефективність цього технологічного процесу. Цей показник зменшився на 20%.

Твердість на границі зони сплавлення має більш однорідні значення при введенні модифікуючої домішки, яка змінюється в інтервалі $\text{HV}=173-184$, а у варіанті без домішки $\text{HV}=154-191$. Такий розбіг у показниках без модифікування пов'язаний з

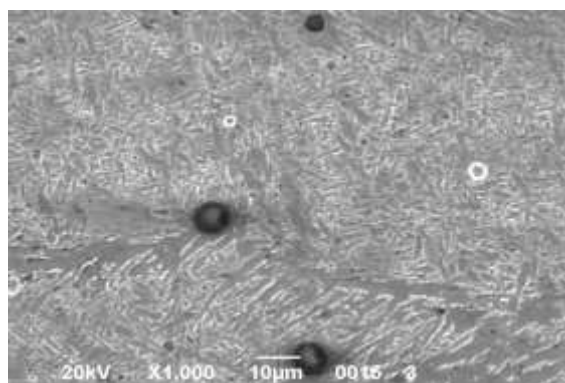


Рис.4.3 – Алмазні включення у покритті до відпалу

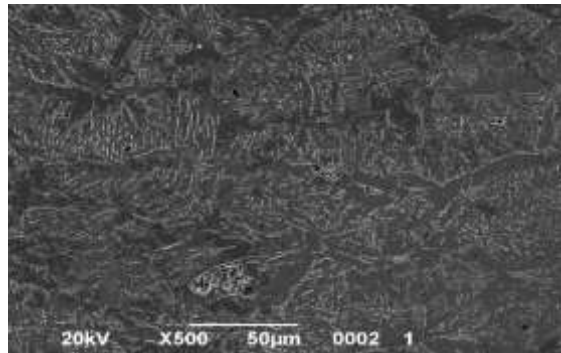


Рис.4.4 – Зона термічного впливу і перехідна після відпалу

переходом неметалевих включень з основного металу деталі у відповідний шар (див. табл. 4.1). При введенні модифікуючої домішки в зону сплавлення при шлікерному покритті неметалеві включення гальмуються за рахунок локальних напружень подрібнюються (рис.4.5), та це забезпечують мікроохолоджувачі нано- та дисперсні алмази, які осідають на границю сплавлення. Їх розмір на границі сплаву не перевищує $0,13 \times 0,2$ мкм.

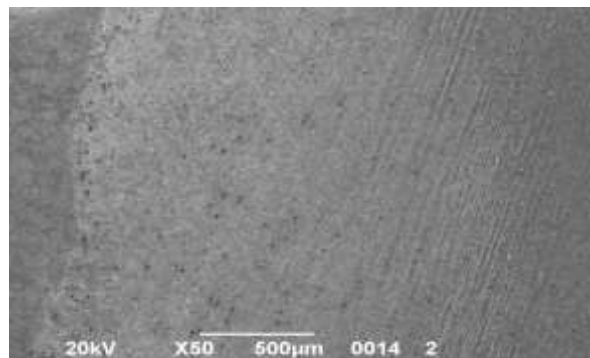


Рис.4.5 – Мікроструктура зони термічного впливу

Використання вторинної магнітної частки детонаційної сировини для модифікування зношених поверхонь деталей із сталей дисперснозміцнених або засмічених неметалевими включеннями є ефективним оскільки дає можливість гальмувати їх перехід у відновлений шар, а для зміцнення його дозволяє використовувати будь які типи електродів, виходячи з необхідних потреб експлуатаційних властивостей покриття.

Таким чином вторинна сировина є продуктом утилізації боєприпасів, термін зберігання яких закінчився. Рекомендований спосіб її використання для

модифікування перехідної зони та наплавлення при відновленні зношених деталей, забезпечує гальмування переходу включень у покриття та одноразово їх подрібнює у перехідній зоні, зменшує напруження, формує суттєво меншу зону термічного впливу, забезпечує однорідність структури металу, необхідні властивості і зменшує дифузію компонентів з основного металу. Такий технологічний процес захищено патентом України [156].

4.2. Розробка технологій підвищення властивостей спряжень

Нова технологія формування зміцнюючих покриттів передбачає ефективну роботу спряжень у машинобудуванні як при виготовленні деталей у виробництві, так і при їх відновленні в процесі експлуатації.

Для реалізації такої технології використовували дрібну магнітну складову детонаційної шихти. Розробка спрямована на підвищення експлуатаційних властивостей при відновленні деталей з додатковим модифікуванням домішкою, що працює у недоступному до постійного огляду спряженнях. Це може досягатися за рахунок створення вторинних захисних плівок – покриттів, що формуються та оновлюються при терті та зношуванні, особливо у разі наявності у складових домішки з достатньою долею кисню, який дозовано витрачається при експлуатації.

Такий підхід відомий при використанні твердофазових модифікуючих домішок, який ефективний при обробках вузлів машин попередньо перед експлуатацією, а також прес-форм, двигунів внутрішнього згорання та інш. і цим забезпечують підвищення зносостійкості.

Модифікуючі домішки, що не розчинюються у мастильних композиціях, суттєво подовжують термін зберігання високих показників виробів у експлуатації.

Модифікуючі домішки також використовують у пластичних мастилах [157], які містять: каніфоль до 11,0-14,0%; відходи деревних гранул до 17,0-20,0%; пил шкіряний 7,0-9,0% та остаточне мінеральне мастило. Сумарна доля всіх складових дорівнює – 100%. Таке мастило є ефективним для використання при забезпеченні герметичності з'єднань, наприклад, таких які періодично контролюються, згідно стану експлуатації. При необхідності ці домішки можуть бути додатково внесені для

їх ефективного використання. Крім того, компоненти, що входять до складу мастила включають незначну долю кисню та він може бути тільки у деревних гранулах та мінеральній суміші і це не забезпечить формування вторинних захисних структур при експлуатації (кисневих плівок) та стабільної роботи спряжень. Тому спосіб корегування домішки не можливо використовувати для спряжень, які недоступні до періодичного огляду. Такі спряження лише розкривають при їх зношенні чи пошкодженні для проведення відновлення або заміни деталі.

Для підвищення роботи спряжень також використовують спосіб модифікування наноалмазами [158], які додають до мастила, що містять кисень. При використанні наноалмазів стандартного виробництва їх попередньо піддають відпалу до очищення від кисню. Такий метод теж не є ефективним при роботі недоступних до обслуговування спряжень з використанням та періодичним додатковим внесенням мастила і наноалмазів без кисню. Експлуатація спряжень з недостатньою долею кисню відрізняється появою значних пошкоджень поверхні тертя з формуванням схоплення.

Підвищення експлуатаційних властивостей спряжень при їх відновленні можливо досягти за рахунок модифікування покриття при відновленні робочої поверхні з введенням кисневих включень різного складу та розміру.

Найбільш ефективним методом модифікування є такий, який використовується для стабільної роботи різбових спряжень. Робота його постійно контролюється, оглядається та корегується в процесі експлуатації [159].

Тому у цьому випадку ефективна буде домішка не магнітної частки вторинної сировини від утилізації боєприпасів у пластичне мастило (відпрацьоване дизельне пальне з додаванням 10-15% солідолу), яке складається з нано- та дисперсних алмазів, заліза та міді. Таке пластичне мастило зі значною долею дизельного пального та солідолу забезпечують необхідну концентрацію кисню для формування вторинних захисних плівок на поверхні тертя при експлуатації.

Такий метод не можливо використовувати у недоступних для постійного обслуговування спряжень для поновлення з додатковим введенням кисневих складових без використання мастильної речовини у закритих до доступу з'єднань.

Враховуючи те, що не магнітна складова вторинної сировини не містить кисню, то і її використання в даному випадку теж є не ефективним.

Для вирішення проблеми підвищення стійкості недоступних до обслуговування спряжень рекомендовано за рахунок постійної присутності кисню у зоні тертя (алмазна фракція та інші з'єднання конгломератів шихти містять кисень) який при наплавленні невеликого відновлюваного шару частково залишається (кисневих фазах, з'єднань) використовувати модифікування рідкої ванни зношеного шару наплавленням зі спеціально підготовленою магнітною часткою до 7-10%, нанесенням її на електрод. Така детонаційна домішка від утилізації боєприпасів включає: 2,87-4,5С (алмазна складова різних фракцій); до 6,1% міді та оксидів заліза (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4). При цьому такі домішки можуть бути як, у вигляді окремих складових, так і знаходитися в з'єднанні (конгломераті). Кисневі включення які легко розчинюються при нагріванні $t=1500^\circ\text{C}$. В залежності від форми та розміру виділень модифікуючої домішки цих складових при наплавленні встановлено, що включення які не розчиняються це нано- та дисперсні алмази, розташовуються в порожнинах (рис.4.6) та легко викришуються і попадають в зону тертя при експлуатації.

Там вони на першому етапі експлуатації на поверхні тертя подрібнюються. Частка з них працює у спряженні, а інша заповнює у вигляді подрібнених включень створеними порожнинами (рис 4.7). Потім в процесі експлуатації вони починають додатково працювати при терті та зношуванні, що суттєво забезпечує підвищення експлуатаційної стійкості спряжень. Згідно розробленої методики аналізу, статистично встановлена максимальна товщина на вторинних захисних плівок досягає 50 мкм.

Там вони на першому етапі експлуатації на поверхні тертя подрібнюються. Частка з них працює у спряженні, а інша заповнює у вигляді подрібнених включень створеними порожнинами (рис 4.7). Потім в процесі експлуатації вони починають

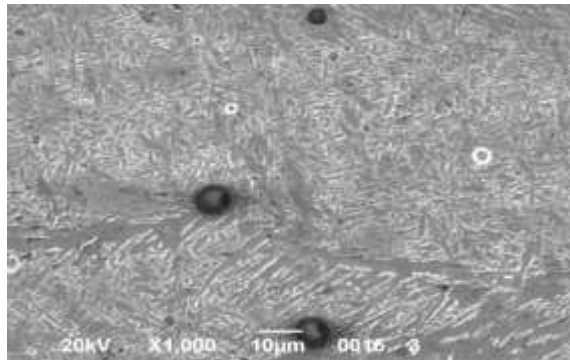


Рис. 4.6 – Відновлювальні зони з кисневими з'єднаннями (вказані стрічками) та дисперсні включення алмазів в порожнинах

додатково працювати при терті та зношуванні, що суттєво забезпечує підвищення експлуатаційної стійкості спряжень. Згідно розробленої методики аналізу, статистично встановлена максимальна товщина на вторинних захисних плівках досягає 50 мкм.

