

Скобло Т.С. Сідашенко О.І. Сайчук О.В.

# **Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники**

Монографія

Харків 2019

УДК 621.791/792

С44

*Рекомендовано Вченою радою Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Протокол №10 від 27 червня 2019 р.*

Рецензенти:

Черновол М.И. – доктор технічних наук, професор, академік Інженерної академії України, член-кореспондент Національної академії аграрних наук та Міжнародної інженерної академії, заслужений діяч науки і техніки, ректор Центральноукраїнського національного технічного університету (м. Кропивницький).

Єфременко В.Т. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою фізики Приазовського державного технічного університету (м. Маріуполь).

С44 Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: Монографія / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, О.В. Сайчук. Під ред. д.т.н. проф. Скобло Т.С. – Х: Діса плюс, 2019. – 282 с.

У монографії узагальнені дослідження авторів по розробкам нових технологічних процесів виробництва та використанню корпусних деталей з сірих і високоміцних чавунів методами їх регламентованої кристалізації та модифікуванням детонаційною вторинною сировиною з алмазною фракцією.

Монографія розрахована на спеціалістів машинобудівників та матеріалознавців. Вона може бути корисною науковим дослідникам, аспірантам та магістрантам.

Іл. - 79; Табл. - 40; Бібліограф. – 235.

ISBN 978-966-97495-5-0

УДК 621.791/792

© Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ З ЧАВУНІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ І УМОВИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ .....	8
1.1 Виготовлення корпусних деталей із чавуну з різною формою графіту.....	8
1.2 Виготовлення і обробка корпусних деталей із сірого чавуну.....	18
1.3 Властивості сірих чавунів .....	26
1.4 Чавуни в стандартах провідних країн світу .....	30
1.5 Особливості формування властивостей чавунних відливок гільз циліндрів дизелів при відцентровому методі лиття .....	34
1.6 Особливості структуроутворення при відцентровому литті чавунних виливків.....	37
1.7 Основні дефекти, які формуються при виробництві та експлуатації виливків .....	38
2. ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ ІЗ ЧАВУНІВ ПРИ ЇХ ВИРОБНИЦТВІ .....	54
2.1 Вплив хімічного складу, модифікування і умов кристалізації втулок гільз циліндрів з високоміцного чавуну на його структуру та властивості .....	56
2.2 Використання нових методів та підходів до досліджень. 69	
2.3 Вплив дефектів корпусних виливків із сірого чавуну на рівень їх якості .....	78
3. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ .....	101
3.1 Розробка інноваційної технології виробництва втулок гільз циліндрів .....	102
3.2 Аналіз структуроутворення для обґрунтування нової технології заварювання дефектів у корпусних деталях .....	111
4. ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРАФІТОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ	

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	128
4.1 Вплив графітових включень на створення локальних напружень .....	128
4.2 Оцінка особливостей структуроутворення при заварюванні дефектів.....	144
5. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	162
5.1 Якість відлитих втулок при контрольованій швидкості їх кристалізації у відцентровій машині.....	162
5.2 Оцінка якості і розробка нових технологічних процесів для підвищення експлуатаційної стійкості корпусних деталей .....	167
ВИСНОВКИ .....	185
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	190
ДОДАТКИ.....	215
Додаток А .....	216
Додаток Б.....	232
Додаток В .....	260
Додаток Д .....	265
Додаток Е.....	277

## ВСТУП

В монографії надаються теоретичні та технологічні основи керування структурою і властивостями чавунів різного функціонального призначення для підвищення експлуатаційних показників деталей.

Представлена монографія базується на теоретичних, експериментальних та технологічних дослідженнях з використанням нових, ефективних, менш витратних підходів до підвищення якості, експлуатаційної стійкості найбільш важливих деталей у машинобудуванні – втулок гільз циліндрів та корпусних деталей з високоміцних та сірих чавунів відповідно. Такі матеріали відрізняються достатньо високою експлуатаційною стійкістю, але в ряді випадків технологія їх виготовлення не забезпечує надійної роботи, що визначається умовами виробництва, формуємою структурою, властивостями та конструктивними особливостями. Це, в першу чергу, відливання втулок гільз циліндрів відцентровим методом у різнотовщинну металеву форму та корпусних деталей зі змінною товщиною стінок. Такі фактори призводять до формування неоднорідної структури, локалізації деформацій, розвитку дефектів, тріщиноутворення при виробництві і експлуатації.

Метою дослідження було теоретичне та технологічне обґрунтування створення нових підходів до керування структуроутворенням і властивостями виливків з чавунів при використанні ефективних та менш витратних процесів у виробництві.

На підприємствах-виробниках проведені статистичні дослідження якості втулок гільз циліндрів і корпусних деталей неруйнівним методом контролю з відбором проб у дефектних зонах для металографічного оптичного, електронікроскопічного аналізів, емісійної мікроскопії, а також оцінки механічних властивостей.

Для цього спеціально розробляли бракувальні норми, які характеризували виявлені дефекти неруйнівним магнітним методом за коерцитивною силою,  $H_c$  та методику оцінки фазового

складу а також зв'язки між ними з використанням оптико-математичного методу у різних зонах виливків за змінною щільністю дислокаційної структури.

Такі дослідження можуть бути основою для забезпечення надійного зчеплення покриття з основою у не технологічних матеріалах (чавунах) при відновленні дефектних зон заплавленням.

Для виявлення відхилень у формуванні структури металу та властивостей при кристалізації відливок вивчали вплив різних факторів: хімічного складу, форми та долі вуглецевмісних складових (карбідів, ледебуриту, графіту), співвідношення фазових складових, якість підготовки оснащення для відливання виробів, схильність до руйнування. На базі такої інформації розробляли нові підходи до технологічних процесів. Дослідженнями було встановлено, що найбільший вплив на відхилення у структуроутворенні має різна швидкість кристалізації окремих зон виливків, крім того у перехідних товщинах створюються локальні напруження, які потребують особливої уваги при розробках нових технологічних параметрів виробництва.

Втулки циліндрів мають однакову товщину стінки та їх відливають відцентровим методом у різнотовщинні металеві форми, що забезпечує швидке та легке витягання з машини для подальшого охолодження. Використання такої конструкції металевої форми сприяє неоднорідній кристалізації вилівка. Для забезпечення його рівномірного охолодження проведено моделювання процесу, яке спрямоване на досягнення рівномірної швидкості кристалізації цих деталей у формі за рахунок корегування параметрів підігріву з досягненням необхідної температури на внутрішній поверхні металевої форми перед заливанням металу втулки. Цього можна досягти тільки за рахунок використання програмованих параметрів СПЧ (струмів промислової частоти). Дослідженнями встановлено, що ефективним є спосіб циклічного підігріву з відключенням індукторів та сумарний час нагрівання форми таким методом повинен складати 4,2 год., а період пауз 1,2 год. Число циклів – 3 забезпечує рівномірне нагрівання металевої форми.

Статистичними дослідженнями також показано, що формування структури з відхиленнями за неоднорідністю властивостей, пов'язано з неякісним модифікуванням високоміцного чавуну, та це підтверджується ліквідацією компонентів локальним рентгеноспектральним аналізом.

Необхідні властивості при виробництві та заплавленні дефектів у відливках з сірого чавуну досягали модифікуванням з алмазною фракцією рідкого розчину та дозованим введенням спеціальної домішки вторинної сировини – не магнітної її складової, одержаної від детонації при утилізації спеціального набору патронів, які втратили час їх використання. Для досягнення ефекту при модифікуванні наплавленого шару визначили найбільш ефективний спосіб та кількість введення такої шихти.

Розглядали введення домішки на основі шлікерного покриття та обмазки електроду. Останній варіант є найбільш ефективним тому, що він забезпечує дозоване введення домішки, модифікує зону відновлення, зменшує розмір зерен, знижує локальні напруження у перехідній зоні за рахунок зниження температури рідкої ванни та створення мікрохолодильників-алмазів. Ефективність технології підтверджена детальним аналізом структуроутворення з використанням комплексних досліджень. Основними чинниками, що впливають на локалізацію деформацій мають грубі включення графіту та зони окислення навколо них.

# **1. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ З ЧАВУНІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ І УМОВИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

## **1.1 Виготовлення корпусних деталей із чавуну з різною формою графіту**

Велика увага при виробництві сільськогосподарської техніки приділяється виготовленню корпусних деталей.

Сучасне машинобудування характеризується постійним підвищенням рівня робочих параметрів і одиничної потужності машин і агрегатів, використанням високих тисків, швидкостей і температур, що потребує жорсткіших вимог до фізико-механічних властивостей сплавів, серед яких широке місце займають високоміцні чавуни. В останні роки основними вимогами до металопродукції є такі показники якості, як конкурентоспроможність, надійність і довговічність. Розв'язок проблеми підвищення конкурентоспроможності і довговічності сільськогосподарських машин, а також пневмо- і гідроапаратури приводів та іншого устаткування в умовах інтенсифікації виробництва вимагає використання конструкційних матеріалів з високими фізико-механічними, технологічними і експлуатаційними властивостями, до яких відносяться сірі та високоміцні чавуни з кулястою, вермикулярною формою графіту, вуглецеві і леговані сталі.

Вимоги до конструкційних матеріалів постійно зростають. Крім міцності, пластичності і твердості все більше значення набувають такі механічні властивості, як опір втоми при динамічних і знакозмінних навантаженнях, ударна в'язкість і зносостійкість. Саме ці механічні характеристики в деяких випадках визначають вибір конструкційного матеріалу для деталей, що виливаються та мають відповідальне призначення і потребують створення нових технологічних процесів виробництва.

Особливу увагу приділяли таким важливим деталям як корпусні та гільзи циліндрів, які в умовах виробництва виготовляють із сірих та високоміцних чавунів і мають нестабільну якість.



Важливим є встановити чинники таких відхилень і розробити пропозиції по їхньому усуненню.

Особливістю процесів виробництва багатьох корпусних виливків полягає в тому, що необхідно забезпечити в них оптимальні характеристики структури і фізико-механічних властивостей у більш масивних і тонких стінках, не знижуючи заданої розмірної точності, геометричної, а також технологічної твердості. При цьому, необхідний добір таких умов охолодження, щоб у стовщених стінках виливків була достатня щільність, задана мікроструктура, були відсутні пористість, зони з чорними плямами, відбіл, неспаї, значні залишкові напруження та тріщини в тонких стінках. В той же час необхідно забезпечити високу жидкотекучість розплаву.

Це основне протиріччя при виготовленні корпусних виливків, яке повинне вирішуватися практично індивідуально для кожного відповідального виробу зі створенням технологічного процесу лиття і розрахунками оптимальної ливникової системи, комп'ютерного моделювання процесу заливання, обґрунтуванням використання шихти, проведенням плавок і виготовленням дослідної партії виливків.

Важливою особливістю процесу виготовлення корпусних виливків є також необхідність створення і проставляння у ливарних формах великої кількості складних та масивних стрижнів, обґрунтування ступеня перегріву розплаву і швидкості процесу заливання, а також використання ефективних технологічних методів додаткового модифікування, операцій і засобів виготовлення ливарних форм, оптимізації хімічного складу виплавленого чавуну. Важливим також є облік факторів регулювання литої структури, особливо на ступінь дисперсності і типу графіту [1-3, 49, 57-59].

Відомо, що при виготовленні литих корпусних деталей хімічний склад і механічні властивості стандартних чавунів установлюються відповідно до ГОСТ 7293, 7769 і 1585, 28894. Залежно від

умов роботи і призначення, корпусні та базові литі деталі машинобудування підрозділяються на класи, а усередині класів – на групи. У табл. 1.1 наведені рекомендовані марки чавуну, типові представники литих деталей і вимоги до мікроструктури, відповідно до ОСТ 2 МТ29-1-87. У важкому, транспортному, автотракторному, сільськогосподарському і інших галузях машинобудування потреба у виливках із високоміцного чавуну з кулястим графітом (ВЧКГ) і високоміцного чавуну з вермикулярним графітом (ВЧВГ) ще детальніша, а вимоги до їхньої структури і властивостям більш високі.

Таблиця 1.1 – Класифікація верстатобудівних виливків з високоміцного чавуну

Клас	Група	Основні вимоги до деталей	Типові представники деталей	Бал перліту і графіту за ГОСТ 3443	Марка чавуну
1	а	Висока міцність	Корпусні деталі машин, редукторів, верстатів і іншого устаткування в машинобудуванні	П92	ВЧ45, ВЧ50
	б	Підвищена зносостійкість	Столи, полозок, супорти, напрямні і т.п.	П70	ВЧ50, ВЧ60
	в	Робота за тиску більше 20 МПа	Корпуси золотників, гідро- і пневмоапаратура приводів	П70	ВЧ50, ВЧ60
2	а	Висока міцність і пластичність	Стійки, траверси, плити, столи, шибери верстатів, ливарних машин і пресів		ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45
	б	Пневмо- та гідроциліндрність, тиск понад 20 МПа	Корпуси та кришки насосів, колекторів, клапанів, приводів і ін.		ВЧ40, ВЧ 45
3	-	Високі антифрикційні властивості	Втулки, направляючі і корпуси підшипників машин і верстатів	ШГФ2 ШГФ5	АЧВ-1

Освоєні і застосовуються технологічні процеси виробництва груп виливків *a*, *b* и *в* класу 1, які використовуються в литому стані без додаткової термічної обробки.

При виготовленні ливарних форм для корпусних виливків машинобудування найбільш поширені наступні технологічні методи і засоби: встановлення холодильників, використання екзотермічних і модифікуючих брикетів, живлючих бобишок, фільтрувальних сіток і фільтрів з спіненої кераміки, легувальних сотоподібних і сітчастих вставок, спеціальних стрижнів і джгутів. Для виготовлення окремих відповідальних виливків застосовували також рідкі самотвердіючі суміші, оболонкові форми, імпульсне формування, способи формовки, лиття в кокіль та інші спеціальні технологічні процеси виробництва [53-56, 64-68, 78].

Особливо високі і стабільні фізико-механічні властивості високоміцних чавунів ( $\sigma_B$ ,  $\delta$ , КСУ, зносостійкість і щільність) досягаються при проведенні плавок дуплекс-процесом (індукційна тигельна середньочастотна піч і індукційний міксер) з використанням 15 % чушкових рафінованих чавунів і вторинних шихтових матеріалів і при заливанні металу в оболонкові форми на автоматичній лінії імпульсного формування. При конструюванні корпусних виливків із такого матеріалу передбачають заходи для попередження утворення тріщин і жолоблення. Для підвищення технологічної твердості і демпфуючої здатності базових виливків використовуються ребра жорсткості, діагональні та П-образні перегородки, а також збільшені радіуси в кутах [50-52].