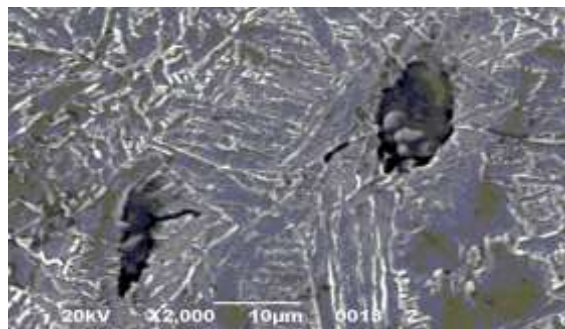


Рис. 4.7 – Подрібнення алмазної фази в процесі тертя

При цьому, створення порожнини навколо алмазних включень пов'язано з тим, що в процесі наплавлення плівка та кисень, який покриває їх, не встигне повністю виділитися та залишається поруч з ними.

Включення з залізом та міддю легко виділяють кисень, тому що вони не є однорідними, а лише покривають тонкою плівкою різні з'єднань фаз, в тому числі і FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Ці покриття, що сформувалися з модифікуванням при наплавленні після розчинення у рідкій ванні, мають вигляд чистого $\alpha\text{-Fe}$ (фериту або аустеніту), які покривають такі домішки (див. рис. 4.6). Відновлювальні зони таких з'єднань позначені стрічками. При відновленні робочої поверхні частка кисню виділяється на поверхню, а інша – залишається в металі.

В процесі тертя виявлено, що домішка міді розподіляється не рівномірно по поверхні та змінюються від 0% до 0,82%, а кисень, який формує тонкі вторинні захисні плівки від 0% (зони, що їх вже втратили) до 0,32%.

В процесі експлуатації та зношування порожнини деформуються, зменшуються у розмірі, змінюється їх форма та вони за часом втрачають свій вплив на поверхню тертя (рис.4.7).

В якості електродів для відновлення можливо використовувати такі матеріали, які забезпечать умови експлуатації спряження, згідно діючої нормативно-технічної документації використання деталей.

Приклад даного варіанта досліджень розглядав використання електродугового наплавлення електродом Е46 діаметром 3,2 мм та силою постійного струму 150А оберненої полярності. Домішку магнітної частки детонаційної шихти після просіювання шихти вводили обмазкою електрода (рис.4.8) та це забезпечило дозоване її додавання до рідкої ванни, що є особливо важливим при використанні алмазної фракції, яка не розчинюється при температурі нанесення покриття (1600⁰С). Зовнішній вигляд стрічок при наплавленні у експериментальних дослідженнях наведено на рис.4.9.

Оптимальна складова модифікуючої домішки, яку рекомендується використовувати при відновленні покриття для створення оксидних захисних плівок повинна бути в межах 7,0-10,0% від долі електроду що наплавляється. Менша доля внесення такої домішки ніж 7,0% не забезпечує отримання необхідної концентрації кисню для підвищення зносостійкості, а більше 10% буде суттєво впливати на зменшення зносостійкості за рахунок значного падіння температури рідкої ванни у локальних зонах за формуванням неоднорідного зерна і властивостей.



Рис.4.8 – Електрод з нанесеною на його поверхню обмазкою

Експериментальними дослідженнями показано, що при оптимальних домішках магнітної частки детонаційної шихти (7,0-10,0% від долі електроду) підвищується мікротвердість покриття від Н-50-230-240 (вхідний стан) до Н-50-260-275 при її введенні у рідкий розчин. Розмір зерен зменшується з 40-50мкм до 15-20мкм відповідно. При цьому коефіцієнт зношення зменшується на 25% з 1,0 у вхідному стані (без модифікування) до 0,75 при модифікуванні.



1 – без модифікування; 2 – з модифікуванням шлікерним покриттям нанесеним на зразок; 3 – з модифікуванням нанесеним у вигляді обмазки на електрод

Рис.4.9 – Зразки для досліджень

Спосіб, що рекомендується до підвищення експлуатаційної стійкості спряжень при відновленні деталей має не тільки технічний, але і економічний ефект за рахунок використання вторинної сировини.

Що стосується технічного ефекту, то він досягається завдяки зменшення розмірів зерен та напружень, підвищення мікротвердості структури і забезпечення необхідної доли кисню, що сприяє збільшенню терміну експлуатації спряжень в 1,25 раз при їх відновленні.

4.3. Комбінований спосіб модифікування при відновленні деталей

Комбінований метод модифікування може використовуватися для наплавлення зміцнюючих покриттів на сталеві вироби з вуглецевих та низьковуглецевих сталей і заварювання дефектів з використанням домішки при відновленні та пошкоджені зношених поверхонь тертя.

Виявлено метод захисного покриття на вироби з додатками карбідів, нітридів кремнію з вуглецевмісною основою, що включає формування при відновлюванні на поверхні зміцненого шару нанесення шлікерного покриття зі суміші дрібно дисперсних сполук порошків вуглецю та нітриду кремнію. Виріб нагрівають в парах кремнію у замкнутому об'ємі реактора до температури 1700-1800⁰С з витримкою в зазначеному інтервалі на протязі 1-2 годин і охолоджують в парах кремнію[160]. Перед нагріванням до такої температури проводять капсулювання часток нітриду кремнію більш термостійким матеріалом і/або кремнієм. Капсулювання здійснюють шляхом попереднього нагрівання порошку нітриду кремнію в його парах до 1500⁰С або в шарі, який кипить у середовищі вуглецевмісткого газу при температурі часткової карбідизації і формування на зернах Si₃N₄ піровуглецевого шару. Забезпечити це можливо також шляхом обробки шлікерного покриття у вуглецевмісткому середовищі при температурі часткової карбідизації нітриду кремнію.

Недоліком даного способу є те, що нагрів виробу до температури 1700-1800⁰С при нанесенні шлікерного покриття призведе до деформації і втрати форми, особливо тонкостінних виробів з вуглецевмістких сталей.

Також використовують спосіб наплавлення плазмовим струменем при використанні дроту з мідних сплавів і аустенітних нержавіючих сталей на маловуглецеві і низьколеговані сталі [161]. При такому способі утворюються покриття з грубою або дендритною структурою.

Одним з ефективних способів відновлення і зміцнення деталей [162] є такий що включає застосування низьковуглецевого дроту з попереднім укладанням матеріалу (шлікерне покриття) на поверхню відновлюваної деталі, який містить легуючі, модифікуючі компоненти.

Такий спосіб модифікування поверхні досягається за рахунок введення шлакоутворюючих сумішей і забезпечує відмінні властивості і склад компонентів, які мають різний інтервал температур плавлення. Однак, технологічний процес не забезпечує отримання однорідної структури з дрібним зерном і міцніючою перехідною зоною при обмежені масової частки шару що наплавляється з малим інтервалом зміни температури рідкої ванни.

На базі цих досліджень розроблено новий спосіб підвищення властивостей відновлювальних наплавленням виробів за рахунок формування якісного перехідного шару без дефектів, з дрібним зерном, підвищеною хвилястої зон зчеплення і термічного впливу, шляхом використання порошкової магнітної складової модифікуючої домішки вторинної сировини, отриманої від детонації боєприпасів і спеціальної її підготовки до використання. В цьому випадку отриману шихту також поділяли на не магнітну та магнітну фракції і використовують останню, яка складається з: С – 2,87-4,5% , Сu – 6,10%, та оксидів заліза. При цьому вуглець знаходиться у вигляді дисперсних включень алмазної фракції.

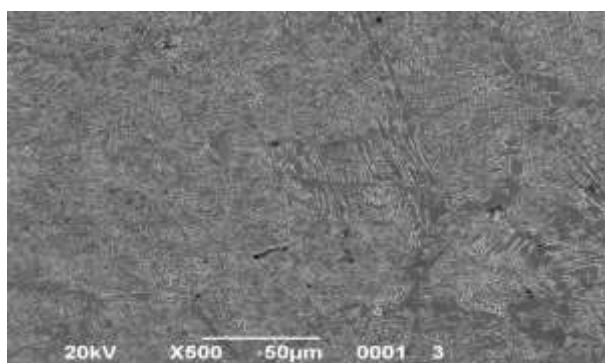
Використання комбінованого методу введення спрямовано на більш рівномірне розподілення алмазної фракції з одного боку, а з другого – на достатнє попереднє звільнення її від покриття, яке формує конгломерат. Цей результат буде досягнуто тільки з урахуванням співвідношення алмазної частки модифікованої домішки, що використовується при нанесенні шлікерного покриття та обмазки електроду.

Дослідами було встановлено, що частка шихти у шлікерному покритті залежить і від товщини наплавленого шару на деталь яку відновлюють, та вона не повинна перевищувати визначену оптимальну домішку 5-12,0%.

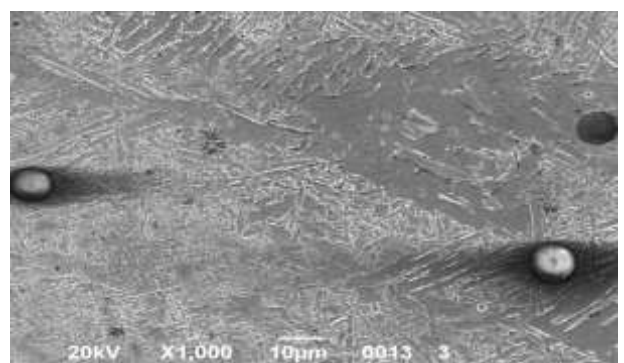
На рис. 4.10 надаються електронікроскопічні фотографії формування перехідної зони і дисперсної алмазної фракції.

При оптимальному співвідношенні всіх параметрів досягається формування однорідної структури в покритті і коефіцієнт її анізотропії K змінюється в межах 0,93-1,05, тобто середнє відхилення не перевищує 5-7%. Частка домішки що вводиться, визначає концентрацію залишкового кисню в покритті, яку можна корегувати попереднім відпалом шихти на рис 4.10 приведена хвиляста структура зони сплавлення та розподілення алмазної фракції в такій зоні.

Результат одночасного підвищення якості відновленого, зміцненого шару і перехідної зони досягається за рахунок того, що в способі підвищення якості відновлених наплавленням виробів рекомендується застосовувати комбінований процес шляхом одночасного використання дозованого введення модифікатора при нанесенні його шлікерним покриттям на дріт або електрод. При цьому ефективним є і застосування шлікерного покриття. Сумарна частка модифікуючої домішки повинна знаходитися в межах 12-18% від долі покриття, яке відновлюється. В якості модифікуючої домішки застосовують вторинну сировину, що складається з оксидів міді, заліза, дисперсних і наноалмазів та інших малих домішок. Таку шихту на початку наносять на відновлювану поверхню у вигляді шлікерного покриття, заварюють дефекти, а потім проводять наплавлення електродом з покриттям в цій же зоні.



а)



б)

- а) – наплавлення – основний метал;
- б) – розподіл алмазної складової обробки в перехідній зоні при оптимальних параметрах

Рис 4.10 – Хвиляста зона сплавлення модифікованого покриття

При введенні шлікерного покриття алмазна дисперсна фракція осідає на дно рідкої ванни вже в перший період наплавлення і не встигає модифікувати основну зону відновлення.