Для впливу на фізичний стан розплавів проводять необхідні операції перегріву, пічної і позапічної обробки [1], включаючи операції рафінування, легування міддю, сфероїдизуючого та графітизуючого модифікування. У серійному виробництві використовують магнійвмісні (Elmog і ін.) та барійвмісні (Varginos і ін.) модифікатори. При цьому застосовуються процеси внутрішньоформеного модифікування для одержання корпусних виливків з використанням брикетів із подрібненого до фракції 0,05-2,0 мм силікобарія, лігатури ЖКМК-5 фракції 0,1-0,2 мм, металевого

ітрія, порошоків нітридів марганцю і феросилікоцирконія фракції 0,05-2,0 мм. Вихідні матеріали механічно перемішуються і піддаються гідростатичному пресуванню з питомим тиском 0,2 МН/см<sup>2</sup>. У табл. 1.2 наведені механічні і технологічні властивості високоміцних чавунів у виливках, отриманих з використанням такого модифікуючого брикету [4, 60-63, 88, 111, 112].

Таблиця 1.2 – Механічні і технологічні властивості високоміцних чавунів у виливках

σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Трیشино-стійкість, см	Графіт, %		Стійкість при контактному-ударному навантаженні, тис. циклів
				КГ	ВГ	
461-490	14,6-15,4	81,5-82	18,2-18,8	88-89	11-12	380-450

Примітка: КГ – кулястий графіт, ВГ – вермикулярний графіт.

Для виготовлення корпусних виливків з високоміцних чавунів використовують різний їх склад, який дозволяє одержувати у виливках, залежно від їхньої маси і товщини стінок, підвищені механічні властивості, відповідні до марок ВЧ50, ВЧ60 і ВЧ70 [5, 6, 9, 13, 18, 43, 48].

Для корпусних масивних виливків запропонований склад легованого високоміцного чавуну, що дозволяє одержувати в тонких стінках низькі залишкові термічні напруження (не більше 25 МПа) і в масивних стінках – високу міцність: при товщині стінок 100 мм (σ<sub>в</sub> = 612-730 МПа і при товщині 250 мм σ<sub>в</sub> = 535-641 МПа). При додатковому введенні в чавун 0,002-0,04 % барію значно знижуються залишкові термічні напруження у виливках, ступінь сфероїдизації графіту підвищується від 65-70 до 83-98 %. Висока графітізуюча здатність барійвмісних феросплавів дозволила використовувати їх домішку при виробництві безперервними методами лиття складних профільних заготовок із високоміцних чавунів для всіх корпусних виливків у виробничих умовах лиття [5-7, 69-74].

Разом з високими вимогами до якості литих деталей особливе значення має необхідність зниження витрат на енергоносії в ливарних цехах.

В останні роки поряд з використанням внутрішньоформеного модифікування за допомогою брикетів застосовують обробку розплавів комплексними модифікаторами і лігатурами у ковшах.

У лабораторних і виробничих умовах визначені ефективні способи модифікування та оптимальний склад хімічних компонентів чавунів з урахуванням забезпечення необхідних механічних властивостей у масивних стінках і відсутності схильності до відбілу в – тонких. Це повинно також забезпечувати необхідні ливарно-технологічні властивості: жидкотекучість, схильність до утворення усадочних дефектів. Для одержання низького вмісту сірки плавку рекомендується проводити в індукційних печах ємністю 0,4 т і при дуплекс-процесі (вагранки з індукційною піччю ємністю 1 т) із проміжною операцією по десульфурації за допомогою  $\text{CaC}_2$ . При позапічній обробці високоміцних чавунів використовують сфероїдизуючі, інокулюючі, графітізуючі модифікатори і способи їх введення в різній послідовності та часовими інтервалами між ними [69, 70, 72, 74, 114, 115].

Структура такого чавуну, в основному, перлітна (не менш 90 %) з 3-5 % цементиту, інша фаза – ферит. Твердість становить 241-275 НВ, а відносне подовження не перевищує 2-5 %. Використання спеціальних комплексних графітізуючих модифікаторів дозволило підвищити відносне подовження до 8-12 % і знизити твердість до 163-245 НВ при виробництві високоміцного чавуну марки ВЧ50 [75-78, 107, 116].

Залежно від ємності ковшу використовуються різні сфероїдизуючі модифікатори з відмінним фракційним складом. Пилоподібні фракції не ефективні, тому що при введенні в ківш вони окисляються або виносяться повітряними тепловими потоками. Це призводить до неминучих втрат модифікатора. Тому в ковшах ємністю до 500 кг використовують модифікатор фракції 0,8-4,0 мм, а в ковшах ємністю 1 т – фракції 1-6 мм. У табл. 1.3 наведено склад використовуваних у роботі [3] комплексних сфероїдизуючих модифікаторів, що випускаються відповідно до ТУ 14-5-248-

01, а в табл. 1.4 – характеристики структури і механічних властивостей таких чавунів.

Показано, що обробка чавуну сфероїдизуючими магнійвмісними домішками в спеціальних барабанних ковшах, заснована на одночасному введенні в метал необхідної домішки модифікатора, незважаючи на окремі переваги і простоту, не дозволяє якісно видаляти залишки шлаків і досягти високого засвоєння магнію.

Таблиця 1.3 – Склад сфероїдизуючих модифікаторів

Марка модифікатора	Масова частка, %						Фракція, мм
	Mg	Ca	TRE	Ba	Si	Al	
FeSiMg5 (ФСМг 5-Б)	5,0-5,5	0,3-0,8	0,3-0,8	-	45-50	До 1,2	1,0-4,0
FeSiMg6 ( ФСМг 6-Б)	5,5-6,0	0,3-0,8	0,3-0,8	-	50-55	1,0-1,5	1,0-4,0
FeSiMg910Ba4	8,5-9,0	0,8-1,0	-	3,7-4,0	45-48	До 1,2	0,8-4,0
FeSiMg923	9,0-9,5	1,5-2,0	2,8-3,0	-	45-48	До 1,5	0,8-4,0

Таблиця 1.4 – Характеристики структури і механічних властивостей модифікованих чавунів

Марка модифікатора	Кількість модифікатора, що вводиться, %	Кількість і дисперсність перліту		Металева основа	Механічні властивості чавуну у виливках		
		П, %	ПД		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
FeSiMg5	0,9	92	ПД 0,5-ПД 1,4	П-Ф	520	8,2	207
FeSiMg6	1,1	96	ПД 0,5-ПД 1,4	П-Ф	532	8,7	212
FeSiMg910Ba4	1,1	85	ПД 0,3-ПД 1,0	Ф-П	528	12,2	175
FeSiMg923	0,9	100	ПД 0,3-ПД 1,4	П-Ф	536	7,6	224

Це відбувається тому, що реакція модифікування проходить у локальній зоні і бульбашки магнію, що випаровуються, піднімаючись до поверхні розплаву, мають обмежений час контакту з розплавом, що може викликати формування неоднорідної структури матриці та змінювати форму графіту від кулястої до пластинчастої. Тому в ряді випадків, особливо при виливанні з одного ковша безліч виробів призводить до демодифікації розп-

лаву і у цьому випадку більш ефективним виявляється застосування сірого чавуну зі стабільною структурою та властивостями в процесі виробництва заданої програми виробів. У цьому випадку ефективним є більш пізніше модифікування в струмені металу при виготовленні стаціонарних розливних установок або ковшів, а також використання нових типів модифікуючих присадок Supersid і Riesid, які містять у своєму складі стронцій, що перешкоджає процесу демодифікації чавуну при значній його витримці в ковші. Оптимальним для масивних корпусних виливків є підвищений залишковий вміст у чавуні магнію (0,04-0,08 %). У випадку його більш низького залишкового вмісту (менше 0,04 %) формується графіт вермикулярної, пластинчастої або змішаної форми (див. рис. 1.1), а при вмісті магнію, що перевищує 0,08-0,10 %, у чавуні товстостінних виливків з'являються включення графіту шиповидної форми, що виділяється біля границь зерен. При вмісті його у чавуні 0,10 % і більш проявляється не стільки модифікуюча, скільки легуюча дія магнію, у результаті чого знижується активність вуглецю, чавун кристалізується вибіленим, підвищується твердість виливків і погіршується їхня оброблюваність різанням [3, 79-83, 94, 108-110].

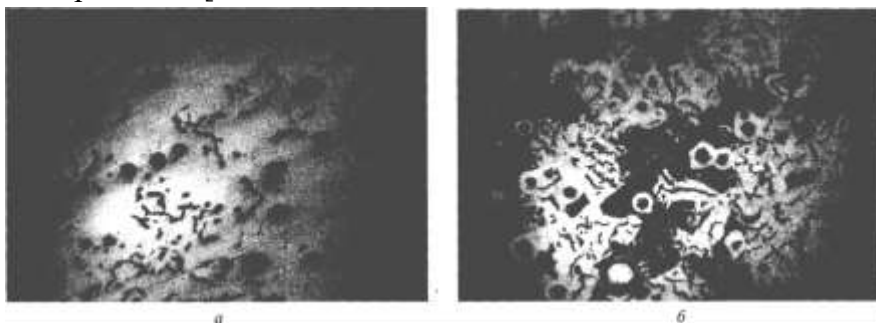


Рисунок 1.1 – Структура високоміцного чавуну з вермикулярною формою графіту в корпусних виливках до травлення (а) і після травлення (б) [3]

У практиці використовують також і інші ефективні модифікатори (Elmag, Zircinoc, Varinoc, VL 63 (M), МК 21, МКМг 19 і ін.) та відмінні способи їх введення в ливарні ковші. Як правило,

у процесах з використанням недостатньо рафінованих розплавів засвоєння магнію знижується, а обсяг шлаків і виділення диму зростають. Крім того, ускладнюється графітізуюче модифікування чавуну. І, навпаки, у процесах з добре рафінованими розплавами, що протікають менш інтенсивно, засвоєння магнію підвищується, знижується обсяг шлаків і зменшується виділення диму. Для вторинного модифікування використовують фракцію модифікаторів від 0,8 до 4,0 мм для забезпечення їх швидкого розчинення в чавуні і достатньої сипкості матеріалу при дозуванні [84-88].

Вторинне модифікування феросиліцієм ФС75 надійно усуває відбіл, який містить до 4 % барію. Застосовувати силікокальцій не рекомендується через недостатню його розчинність і засвоєність в чавуні. Оптимальна доля графітізуючих модифікаторів ~ 0,6 %. При використанні у виробничих умовах феросиліцію ФС45 його витрата становить – 0,34 %, а вихід придатного – 50,4 %.

Вимоги до хімічного складу вихідного чавуну, призначеного для модифікування ВЧВГ, за основними елементами (вуглецю, кремнію, марганцю, сірці), такі ж, як при виробництві ВЧКГ (табл. 1.5). Разом з тим, при використанні такої технології мають місце менш жорсткі вимоги по вмісту фосфору, а також титану (до 0,05 % Ti).

Ефективний комплексний модифікатор [8] для сфероїдируючої обробки ВЧКГ і ВЧВГ розроблено на ПО «Гомсельмаш». Такий модифікатор містить 25-40 % феросиліцію FeSi75Al, 25-40 % відсівання модифікатора ФСМ-7 по ТУ 14-5-134-86 і здрібнений графіт – решта. Його виготовляють і використовують безпосередньо в цеху високоміцного чавуну для виготовлення корпусних деталей кормозбиральних комбайнів, які раніше виготовлялися з ковкого чавуну марок КЧ35-10 і КЧ37-12. Модифікатор забезпечує у виливках високі характеристики ударної в'язкості (до 11,2-18 Дж/см<sup>2</sup>) і дисперсність структури.



Таблиця 1.5 – Шихта для модифікування і виливки чавунів марок ВЧ50, ГОСТ 7293 на автоматичній лінії імпульсного формування

Найменування шихтових матеріалів	Кількість на за-валку в піч		Вміст елементів, мас. %															
	%	кг	C		Si		Mn		Cr		S		P		Cu		Mg	
			у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті	у ви-хідній	в шихті
Чавун ливарний	30	900	3,00	1,20	1,20	0,36	0,30	0,09	0,05	0,02	0,02	0,006	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Лом сталевий	32,1	963	0,10	0,03	0,17	0,05	0,50	0,16	0,05	0,02	0,02	0,006	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Відходи виробництва	37,9	1137	3,25	1,23	2,45	0,93	0,50	0,19	0,07	0,03	0,02	0,008	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ФС45	0,34	10	0,20	0,001	45	0,15	1	0,00	0,50	0,00	0,02	0,000	0,05	0,000				
ФМн78	0,2	6	7,00	0,014	6	0,01	78	0,16			0,02	0,000						
Карбюризатор	1,8	54	90	1,62							0,10	0,002						
Мідь М1-М3	0,3	9													99	0,30		
Вигар, %			-10	-0,41	5	0,08	-20	-0,12	-1	-0,001		0,000		0,00		0,00		0,00
Рідкий метал у печі				3,69		1,58		0,48		0,059		0,022		0,03		0,30		0,00
Elmag	1,85	56	-5,00	-0,09	48	0,89					-25	-0,005					6	0,04
Zircinoc (Barinoc)	0,5	15			75	0,38												
У виливку одержаний				3,60		2,85		0,48		0,059		0,02		0,03		0,30		0,04
У виливку припустимий			3,2-3,7		1,9-2,9		0,3-0,7		до 0,1		до 0,015		до 0,1		до 0,28		0,04-0,05	

Розробки дозволили запропонувати і рекомендувати для впровадження нові склади високоміцних чавунів, використання комплексних сфероїдизуючих модифікаторів, а також графітізуючі суміші на основі феросилікобарія і поверхнево-активних домішок, для виробництва ошадливо-легованих синтетичних чавунів і ВЧВГ для корпусних деталей які працюють в режимі інтенсивного зношування при терті (при навантаженні 20-30 МПа) [6-9, 75, 89-93, 99, 100].

Їх також рекомендують використовувати у високошвидкісних механізмах тертя замість антифрикційних чавунів АЧВ-1, АЧК-1, АЧС-1 і АЧС-2 (ГОСТ 1585), легованих високоміцних чавунів марок ВЧ70 і ВЧ80 (ГОСТ 7298) і ЧНМШ, ЧНХТ і ЧНХМД (ГОСТ 7769-82).

## **1.2 Виготовлення і обробка корпусних деталей із сірого чавуну**

Корпусні деталі є базовими виробами, на яких монтуються окремі складальні одиниці. По службовому призначенню і конструктивним формам їх підрозділяють на наступні: коробчастої форми (рис. 1.2, а); з отворами та довгими порожнинами (див. рис. 1.2 б); складної просторової форми (див. рис. 1.2, в); з напрямними (рис. 1.2, г); типу кронштейнів, косинців, кришок і т.п. (рис. 1.2, д).

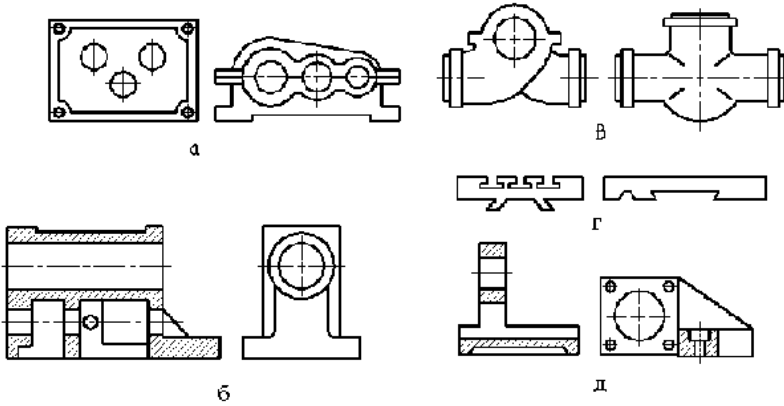
Узагальнюючи вимоги, пропоновані до різних корпусних деталей з урахуванням умов їх експлуатації необхідно відзначити наступне.

При їхньому конструюванні пред'являють наступні технологічні вимоги:

- неробочі поверхні, незалежно від способу виготовлення виробу, не повинні підлягати механічній обробці;

- заготовки повинні мати надійні бази, що забезпечують правильну орієнтацію і необхідну твердість при їхньому подальшому використанні. Для виключення деформація заготовки при

її закріпленні і обробці необхідно передбачати в конструкції ребра жорсткості;



а – коробчастої форми; б – з довгими порожнинами;  
в – складної просторової форми; г – з напрямними;  
д – типи кронштейнів, косинця, кришок

Рисунок 1.2 – Різновиди корпусних деталей

- поверхні, що підлягають обробці різанням та знаходяться з однієї сторони заготовки, слід розташовувати так, щоб можна було здійснювати обробку напрохід.

Загальні вимоги, пропоновані до корпусних деталей коробчастого типу із сірого чавуну:

- для забезпечення заданого хімічного складу і якості виплавленого чавуну необхідно враховувати вигар застосовуваних матеріалів;

- у якості шихтових матеріалів застосовувати чушкові чавуни, чавунний і сталевий лом, брикетовану чавунну та сталеву стружку, феросплави і повернення власного виробництва (цехові відходи) – браковані вилівки, літники (ливникові чаші, стояки, шлаковики, живильники), живлючі бобишки, випари всіх видів, технологічні кільця, зливи та скрап.

Усі цехові відходи, застосовувані в шихті, повинні бути очищені від формувальної суміші, та не мати іржі. Відбраковані вилівки повинні бути звільнені від ливарних стрижнів і їх залишків.

Розміри шматків відходів лома та інших металевих матеріалів у складі шихти не повинні перевищувати 1/3 внутрішнього діаметра вагранки щоб уникнути їх зависання. Маса часток лому повинна перебувати в межах від 0,5 до 60 кг.

Розрахунки шихти для кожної марки чавуну проводяться на 1000 кг металеві завалки методом добору по двом хімічним елементам: кремнію, марганцю, у кожному випадку надходження матеріалів.

У випадках змін у наявності шихтових матеріалів або їхнього хімічного складу допускається змінювати їхнє співвідношення. При цьому, склад шихти слід корегувати для забезпечення рекомендованого хімічного складу виплавленого чавуну.

При відсутності передільного чавуну марок ПЛ1 і ПЛ2 ДСТУ 3133-95 рекомендується застосовувати в шихту – ливарний низькокремнієвий двоох марок. При наявності ливарного чавуну однієї марки рекомендується застосовувати у шихту чавун різних постачальників, щоб уникнути негативного впливу їх спадкоємних властивостей на якість виплавленого металу.

При низькому вмісті марганцю в шихтових матеріалах допускається застосування в ній феромарганцю, силікомарганцю або лому марганецьвмісної сталі для заповнення відсутньої кількості цього компонента у рідкому чавуні.

Можливе використання в якості шихти і брикетів чавунної стружки. При відсутності брикетів допускається застосування сталевого лому [65, 68].

Модифікування рідкого чавуну проводять для виключення відбілу у виливках і забезпечення необхідних механічних властивостей.

За рівнем властивостей, виплавлені чавуни повинні відповідати ГОСТ 1412.

Для визначення необхідної кількості модифікатора використовують клинові проби на відбіл.

Виготовлення технологічних проб на хімічний аналіз, від-

біл, жидкотекучість виплавленого чавуну проводять згідно діючих інструкцій на підприємствах.

Модифікатори і легуючі домішки застосовують сухими і у подрібненому вигляді. Розміри шматків модифікатора не повинні перевищувати більше 20 мм, а легуючих домішок до 10 мм.

Модифікатори і легуючі домішки вводять поступово за допомогою спеціальної ложки в струмінь металу на жолоб при випуску його з вагранки в ківш, з висоти не більш 250 мм. Максимально припустима маса присаджуваного в ківш модифікатора визначається масою чавуну.

Температура металу на жолобі вагранки повинна бути не нижче 1360°C по оптичному візуальному пірометру, зі зникаючою ниткою ДСТУ 1317-95 (без виправлення на абсолютно чорне тіло). Вимірювання температури проводиться при випуску металу з вагранки.

Хімічний аналіз виплавленого чавуну проводиться по клинових пробах в експрес-лабораторії на вміст вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, сірки, хрому.

Більшість корпусних деталей виготовляють із сірого чавуну марок СЧ15, СЧ20, СЧ25 і СЧ30. Ці сплави мають низьку собівартість і низку важливих експлуатаційних властивостей: достатньо зносостійкість, високу демпфуючу здатність, нечутливість до надрізів і ін. Для корпусних деталей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень і ударів, використовують і ковкий чавун КЧ35-10, КЧ37-12.

Більшість чавунних заготовок, особливо великого розміру, одержують литтям у піщані форми. Заготовки корпусних деталей невеликого розміру виготовляють методом лиття в кокіль. Зварені заготовки застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництві при виготовленні корпусів простої форми.

Технологічний процес механічної обробки заготовок корпусних деталей залежить, в основному, від конструктивної форми, розмірів, маси, технічних вимог і програми випуску виробів.

Для обробки зовнішніх поверхонь заготовок застосовують

стругання, фрезерування, гостріння, шліфування і протягання. Одержання основних отворів являє собою найбільш відповідальну та трудомістку частину технологічного процесу виготовлення корпусних виробів. При чорновій обробці отворів видаляють основну кількість металу і припуск. Забезпечують точність відносного положення отвору та рівномірний припуск для чистої обробки. Чистова обробка повинна забезпечити точність розмірів, геометричну форму, відносно положення оброблюваного отвору і прямолінійність його осі. Оздоблювальну обробку застосовують у тому випадку, коли потрібна підвищена точність і чистота обробленої поверхні.

У даний час виготовлення і обробка корпусних деталей – це одна із самих важливих операцій технологічного процесу у промисловості. Як відомо, саме корпусні деталі присутні в різних механізмах, машинах, приладах, технічному обладнанні. У сучасному технічно-розвиненому виробництві потрібні зовсім різні за своїми розмірами, параметрами, призначенню та конфігурації деталі, тому їх виробництво суттєво зростає.

Корпусні деталі можуть бути розділені на наступні види:

- деталі складної форми (бабки, кронштейни та інше);
- деталі коробчастої форми із значною кількістю оброблюваних поверхонь (площини, отвори, пази);
- призматичні деталі з великими приварювальними поверхнями (один з розмірів деталі значно менше двох інших).

У даний час застосовують наступні види обробки корпусних деталей: метод механічної обробки, фрезерування, витяжка, штампування, свердління, пробивання отворів, зварювання дефектів.

Так як вироби такого типу найчастіше мають складну форму, несиметричну геометрію, площини з різним ступенем шорсткості, то обробка корпусних деталей є трудомістким процесом, при якому важливо дотримуватись всіх вимог технічного завдання, безпеки, забезпечення довговічності, працездатності.

При експлуатації корпусні деталі машин піддаються різного роду навантаженням, фізичному, хімічному, ударному і вібраційному впливам, корозії та температурним деформаціям, абразивному, кавітаційному і іншим видам зношування [10, 11, 117-119]. У результаті виникають дефекти, основними з яких є: механічні uszkodження – відколи, викришування, тріщини, задири, пробої, обломи шпильок, зріз або зминання зовнішньої, або внутрішньої різи, зношування посадкових поверхонь отворів. Ушкодження, що виникають під впливом високих температур, ініціюють розвиток прогару, температурних деформацій (жолоблення), у результаті яких порушується макрогеометрія корпусної деталі, ушкоджуються базові площини, виникають тріщини та зростають локальні напруження, хімічні uszkodження – корозія, покриття поверхні продуктами хімічних реакцій, смолисті відкладання.

Порушення макрогеометрії можливо усунути за допомогою гарячого або холодного правлення, механічною обробкою (шліфуванням і фрезеруванням) або встановленням додаткових деталей [10, 11, 117, 119]. Такі методи ефективні тільки при малих порушеннях макрогеометрії і не у всіх місцях корпусної деталі їх можна реалізувати через технологічну неприступність. У випадку значних відхилень у геометрії корпусної деталі вона визнається не ремонтпридатною і вибраковується.

Відновлення різьбових елементів здійснюють нарізанням нової різи, установкою втулок і ввертишів, нанесенням полімерних композицій, заміною шпильок, установкою спіральних вставок. У випадку неможливості видалення уламку пошкодженого відшарованого металу шпильки з різьбового отвору, використовують висвердлювання, попередньо приваривши (приклеївши у випадку неможливості зварювання) відновленням ушкоджену зону. У таких ситуаціях використовують місцевий по черзі нагрів-охолодження ділянки навколо зруйнованої шпильки, а також застосовують проникаюче мащення. При застосуванні полімерних композицій для відновлення різи як наповнювача використовують металевий порошок близький за своїми властивостями з

основним металом деталі. Це дозволяє додати відновленій ділянці характеристики, відповідні до матеріалу корпусної деталі. Недоліком відновлення полімерами є невисока їх стійкість до температурних і вібраційних навантажень, тому такі композиції застосовують у малонавантажених з'єднаннях.

Тріщини, відколи, пробоїни, викрашування, прогар поверхонь корпусних деталей усувають зварюванням, наплавленням шару металу, полімерними композиціями, монтажем латок, клейовими композиціями, встановленням фігурних вставок з наступною обробкою відновленої ділянки або без обробки. Залежно від місця розташування дефекту і умов роботи відновлюваної поверхні вибирають той або інший метод. Для місць, що зазнають незначних навантажень і нагрівання найчастіше застосовують заповнення полімерно-композитними матеріалами. Відповідальні ділянки відновлюють наплавленням шару металу, заливанням рідким металом, а також можлива комбінація способів відновлення.

Дефекти корозійного характеру усувають попередньо, піддавши уражену ділянку механічній обробці для усунення її осередків із наступним заповненням раковин полімером або металом [10, 11, 117-120]. Для запобігання поширенню корозії або її появи, корпусну деталь частково покривають антикорозійними розчинами.

При технічному обслуговуванні різного роду відкладання на поверхнях корпусних деталей усувають мийкою із застосуванням спеціальних мийних засобів, ультразвуковим впливом, під високим тиском електричного струму та інфрачервоним випромінюванням [10, 11, 117, 119, 120]. Гарні результати показують способи мийки деталей із застосуванням впливу ультразвуку, а також досить ефективно застосування комбінацій способів очищення відкладань. У якості мийних засобів застосовують розчини, що містять поверхнево-активні речовини.

Для усунення внутрішніх напружень у металі, а також стабілізації структури після впливу високих температур корпусні де-



талі піддають термічній обробці (відпустці, загартуванню). Також застосовують поверхневе зміцнення відновленої ділянки корпусної деталі (цементация, навуглецьовування і інш.) для забезпечення необхідних міцнісних властивостей і зносостійкості.

Зношування поверхонь корпусних деталей машин відбувається внаслідок тертя ковзання сполучених поверхонь, при абразивному і кавітаційному впливі, а також ерозійної пошкоджувальності. Найбільшому зношуванню піддаються посадкові отвори в корпусних деталях під вальниці кочення і ковзання [10, 117, 119].

При відновленні зношених поверхонь застосовують ряд способів підвищення довговічності деталей [10, 11, 117, 119].

Механічні способи – втсановлення додаткових елементів (втулка, стрічка, стакан), з наступним їхнім закріпленням клейовими розчинами, приваркою, вигладжуванням або запресовуванням з натягом. Спосіб досить простий і продуктивний, але при цьому відбувається зниження механічної міцності корпусної деталі через зменшення товщини перемичок між отворами та необхідністю зняття шару основного металу. Повторне відновлення таким способом у більшості випадків неможливо.

Термо-деформаційні способи використовують при відновленні поверхні, попередньо нагрітої різними способами, з наступним вигладжуванням, висадженням, згладжуванням і осадженням. За допомогою спеціального інструменту впливають на розігріту відновлювану поверхню, висаджуючи частину металу, тобто, утворюючи «валики» на поверхні. Потім, їх піддають вигладжуванню зминанням, забезпечуючи необхідну форму та розмір. Такий спосіб застосовується рідко через його малу ефективність і велику трудомісткість. Крім того, відзначається збільшення питомого навантаження на відновлену поверхню через локальну контактну площу обробки [24, 101-106, 113]. Застосовують також пластичне деформування нагрітої поверхні шляхом обтиснення, витягування або осадження (залежно від типу дефекту). Таким способом можна відновити тільки один раз і обмежену номенклатуру поверхонь.