Якщо використовувати тільки шлікерне покриття, то в зоні відновлення у наплавленому шарі частково формуються грубі дендрити, хоча частково і подрібнені та вони виявляються аж до перехідної області, де проявляється вплив модифікуючої домішки. У перехідній зоні кристалізуються рівномірні зерна, в середньому, розміром до 35-40мкм. Одночасно, у цій зоні має місце формування хвилястої границі відновленого шару з основним металом, що забезпечує при наявності зменшеної області термічного впливу високу міцність їх зчеплення за рахунок введення домішки та зниження температури рідкої ванни.

Використання тільки обмазки на електрод забезпечує формування дрібних зерен у наплавленому шарі без дендритів з середнім розміром до 5-10 мкм.

У вихідному наплавленому шарі без модифікуючої домішки кристалізується груба дендритна структура, яка розташована перпендикулярно до тепловідводу по всьому перерізу відновленого шару, а середній розмір зони термічного впливу досягає 1000 мкм.

Найбільший ефект зміцнення досягається при одночасному використанні відновлення комбінованим методом, як шлікерним покриттям, так і електродом з обмазкою. Середня величина термічного впливу при комбінованому способі наплавлення становить 185 мкм.

Для забезпечення формування однорідного шару без збільшення частки неметалевих включень при модифікуванні сумарна кількість введеної домішки нанесенням її з електродом і у вигляді шлікерного покриття повинно знаходитись в межах 12-18% (рис 4.11). При меншому внесенні цієї домішки не забезпечується подрібнення дендритної структури і скорочення зони термічного впливу. В цьому випадку знижується схильність до формування хвилястої структури перехідного шару. Збільшення частки домішки більш ніж 18% може підвищити схильність до

формування неметалевих включень у зміцненому шарі і призвести до осідання значної кількості алмазної складової на дно рідкої ванни і появи тріщин і не зварюванню покриття з основою.

В результаті відновлення виробів в 5,4 рази зменшується зона термічного впливу при модифікуванні комбінованим методом введення домішки, забезпечується підвищена міцність зчеплення покриття з основою та досягається формування однорідної більш дрібної структури.

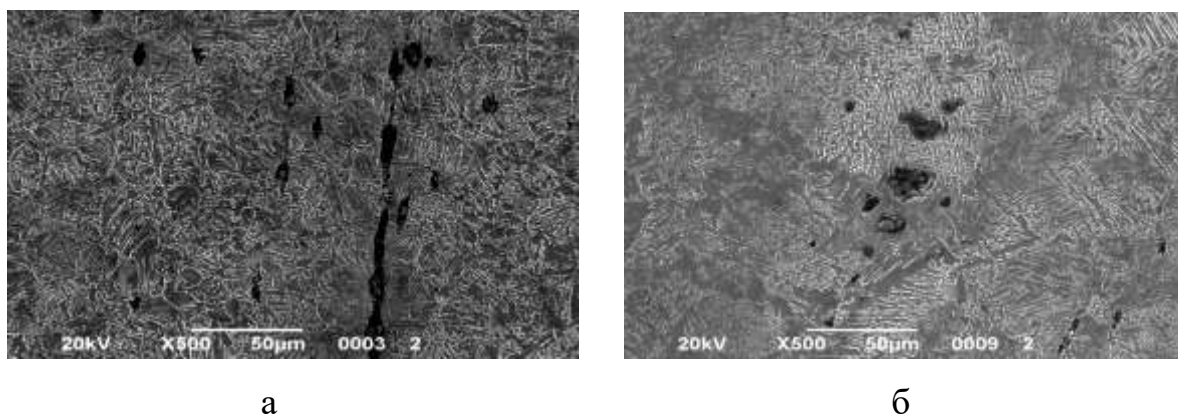


Рис. 4.11 – Дефекти структуроутворення при нанесенні покриттів і модифікуванні комбінованим методом на вироби з вуглецевої сталі товщиною 5 мм магнітною складовою детонаційної шихти з підвищеною часткою її введення у вигляді шлікерного покриття (до 18%)

Висновки

1. На основі комплексних експериментальних досліджень з використанням оптичної, електронної мікроскопії, мікрорентгеноспіктрального аналізу, а також оцінки властивостей, згідно мікротвердості та коерцитивної сили, які виконані порівняльним аналізом без – та з модифікуванням виявлені зміни в покриттях, для встановлення ефективності використання магнітної складової детонаційної шихти у різних напрямках підвищення їх експлуатаційної стійкості.

2. В роботі детально розглянуто лише три напрями ефективного використання магнітної частки детонаційної шихти при розробках новітніх технологій, спрямованих на підвищення якості та експлуатаційних властивостей покриттів. Встановлено, що при відновленні наплавленням деталей з дисперснозміцнених або

засмічених неметалевими включеннями по традиційній технології наплавленням з основного металу спливають в покриття, частково розчиняються. Це створює локальні неоднорідні зони збагачення компонентами, які до них входять, а ті у яких температура плавлення більше 1600°C спливають та виявляються по всьому поперечному перерізу. Це створює до формування неоднорідної структури, створенню локальних напружень та зниженню експлуатаційної стійкості.

Згідно першого напрямку запропоновано новий метод та технологічний процес нанесення покриттів для відновлювання на деталі з дисперснозміцнених або засмічених неметалевими включеннями сталей шляхом використання додаткового модифікування рідкої ванни вторинною детонаційною домішкою магнітної складової шихти, отриманої від утилізації певного набору боєприпасів з включеннями алмазної дисперсної фракції.

Як показали комплексні дослідження то модифікування такою шихтою з її спеціальною підготовкою і шлікерним нанесенням на деталь та послідуочим наплавленням повністю блокує спливання включень, а також їх розчинення і забезпечує подрібнення зерна, одночасно знижуючи розкид показників в 3,4 рази анізотропії структури за рахунок її подрібнення (з 0,8 до 0,95). Рівень напруг знижується на 25%, а зносостійкість спряженої деталі підвищується на 37%. Зміни, що спостерігаються при використанні додаткового модифікування визначаються зниженням температури рідкої ванни за рахунок введення модифікуючої домішки, наявністю незначної частки кисню – формує вторинні захисні структури при терті, а також мікролегуєчими компонентами і локальними мікрохолодильниками – алмазною фракцією.

3.Згідно другого напрямку встановлено, що домішка для модифікування магнітної складової шихти дозволяє підвищити експлуатаційні показники деталей у спряженнях, які недоступні до введення мастил з вуглецевих та низьколегованих сталей за рахунок подрібнення дисперсних алмазів з кисневими з'єднаннями (CuO , FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4). Дисперсні включення алмазної фракції в процесі експлуатації подрібнюється та поступово входить в осередок тертя, а ті що залишилися знаходяться у порожнинах. Це формує вторинні захисні оксидні плівки, які суттєво

зменшують знос. Така технологія забезпечується введенням домішки з обмазкою електрода в кількості 5-10%.

Нова технологія нанесення відновлюючих покриттів забезпечує долю кисню в плівках до 0,32% та більше за все розчинюється з'єднання CuO .

Таке модифікування покриття шихтою підвищує мікротвердість на 13,6% (більш ніж в 2 рази), зменшує розмір зерен з 50 до 15-20 мкм, що впливає на підвищення зносостійкості.

4. Згідно третього напрямку – рекомендована технологія модифікування, яка забезпечує найбільш більш однорідну твердість як на границі зчеплення покриття – основа, так і по його перерізу. Дослідженнями показана можливість одноразового використання підготовки дефективної поверхні до відновлення з використанням її обробки для залікування з нанесенням шлікерного покриттям, а потім відновлення і використанням електроду з обмазкою магнітною складової шихти. Сумарна частка модифікуючої домішки не повинна перевищувати 12-18%. Частка домішки залежить від долі та типу дефектів, що утворилися на поверхні тертя.

При оптимальному співвідношенню технологічних параметрів нанесення покриттів досягається достатньо однорідна структура з коефіцієнтом анізотропії $K=0,93-1,05$, середнє відхилення його не перевищує 5-7%. Такий метод відновлення формує хвилясту структуру зони сплавлення, суттєво зменшується зона термічного впливу з 1000 до 185 мкм.

Такий підхід до відновлення сприяє розчиненню CuO та доля кисню, як встановлено методом локального рентгеноструктурного аналізу на поверхні тертя, змінюється, від 0% до 0,32%, що теж підвищує експлуатаційні властивості відновлених деталей.

5. Розглянуті конкретні технологічні процеси відновлення деталей для вирішення конкретних завдань по підвищенню якості деталей. Вони спрямовані на формування покриттів з більш однорідною структурою металу при відновленні деталей модифікуванням, зменшення напружень у перехідній зоні, підвищення мікротвердості та якості.

Нові технологічні процеси відновлення деталей захищені 4 патентами України.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБОК В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА. ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

В четвертому розділі наведені результати нових технологічних процесів зміцнення та відновлення деталей наплавленням, для яких використовували модифікування рідкої ванни вторинною сировиною, одержаної від утилізації певного набору боєприпасів, які завершили гарантований термін зберігання.

В раніше виконаних роботах для модифікування, зміцнюючі та відновлюємих покриттів, використовували частку такої шихти, яка у своєму складі практично не мала кисневих включень заліза, температура плавлення яких досягає 1500-1550 °С, а температура наплавлення не перевищує 1600°С. Крім того, введення такої домішки у невелику рідку ванну при наплавлення з модифікуванням де є алмазна фракція, що не розчинюється, суттєво знижується температура (до 1500-1550 °С). Це може впливати на ступень розчинення оксидів заліза та вони будуть призводити до засміченості покриття неметалевими включеннями.

Однак, детально проведеними дослідженнями було показано, що магнітна складова відрізняється лише двома факторами. Її формують включення оксидів заліза, які виділяються у вигляді дисперсних зерен, або покривають у вигляді плівки дисперсні конгломерати різних сполучень та алмазну фракцію.

Сполучення алмазна фракція + кисневі плівки на неї заліза зберігають такі включення від руйнування при циклічній детонаційній деформації в кінцевому процесі отримання шихти. Такі особливості магнітної фракції детонаційної шихти і були розглянуті при розробках нових технологічних процесів, які були спрямовані на підвищення різних властивостей покриттів.

Стендові та промислові випробування проводили на підприємстві ДП «Завод імені В. О. Малишева», які виконували згідно договору про сумісні розробки (Додаток Б).

Дослідженнями було показано, що модифікування зміцнюючими покриттями детонаційної шихти з алмазною фракцією забезпечує підвищення якості та експлуатаційної стійкості деталей не менш ніж на 20-25 %, а в деяких випадках

досягає 30-37 %. Використання магнітної частки детонаційної шихти випробували для різних умов використання.