Зварювально-наплавочні способи і напилення здійснюють з використанням зварювальної дуги. Після відновлення, поверхню, піддають наступній механічній обробці. Спосіб високопродуктивний, дозволяє одержувати покриття практично будь-якої товщини, наносити різноманітні метали і сплави. Однак, при цьому, одержувані поверхні мають пористу структуру, наявність мікротріщин, що важко піддаються наступній механічній обробці. При такому способі має місце високе місцеве нагрівання, погане сплавлення покриття з відновлюваною поверхнею деталі із сірого чавуну.

### 1.3 Властивості сірих чавунів

Механічні властивості сірого чавуну регламентуються ГОСТ 1412 і наведені в табл. 1.6. Необхідно враховувати, що порядок підготовки і проведення механічних випробувань сірого та інших чавунів відрізняються від методів випробування сталі. Наприклад, для чавунних виливків контроль властивостей проводять згідно ГОСТ 27208 «Виливки із чавуну. Методи механічних випробувань», а способи одержання заготовок для зразків з кожного чавуну регламентовані відповідним стандартом (для сірого – ГОСТ 24648).

Таблиця 1.6 – Механічні властивості і рекомендовані склади сірого чавуну (ГОСТ 1412)

Чавун	Тимчасовий опір $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менше	Масова частка елементів, %				
		C	Si	Mn	не більше	
					P	S
СЧ10	100	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ15	150	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ20	200	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ25	250	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ30	300	3,0-3,2	1,4-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ35	350	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,0	0,2	0,12

До більшості чавунних виливків з урахуванням особливо-

стей їх експлуатації часто пред'являються різні вимоги, що включають і такі, які не передбачені ГОСТ 1412, зокрема за механічними властивостями, а також за фізичними і теплофізичними показниками. На практиці досить часто вдається простежити зв'язок між певною групою фізико-механічних і теплофізичних властивостей чавуну з експлуатаційними показниками конкретного виробу. Найбільш часто зустрічаються показники механічних властивостей сірого чавуну, частина з яких не регламентується стандартом (табл. 1.7-1.9).

Вплив на механічні властивості чавуну має швидкість охолодження металу, при кристалізації виливків. За оцінкою міцнісних характеристик металу виливків рекомендується виготовляти різного роду заготовки, які відповідають їхній товщині, і з них вирізати зразки для лабораторних випробувань [13-21].

У роботі [12] розглянуто один з варіантів впливу товщини стінки виливка на міцність і твердість чавуну (табл. 1.10).

Таблиця 1.7 – Механічні властивості сірого чавуну при розтяганні і вигині

Чавун	Основні властивості		
	Модуль пружності E; Н/мм <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup>	Відносне подовження δ, %	Межа міцності, при вигині σ <sub>виг.</sub> , Н/мм <sup>2</sup>
СЧ10	6-8	0,2-1,0	280
СЧ15	6-8	0,2-1,0	350
СЧ20	8,5-12	0,4-0,7	420
СЧ25	8,5-12	0,4-0,7	490
СЧ30	13-14,5	0,6-0,9	560
СЧ35	13-14,5	0,6-0,9	630

Основні показники, що характеризують фізичні властивості чавуну (щільність, питома теплоємність, теплопровідність і коефіцієнт лінійного розширення), наведені в табл. 1.11. Такі дані знайдено в нормативній документації інших країн, наприклад, Британський стандарт BS 1452.

Модуль пружності чавуну залежить від розмірів графіто-

вих включень і зменшується зі збільшенням їх розміру. Більш високий рівень міцності характерний для сірого чавуну з пластинчастим графітом при стисненні. Наприклад, осадження сірого чавуну в холодному стані при стисненні може становити 20-40 %.

Таблиця 1.8 – Механічні властивості сірого чавуну при стисненні

Чавун	Межа міцності, при стисненні $\sigma_{ст}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне осідання при стисненні $\psi$ , %	Границя витривалості $\sigma_{-1}$ , Н/мм <sup>2</sup>
СЧ10	500-800	20-40	70-90
СЧ15	500-800	20-40	70-90
СЧ20	850-950	20-30	120-140
СЧ25	850-950	20-30	120-140
СЧ30	1100-1200	10-20	150-170
СЧ35	1100-1200	10-20	150-170

Таблиця 1.9 – Механічні властивості сірого чавуну при крутінні

Чавун	Межа міцності, при крутінні $\sigma_k$ , Н/мм <sup>2</sup>	Границя витривалості $\sigma_{-1}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Модуль дотичної пружності $G$ , Н/мм <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup>
СЧ10	240-320	60-80	4,0-4,4
СЧ15	240-320	60-80	4,0-4,4
СЧ20	280-350	100-120	4,5-5,2
СЧ25	280-350	100-120	4,5-5,2
СЧ30	380-400	100-140	5,6-6,4
СЧ35	380-400	100-140	5,6-6,4

Таблиця 1.10 – Залежність міцності ( $\sigma_b$ ) і твердості (НВ) сірого чавуну від товщини стінок виливків

Чавун	Товщина стінки, мм							
	8		30		80		150	
	$\sigma_b$ Н/мм <sup>2</sup>	НВ	$\sigma_b$ Н/мм <sup>2</sup>	НВ	$\sigma_b$ Н/мм <sup>2</sup>	НВ	$\sigma_b$ Н/мм <sup>2</sup>	НВ
СЧ10	120	200	80	185	70	149	65	120
СЧ15	180	224	110	201	90	156	80	130
СЧ20	220	240	160	216	130	163	120	143
СЧ25	270	255	210	238	165	170	150	156
СЧ30	330	270	260	250	195	187	180	163
СЧ35	380	290	310	270	225	201	205	179

Узагальнюючи наведені дані, слід зазначити, що щільність чавуну тим вище, чим нижче вміст в ньому вуглецю та кремнію. Коефіцієнти теплового розширення і питомої теплоємності залежать не стільки від хімічного складу чавуну, скільки від його структури. При цьому легуючі елементи слабо впливають на ці показники. Виключення становить тільки мідь. Теплопровідність чавуну, найбільша при максимальному вмісті графіту.

Таблиця 1.11 – Фізичні властивості чавуну з пластинчастим графітом

Чавун	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Лінійна усадка $\epsilon$ , %	Питома теплоємність при 20-200°C, кДж/(кг·°C)	Коефіцієнт лінійного розширення при 20-200°C, $\alpha$	Теплопровідність при 20 °C, $\lambda$ , Вт/(м·°C)
СЧ10	6800	1,0	460	8,0	60
СЧ15	7000	1,1	460	9,0	59
СЧ20	7100	1,2	480	9,5	54
СЧ25	7200	1,2	500	10,0	50
СЧ30	7300	1,3	525	10,5	46
СЧ35	7400	1,3	545	11,0	42

Як конструкційний матеріал сірий чавун широко використовується для різного типу виробів практично у всіх галузях машинобудування.

У конструкції автомобілів і тракторів маса литих деталей із сірого чавуну, наприклад, становить 15-25 % від загальної маси. Переважне застосування сірого чавуну обумовлене тим фактом, що в ньому сполучаються висока зносостійкість і протизадирні властивості при терті з обмеженим змащенням, демпфуюча здатність. Основна номенклатура виробів – це блоки, головки і гільзи циліндрів, кришки корінних підшипників двигунів, гальмові диски та диски зчеплення, гальмові барабани і інші деталі, для яких сірий чавун є оптимально технологічним та економічним конструкційним матеріалом [22, 117, 119, 120].

Блоки циліндрів карбюраторних і дизельних двигунів виготовляють із низьколегованих чавунів марки СЧ20, СЧ25, які забезпечують у стінках виливків товщиною 15-25 мм  $\sigma_B = 200-250$

Н/мм<sup>2</sup>, а в більш тонких стінках до 270 Н/мм<sup>2</sup>. Такого ж типу чавуни звичайно застосовують для головок циліндрів дизельних двигунів і гільз циліндрів карбюраторних та дизельних двигунів. Основними вимогами до чавуну для гільз є: перлітна структура матриці і не більше 5 % фериту, графіт середньопластинчастий неорієнтований, твердість у межах 200-250 НВ. У конструкції автомобільних дизельних, карбюраторних, а також тракторних двигунів широко застосовують гільзи циліндрів зі спеціальних легованих чавунів, найчастіше – фосфористих [23-29, 120, 121].

Для блоків і головок циліндрів важко навантажених дизельних двигунів застосовують спеціальні леговані чавуни, а для головок циліндрів – високовуглецеві (більше 3,5 % С) термостійкі леговані чавуни. Ці вимоги виконуються при використанні для вилівки гільз низьколегованих чавунів, хімічний склад яких вибирають із урахуванням технології, форми, методу плавки, перерізу вилівка.

#### **1.4 Чавуни в стандартах провідних країн світу**

В основу стандартизації сірого чавуну, який використовується для виробництва гільз циліндрів, корпусних деталей покладений принцип регламентування мінімально припустимого значення тимчасового опору розриву при розтяганні ( $\sigma_B$ ). Відповідно до цього принципу позначення марки чавуну в стандартах різних країн містить значення мінімально припустимого рівня  $\sigma_B$ , який визначають на зразках діаметром 30 мм. Оскільки значення міцності чавуну певної марки у вилівку залежать від швидкості охолодження, оцінюваною товщиною стінки (діаметром) вилівка, в аналізованих стандартах, то наводяться мінімальні значення  $\sigma_B$  окремо відлитих проб [30-34]. У стандарті Німеччини, наприклад, наводяться номограми, що зв'язують міцність чавуну кожної марки з перерізом пробної заготовки. Міжнародні стандарти на сірий чавун не регламентують максимально припустиме значення  $\sigma_B$ , але встановлюють для чавуну кожної марки межі припустимого значення твердості. У стандарті Німеччини DIN 1691

регламентується, що в замовленнях на виливки повинно бути од-  
нозначно зазначено, чи є характерним властивість тимчасовий  
опір при розтяганні або твердість по Бринелю, і, залежно від  
цього, маркування позначається по-різному – наприклад:

чавун DIN 1691-GG-25 або чавун DIN 1691-GG-210 HB

Букви GG означають відповідно: “gegossen” – литий і  
“gubeisen” – чавун.

Порівняння маркування сірого чавуну в стандартах про-  
відних країн світу наведено в табл. 1.12.

У стандарті США ASTM A536 у маркуванні чавуну перше  
і друге числа також визначають показник тимчасового опору при  
розриві ( $\sigma_b$ ), перше – у фунтах/дюйм<sup>2</sup>×10<sup>3</sup>, а друге – округлена ве-  
личина цього показника в (Н/мм<sup>2</sup>)×10<sup>-1</sup>. Третє число визначає мі-  
німальне значення відносного подовження  $\delta$  в %. Наприклад, ма-  
рка чавуну 80-50-06 має наступні мінімальні показники механіч-  
них властивостей:  $\sigma_b = 80000$  фунт/дюйм<sup>2</sup> або 552 Н/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_{0,2} =$   
55000 фунт/дюйм<sup>2</sup> або 379 Н/мм<sup>2</sup>;  $\delta = 6,0$  %.

Таблиця 1.12 – Маркування сірого чавуну в стандартах провідних  
країн світу

Вітчизняні	США	Німеччина	Японія	Великобританія
ГОСТ 1412-85	ASTM A48	DIN 1691	JIS J5501	BS 1452
СЧ10	20B	GG-10	FC100	100
СЧ15	25B	GG-15	FC150	150
СЧ18	-	-	-	180
СЧ20	30B	GG-20	FC200	200
СЧ21	-	-	-	220
СЧ24	-	-	-	-
СЧ25	35B	GG-25	FC250	250
-	40B	-	-	-
СЧ30	45B	GG-30	FC300	300
СЧ35	50B	GG-35	FC350	350
-	55B	-	-	-
-	60B	-	-	-

У стандарті Великої Британії BS 2789 літерні позначення  
не застосовуються. У французькому стандарті NF A 32-201 букви  
FGS означають: “fonte” (лиття), “graphite” (графіт) і “sferoidal”

(кулястий). У позначеннях стандартів Франції і Великої Британії крім тимчасового опору при розтяганні  $\sigma_b$  Н/мм<sup>2</sup> вказується і відносне подовження  $\delta$  в %. У випадку, коли випробування на розтягання виконуються не на окремих, а на суміжних з виливком зразках, позначення доповнюють буквою А. У випадку, коли виливок повинен мати особливу ударну в'язкість при низькій температурі, зазначені позначення доповнюються буквою L, що супроводжується числом, відповідним до температури випробувань. Символи L і А можуть сполучатися. Наприклад, FGS 350-22AL40.

У більшості національних стандартів на високоміцні нелеговані чавуни, що регламентують механічні властивості, хімічний склад не обумовлюється. Обов'язковими для контролю є тимчасовий опір при розтяганні  $\sigma_b$ , границя текучості  $\sigma_{0,2}$ , і відносне подовження. У стандартах усіх країн, за винятком Німеччини і США, приводять контрольовані межі величин твердості.

Інші параметри чавунів, у тому числі мікроструктура, можуть контролюватися за вимогами замовника. Кількість графіту переважно кулястої форми, що оговорюється в більшості національних стандартів, коливається в широких межах – від 70 % у стандарті Японії до 90 % у стандарті США ASTM A-395. У тому ж стандарті наведена єдина марка феритного чавуну ЧКГ із контролем хімічного складу по основних елементах і твердості. Визначення  $\sigma_b$ , границі текучості  $\sigma_{0,2}$  і відносного подовження в більшості стандартів здійснюють на окремо відлитих і спеціально виготовлених зразках діаметром 14 мм із заготовок більших розмірів (до 75 мм). Якщо з технічних причин необхідно використовувати зразок іншого діаметру, він повинен обов'язково задовольняти наступному співвідношенню:  $l_0 = 5d_0$ , де  $l_0$  – початкова довжина між мітками на випробуваному зразку;  $d_0$  – початковий діаметр зразка.

Стандарт Японії JIS G5502 включає 7 марок чавунів з кулястим графітом: FCD370 і FCD400 – для феритних, FCD450 і FCD500 – для феритно-перлітних, а також FCD600, FCD700 і



FCD800 – для перлітних чавунів. Стандарт JIS G5503 містить три марки чавуну з кулястим графітом: FCD900 – феритно-бейнітного класу з підвищеною ударною в'язкістю, FCD1000 – зі структурою матриці «відпущений мартенсит» – підвищеної міцності та FCD1200 – чавун мартенситного класу з підвищеною твердістю, що застосовується для виливків, які працюють на зношування. Останні 3 марки отримують термічною обробкою з нагріванням в область аустенітного стану.

Порівняння маркування високоміцного чавуну з кулястим графітом у стандартах провідних країн світу наведено в табл. 1.13.

Таблиця 1.13 – Маркування ВЧКГ у стандартах провідних країн світу

Вітчизняні	США	Німеччина	Японія	Франція	Велика Британія
ГОСТ 7293	ASTMA536 A 395	DIN 1693	JIS G5502 G 5503	NF A 32-201	BS 2789
ВЧ35	-	GGG-35,3	FCD370	FGS350-22L40 FGS350-22	350/22L40 350/22
ВЧ40	60-40-18	GGG-40 GGG-40,3	FCD400	FGS400-15 FGS400-18 FGS400-18L20	400/18 400/18L20
-	60-42-10	-	-	-	420/12
ВЧ45	65-45-12	-	FCD450	FGS450-10	450/10
ВЧ50	70-50-05	GGG-50	FCD500	FGS500-7	500/7
ВЧ60	80-55-06	GGG-60	FCD600	FGS600-3	600/3
ВЧ70	100-70-03	GGG-70	FCD700	FGS700-2	700/2
ВЧ80	120-90-02	GGG-80	FCD800	FGS800-2	800/2
-	-	-	FCD900A	FGS900-2	900/2
ВЧ100	-	-	FCD1000A	-	-
-	-	-	FCD1200A	-	-

З аналізу вітчизняних стандартів і вітчизняних виробників якість чавуну виливків визначають на окремих пробах, що в ряді випадків не відображає стан конкретних виливків як якісних, так і з певними відхиленнями, а також методи їх ремонту з оцінкою якості. У цьому випадку ефективним може виявитися розробка та

використання методів неруйнівного контролю з визначенням конкретних бракувальних норм, які дозволять корегувати вибір матеріалу для виливків, оцінювати рівень їх властивостей і корегувати структуру металу та виникаючі напруження при виробництві.

### **1.5 Особливості формування властивостей чавунних відливок гільз циліндрів дизелів при відцентровому методі лиття**

Відцентрове лиття в металеві форми отримує найбільш широке застосування при виробництві чавунних заготовок гільз блоку циліндрів різних двигунів, корпусних деталей [35-37, 96, 97].

Технологічний процес одержання виливків гільз циліндрів автотракторних двигунів відцентровим методом у металевій формі має ряд переваг у порівнянні з виливком у піщано-глинисті форми зі стрижнем. До них відносяться:

- довговічність форми;
- повне виключення робіт з формувальними сумішами;
- зменшення шорсткості поверхні;
- підвищення точності виливка;
- збільшення щільності відливок;
- зменшення припусків на обробку;
- зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;
- підвищення продуктивності праці в 1,5-6 разів.

Однак, слід зазначити і недоліки, властиві такій технології:

- неоднорідність структури металу за перерізом виливка;
- можливість утворення поверхневого відбілу чавуну;
- необхідність регулярного нанесення покриття кокілів теплоізолюючими матеріалами.

Характерними вимогами формування виливків, що йдуть на виготовлення гільз циліндрів ДВЗ є мікроструктура, яка повинна забезпечувати високу зносостійкість, коли являє собою пе-

рлітну матрицю високого ступеню дисперсності і середні за розгалуженістю колонії графіту. Одержання у відцентрових виливках такої структури пов'язане з рядом труднощів.

При дотику розплаву чавуну з поверхнею металевої форми різниця температур між розплавом і її поверхнею досягає величини порядку 1000°C. У результаті кристалізація відбувається з високою швидкістю, наслідком чого є поява в структурі міждендритного графіту, що знижує антифрикційні характеристики чавуну. Швидкість охолодження залишається високою і після кристалізації вилівка. Тому, наступні структурні перетворення при відцентровому методі одержання виробів відбуваються в метастабільному стані з появою в структурі чавуну цементиту, а в деяких випадках і ледебуриту. На зовнішній поверхні вилівка, що доторкається до форми, мікроструктура може складатися з великої частки цементиту [38-42, 95].

У результаті глибокого переохолодження рідкої фази в зовнішньому шарі заготовки утворюється структура білого або половинчастого чавуну. Далі розташовується зона, характерна для переохолодження графітної евтектики, пронизана у випадку заливання доевтектичного складу тонкими, сильно розгалуженими дендритами первинного аустеніту. У наступній зоні кристалізація чавуну протікає без значного переохолодження, що призводить до виникнення звичайних для сірого чавуну структурних складових. Після витягання заготовки з металевої форми різко вповільнюється тепловідвід від її поверхні. У результаті теплопередачі від внутрішніх об'ємів металу до зовнішніх, цементитна фаза, що раніше утворилася розпадається, тобто відбувається самовідпал заготовки.

Вплив швидкості кристалізації на формоутворення графіту досить суттєвий. При високій швидкості кристалізації утворюється білий чавун, що має повністю зв'язаний вуглець. При дуже малій швидкості кристалізації утворюється сірий феритний чавун. Для утворення чисто перлітної структури металевої матриці потрібне точне визначення термодинамічних властивостей

форми при даному хімічному складі чавуну, масі виливка, товщині стінки і температурі заливання металу. Зниження швидкості кристалізації сприяє утворенню в структурі рівномірно розподіленого графіту без наявності міждендритних і крапкових включень [43-48].

Порівнюючи між собою швидкість охолодження чавуну при литті в піщано-глинисті форми і при відливанні в металеву форму беручи до уваги формовану мікроструктуру чавуну, впливає, що для одержання зносостійкої структури гільзи циліндра із сірого чавуну, що відливається в металеву форму, необхідно сповільнити швидкість охолодження виливка в інтервалі критичних температур кристалізації, наблизивши її, по можливості, до відповідних величин при литті в піщано-глинисті форми.

Металеві форми частіше виготовляють методом литтям. До них висувають високі вимоги за ливарними властивостями (підвищена жидкотекучість, мінімальна усадка, підвищена тріщиностійкість) і оброблюваності різанням. Саме цим пояснюється необхідність використання для їх одержання сплавів з перлітною структурою.

Заготовки форм для відцентрового лиття найчастіше виготовляють із чавунів марок СЧ15, СЧ20, тому що це забезпечує гарну оброблюваність і високу якість поверхні.

Стійкість металевих форм визначається схильністю її до руйнування або неприпустимого жолоблення, витримувати певну кількість заливань у неї розплаву. Експлуатація форми у режимі термоцикловання призводить до виходу її з ладу і причинами є: розтріскування, жолоблення, сітка розпалу, тріщини на робочій поверхні, механічні ушкодження, а також рівень напруженого стану сприяє перерахованим ушкодженням.

Технологічні методи підвищення термостійкості металеві форми полягають, як правило, у якості металу та механічній обробці його робочої поверхні і мінімізації напружень при експлуатації.

## 1.6 Особливості структуроутворення при відцентровому литті чавунних виливків

При литті в металеві форми чавунних виливків (особливо тонкостінних) завжди є ймовірність одержання їх з відбілом, тобто зі структурою цементиту, яка характеризується підвищеною твердістю, крихкістю та усадкою.

Істотний вплив на якість таких виливків здійснюють теплофізичні властивості матеріалу. У роботах [37, 56] при використанні чавунів СЧ20 і СЧ25 для виготовлення металевих форм аналізували зміни їх теплофізичних властивостей залежно від температури нагрівання (табл. 1.14).

Таблиця 1.14 – Зміна теплофізичних властивостей чавуну залежно від температури

Температура, °С	Коефіцієнт термічного розширення, $1/10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$	Теплоємність, Дж/(кг·°С)	Теплопровідність, Дж/(см·с·°С)
60	10,0	0,50-103	0,54-103
160	11,0	0,52-103	0,50-103
260	13,1	0,55-103	0,48103
360	13,7	0,58-103	0,46103
510	15,9	0,62-103	—

Використовуючи різну товщину покриття і регулюючи її теплопровідність, можна керувати швидкістю і умовами кристалізації розплаву при формуванні виливка, а також параметрами його охолодження. У момент контакту розплаву з покриттям по його товщині створюється значний перепад температур. При цьому, чим товстіше покриття, тим більше перепад температур у системі «розплав-покриття-кокіль». Внаслідок цього зменшується температурний перепад по товщині стінки кокілю і виливка. При цьому вповільнюється швидкість охолодження виливка і поліпшується відвід теплоти та охолодження кокілю. Усе це суттєво зменшує температурні напруження в кокілі і одержуваному виливку.

У ряді випадків для виливків, вироблених відцентровим методом лиття використовують різновтовщинну металеву форму, наприклад, втулок гільз циліндрів дизельних двигунів. Це визначається конструктивними параметрами машини відцентрового лиття і використовується для полегшення видалення такої конусної конструкції форми після виготовлення виробу.

Разом з тим, різновтовщинність металевої форми в процесі її експлуатації призводить не тільки до локальної концентрації додаткових напружень через різні теплофізичні властивості, що формуються в ній при одмінних перерізах за висотою, але і змінюють умови кристалізації самої заготовки у відповідних зонах. Це суттєво знижує експлуатаційну стійкість, наприклад, втулок гільз циліндрів через формування неоднорідної структури за її перерізом та висотою.

### **1.7 Основні дефекти, які формуються при виробництві та експлуатації виливків**

Відомо, що при виробництві виливків з високовуглецевих сплавів, в залежності від способу їх виробництва, параметрів відливання та хімічного складу, в тому числі засмічення різними домішками, які вносяться шихтою, змінюють появу різних дефектів. Виходячи з цього, дослідження по виявленню відхилень при виробництві конкретних деталей оговорюються технічними умовами та технологічними інструкціями, які діють на конкретних підприємствах – виробниках.

Разом з цим, доцільним є розглянути основні типи дефектів, які формуються у виливках та відображені у літературних джерелах [121-139].

#### ***Пригар***

*Пригар* – це шар, який формується з покриття форми, що зцементований з відливкою (оксиди і різні силікатні фази, міцно зчеплені з поверхнею виливка). Це може бути механічний пригар, який утворюється в результаті проникнення рідкого сплаву в

пори поверхні форми, або хімічний – де пригоріла кірка на поверхні виливка, що утворилася в результаті фізико-хімічної взаємодії оксидів заліза з матеріалами форми.

Можливий і термічний пригар, що утворюється в результаті розплавлювання легкоплавких домішок суміші покриття металеві форми з приварюванням часток піску до поверхні виливка.

Відмічається, що у більшості випадків спостерігається комплексний пригар, тобто термічно-хіміко-механічний.

Основними напрямками боротьби з таким дефектом є: застосування покриттів сумішей, які забезпечать відновлювальну атмосферу у формі, зменшать розміри порожнин, що перешкоджають проникненню металу та зменшують площу контакту продуктів хімічних реакцій з матеріалом покриття.

### ***Приливи***

*Приливи* – це різні стовщення тіла виливків, що не відповідають його кресленню та вони формуються за різними показниками.

*Затоки* – стовщення, утворені за площиною рознімання металеві форми. Обумовлені відхиленнями розмірів модельного комплексу або опочного оснащення, а також незадовільним скріпленням опок між собою. Попередити появу цього дефекту дозволяє забезпечення високої точності використовуваного ливарного оснащення і надійне скріплення опок.

*Подутість* з'являється в результаті статичного тиску рідкого металу на стінки недостатньо ущільненої форми. Запобігти цього дефекту можливо забезпечити ступенем ущільнення суміші, що використовується для покриття форми.

*Нарости* (стовщення) виникають у результаті руйнування поверхні форми струмом рідкого металу, який розмиває окремі ділянки. Виключити розмиви забезпечить технологія розливання рідкого металу і підвищення міцності покриття форми.

*Просічки* (гребінці, заусениці) з'являються в результаті затікання металу в тріщини форми. Тріщини утворюються, головним чином, у результаті теплового розширення форм і стрижнів.

Для усунення дефекту можливо використовувати різні засоби, що прискорюють кристалізацію металу, у тому числі, за рахунок підвищення теплоакумуючій здатності форми. Наприклад, при виготовленні сталевих виливків у суміш вводять пилоподібні фракції оксидів заліза.

*Обвали* утворюються через руйнування частини форми внаслідок недостатньої міцності суміші.

*Задири, обтиски* з'являються при незадовільному стані модельно-опочного оснащення. Задири виникають при зіткненні між собою при складанні різних частин напівформ із частковим їх руйнуванням. Обтиски – це результат надмірного покриття обтиснення деяких частин форми.

### ***Дефекти поверхні***

*Піщані засмічення* – це дефекти, обумовлені частковим руйнуванням форм і стрижнів.

*Засмічення* з'являється від локальних скупчень часток матеріалів покриття форми, рідкіше від часток матеріалів футеровки плавильних агрегатів і шлакових включень. Їх поява найчастіше буває викликана недосконалістю технології або відхиленнями від неї.

Недбале зберігання і транспортування форм, у тому числі керамічних оболонок, призводить до засмічення поверхні виливків частками, занесеними ззовні. Тому перед остаточним складанням форми звичайно її продувають стисненим повітрям або використовують ежектор, що працює за принципом пульверизатора.

Поява піщаних засмічень може відбуватися і за рахунок невдалої конструкції литникової системи. Якщо струмінь металу спрямований не за дотичному напрямку до стінок форми, а перпендикулярно, то вона може руйнуватися.

Поява шлакових включень виникає у випадку, коли канал литникової системи не виконує одну зі своїх функцій – утримування вкраплення шлаків. Зустрічаються засмічення, обумовлені руйнуванням футеровки плавильних агрегатів, зокрема при зава-



нтаженні шихтових матеріалів. Щоб звести до мінімуму ймовірність появи засмічення такого походження, треба приділяти особливу увагу огляду стану футеровки перед плавкою металу.

Заходами профілактики піщаних засмічень є: дотримання технологічної дисципліни, якісне складання форм, огляд і їх очищення перед заливанням, раціональне конструювання литникових систем, огляд ступеню якості футеровки плавильних агрегатів.

Також відомі дефекти, що з'являються при сирій формовці внаслідок розриву шару суміші покриття металевих форм в зоні конденсації вологи і затікання металу в такі порожнини. Це відбувається при використанні сумішей підвищеної вологості та на тих ділянках форми, які при її заповненні металом перебувають тривалий час під впливом теплового випромінювання дзеркала рідкого металу. Уникнути появи ужимань дозволяють застосування сумішей з мінімальною вологістю; прошилювання ділянок форми, схильних до утворення таких дефектів.