Стендові іспити в умовах промислового виробництва проводили з використанням зміцнення покриттів, згідно виконаних напрямів використання такої шихти з алмазною фракцією. Це деталі, що виготовлені з дисперснозміцнених сталей, вуглецевих та низколегованих (40 ХН, 40 ХН2МА, 30 ХГСА). Крім того досліджували зносостійкість і деталей комбінованим методом, які при нанесенні покриттів на першому етапі заліковували дефекти на поверхні, а потім зміцнювали покриттям. Підвищення зносостійкості відбувається за рахунок не тільки модифікуючих домішок але і завдяки вторинних кисневих захисних плівок (доля кисню до 0,34 %). Розмір зерен зменшується в 3 рази, а напруження в 1,2-1,4 рази.

Оптимальні параметри технологічних процесів відновлення були детально обґрунтовані в період підготовки патентів на винаходи разом з виконавцями ДП «Завод імені В. О. Малишева».

В даному розділі оцінювали трибологічні властивості модифікованих покриттів відносно не зміцнених домішкою шихти (табл. 5.1).

Стендові іспити проводили на машині тертя СМІ-2, згідно схеми Брінеля (диск-колодка). В якості середовища іспитів було обрано кварцовий пісок з фракцією 0,25-0,4 мм, який безперервно вводили в зону тертя (найбільш жорсткий метод іспитів). В якості контртіла використовували зразки $d=50$ мм, виготовлені зі сталі Х18Н10Т. Навантаження на зразки досягали 100Н на тертя 100 м та швидкості ковзання 78,5 м/с [163].

В якості електродів для наплавлення використовували – Е46 з мінімальною часткою легуючих домішок, що дозволило виявити вплив розчинних модифікуючих домішок введеної модифікуючої домішки.

Дослідженнями показано що домішки суттєво подрібнюють структуру, зменшують напруження у покриттях та перехідних зонах, підвищують мікротвердість та експлуатаційні властивості (виключає формування дефектів в зоні сплавлення та покриття, підвищує зносостійкість не тільки відновленої деталі, а і той, що працює у спряженні).

Таблиця 5.1 – Трибологічні властивості різних технологій зміцнення відновлюючи покриттів.

№	Технологія відновлення	Коефіцієнт зношення покриття	Коефіцієнт зношення деталі у спряженні
1.	Покриття без модифікування	1,0	1,0
2.		0,75	0,63
3.	Покриття з модифікуванням (обмазка електрода)		
4.	Покриття зі лікерним нанесенням домішки	1,1	0,96
5.	Комбінований метод нанесення покриття (шлікерне + обмазка електрода)	0,7	0,67

З одержаних результатів випробувань показано, що модифікування у розглянутих технологіях відновлення є ефективним для використання в різних конкретних напрямках досліджень.

Проведеними дослідженнями було виявлено, що структура деталі з дисперснозміцненої сталі наплавленням покриттям електродом E46 без модифікуючих домішок (рис.5.1) містить велику кількість включень, хімічний склад яких слідує: Al-0,67%; Si- 7,91%; Ti-1,52%; Mn-10,64%; Fe-79,25%. Така неоднорідність хімічного складу покриття впливає на склад відновленої робочої поверхні та призводить до зниження зносостійкості. Суттєвий внесок в незадовільну якість наплавленої поверхні вносить і дендритна структура, яка при цьому формується.

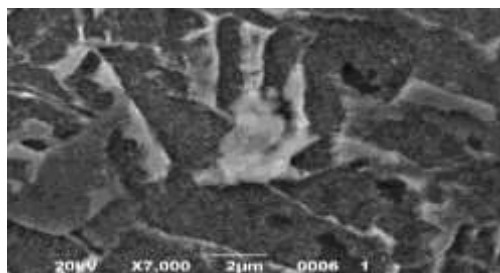


Рис. 5.1 – Мікроструктура деталі відновленої традиційним методом

Встановлено, що частку модифікуючої домішки, яка використовується для наплавлення та рівномірного подрібнення зерен і запобігання появи неметалевих включень за рахунок розчинення оксидів, що входять до складу такої шихти, слід коректувати, виходячи з матеріалу основи та товщини відновлюваної деталі[164].

Проведеним аналізом чотирьох зон такої деталі, відновленої з використанням шлікерного покриття та домішкою магнітної складової детонаційної шихти наплавленням встановлено, що перехідний шар і термічного впливу, а також основного металу, цей метод доцільно використовувати для наплавлення на вироби з низьколегованих сталей. Частку шихти деталі з такої сталі легко буде корегувати по змісту домішок, що вводяться [165] в рідку ванну.

При розгляді наплавлення тільки електродом Е46 з обмазкою магнітної складової детонаційної шихти забезпечується підвищення зносостійкості виробу за рахунок збільшення мікротвердості покриття з Н-50-230-240 до Н-50-260-275, зменшення розміру зерен у відновленому шарі з 40-60мкм до 15-20мкм (рис. 5.2).

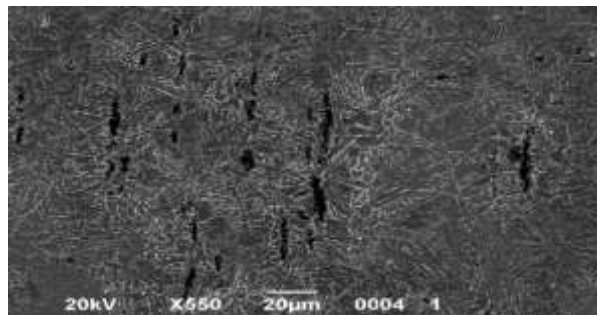


Рис.5.2 – Мікроструктура покриття відновленого наплавленням модифікуванням шлікерним покриттям

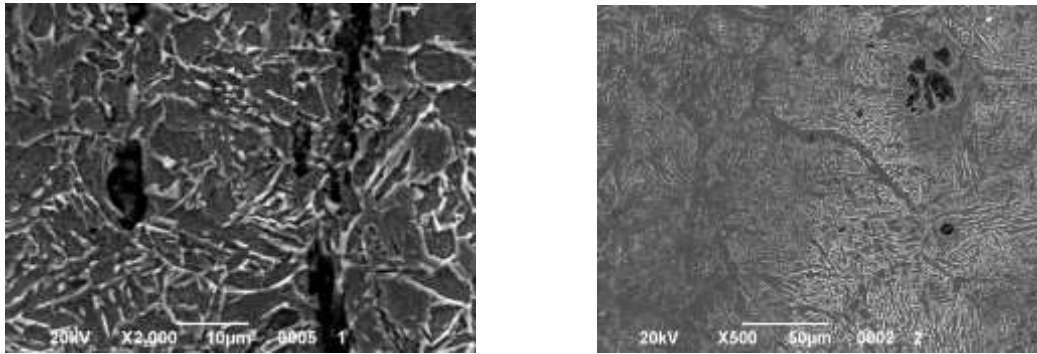
Введення магнітної частки шихти при наплавленні знижує рівень напружень (оцінено згідно вимірювань коерцитивної сили), який зменшується в 1,2-1,4 рази в порівнянні з покриттям без модифікування.

Аналіз поверхні тертя після різних етапів досліджень дозволив виявити особливості мінливості алмазних включень. До проведення експлуатаційних випробувань вони мали вигляд круглих зерен, потім в процесі тертя відбувається незначне їх подрібнення та після цього відзначається руйнування алмазів яке

можливо спостерігати та ідентифікувати лише при збільшеннях $\times 500$. На останньому

етапі експлуатації в цих зонах зберігається частка кисню до 0,34-0,9%. Такий рівень кисню досягається також від розчинення і кисневих включень FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 .

На рис.5.3 надається подрібнення алмазної фази на різних етапах процесу тертя.



а)

б)

а) – початок експлуатації; б) – в процесі роботи спряження

Рис. 5.3 – Зміна дисперсної алмазної фракції при терті

Подрібнення алмазної фракції також відзначається і в перехідній зоні, де має місце локалізація деформацій.

Розрахунок ефективності використання нового методу модифікування, виконували на основі апробації шлицевого вала кардану, який виготовлено зі сталі 40ХН та використовується у сільськогосподарському машинобудуванні. Вартість такого вала дорівнює 2500 грн.

Виходячи з результатів виконуваних дослідження та апробації в умовах підприємства оцінили економію витрат при експлуатації таких виробів. Для розрахунків ефективності використовували зниження собівартості витрат на рівні 25 % (акт апробації додається у додатку Б промислових випробувань).

Для розрахунку виробництва таких валів до 100 шт. на рік забезпечить ефективність їх використання в розмірі:

$$E = [B \times (B \times 0,25)] \times П; \quad (5.1)$$

де: B – вартість вала (грн);

$П$ – річна програма виробництва таких валів на рік (шт).

$$E = [2500 - (2500 \times 0,25)] \times 100 = 187,5 \text{ тис. } \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Економія витрат тільки при використанні відновлення покриттями шліцевого вала кардану досягне 187,5 тис.грн/рік. При цьому додатково зменшаться витрати на легуючі домішки на виробництво металу, зменшиться об'єм виробництва, що дозволить впроваджувати нові технологічні процеси.

Висновки

1.Зіставно досліджені різні способи відновлення деталей наплавленням та оцінена можливість використання магнітної складової детонаційної шихти від утилізації боєприпасів в якості порошкової модифікуючої композиції при нанесенні покриттів для забезпечення відновлення та зміцнення робочої поверхні виробів, виготовлених із низьколегованих та вуглецевих дисперснозміцнених марок сталей.

2.Проведені дослідження виявили вплив модифікування на твердість, зносостійкість та структуру відновленого шару. Аналізуючи отримані результати, можливо зазначити, що спосіб наплавлення з додаванням магнітної складової детонаційної частки шихти у рідку ванну дозволяє корегувати необхідні споживчі властивості відновлених поверхонь виробів та підвищувати їх зносостійкість до 25% за рахунок зменшення розміру зерен в 3 рази, зниження напружень в 1,2-1,4 рази і підвищення твердості на 15%. Це дозволяє подовжити термін експлуатації та запобігати передчасному руйнуванню деталей.

3.Дослідженнями виявлена кінетика зміни дисперсних алмазних включень при терті, яка характерна для магнітної складової шихти. Вона полягає в послідовному подрібненню дисперсних включень та поступовому їх надходженню разом з кисневою складовою в зоні тертя.

4.В результаті, завдяки більшій загальній тривалості доступу кисню в зону тертя спряжень, формуються вторинні захисні структури, які підвищують

експлуатаційні властивості не тільки відновленої деталі, але і спряженої. Частка кисню при більш тривалих дослідженнях зберігається на поверхні тертя за рахунок покритого плівками з киснем та сполук FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 алмазної фракції, до 0,9%.

5. Розглянуті особливості зміни структури в процесі тертя та зношування при створенні нових технологій які потребують різні підходи введення, модифікуючих домішок у покриття на якість та споживчі характеристики деталей. Вони обґрунтовані конкретними параметрами, що відбуваються у експлуатації. Результати підтверджені в умовах стендових та промислових іспитів на виробництві ДП «Завод імені В.О. Малишева».

Економічний ефект від використання технології відновлення валів кардана складається з використання магнітної частки шихти і досягає 185,7 тис.грн. при об'ємі впровадження 100шт. за рахунок підвищення якості і експлуатаційної стійкості, зниження собівартості модифікуючих домішок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення якості та експлуатаційної стійкості виробів в роботі розглядаються методи та технологічні процеси модифікування рідкої ванни, які використовуються для різних напрямів підвищення властивостей при їх відновленні.

1. Виявлено, що в залежності від типу матеріалів відновлюючих деталей, а також умов експлуатації для досягнення необхідних властивостей використовують різні модифікуючі та мікролегуючі домішки (Si, Mg, Ca, Al, Ti, V та інш.), або їх сполуки.

В залежності від ваги рідкої ванни використовують РЗМ та сучасні сполуки – шихту з вторинної сировини, що включає алмазну та дисперсну фракцію. Таку шихту одержують різними методами. Додаткове модифікування та мікролегування сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей покриттів та забезпечує значну стабільність у експлуатації, подрібнює зерно, формує більш однорідну структуру, що сприяє підвищенню життєвого циклу деталей. В дослідженнях розглядається і використання алмазної фракції. Показано, що найбільш стабільні алмазні фракції формуються при їх одержанні детонацією. Для модифікування використовують вторинну сировину, яка складається з не магнітної частки шихти одержаної від утилізації боєприпасів, у яких закінчився термін зберігання. Дослідження цієї роботи присвячені пошуку можливості використання магнітної складової шихти та методів її використання для рішення конкретних завдань.

2. Ефективність використання магнітної частки детонаційної шихти з дисперсною алмазною фракцією вивчали з використанням комплексного підходу, при якому використовували хімічний, спектральний, локальний аналізи, металографічні дослідження, (оптичні та електронні), оцінювання властивостей згідно мікротвердості покриття та його напруженого стану. Для детального опису формуємих фаз та їх взаємозв'язку використовували теоретичні дослідження оптико-математичним методом опису фазових змін. Дослідження цим методом проводили при скануванні фотографій мікроструктури коміркою 3×3 пікселів а всі фази відображали відповідно 15 інтервалам, з яких 0-9 відповідали феритним фазам

з різним насиченням вуглецем; 10 – бейніту; 11-15 – карбідним. При модифікуванні порівнювали зміни структуроутворення при нанесенні покриттів застосуванням модифікуючих домішок.

3. Розглянуто технологію одержання детонаційної шихти та її склад для модифікування рідкої ванни при наплавленні відновлюючих покриттів зношених поверхонь деталей. В раніше виконаних роботах основна увага приділялася дослідженням використання немагнітної частки шихти, одержаної від утилізації певної номенклатури боєприпасів. Дослідження даної роботи розглядають різницю та можливість використання магнітної частки шихти при багатошаровій детонації для підвищення якості та експлуатаційних показників деталей. Такі технології використання почали з вивчення складу одержаної шихти після магнітної обробки дрібної фракції зерен конгломератів. Комплексними дослідженнями зерен конгломератів шихти встановлено, що магнітна складова відрізняється більшою часткою дисперсних алмазів, які покриті кисневими, не деформуємими включеннями FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , та Al_2O_3 , що захищають тверду фракцію від руйнування при багатошаровій детонації та сприяють додатковій їх щільності. Такі включення мають скруглену форму та гострі кути відсутні. В конгломератах шихти одноразово присутня і не магнітна складова. Виявлена різниця в складі магнітної шихти дозволяє її використовувати і для рішення інших завдань ніж при вирішенні з модифікуванням немагнітної частки.

Додатково така шихта включає компоненти: O_2 ; C; Cu; Fe; Cl; Ba; Mg; Al.

5. Виконана теоретична оцінка оптико-математичним методом зерен конгломерату шихти та показано, що всі алмазні включення покриті кисневими плівками різного складу та з'єднаннями.

Встановлено, що частка однієї фази (або компонента), оціненої згідно кольору та його зміни, складає 11,26%; з'єднань двох – 80,9%; трьох – 6,19%; чотирьох не перевищує 1,65%, а більше – відповідає: 0,81; 0,52; 0,23%. Максимальна частка належить плівкам з'єднань компонентів з киснем та відповідає лише 5 інтервалам зміни складу 15 розглянутих варіантів. Частка алмазної фракції в зернах конгломерату локально змінюється від 7,04 до 24,27%.

6. Розроблено нові технологічні процеси нанесення покриттів, які виконували в залежності від умов експлуатації деталей та завдання підвищення їх якості. До них відносять такі процеси:

- нанесення покриттів на деталі з дисперснозміцнених або засмічених матеріалів неметалевими включеннями, які при наплавленні потрапляють у покриття, або розчинюються в локальній зоні, що призводить до формування неоднорідності зон та зменшенню її життєвого циклу при експлуатації. Для вирішення цієї проблеми розробили параметри технологічного процесу, спосіб введення модифікуючої домішки, її частки. Використовували шлікерне покриття, яке перед наплавленням наносили на відновлюючу поверхню з часткою 5-10% від долі метала електроду, що за рахунок алмазної фракції гальмувало появу включень в рідкій ванні. Суттєво зменшувалися перехідна зона та напруження, які оцінювали згідно параметра коерцитивної сили.

- підвищення ефективного модифікування відновлюючих покриттів деталей, що працюють у спраженнях та значних навантаженнях, рекомендовано використовувати магнітну частку шихти після її спеціальної підготовки та наносити на електрод. В процесі експлуатації дисперсні алмази магнітної шихти подрібнюються та частково залишаються у порожнинах їх первинного розташування та на протязі значного часу частково надходять до зони тертя. Це суттєво забезпечує підвищення експлуатаційних властивостей за рахунок постійного відновлення вторинних захисних структур, товщина яких не перевищує 50нм. При цьому доля кисню у плівках змінюється від 0% до 0,32% а міді з 0% до 0,82%. Крім цього у покритті зменшується розмір зерен структури металу з 40-60 до 15-20 мкм. Це забезпечується при модифікуванні часткою шихти 8-10% від маси електроду – використання комбінованого методу нанесення покриття передбачає одноразове залікування дефектів на поверхні тертя відновлення зношеної поверхні, яке полягає у використанні різних способів внесення домішки модифікуючої шихти. В цьому випадку таку шихту наносили як шлікерний шар на поверхню деталей з вуглецевої сталі для залікування дефекту що відновлювали. Потім шар, компенсуючий знос формували покриттям з модифікуванням обмазкою електродом. Сумарна частка

модифікуючої домішки складала 15-18% від долі електроду. Така комплексна технологія відновлення забезпечувала найбільш однорідний розподіл алмазної фракції, а також модифікуючих домішок. При цьому частка шихти в шлікурному покритті не повинна перевищувати 5-12%. Така технологія, відновлення забезпечує формування міцної хвилястої зони сплавлення з основним металом, зменшується розмір зони сплавлення з основним металом, подрібнюється дендритна структура у покритті, зменшується розмір зони термічного впливу в 5,4 разів (не перевищує 185 мкм).

7. Промисловими випробуваннями при проведенні іспитів на знос розглянутих варіантів відновлення виробів різного призначення показано, що їх якість після відновлення та зміцнення магнітною часткою шихти покриттями, які компенсують зношення, підвищуються на 20-37%. Показано, що при роботі у спряженні лише однієї деталі зі зміцнюючим покриттям підвищує свій життєвий цикл і інша за рахунок створення вторинних захисних кисневих плівок в експлуатації. Результати досліджень підтверджують промислові випробування.

Розрахунком економічного ефекту лише від однієї розробки нової технології показано, що підвищення експлуатаційної стійкості карданних валів досягає 187,5 тис грн/рік при об'ємі виробництва 100шт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большая советская энциклопедия. Второе издание. Т28. – М., 1969-1978 – 660с.
2. Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. Из-во. РУДН, 2008. – 227с.
3. Рябчиков И.В., Панов А.Г., Корниенко А.Э. О качественных характеристиках модификаторов. //М. Сталь. – 2007. - №6. – С18-23.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
5. Давыдов С. В. Новый подход к классификации методов модифицирования// М: Металлургия машиностроения. 2006.- №5. - С. 5-9.
6. Стеценко В.Ю., О классификации механизмов примесного модифицирования // Труды конференции; Металлургия и литейное производство 2007.
7. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах., М: Гостехиздат, 1957. - 191 с.
8. Уманский Я.С., Финкельштейн Б.Н., Блантер М.Е. и др. Физическое материаловедение. М:Металлургиздат 1955. - 351 с.
9. Сабуров В.П., Выбор модификаторов и практика модифицирования литейных сплавов. — Омск, 1984. 151 с.
10. Куманиш И.Б. Вопросы теории литейных процессов; М.: Машиностроение, 1976. - 259 с.
11. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М: Машгиз, 1963 - 300 с.
12. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я., Теоретические основы сталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1987, 272 с.
13. Колпаков А.А., Коровин В.А., Колганов В.Н., Фокин В.И., Палавин Р.Н. //Литейное производство, 1997, №6, с. 18
14. Салли И. В. Кристаллизация сплавов. Киев: Наукова Думка, 1974. - 239 с.

15. Jones H/ Rapid Solidification of Metals and Alloys. -: Northway House, 1982. 1983р.
16. Солнцев Ю: П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учебник для вузов -СПб: Химиздат. 2007 - 784 с.
17. Управление формой роста кристаллов / И. В. Салли, Э. С. Фалькевич; Акад. наук УССР, Ин-т техн. механики; Акад. наук УССР, Ин-т техн. механики. - Киев: Наукова думка, 1989. - 157 с
18. Dupin. Etude structural de l'état brut de fontes blanches à 17% Cr/ P. Dupin, J.M. Schissler. //Revue Hommes et Fonderie – 1985 №151. – P.19-28
19. Теплофизические свойства металлов и сплавов. Справочник: М., «Металлургия»1982 г., 214 с.
20. Пикунов М.В.// Плавка металлов. Кристаллизация сплавов. Затвердивание отливок. М., МИСИС, 2005 - 376 с.
21. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. М., 1960 г. 443 с.
22. Шаров.М.В., Пименов Ю.П.: в кн. Свойства расплавленных металлов. -М.: Наука, 1974 - С. 106-109.
23. Баландин. Г.Ф. Формирование кристаллического строения отливок. Кристаллизация в литейной форме. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1973-288с.
24. Cisse I., Rtrr H., Voiling G. // Metallurg. Trans. 1974. №3 p. 633-641.
25. Крушенко Г.Р., Никитин В.И., Шпаков В.И. В кн. Свойства сплавов в отливках. -М.: Наука: С. 137-140.
26. Гуляев Б.Б. Литейные процессы. М. - Л: Машгиз, 1960: - 416 с.
27. Чалмерс Б. Теория затвердивания / Пер. с англ. Под ред. М.В. Приданце-ва -М.: Metallургия, 1968. 228 с.
28. Чалмерс Б. Физическое металловедение/ Пер. с англ. В.А Алексеева и В.Г.Григоровича. Под ред. А.К.Натансона М.: ГНТИ, 1963. - 456 с.
29. Никитин В. И., Никитин К. В. Наследственность в литых сплавах. Изд. 2-е перераб. и дот М.: Машиностроение 1, 2005 - 476 с.