*Спаї* (неслитини) – результат зіткнення двох потоків металу, що охолоджується. Поверхні цих потоків через низьку температуру не можуть з'єднатися. До того ж ці поверхні, як правило, покриті шаром оксидів, що також заважають взаємодії потоків. Основними заходами боротьби зі спаями є: підвищення температури металу; застосування якісних матеріалів покриття форми з відносно низькою теплоакумулюючою здатністю; скорочення часу заливання металу, у тому числі за рахунок використання відцентрового методу лиття.

*Плівки* – це дефекти, що утворюються в результаті окислення легкоокислюваних легуючих домішок сплаву. Окислений метал у вигляді плівок попадає як усередину тіла вилівка, так і на його поверхню. Попередити утворення плівок дозволяють плавлення та заливання металу у вакуумі або в середовищі нейтральних газів, підвищення температури металу і створення в порожнині форми відновлювальної атмосфери.

*Зморшкуватість* (складчастість) – це формування на по-

верхні виливка безлічі безладно розташованих зморшок або складок. Виникнення такого дефекту може формуватися при скупченні на поверхні форми великої кількості вуглецю, що виділяється при температурному розкладанні вуглецевмісних матеріалів, які входять до складу зв'язуючих матеріалів. Запобігти *зморшкуватості* можливо зменшенням органічних складових суміші і поліпшенням вентиляції форми. Цьому сприяє також підвищення температури металу, що заливається.

*Випот* на чавунних виливках утворюється при кристалізації, що супроводжується збільшенням об'єму при виділенні графіту. В середині рідкого металу, ув'язненого в затверділих кірках, виникає підвищений тиск, який «страждає» проривом оболонки з утворенням поверхневих кулястих включень. Цей дефект може утворюватися за рахунок підвищеного тиску газів, що інтенсивно виділяються зі сплаву при зниженні температури.

*Апельсинова кірка* – дефект поверхні виливка. Утворення такого дефекту зв'язують із відділенням стінки форми виливка під час кристалізації і послідуєчому розплавлюванні спочатку затверділої кірки металу. Заходи боротьби із цим дефектом аналогічні застосовуваним для боротьби із просічками – підвищення теплоакumuлюючої здатності форми.

*Корольки* – це дефекти виливків, утворені бризами металу при заливанні у форму. Розбрикування металу може бути викликано декількома факторами: конструкцією литникової системи, відхиленням параметрів заповнення форми металом, надмірним зволоженням суміші покриття на форму. Кульки, що утворювалися від бризок металу, твердіють і попадають на ще не заповнену металом поверхню форми. Метал кульки може не злитися з поверхнею виливка.

*Жолоблення виливка*, тобто викривлення його конфігурації (геометрії поверхні) відбувається через виникнення напружень у виливку і розвиток незворотних деформаційних змін. Жолоблення попереджається рівномірним охолодженням виливка до повного завершення процесу.

## ***Тріщини***

Тріщини формуються під впливом різних процесів.

*Гарячі тріщини* виникають у виливках при кристалізації в інтервалах, близьких до температури солідуса, внаслідок досягнення напружень на межі міцності металу. Лінійна усадка металу починає проявлятися з моменту утворення суцільного скелету зі зрощених дендритів поверхневої кірки виливка. У цей момент метал має дуже низькі показники міцності і мінімальні пластичні властивості. Напруження, що виникають внаслідок гальмування лінійної усадки, швидко досягають межі міцності, що й призводить до руйнування утвореного кристалічного скелету. Тріщини носять міждендритний характер, та мають нерівний, рваний профіль. Поверхня гарячих тріщин окислена. Знизити ймовірність появи гарячих тріщин дозволяють створення максимально подавливої ливарної форми; застосування сплавів, що мають більш високу межу міцності при температурах утворення тріщин; опрацювання конструкції виливків згідно їх технологічності.

*Холодні тріщини* утворюються при температурах, що лежить нижче, переходу металу з області пластичних деформацій у пружну (для сталі – нижче 620-650°C, для чавуну – нижче 400-650°C). На відміну від гарячих тріщин холодні – мають прямолінійний профіль. При їх утворенні руйнуються як границі зерен, так і самі зерна металу. Залежно від температури їх формування поверхня холодних тріщин може мати кольори мінливості або залишатися зовсім неокисленою. Вони виникають під впливом внутрішніх напружень – термічних або фазових, коли структурні перетворення протікають зі зміною об'єму. Для забезпечення відсутності такого дефекту, використовують конструктивні або технологічні процеси, що зміцнюють зони виникнення тріщин, а також створення умов рівномірного охолодження всього виливку.

*Міжкристалічні* (міжзеренні або сіткові) *тріщини* характерні для виливків з легованих сталей. Вони виникають в результаті розвитку внутрішніх осаджувальних напружень на границях первинних зерен аустеніту. На цих границях можуть виділятися

фази, що досягли граничної розчинності в аустеніті. Найчастіше це неметалеві включення сульфідів і нітридів алюмінію. Міжкристалічні тріщини утворюються всередині виливка, але іноді можуть виходити і на поверхню. При виготовленні сталевих виливків для попередження цього дефекту знижують вміст у сталі компонентів сірки і азоту. Бажано при заливанні створити відновлювальну атмосферу у формі.

### ***Газові дефекти***

*Ситоподібна пористість* – дефект у вигляді безлічі дрібних газових порожнин, які можуть виходити на поверхню або розташовуватися в підповерхневих шарах.

Появу ситоподібних порожнин попереджають шляхом зменшення вмісту вологи у формі, застосуванням зв'язуючих компонентів, що не містять азот, а також створенням відновлювальної атмосфери у формі.

*Газові порожнини* утворюються пухирцями газу. Вони виникають внаслідок виділення газу з металу або матеріалу форми, та утворюються як відкриті порожнини. Їх поява пов'язана з високою газоутворюючою здатністю матеріалу покриття форми і недостатньою вентиляцією (низька газопроникність, недостатнє число вентиляційних каналів).

*Скипання* – місцеві ураження виливка газовими порожнинами в результаті зіткнення рідкого металу з ділянкою форми, що має підвищене газоутворення. Для запобігання появі цього дефекту слід забезпечити осередки газоутворення в матеріалі форми та поліпшити її вентиляцію.

### ***Зміна структури металу***

Відхилення мікроструктури сплавів у виливках є наслідком ліквідації компонентів у хімічному складі і рідкіше пов'язане з наявністю газів та неметалевих включень, вміст яких залежить від якості застосованих шихтових матеріалів і умов плавлення металу.

*Відбіл* є дефектом структури виливків з сірого чавуну. Він

виявляється у дослідженнях мікроструктури, вимірах мікротвердості. Утворення відбілу – при кристалізації може бути пов'язаний зі зниженим вмістом кремнію в чавуні або підвищенням карбідоутворюючих елементів: вуглецю, хрому, титану, марганцю, ванадію, які можуть потрапити в шихту із чушкових чавунів або легованого сталевого лому.

Утворення відбілу в більш тонких частинах виливків при нормальному коливанні вмісту вуглецю, кремнію і легуючих елементів у чавуні іноді є наслідком того, що в ливарних цехах той самий розчин використовують для одержання виливків різного перерізу, вимоги до структури яких однакові. При цьому хімічний склад вибирають розраховуючи на середній переріз, що збільшує небезпеку одержання відбілу в найбільш тонкостінних частинах виливків.

Для попередження відбілу чавун у ковші модифікують домішками феросиліцію, силіко-кальцію, графіту. Кількість модифікуючої домішки становить 0,2-0,8 % від маси металу. Найбільш ефективно модифікування досягається за температури не нижче 1380-1420°C.

На утворення відбілу в тонкостінних виливках впливає і температура заливання рідкого металу у форму. Зниження температури заливання нижче 1400°C найчастіше призводить до утворення відбілу, так як при цьому збільшується швидкість охолодження чавуну.

При литті чавуну в металеві форми (кокілі) часто виникає відбіл, що пов'язано зі швидкістю охолодження при кристалізації сплаву. Для попередження відбілу поверхню металевих форм фарбують теплоізолюючими матеріалами, або наносять покриття та підігрівають перед заливанням до температури 500-600°C. Якщо неможливо стабілізувати температуру металеві форми перед заливанням, слід на стінки форми наносити теплоізолююче покриття збільшеної товщини (від 2 до 10 мм).

Відбіл є характерним дефектом виливків з сірого чавуну і полягає у виділенні в тонких зонах виливків карбідів (цементиту,

а в деяких випадках і ледебуриту) Утворення відбілу у виливках сірого чавуну можливе за рахунок зміни вмісту вуглецю і кремнію. Якщо чавун модифікують бором і алюмінієм, то одночасно для попередження утворення відбілу вводять додатково 0,005-0,025 % вісмуту. До дефектів структури графіту у виливках з сірого чавуну відносяться: грубі (великі) включення графіту та – точкові, розташовані по границях зерен. Ці несприятливі форми графіту різко погіршують механічні властивості і зносостійкість. Такі включення графіту знижують механічні властивості чавуну та герметичність виливків.

Поява грубих включень графіту в структурі сірого чавуну, виплавленого у вагранці, частіше усього зустрічаються зі зниженням якості вихідного чушкового чавуну (шихти). Вибір чушкових чавунів для одержання відповідальних виливків типу гільз, блоків, головок циліндрів двигунів і компресорів повинен проводитися з урахуванням не тільки їх хімічного складу, але і вихідної структури чушкових чавунів. Точковий та міждендритний графіт у виливках формується при високих швидкостях охолодження виливка у формі (лиття в металеві форми).

У виливках з високоміцного чавуну найбільш характерним дефектом є виділення графіту не кулястої форми. Виділення такого графіту можуть відбуватися за рахунок недостатнього засвоєння магнійвмісної домішки чавуном при модифікуванні або за наявності у розплаві елементів – деглобуляризаторів, та збільшеного часу витримки чавуну у ковші, при якому відбувається процес демодифікування.

При введенні магнію його засвоєння залежить від методу обробки рідкого розчину. При цьому слід враховувати, що засвоєння цього компонента суттєво залежить і від температури розчину. Чим вона вище, тим менше засвоєння.

Вісмут, сурьма, олово, свинець, потрапляючи в розчин, перешкоджають одержанню в чавуні кулястого графіту при введенні модифікуючої домішки. Так, при наявності 0,01 % вісмуту, 0,05 % сурьми, 0,3 % олова графіт у чавуні, при модифікуванням

магніймісними домішками, залишається пластинчастим.

Введення в чавун разом з магнієм або магнієвою лігатурою 0,1 % церію нейтралізує шкідливу дію демодифікуючих компонентів.

### ***Зміна хімічного складу***

При формуванні виливків в поверхневому шарі відбуваються процеси, в результаті яких змінюється хімічний склад цього шару: окислення, зневуглецювання, навуглецювання, нерівномірний розподіл легуючих компонентів, насичення газами і продуктами взаємодії з формою.

Атмосфера, що утворюється при термодеструкції синтетичних смол, які використовуються для зв'язуючих матеріалів, є *навуглецьованою*. На відміну від неї газова фаза, що виникає при заливанні металу в жидкоскляні форми, є окислювальною, тобто *зневуглецьованою*.

Якщо при охолодженні поверхня виливка відходить від стінки форми внаслідок усадки, то поряд з навуглецюванням поверхні в перші моменти затвердіння можливе зневуглецювання за рахунок кисню у повітря, що попадає в зазор між виливком і формою.

*Зниження ступеню легування поверхні виливка* при литті по виплавлених моделях відбувається за рахунок взаємодії легуючих елементів з оксидами кремнію матеріалу форми. Глибина такого шару залежить від матеріалу форми, товщини стінок виливка і температури металу, що заливається. Цей факт можливо в значній мірі знизити за рахунок зменшення вмісту силікатного зв'язуючого в оболонці, використанням вогнетривкої основи матеріалів, що не містять діоксиду кремнію, а також прискореним охолодженням у період взаємодії виливка з формою, зниженням температури форми і металу, поверхневим легуванням шляхом введенням у суспензію солі відповідних елементів.

### ***Внутрішні дефекти***

В першу чергу це – *усадочні порожнини*, які утворюються у виливках в результаті скорочення об'єму металу при переході з

рідкого стану у твердий.

Ефективних засобів боротьби з усадочними порожнинами практично немає. Такий вид внутрішньої несучільності металу можливо помітно скоротити, зменшуючи розміри температурної області затвердіння шляхом підвищення її швидкості за рахунок використання матеріалів покриття форми з підвищеною теплоакумулюючою здатністю.

При литті під тиском схильність до формування розсіяних порожнин значно зменшується в порівнянні з тими, що відливаються у піщані форми.

Якщо за якимись вимогами усадочні порожнини неприпустимі, підшукують інший сплав, що має аналогічні експлуатаційні властивості, але менший температурний інтервал кристалізації.

Розвиток внутрішніх газових дефектів є порушенням технології плавлення і взаємодії рідкого розчину з покриттям форми.

*Ліквіація* – це явище хімічної неоднорідності в різних зонах (макро і мікро) виливка, яке обумовлене процесом швидкості кристалізації.

Корпусні деталі також піддають ремонту при експлуатації. Для цього аналізують їх відмови, а потім вирішують які методи відновлення можуть бути найбільш ефективними.

Аналіз літературних джерел [140-148] показав, що найбільш частіше вихід з ладу корпусних деталей, які використовуються в різних машинах, мають коробки передач, роздавальні коробки передач, блоки циліндрів, корпуси колісних редукторів та пневматичних насосів, а також корпуси розподільних пристроїв, тормозних циліндрів. У процесі експлуатації вони зношуються та ресурс машин суттєво зменшується. Основні пошкодження наступні: мікротріщини, короблення, формування порожнин, нагар, зміна структурного стану, задири, а також механічні та фізико-хімічні пошкодження, які можуть спричинити аварійний стан.

До напрямів по зберіганню та відновленню таких пошкоджень досліджували різні методи зміцнення, а саме: застосування



термічного пластичного деформування, висадка матеріалу деталі, витяжка, осадження; гальванічний методом осадження металу, віброгасильні покриттям; полімерні матеріали, клейові сполуки з послідуочим їх отвердінням; холодне зварювання дефектів, термічна обробка, газотермічне напилення, а також – комбіновані [149-155, 156].