30. Метастабильные и неравновесные сплавы/ Ефимов Ю.В., Варлимонт Г., Мухин Г.Г. и др. / Под ред. Ефимова Ю.В. -М.: Металлургия, 1988 -383 с.
31. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М: Машгиз, 1963 - 300 с.
32. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студ. высш. учеб. заведений/ Труханов А.П., Маляров А.И. М.: Издательский центр «Академия», 2004 - 336 с.
33. Nikitin V.I. Theory and practical application of the structural heredity phenomenon in the production of aluminum alloys// 60th World foundry congress. The Hague. 1993. P. 35.2-35.11.
34. Sugden H. Alloys and additiwes materials and technigues used bu the ferrous foundry melting department. Foundry Trade J. J 981, 151, № 3217, p.79-80
35. Состояние и перспективы производства и применения комплексных сплавов с редко- и щелочноземельными металлами. И.В. Рябчиков, А.С. Дубровин, В.Г. Мизин и др. М.: Черметинформации, 1980.
36. Суменкова В.В. Исследование влияния компонентов комплексных• модификаторов на рафинирование чугуна - Киев: ИПЛ АН УССР, 1982.
37. Сильман Г.И., Жуков А.А. Термодинамический анализ процессов взаимодействия лигатур ЖКМК с жидким чугуном. Теория и практика производства высокопрочного чугуна - Киев: ИПЛ АН УССР, 1976, p.127-131
38. Dixon R.H.T., Hinchley D. Metal Treatment Processes using FSM alloys, Brit.Foundryman - 1980. №8 p.73
39. Горяев С.Г., Рябчиков И.В., Толстогузов Н.В. Изв. вузов. Черная металлургия, 1970, № 5, с. 6
40. Мизин В.Г., Лякишев Н.П., Дубровин А.С. М.: Металлургия, 1983, 364 с.
41. Petr Skosovsky, Lubomir Bechny. Strukturanalyse der Modifikation Fe-Si-Mg. Giesserei Rdsch. 1993. 40. - №11-12.
42. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование, чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986, 272 с.
43. Совершенствование технологии стального литья/ Рыжиков А.А., Роцин М.И., Фокин В.И. и др. М., «Машиностроение» 1977, 143 с.

44. Вейник А.И. Теория затвердивания отливки. М.,1960г. – 443с.
45. Гольштейн Я.Е., Мизин В.Е. Инокулирование железоуглеродистых расплавов. М.: Металлургия, 1993. - 416 с.
46. Рябчиков И.В., Полоцкий В.Д., Соловьев Н.М. Структура и свойства быстроохлажденных модификаторов //Литейноепроизводство.-1994.-№ 7 с.4-7
47. Литье с применением инокуляторов. Киев: ИПЛ АН УССР. 1981. 220 с.
48. Скворцов А. А., Соколов Л. А., Ульянов В. А. О применении водоохлаждаемых виброхолодильников при непрерывной разливке стали // Изв. АН СССР. Металлы. 1980. №1. С. 61...65.
49. Кутищев С. М. Особенности отливки стальных слитков с охлаждающим инокулятором // Физико-химическое воздействие на кристаллизацию стали: Сб. науч. тр. Киев: ИПЛ АН УССР. 1982. С. 121...126.
50. Рябчиков И.В. История развития производства модификаторов и основные требования к ним // Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей: Литейный консилиум № 1, 5-8 декабря 2005, Челябинск. - С. 4-7.
51. Шуб Л.Г. Рекомендации по модифицированию стали // Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из черных сплавов: Литейный консилиум № 2, 4-6 декабря 2007. Челябинск. - С. 120-24.
52. Кульбовский И.К., Солдатов В.Г., Иващенко Ю.М. Разработка технологии модифицирования жидкой стали 20ГЛ для отливок железнодорожного транспорта // Литейщик России. — 2007. №7. С. 17—19:
53. Рябчиков И.В. История развития модификаторов//Металлургия машиностроения 2006. - № 2. - С. 2-4.
54. Рябчиков И.В. История развития производства модификаторов и основные требования к ним //Металлургия машиностроения. 2006. — №5. — С. 25.
55. Белов Н.А., СавченкоС.В., Хван А.В.// Фазовый состав и структура силуминов. М:МИСиС, 2008.-284с.
56. Литовка В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках. Киев: Наук думка, 1987, 208 с

57. Warbichler P., Geymayer W. Micromorphology of graphite precipitation in cast iron. *Giessereiforschung*, 1983, 25, № 1, p. 29-38

58. Dunks C.M. An update on in-mold and flake treatment techniques for compacted graphite and spheroidal graphite irons - *Ibid.*, 1981, 151, №3271, p. 108,110

59. Holden W.W., Dunks C.M. The practical application and economic aspects of the in-mold process in the United States - *Brit. Foundrym.*, 1980, 73, №9 p. 265-274

60. Moor D.W., Hearnshaw B.M. Some recent developments in production methods for spheroidal graphite cast iron - *Foundry Trade J.* 1981, 151, № 3217, p.90, 93-94,97, 122

61. Справочник по чугунному литью. / Под ред. Н.Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1978. - 598 с.

62. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. — М: Metallurgiya, 1976. 148 с.

63. Стеценко В.Ю., Марукович Е.И. О зародышеобразовании при затверждении металлов // *Литье и металлургия*. 2007. — №1. — С. 32-37.

64. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Пер. с англ. М.: Мир, 1985. - 411 с.

65. Голубцов В. А. Модифицирование — эффективный метод улучшения качества стали // *Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей: Литейный консилиум № 1, 5-8 декабря 2005. Челябинск* - С 19-22.

66. Жуков А.А., Сильман Г.И. Некоторые особенности позднего модифицирования стали // *Металлы. Изв. АН СССР*. 1984. — № 4. - С. 117-121.

67. Давидов С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна. — Сб. докладов Литейного консилиума №1 «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей.» - Челябинск: Челябинский дом печати. 2006.- 40с.

68. Кимстач Г.М. О структуре Fe-C сплавов // *Литейное производство*. — 1988 -№2. С. 5-6.

69. В.В. Лунёв. Влияние РЗМ на количество и природу неметаллических включений с различным содержанием серы // *Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тезисы научно-техн. конф. Запорожье, 1976.* - С. 88-90.

70. Бессонов В.Б., Буклан Б.А., Ефимов В.А. и др. Влияние редкоземельных элементов на кристаллизацию стали // Проблемы стального слитка: Труды VI конференции по слитку. М.: ИПЛ, 1976. — С. 152—155.
71. Голубцов В.А., Усманов Р.Г., Шуб Л.Г. Модифицирование – эффективный метод улучшения качества стали // Черметинформация, - Бюллетени «Черная металлургия» - 2005 - №12. – С.45-50.
72. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г. Десульфурация стали 25Д с помощью комплексных модификаторов с РЗМ / Литейное производство. 2003№3. С. 30-31
73. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. Челябинск, 2006. 423 с.
74. Кац Я.Л., Каблуковский А.Ф., Ябуров СИ. Внепечное рафинирование и микролегирование стали реальный путь повышения эффективности, сталеплавильного производства // И.П.Бардин и металлургическая наука. - М.: Металлургия, 2003. - С. 70-87.
75. Дынин А.Я. Компания НПП – 10 лет непрерывного роста! / Литейное производство. 2006. №5. - С. 6-8.
76. Скок Ю.М., Мовчан М.Б., Алымов А.А. и др. Модифицирование неметаллических включений в стали 17ГС. / Сьаль. 1983. №8. – С 63-66
77. Höter K.E., Fiegenschuh H. Модифицирование аустенитных и ферритных литых сталей / Технология и оборудование литейного производства. Экспресс-информация М.: ВИНТИ, 1983. №4. Реф. 15. С .1-8.
78. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г. Поведение азота в кислой индукционной плавке. / Металлургия машиностроения. 2003.№5 -. С. 5-6.
79. Аникеев В.В. Промышленные испытания модификаторов при внепечном модифицировании углеродистых, низколегированных, марганцовистых и коррозионностойких сталей в условиях ОАО «Самарский сталелитейный завод». / Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей. Сб. докладов Литейного консилиума №1. Челябинск 2006 - С. 22-30

80. Архаров В.И. Теория микролегирования сплавов. / В.И. Архаров – М.: Машиностроение, 1976. – 61с.
81. Крещановский Н.С. Модифицирование стали. / Н.С. Крещановский, М.Ф. Сидоренко – М: Металлургия. 1970. – 296с.
82. Пивоварский Е. Высококачественный чугуун. / Под ред. И.Н. Богачева и Б.Г. Лившица. – М. Металлургия, 1965. – Т1. – 650с. Т2. – 1184с.
83. Горшков И.Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов / И.Е. Горшков. – М:Металлургиздат, 1952. – 416с.
84. Леви Л.И. Основы теории металлургических процессов и технологии плавки литейных сплавов. / Л.И. Леви, Л.М. Мариенбах. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1970. – 496с.
85. Ефимов В.А. Задачи по ускорению научно-технического прогресса в области повышения качества стальных слитков и заготовок / В.А. Ефремов// Сталь – 1988. -№4. – С1-4.
86. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков. – М.: Машиностроение, 1979. – 253 с.
87. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов. 2009. №6. – С. 41-47.
88. Россошинский А.А. Металлография сварных швов / Россошинский А.А. – М: «Машгиз», 1961. – 205 с.
89. Борисов И.А. Влияние ванадия и других карбидообразующих элементов на свойства роторных сталей / И.А. Борисов // МИТОМ. – 1994. – № 10. – С. 33 – 35.
90. Повышение качества стали 65Г путём микролегирования / [Быковских С.В., Ярошевская Е.С., Скороход Н.М., Еронько С.П.] // Сталь. – 1996. – № 5. – С. 12 – 14.
90. Beevers C.J. The ductile fracture of metals. A survey of mechanisms /C.J.Beevers, R.W.K. Honeycomb // Fracture Met. Lournе Fac. Eng. Univ. Melbourne. – 1995 - 28p

91. Матросов Ю.И. Механизм влияния микродобавок ванадия, ниобия и титана на структуру и свойства малоперлитных сталей / Ю.И. Матросов // МИТОМ – 1984. – № 11. – С. 13 – 21.

92. Растворимость нитридов ванадия и ниобия в железе / А.П. Гуляев, В.Н. Анащенко, Н.И. Крачевская [и др.] // МИТОМ. – 1973. – № 8. – С. 6 – 9.

93. Гольдштейн М.И. Дисперсионное упрочнение стали / М.И. Гольдштейн, В.М. Фарбер. – М: Металлургия, 1979. – 208 с.

94. Матросов Ю.И. Влияние ванадия на механические свойства, фазовый состав и структуру малоперлитной стали / Ю.И. Матросов, А.Н. Сорокин // МИТОМ. – 1981. – № 5. – С. 16 – 19.

95. Рудюк С.И. Влияние микролегирования на структуру и механические свойства рельсовой стали / С.И. Рудюк, А.И. Савон, И.В. Михайлова // МИТОМ – 1989. – № 6. – С. 49 – 52.

96. Совершенствование технологии микролегирования стали 65Г титаном и бором / С.В. Быковских, Е.С. Ярошевская, С.П. Еронько, Е.В. Банных // МИТОМ. – 1995. – № 8. – С. 25 – 28.

97. Прямое легирование стали известково-магнезиальным шлаком / С.Б. Батуев, В.В. Петренёв, А.В. Чернушевич [и др.] // Сталь. – 1995. – № 1. – С. 15 – 16.

98. Гришин А.М. Влияние ванадия и титана на фазовый состав и коррозионную стойкость высокоуглеродистого сплава системы Fe – C – Mn – Cr / Гришин А.М. // МИТОМ. – 1991. – № 1. – С. 32 – 33.

99. Влияние добавки Ti и V на свойства стали 110Г13Л / М.И. Курбатов, А.С. Носенко, Я.П. Проценко, Э.Г. Земка // МИТОМ. – 1990. – № 9. – С. 53 – 54.

100. Дерябин А.А., Цепелев В.С., Конашков В.В., Берестов В.Ю., Могильный В.В. Кинетическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Sa и Fe-Si-Sa-Va. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. - №4. с.3-6.

101. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры

наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. - №6 – с. 41-47.

102. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. - №3. – с.63-67.

103. Жеребцов С.А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006 - 22с.

104. В. Панцырный. Материалы нового класса. // Технополис № 8 2006 г. – с 12-14

105. Афонин Ю.В., Черепанов А.Я., Батаев А.А., Буров В.Г., Маликов А.Г. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых инокуляторов. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2008 – Т.12 – с.322-324.

106. Черепанов А.Н., Афонин Ю.В., Маликов А.Г., Оришич А.М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2008. - №4. – с.25-26.

107. Черепанов А.Н., Афонин Ю.В., Оришич А.М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов // Тяжелое машиностроение. – 2009. - № 8 – с.24-26.

108. Зубенко Л.Н. Применение модификаторов в составе функциональных покрытий // Технологии и материалы. – 2015. - №2. – с.20-23.

109. Яковлев Д.С. Анализ технологических особенностей сварки порошковой проволокой / Д.С. Яковлев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2014. Вып.14. - №2. – с.92-95.

110. Яковлев Д.С. Анализ различных типов сварочных проволок для сварки трубных сталей при толщинах более 25,0 мм / Д.С. Яковлев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлург» - 2012. – Вып. 11 - №5 – С.30-32.

111. О влиянии химического состава шва на его микроструктуру и механические свойства / В.В.Подгаецкий // Автоматическая сварка. – 1991. - №2. – с.1-9.

112. Файенберг Л.И. Микролегирование швов титаном и бромом при многодуговой сварке газонефтепроводных труб большого диаметра / Л.И. Фаенберг, А.А. Рыбаков, А.Н. Алимов, Р. Розерт // Автоматическая сварка. – 2007. - №5. – с.20-25.

113. Патент 2434070 Российская Федерация, МПК С22С38/00, В23К35/30, В23К9/23. Высокопрочная сварочная стальная труба, металл сварочного шва которой обладает высоким сопротивлением холодному растрескиванию, и способ её изготовления. / Наоя Хаякава, Суити Сакагути, Фумимару Кавабата, Мицухиро Окацу, Макота Ота, Сигеки Нисияма, Каору Нагатани, Кеито Исизаки. - №2009139659/02; заявл. 19.03.2008; опубл. 20.11.2011. – Бюл.№32. – с.26

114. Яковлев Д.С., Шахматов М.В. Микролегирование сварочных соединений порошковой проволокой. // Технологии и материалы – 2015. - №2. – с.23-28.

115. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей / А.В. Марков // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». - Харьков, 2013. - №8. - С. 52-55.

116. Марков А.В. Использование вторичного сырья для модифицирования при восстановлении деталей наплавкой / А.В.Марков, Т.В. Мальцев // Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих учених та спеціалістів зварювання та споріднені технології 20-22 травня 2015 р. – Київ, 2015. - С. 112.

117. Патент №92472 Україна, МПК (2014.01) В23К 26/00. Спосіб відновлення та підвищення властивостей робочого шару деталей. / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, А.В. Марков, та інші.; заявник та патентоутримувач Т. С. Скобло. - №а2014 03324. заявл. 01.04.14.; опубл. 26.08.14., Бюл. № 16.

118. Патент №98213 Україна, МПК (2006.01) В32В 5/14. Спосіб використання детонаційної шихти для зміцнення відновлювального шару деталей. / Т. С. Скобло, І.О. Сідашенко, А.В. Марков, та інші.; заявник та патентоутримувач О.В. Марков. -

№а2014 10552. заявл. 26.09.14.; опубл. 27.04.15., Бюл. № 8.

119. Т.С.Скобло, А.И. Сидашенко, А.Д. Мартыненко, Р.В. Ридный, Н.С. Пасько, А.К. Автухов Применение шлакообразующихпримесей при производстве и реновации изделий. Харьков 2016 - 284с.

120. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / Фрумин И.И. – Харьков: «Металлургиздат», 1961. – 410 с.

121. Кузьменко О.Т. Электрошлаковая переработка металлоотходов и использование полученных полуфабрикатов в наплавочном производстве / О.Т. Кузьменко, И.П. Лентюгов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 58 – 61.

122. Пьяных С.А. Технология производства ванадийсодержащих лигатур с использованием зольных отходов ГРЭС / С.А. Пьяных // Сталь. – 1992. – № 6 – С. 36 – 37.

123. Легирование стали ванадием с использованием зольных отходов ГРЭС / А.Е. Сочнев, Ю.Т. Ярославцев, В.А. Курганов [и др.] // Сталь. – 1992. – № 7. – С. 37 – 40.

124. Исследование применения отходов производства в составе сварочных флюсов: тезисы докладов 21 научно-технической конференции сварщиков Уральского региона. – КГУ: Курган, 2002. – 144 с.

125. Наплавка валков сортопрокатного стана порошковой проволокой с шихтой из металлоотходов слитков легированных сталей и сплавов / [Г.А. Подзеев, И.Н. Шеенко, В.И. Титаренко, И.А. Крупник]: тез. докл. всесоюз. семинара [«Восстановление и упрочнение деталей металлургических агрегатов наплавкой, напылением и термообработкой»], (г. Москва, сент. 1990 г). – М.: ЦНИИТЭИЧМ, 1990. – С. 3.

126. Разработка и внедрение технологии переработки ванадийсодержащих зольных остатков тепловых электростанций / Т.Ф. Жуковский, Н.П. Слотвинский-Сидак, Г.Г. Гаврилюк, Ю.А. Леконцев // Сталь. – 1991. – № 1. – С. 85 – 87.

127. Опыт утилизации железа и природных легирующих элементов мартеновского шлака в доменной плавке / В.С. Рудин, Б.П. Рыбаков, Б.В. Качула [и др.] // Сталь. – 1995. – № 1. С. 71 – 72.

128. Использование ванадиевого шлака для легирования стали, выплавляемого в двухванной печи / В.В Павлов, В.В. Прогонов, В.Г. Востриков [и др.] // Сталь. – 1995. – № 10. – С. 16 – 18.

129. Патент України №41524. Спосіб відновлення та підвищення властивостей робочого шару деталей. 2009р.

130. Марков А.В. Повышение эксплуатационной стойкости деталей сельскохозяйственного машиностроения с применением вторичного сырья / А.В. Марков // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение» - Орел, 2015. – № 5 (9). - С. 12-25.

131. Солматов А.В. Влияние состава вводимой бронировки заряда из сплава тротила с гексогеном на выход и качество детонационного нано-алмаза и амазной шихты при детонационном синтезе. //Сверхтвёрдые материалы №2 2017г. – С 12-15

132. Марков О.В. Підвищення зносостійкості деталей модифікуванням нано-та дисперсними домішками. Автореферат 2018 р. – С 24

133. В. Панцырный. Материалы нового класса. //Технополис № 8 2006 г.– С 12-14

134. Маракин В.І. Методи і устаткування отримання нанопорошків, застосування і їх властивості // Збірник тез доповідей «Тиждень науки» ЗНТУ м. Запоріжжя 15–19 квітня 2019р. – С. 59

135. В. Ю. Долматов Про можливість отримання детонаційних наноалмазів, що не містять азот. Вплив ковалентно-зв'язаного азоту в молекулах вибухових речовин на вихід наноалмазів. // Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Випуск №4 – С.28-34

136. Применение модифицирующих присадок для восстановления деталей машин / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, И. Н. Рыбалко, А. В. Марков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. Наук - техн. зб. - Кропивницький: ЦНТУ, 2017. - Вип. 47, ч. 1. - С. 229-240.

137. Патент України №121869. МПК В23К 26/342 С04В 41/87 Комбінований спосіб модифікування для підвищення якості відновлення виробів. Опубл.

26.12.2017р. Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, Л.В. Омельченко, О.І. Тришевский, В.М. Власовец, О.Д. Мартиненко; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. – и 2017 02218 заявл. 09.03.17.; опубл. 26.12.17., Бюл. №24.

138. Лямкин А.И. Образование наноалмазов при динамическом воздействии на углеродсодержащие 138 соединения // Автореферат Красноярск 2004г. – С 25

139. Лопанов А.Н. Физико-химические основы теории горения и взрыва. //Уч. пособие – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 149 с

140. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей / А.В. Марков // Информационно аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». - Харьков, 2013. - №8. - С. 52-55.

141. Применение порошков наноалмазов и шунгита для упрочнения изделий при упрочнении наплавкой / А.А. Гончаренко, В.В. Телятников, В.М. Власовец, А.В. Марков, Т.В. Мальцев // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2013. - № 11. - С. 52-54.

142. Влияние модифицирования углеродсодержащими порошковыми присадками на износостойкость при нанесении покрытий / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.В. Сайчук, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков, А.К. Олейник // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2016. - №10|47|. – С. 54-58.

143. Марков О.В. Модифікування відновлюваних шарів вуглецьвмісними домішками / О.В. Нанка, І.М. Рибалко, О.В. Марков // Информационноаналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2018. - № 1 (62). – С. 53-58.

144. Теоретическая оценка формирования зерен конгломерата шихты / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, А. В. Захаров // Промышленность в фокусе. - 2019. - № 8. - С. 55-58. - С. 57-58.