Як показали виконані дослідження ці методи можливо тільки частково використовувати для деталей з чавунів тому, що в їх структурі достатньо висока кількість графіту, який не дозволяє одержувати якісні покриття, а також відновлювати суттєво більш глибокі дефекти, ніж в ряді випадків дозволяють розглянуті технології відновлення. Найбільш доцільними можуть бути методи, які забезпечать якість відшкодування дефектів необхідної глибини.

Щоб надійно контролювати якість деталей у виробництві із чавуну, їх стан у період експлуатації, а також змінювати параметри технологічного процесу не достатнім є відбір спеціальних проб для оцінки хімічного складу, структури та властивостей. Найбільш ефективним для прийнятого на підприємствах виробника, було б проведення контролю якості кожного виробу в поточці виробництва. Ця проблема може бути вирішена статистичним аналізом якості такої оцінки, на основі якої можна запропонувати внесення змін при удосконалюванні технологічного процесу виробництва. Виконання таких досліджень проводили на підприємствах ВАТ «ХТЗ» (виробляє і використовує в сільгоспмашинобудуванні корпусні деталі) і на Бериславському машинобудівному заводі (виробляє і постачає втулки гільз циліндрів двигунів).

В результаті виконаного аналізу літературних джерел, стандартів і патентів по використанню матеріалів для виготовлення корпусних деталей різного призначення із чавунів з формою графіту, який відрізняється: кулястою, вермикулярною і пластинчастою, встановлено, що для забезпечення необхідних властивос-

тей чавуни піддають позапічній обробці модифікуванням сфероїдизуючими, інокулюючими та графітізуючими домішками з різним способом їх введення. Показана ефективність використання модифікаторів нового покоління Supersid і Riesid. Ці домішки містять стронцій, що дозволяє запобігати процесу демодифікації чавуну при тривалій витримці рідкого розчину в ковші в умовах процесу потокового виробництва. Розглянуті умови, за якими надійно усувається відбїл виливків. Для цього використовують вторинне модифікування феросиліцієм ФС75. Обробку чавуну сфероїдизуючими магнійвмісними домішками виконують у спеціальних барабанних ковшах. Метод простий і має ряд переваг, однак в ряді випадків не дозволяє якісно видаляти залишки шлаків і досягти однорідного та достатнього засвоєння магнію.

Встановлено, що особливо високі і стабільні фізико-механічні властивості досягаються у виливках зі чавуну з кулястим графітом (ЧШГ) при використанні дуплекс-процесу з введенням 15 % чушкових рафінованих чавунів і вторинних шихтових матеріалів при заливанні металу в оболонкові форми та на автоматичній лінії імпульсного формування. Однак, ця технологія прийнята для деталей невеликих розмірів.

При виготовленні виливків з високоміцних чавунів запропоновані різні за складом сплави, які спрямовані на одержання, залежно від їхньої маси і товщини стінок, високі механічні властивості. Пошкоджуваність деталей з високоміцного чавуну при експлуатації визначається ступенем впливу підвищених температур, деформаціями і напруженнями, розвитком процесів корозії та інш.

Корпусні деталі із сірого чавуну є базовими виробами у машинобудуванні. На них монтують складальні одиниці. Розглянуті їх різні конструкції і форми: коробчасті, складної просторової, з напрямними, типу кронштейнів, кришок, косинців та інш. Узагальнені вимоги до якості і способу виробництва, які визначають їхню надійну роботу та відносно низьку собівартість. Такі де-

талі працюють в умовах впливу навантажень, у тому числі ударних, вібраційних, корозійних, кавітаційних та зношування і інш.

Основними видами їх пошкоджуваності при експлуатації є тріщини, відколи, викришування, задири, обломи шпильок, зрізи і зминання з'єднань, а також руйнування посадкових місць отворів. Основними дефектами пошкоджуваності при виробництві є тріщини, порожниноутворення, не відповідність структури вимогам (за фазовим складом, графіту і неметалевими включеннями).

Розглянуті методи відновлення дефектів у період усього життєвого циклу корпусних виробів: нарізних сполучень, поверхневих тріщин, корозійної пошкоджуваності, видаленням різних відкладень, зняття напружень та інш. Такі дефекти усувають при технічному обслуговуванні і ремонті техніки з використанням різних технологічних процесів (спеціальним промиванням, заваркою, термообробкою, пластичним деформуванням і додатковим зміцненням).

Виконано аналіз застосовування сірих чавунів для виготовлення корпусних деталей у сільгоспмашинобудуванні.

Розглянуто вплив факторів експлуатації на механічні властивості сірого чавуну. Проаналізовано вплив можливих змін властивостей при експлуатації литих деталей в умовах стиснення, крутіння, розтягання, вигину.

Узагальнена інформація і по номенклатурі виготовлення деталей із сірого чавуну. Це блоки циліндрів, головка і гільзи циліндрів, гальмівні диски та інш.

Наведена інформація про вимоги до якості чавуну, його складу і структури.

Розглянуті міжнародні стандарти провідних країн світу по виробництву чавуну США, Німеччини, Франції, Великої Британії і Японії. На відмінність від вітчизняних в них містяться додаткові вимоги до рівня пластичності (тільки для високоміцних чавунів) і її показників при певних температурах випробувань для різних марок. У стандартах Великої Британії і Японії регламентуються

механічні властивості:  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$  і  $\delta$ . У стандартах США та Німеччини, контрольованими є тільки межі значень твердості.

Стандарти Японії розглядають усі типи чавунів, у тому числі, і після різних видів термообробки. В стандартах відсутня інформація про використання методів неруйнівного контролю якості.

Узагальнена інформація за типами формування дефектів, що утворюються при відливанні та експлуатації деталей. При виробництві виливків частіше всього мають місце: пригар (оксидні та силікатні фази, які міцно зчеплені з поверхнею); приливи (різні стовщення тіла вилівка); дефекти литої поверхні (обумовлені частковим руйнуванням форм та стрижнів); тріщини (формуються за рахунок різних відхилень у технологічному процесі); газові порожнини; відхилення у хімічному складі та структуроутворенні, відносно конкретно діючої нормативно-технічної документації. Основними дефектами при експлуатації відливок з сірого чавуну є: зношування контактних деталей; утворення мікротріщин, короблення, формування порожнин, нагар, а також зміна структурного стану, задири та деградація металу, які можуть спричинити аварійний стан.

Разом з таким аналізом, слід відмітити, що формування дефектів у виливках суттєво залежать і від шихти, яка використовується, її засміченості неметалевими включеннями, що не розчиняються при температурах виробництва сірих чавунів, наявністю різних домішок, а також пов'язано з технологією виробництва, в першу чергу, зі швидкістю кристалізації деталі. Тому при дослідженнях важливим є встановити вплив кожного чинника, що суттєво може впливати на якість продукції та її надійність, роботоздатність у експлуатації.

Узагальнена інформація про виробництво, пропонованим вимогам до якості гільз циліндрів із чавуну. Виконано аналіз технологічних параметрів виробництва як з використанням відцентрового способу їх лиття, так і у піщано-глинисті форми, а також дефекти, що формуються. При відцентровому литті використовують різнотовщинну металеву форму, яка сприяє нерівномірній

швидкості кристалізації вилівка та котра призводить до одержання неоднорідної структури по висоті гільзи з локалізацією деформацій.

Для підвищення довговічності доцільно розробити і стабільну технологію відновлення корпусних деталей з дефектами при виробництві та експлуатації.

## 2. ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ ІЗ ЧАВУНІВ ПРИ ЇХ ВИРОБНИЦТВІ

Аналізується вплив основних технологічних факторів на якість виливків. Для цього використовували статистичні методи обробки експериментальних даних, дослідження структурних відхилень при виробництві втулок гільз циліндрів і корпусних деталей, які використовуються у машинобудуванні [166-184].

Встановлення чинників незадовільної якості дозволить розробити нові ефективні підходи і корегувати технологічний процес виробництва таких деталей з використанням неруйнівного контролю якості.

Втулки гільз циліндрів двигунів виготовляють із високоміцного чавуну, згідно з вимогами ТІ-78.019-2003І, на Бериславському машинобудівному заводі, де був виконаний аналіз вибірки при виробництві їх відцентровим методом відливання на горизонтальній машині. Для виробництва виливків використовують конусні металеві форми, що дозволяють легко видаляти їх разом з виробом після кристалізації з машини.

У початковий період роботи була запропонована технологія, що стабілізує структуру виливків робочої поверхні втулок гільз циліндрів їх термообробкою – загартуванням струмами високої частоти з нагріванням внутрішньої та зовнішньої зон зі змінним кроком руху індуктора [185, 186]. Аналіз такої обробки показав, що при існуванні кристалізації з відхиленнями по виділенню високовуглецевих фаз: графіту та цементиту така термообробка їх не змінює.

Значна увага приділена зміні хімічного складу сплавів, способам модифікування і впливу їх відхилень на якість і властивості металу виливків, структуроутворення, виникненню різних дефектів, а також способам їх відновлення.

Детальні статистичні дослідження властивостей та структури виливків з використанням неруйнівного магнітного конт-

ролю по коерцитивній силі дозволили розробити бракувальні норми показань і перейти до пошуку нових інноваційних рішень. На основі такого аналізу розробили метод ефективного попереднього підігріву різновтовщинної металевої форми для заливання втулок гільз циліндрів, при якому забезпечується однакова температура по її висоті і виключається формування структурної неоднорідності, локалізація деформацій у зонах втулки [158], що відливається у різновтовщинну металеву форму.

Для забезпечення формування однорідної структури були виконані зіставні дослідження з використанням нормалізації, проведеної як безпосередньо на втулках, так і кільцях, відібраних від них. Оцінку неоднорідності показників проводили неруйнівним методом за коерцитивною силою –  $H_c$ , щоб встановити можливість надійного використання проб відносно виливків. Вимірювання здійснювали з використанням магнітного методу аналізатором КРМ-Ц-К2М [161].

Для виявлення дефектів і визначення зон локалізації напружень у різновтовщинних корпусних виливках із сірого чавуну проведені статистичні дослідження в умовах ВАТ «ХТЗ». Такі дослідження планується використовувати як базові для розробки ефективної нової технології заварки дефектів (тріщин, зон поротворення, неслітин, раковин та інших дефектів лиття).

Важливим при виробництві корпусних деталей (рис. 2.1) із сірого чавуну є можливість надійного відновлення дефектів



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд корпусних деталей із сірого чавуну шляхом їхнього зачищення і наступної заварки сталевим електродом [159].

Враховуючи, що такий матеріал є не технологічним і при зварюванні дефектів як у зоні зварювання, так і на границі сплавлення додатково формуються пори, раковини, мікротріщини, то для зниження температури процесу та не допущення формування цих дефектів використовували додаткове модифікування домішкою детонаційної шихти, отриманої від утилізації боєприпасів певного набору, у яких вийшов термін зберігання [160].

## **2.1 Вплив хімічного складу, модифікування і умов кристалізації втулок гільз циліндрів з високоміцного чавуну на його структуру та властивості**

Вміст компонентів у металі виливків оцінювали хімічним і спектральним аналізами, а локальний їхній розподіл – мікрорентгеноспектральним. Дослідження структури сплавів проводили на оптичному мікроскопі при збільшеннях 100-1000 разів і на електронному YSM-820 Link «YEOL» із системою рентгенівського мікроаналізу. Розподіл компонентів також вивчали і методом термоелектронної емісії.

Механічні властивості (міцнісні, пластичні характеристики, твердість) визначали за стандартними методиками. Мікротвердість оцінювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні індентором 50 г.

Теоретичні дослідження, проведені в роботі, присвячені пошуку нового технологічного процесу виробництва втулок гільз циліндрів з високоміцного чавуну, при якому можливо керувати процесом швидкості кристалізації та здійснювати його рівномірно за висотою. Розглянуто п'ять варіантів різних умов попереднього підігріву металевої форми перед її заливанням і визначений найбільш ефективний – циклічне нагрівання струмами промислової частоти.

Аналізували вибірку, що складалася з 57 втулок. Всю вибірку поділили на окремі групи, які за хімічним складом відповідали вимогам нормативно-технічної документації (табл. 2.1), що становило ~ 30 %, і мали відхилення за одним або декількома



компонентами (табл. 2.2). Максимальна кількість втулок мали відхилення по вмісту вуглецю, що становило 3,23-3,30 % (норма 3,4-3,6 %) і 3,7 %, а також за кремнієм 2,33-2,48 % (норма 1,8-2,3 % Si) (рис. 2.2). У ряді випадків відмічалось підвищення сірки  $\leq 0,01$  % (до 0,07 %), що може бути результатом не достатньої за-своюваності Mg при модифікуванні. Це підтверджується його відсутністю або малим вмістом у металі втулок. Окремі мінімальні відхилення виявлені за вмістом Cr, Mn, Cu, і Mo, які при таких концентраціях не мають істотного впливу на формування вуглецевмісних фаз.

Таблиця 2.1 – Втулки, що відповідають вимогам технічних умов за хімічним складом

Умов-ний но-мер втулки	№ Втулки	Хімічний склад, %:									
		C	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Mg
		Вимоги НТД									
		3,4-3,6	1,8-2,3	$\leq 0,08$	$\leq 0,01$	$\leq 0,08$	0,4-0,7	$\leq 0,5$	0,40-0,60	0,25-0,45	0,04-0,08
1	111027	3,52	1,879	0,08	0,01	0,08	0,40	0,315	0,42	0,314	0,05
2	111026	3,5	1,93	0,05	0,01	0,06	0,54	0,29	0,42	0,36	0,05
3	121034	3,45	1,83	0,08	0,01	0,08	0,70	0,50	0,45	0,39	0,05
4	111023	3,6	1,8	0,05	0,01	0,05	0,40	0,31	0,43	0,24	0,04
5	121035	3,45	1,83	0,08	0,01	0,08	0,70	0,5	0,45	0,39	0,05
6	111031	3,60	2,07	0,02	0,01	0,08	0,40	0,31	0,53	0,31	0,05
7	121041	3,40	1,80	0,05	0,01	0,04	0,54	0,44	0,57	0,27	0,05
8	111024	3,50	1,93	0,08	0,01	0,08	0,54	0,29	0,42	0,36	0,04
9	111012	3,53	2,10	0,08	0,01	0,04	0,57	0,30	0,57	0,31	0,04
10	111016	3,6	1,80	0,08	0,01	0,04	0,66	0,33	0,57	0,45	0,06
11	111019	3,45	1,93	0,04	0,01	0,04	0,40	0,27	0,40	0,30	0,04
12	111014	3,60	2,14	0,03	0,01	0,05	0,54	0,50	0,40	0,28	0,05
13	111020	3,60	1,80	0,04	0,01	0,05	0,40	0,20	0,43	0,24	0,05
14	11122	3,50	2,22	0,05	0,01	0,02	0,468	0,351	0,466	0,411	0,06
15	11123	3,50	2,22	0,05	0,01	0,02	0,468	0,351	0,466	0,411	0,06
16	11128	3,53	2,30	0,05	0,01	0,02	0,591	0,341	0,410	0,365	0,058
17	11110	3,49	2,133	0,02	0,0076	0,04	0,521	0,381	0,421	0,361	0,05

У виливках, які відповідають вимогам нормативно-технічної документації (НТД) за вмістом компонентів (див. табл. 2.1) тільки 12 % мають більш низький рівень твердості – 223 НВ (норма 228-285 НВ).