145. Ben-Tal A. and Nemirovskii A. Lectures on Modern Convex Optimizatin Analysis, Alogorithms, and Engineering Applications, SIAM, Philadelphia, 2001 237.
Цирлин А.М. Методы оптимизации для инженеров - Directmedia, 2015. – с. 214.
146. Беккенбах Э.Ф. Современная математика для инженеров - Рипол Классик, 2013. – с.506. 239.
147. Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов. / Скобло Т.С., Гончаренко О.О., Марков А.В., Омельченко Л.В., Телятников В.В., Тупиченко С.В. //Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №6, 2016 м. Харків. С. 57-62.
148. Модифицирование и микролегирование восстановительных покрытий / Л.В. Омельченко // Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №11, 2018 м. Харків. С. 301-310.
149. Повышение стойкости деталей при восстановлении наплавкой и модифицированием. / Нанка А.В., Омельченко Л.В., Марков А.В. // Агротехника и энергообеспечение / Орловский ГАУ им.Н.В. Парахина – 2018. Т.18. №1. – С.16-26.
150. 54Марков А.В. Использование вторичного сырья для модифицирования при восстановлении деталей наплавкой / А.В. Марков, Т.В. Мальцев // Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» 20-22 травня. – Київ, 2015. - С. 112.
151. Патент №48353 Україна, МПК (2009) В24В39/00. Спосіб відновлення та зміцнення деталей./Т.С. Скобло, І.М. Рибалко, О.І. Сідашенко та ін. опубл. 10.03.10.
- 152.Патент RU №2520910. Способ получения защитного покрытия на изделия с карбидкремния, нитридкремния с углесодержащей основой. Опубл. 20. 06. 2014г.
153. Применение вторичного сырья для модифицирования при восстановительной наплавке. / СкоблоТ.С., Сідашенко А.И., Гончаренко А.А., Омельченко Л.В.// Промышленность в фокусе май №5 2016. С. 56-58.
154. Особенности структурообразования при модифицировании покрытий для деталей из дисперсионно-упрочненных сталей / Т. С. Скобло, А. И. Сідашенко, С.

П. Романюк, А. А. Гончаренко, Л. В. Омельченко, В. А. Бантковский // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2019. -Т. 55, № 6. - С. 96-103. - С. 102-103

155. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels / T. S. Skoblo, A. Sidashenko, S. Romaniuk, A. Goncharenko, L. Omelchenko, Vyacheslav Bantkovskiy // Materials Science. - 2020.

156. Патент №117615 Україна, МПК В22D 19/08 (2006.01) В22D 19/10 (2006.01). Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, І. М. Рибалко, О. О. Гончаренко, В. М. Заєць; власник: Т. С. Скобло. - № у 2017 01633; Заявл. 20.02.2017; Опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

157. Патент України №108224. Енергозберігаючий спосіб підвищення зносостійкості виробів модифікуванням мастила вторинною сировиною. Опубл. 11.07.2016р.

158. Патент №137676 Україна, МПК (2006) В23Р 6/04 (2006.01) В23К 9/00 В23К 35/22 (2006.01) С23С 8/00. Спосіб підвищення експлуатаційної стійкості спряжень при відновленні деталей / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, О. О. Гончаренко, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № а 201812861; Заявл. 26.12.2018; Опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.

159. Патент України на винахід №28737. Пластичне мастило для різьбових з'єднань. Опубл. 16.10.2000 р.

160. Патент 121869 Україна, МПК В23К 26/342 (2014.01) С04В 41/87 (2006.01). Комбінований спосіб модифікування для підвищення якості відновлення виробів / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, О. І. Тришевський, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, В. М. Власовець, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № у 2017 02218; Заявл. 09.03.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

161. А.Е. Вайнерман, М.Х. Шоршоров, В.Д. Веселков, В.С. Новосадов. Поазменная наплавка металлов. Л: Изд-во «Машиностроение», 1969г., с 105-113, 153-163.

162. Применение детонационной шихты для модифицирования при восстановительной наплавке. / Омельченко Л.В. // Збірник тез доповідей Х Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 121

163. Повышение износостойкости упрочнённых и восстановленных деталей покрытием с применением модифицирования вторичным сырьём. / Скобло Т.С., Романюк С.П., Сидашенко А.И., Омельченко Л.В., Олейник А.К. // Проблеми трибології. Міжнародний науковий журнал №3 2017. С.51- 55.

164. Склад детонаційної шихти з алмазною фракцією для модифікування покриттів. / Т. С. Скобло, С. П. Романюк, О. В. Сайчук, І. М. Рибалко, А. В. Захаров, Л. В. Омельченко // Промисловість в фокусі. - 2020. - № 11 (94). - С. 54-56.

165. Скобло Т.С. Исследование влияния способа наплавки на свойства металла восстанавливаемой детали / Т.С. Скобло, С.П. Романюк, Л.В. Омельченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – Харків, 2017. – Вип.183. – С.145-150.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Применение детонационной шихты для модифицирования при восстановительной наплавке. / Омельченко Л.В. // Збірник тез доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 121

2. Применение вторичного сырья для модифицирования при восстановительной наплавке. / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Омельченко Л.В.// Промышленность в фокусе май №5 2016. С. 56-58.

3. Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов. / Скобло Т.С., Гончаренко О.О., Марков А.В., Омельченко Л.В., Телятников В.В., Тупиченко С.В. //Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №6, 2016 м. Харків. С. 57-62.

4. Исследование влияния способа наплавки на свойства металла восстанавливаемой детали. / Скобло Т.С., Омельченко Л.В., Романюк С.П.//Вісник ХНТУСГ ім.П.Василенка. Випуск №183 2017року С.145-149.

5. Особенности структурообразования при модифицировании восстановленного слоя наплавкой. / А. А. Гончаренко, С. П. Романюк, А. С. Полянский, Л. В. Омельченко, В. В. Коломиец // Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №10, 2017 м. Харків. С. 20-28.

6. Повышение износостойкости упрочнённых и восстановленных деталей покрытием с применением модифицирования вторичным сырьём. / Скобло Т.С., Романюк С.П., Сидашенко А.И., Омельченко Л.В., Олейник А.К. // Проблеми трибології. Міжнародний науковий журнал №3 2017. С.51- 55.

7.Повышение стойкости деталей при восстановлении наплавкой и модифицированием. / Нанка А.В., Омельченко Л.В., Марков А.В. // Агротехника и энергообеспечение / Орловский ГАУ им.Н.В. Парахина – 2018. Т.18. №1. – С.16-26.

8.Модифицирование и микролегирование восстановительных покрытий / Л.В. Омельченко // Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №11, 2018 м. Харків. С. 301-310.

9.Особенности структурообразования при модифицировании покрытий для деталей из дисперсионно-упрочненных сталей / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк, А. А. Гончаренко, Л. В. Омельченко, В. А. Бантковский // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2019. -Т. 55, № 6. - С. 96-103. - С. 102-103

10.Теоретическая оценка формирования зерен конгломерата шихты / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, А. В. Захаров // Промышленность в фокусе. - 2019. - № 8. - С. 55-58. - С. 57-58.

11.Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels / T. S. Skoblo, A. Sidashenko, S. Romaniuk, A. Goncharenko, L. Omelchenko, Vyacheslav Bantkovskiy // Materials Science. - 2020.

12.Склад детонаційної шихти з алмазною фракцією для модифікування покриттів. / Т. С. Скобло, С. П. Романюк, О. В. Сайчук, І. М. Рибалко, А. В. Захаров, Л. В. Омельченко // Промисловість в фокусі. - 2020. - № 11 (94). - С. 54-56.

13.Україна, МПК В22D 19/08 (2006.01) В22D 19/10 (2006.01).
Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, І. М. Рибалко, О. О. Гончаренко, В. М. Заєць; власник: Т. С. Скобло. - № у 2017 01633; Заявл. 20.02.2017; Опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

14.Україна, МПК В23К 26/342 (2014.01) С04В 41/87 (2006.01).
Комбінований спосіб модифікування для підвищення якості відновлення виробів / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, О. І. Тришевський, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, В. М. Власовець, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № у 2017 02218; Заявл. 09.03.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

15.Україна, МПК В29С 41/16 (2006.01), С23С 8/00, В23Р 6/04 (2006.01), В22D 19/10 (2006.01).

Спосіб відновлення деталей дисперснозміцнених або із значним скупченням неметалевих включень сталей / Т. С. Скобло, О. В. Нанка, О. І. Сідашенко, Л. В. Омельченко, С. П. Романюк, О. О. Гончаренко, Є. А. Сатановський, О. К. Олійник, О. В. Марков; власник Т. С. Скобло. - № и 201805772; Заявл. 23.05.2018; Опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

16.Україна, МПК (2006) В23Р 6/04 (2006.01) В23К 9/00 В23К 35/22 (2006.01) С23С 8/00.

Спосіб підвищення експлуатаційної стійкості спряжень при відновленні деталей / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, О. О. Гончаренко, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № а 201812861; Заявл. 26.12.2018; Опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.

ДОДАТОК Б



ПОГОДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
ХНТУСГ ім. Петра Василенко
Мельник В.І.



ЗАТВЕРДЖЕНО
Головний інженер
ДП «Завод імені В.О. Малишева»
Литвин Б.Я.

АКТ

промислової апробації технології зміцнення при відновленні валів з модифікуванням магнітної частки детонаційної шихти від утилізації боспринасів

Дана робота виконувалась згідно договору №191дп від 04.04.2016 р. про науково-технічне співробітництво між ДП «Завод імені В.О. Малишева» і Харківським національним технічним університетом сільського господарства імені Петра Василенка.

В машинобудуванні широко використовують вали, які виготовляють з легованих сталей (40ХН, 40ХН2МА, 30ХГТ, 30ХГСА та інш.). В залежності від необхідності забезпечення експлуатаційних властивостей вали піддають термічним та поверхневим зміцнюючим обробкам. Номенклатура використання валів і їх вага дуже велика і залежить від призначення для конкретної техніки. Тому вартість їх змінюється в значному інтервалі. В даному випадку досліджували відновлення шліцьових валів вартістю 2200-2800 грн/шт (середня 2400 грн).


На основі стендових випробувань, виконаних на базі ДП «Завод імені В.О. Малишева» встановлено, що при відновленні валів наплавленням з модифікуванням домішкою магнітної частки детонаційної шихти з алмазною фракцією та мікролегуючими компонентами забезпечуються стабільні якісні показники та підвищення зносостійкості на 20-25%.

Виконавці від
ХНТУСГ імені Петра Василенка

Керівник

 Скобло Т.С., д.т.н., проф.

Сайчук О.В., д.т.н., проф.

 Романченко В.М., к.т.н, доц.

Омельченко Л.В. –


відповідальний виконавець

 Рибалко І.М., к.т.н. –

відповідальний виконавець

Виконавці від
ДП «Завод імені В.О. Малишева»

Начальник центральної
заводської лабораторії, к.т.н., е.н.с.

 Становський С.А.

Провідний інженер-технолог, к.т.н.

 Олійник О.К.

Начальник лабораторії ІМК

 Мальцев Т.В.