Таблиця 2.2 – Втулки, що не відповідають вимогам технічних умов за хімічним складом

Умовний номер втулки	№ Втулки	Хімічний склад, %:									
		C	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Mg
		Вимоги НТД									
		3,4-3,6	1,8-2,3	≤0,08	≤0,01	≤0,08	0,4-0,7	≤0,5	0,40-0,60	0,25-0,45	0,04-0,08
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	111033	3,24	1,83	0,06	0,01	0,08	0,7	0,50	0,45	0,39	0,05
2	111017	3,60	1,80	0,08	0,06	0,04	0,66	0,33	0,57	0,45	0,04
3	111029	3,52	1,87	0,08	0,01	0,08	0,39	0,31	0,42	0,31	0,04
4	11103	3,50	2,49	0,08	0,01	0,05	0,49	0,36	0,49	0,29	-
5	111021	3,70	1,80	0,08	0,01	0,08	0,40	0,26	0,43	0,24	0,05
6	11124	3,51	2,25	0,01	0,05	0,02	0,47	0,25	0,324	0,363	0,05
7	11127	3,53	2,30	0,01	0,05	0,02	0,591	0,341	0,410	0,365	0,041
8	11125	3,51	2,25	0,01	0,05	0,02	0,472	0,250	0,324	0,363	0,04
9	11120	3,74	2,36	0,06	0,01	0,026	0,581	0,380	0,400	0,38	0,05
10	11116	3,40	2,24	0,06	0,01	0,033	0,50	0,41	0,39	0,32	0,046
11	11114	3,40	2,34	0,05	0,01	0,04	0,634	0,391	0,490	0,305	0,06
12	11113	3,40	2,34	0,05	0,01	0,04	0,634	0,391	0,490	0,305	0,06
13	1117	3,57	2,39	0,05	0,01	0,026	0,510	0,438	0,418	0,302	0,05
14	21151	3,56	2,48	0,05	0,01	0,27	0,520	0,276	0,479	0,263	0,05
15	21142	3,30	2,22	0,045	0,04	0,027	0,527	0,296	0,451	0,215	0,05
16	21133	3,51	1,64	0,048	0,018	0,032	0,616	0,28	0,289	0,392	-
17	21164	3,48	2,37	0,05	0,01	0,40	0,553	0,281	0,504	0,249	0,04
18	21149	3,27	2,41	0,04	0,01	0,030	0,536	0,272	0,480	0,261	0,05
19	21150	3,56	2,48	0,05	0,01	0,027	0,520	0,276	0,479	0,263	0,05
20	21160	3,49	2,44	0,05	0,01	0,035	0,580	0,241	0,512	0,248	-
21	21163	3,48	2,37	0,05	0,01	0,40	0,553	0,281	0,504	0,249	0,04
22	21154	3,46	2,33	0,05	0,01	0,022	0,469	0,210	0,508	0,299	-
23	21137	3,45	2,43	0,01	0,05	0,03	0,482	0,336	0,419	0,262	0,006

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	21157	3,35	2,260	0,05	0,01	0,022	0,489	0,256	0,411	0,301	-
25	1111	3,5	2,45	0,05	0,062	0,098	0,887	0,456	0,485	0,321	0,009
26	1112	3,5	2,45	0,05	0,062	0,098	0,887	0,456	0,485	0,321	0,009
27	21144	3,30	2,37	0,05	0,01	0,05	0,576	0,285	0,533	0,230	0,04
28	1113	3,23	2,13	0,03	0,03	0,06	0,536	0,441	0,363	0,297	0,05
29	21162	3,48	2,37	0,05	0,01	0,40	0,553	0,281	0,504	0,249	0,04
30	21132	3,51	1,64	0,048	0,018	0,032	0,616	0,28	0,289	0,392	
01	21158	3,35	2,260	0,05	0,01	0,022	0,489	0,256	0,411	0,301	-
32	21143	3,30	2,22	0,045	0,04	0,027	0,527	0,296	0,451	0,215	0,05
33	21145	3,30	2,37	0,05	0,01	0,05	0,576	0,285	0,533	0,230	0,05
34	21153	3,46	2,33	0,05	0,01	0,022	0,469	0,210	0,508	0,299	-
35	21141	3,30	2,22	0,045	0,04	0,027	0,527	0,296	0,451	0,215	0,05
36	21135	3,45	2,43	0,01	0,05	0,03	0,482	0,336	0,419	0,262	0,006
37	21146	3,30	2,37	0,05	0,01	0,05	0,576	0,285	0,533	0,230	0,05
38	21156	3,35	2,260	0,05	0,01	0,22	0,489	0,256	0,411	0,301	-
39	21140	3,42	2,53	0,05	0,01	0,033	0,561	0,265	0,482	0,270	0,007
40	21136	3,45	2,43	0,01	0,05	0,03	0,482	0,336	0,419	0,262	0,006

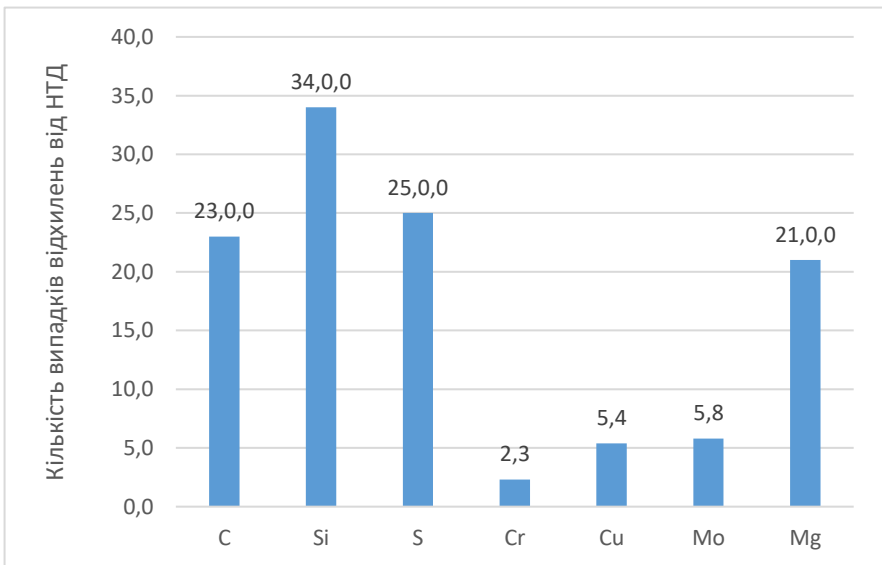


Рисунок 2.2 – Вплив компонентів на структуроутворення чавуну втулок гільз циліндрів

Усі виливки характеризуються досить високими показниками міцнісних і пластичних властивостей: межі міцності  $\sigma_B = 800-902$  МПа (норма  $\geq 539$  МПа), пластичності  $\delta_5 = 1,6-3,86$  % (норма  $\geq 1,5$  %). Досліджені виливки цієї групи вибірки відповідають і за товщиною азотованого шару, формуємого на робочій поверхні, яка становить  $0,6-0,67$  мкм (норма  $\geq 0,6$  мкм), та їх твердість становить  $468-521$  HV (норма  $\geq 460$  HV).

Не встановлено зв'язку цих характеристик з вихідними властивостями матеріалу, які мають високу міцність (900-902 МПа), пластичність, що не суттєво відрізняються (3,8 і 1,5 % і близьку товщину азотованого шару  $0,6-0,62$  мкм). Виходячи із цього випливає, що рівень твердості такого шару не залежить від вихідної структури чавуну, а визначається параметрами процесу азотування.

При цьому коерцитивна сила в цій групі вибірки змінюється в межах  $3,9-9,9$  (середнє значення розкиду показань становить 65 %), що характеризує неоднорідність формованої структури і рівень напружень, які виникають при кристалізації.

У вибірках з відхиленнями за хімічним складом суттєво знижується якість виливків (див. табл. 2.2). Так, твердість в 41,5 % випадків не відповідає вимогам нормативно-технічної документації, тобто знижується майже в 4 рази і практично не впливає на міцнісні, пластичні властивості, глибину азотування і його твердість.

Для контролю структури з оцінкою якості виливків неруйнівним методом використовували показник коерцитивної сили.

Аналізом встановлено, що сума відхилень компонентів, які визначають якість модифікування в умовах нерівномірної кристалізації за висотою втулки дорівнює 80 % (локальна концентрація:  $34,0$  %Si +  $25,0$  %S +  $21,0$  %Mg). Сума відхилень компонентів, що визначають можливість появи карбідної фази дорівнює  $5,4$  % ( $3,6$  %C +  $1,8$  %Si);

При цьому коерцитивна сила змінюється в межах  $4,7-10,6$  А/см (середнє значення за всією цією вибіркою становить розкид

показань в 61,4 %).

Зіставлення розкиду двох вибірок показали, що виявлені відхилення в хімічному складі не вносять яких-небудь закономірних змін у рівень коерцитивної сили.

Аналізували вибірку проб, з 9 втулок (табл. 2.3), які характеризуються різним рівнем показань,  $H_c$ : від 3,6 до 12,9 А/см. Оцінка структури показала, що при  $H_c$  до  $\leq 5,1$  А/см основа металевої матриці представлена ферито-перлітною складовою. При цьому частка перліту локально змінюється в широких межах від 25 до 70-80 %.

Максимальне значення перлітної складової характерне для втулок, починаючи із  $H_c \geq 6,5$  А/см. Однак, у таких втулках феритна складова відсутня, а стабільно виділяються цементит як у вигляді тонких ізольованих включень, так і по границях – перлітних у вигляді дрібних виділень (Додаток А).

Підвищення коерцитивної сили  $\geq 8,2$  пов'язане з появою евтектики – ледебуриту до 10 % і відсутністю феритної складової. Зі збільшенням частки ледебуриту до 20 % при чисто перлітній металевій матриці підвищується  $H_c$  до 12,9 %. Одночасно кристалізується графіт кулястої, крапкової і пластинчастої форм.

Зміни, що спостерігалися в структурі виливків можуть бути пов'язані із двома факторами: перший – незадовільний процес модифікування (демодифікація при тривалій витримці металу в ковші в умовах послідовного відливання втулок у відцентровій машині); другий – нерівномірна кристалізація вилівка у формі через її різнотовщинності. Для відповіді на запитання про їхню роль на структуроутворення детально проаналізували два фактори (табл. 2.4): на відповідність показань коерцитивної сили з оцінкою на відібраних від втулок кілець і безпосередньо у втулці. Досліджували зміну ступеню неоднорідності показників коерцитивної сили на різних рівнях (верх, середина та низ втулки) за їхньою висотою. Такий підхід може відповісти на запитання про роль фактору швидкості кристалізації на формування структури при використанні різнотовщинної металевої форми.

Таблиця 2.3 – Аналіз структури втулок з різним рівнем коерцитивної сили

№ п/п	№ Втулки	H <sub>c</sub> , А/см	Характеристика
1	2	3	4
1	10211	3,6	По центру виливка на глибині 1-2 мм – компактний графіт, окремо пластинчастий. Структура ферито-перлітна з тонкими включеннями цементиту (до 10 мкм). Біля поверхні на глибині 4-5 мм – багато крапкових включень цементиту. По мірі віддалення від литої поверхні частка перліту зростає до 20-27%, зерна укріплюються на 15-20%.
2	111027	4,5	Основа ферито-перлітна. При зміні H <sub>c</sub> від 3,6 до 4,5 частка перліту по центру перерізу втулки зростає до 25-30 %, є зони до 50 %. Цементит – окремі включення. Біля поверхні виливка частка перліту зростає до 70 %, в окремих зонах від 30 % до 70 %.
3	111028	5,1	Структура ферито-перлітна. 70-80 % перліту. Цементит відсутній. Центр перерізу втулки мало відрізняється від литої поверхні.
4	1115	6,5	Центральна зона втулки 80-90 % – перліту, 10 % – графіту пластинчастого. Окремі маленькі включення цементиту (до 10 мкм) по границях зерен. Біля краю литої поверхні цементит крупніше, ферит відсутній.
5	211038	8,2	Матриця перлітна, ледебурит до 10 %. Окремі включення цементиту. Ферит відсутній, включення графіту кулясті.
6	12811	9,1	Матриця перлітна 85-90 %, ледебурит до 10-15 %. По центру перерізу виливка – окремі пластини графіту. Біля поверхні виливка – графіт кулястий, крапковий, пластинчастий, до 7 % фериту, місцями – «бичаче око». Виявлені неметалеві включення.
7	11110	10,3	Матриця перлітна – 90 %, ледебурит. Включення цементиту по границях зерен. Ферит відсутній. Біля краю виливка за перерізом виявлена наявність великої кількості неметалевих включень, графіт пластинчастий.
8	111121	11,9	Матриця перлітна, включення цементиту по границях первинного зерна в центрі за перерізом виливка – 1-3 %, наявність пластинчастого графіту.
9	1118	12,9	Матриця перлітна, ледебурит по центру перерізу виливка 10-20 %, на литій поверхні – до 8 %, окремі включення цементиту. Ферит відсутній, наявність пластинчастого графіту.

Таблиця 2.4 – Порівняльні результати неруйнівного контролю якості, проведені на пробах (кільцях) і втулках (до та після нормалізації)

Номер втулки	Твердість	Коерцитивна сила, А/см																	
		на втулках								на кільцях									
		До нормал.			Сер. знач.	Після нормал.			Сер. знач.	До нормал.			Сер. знач.	Після нормал.			Сер. знач.		
121034	286	5,6	6,3		5,95	9,1	8,9		9	6,1	7	7,3	6,8	8,4	8	8,9	8,4333		
121041	255	5,2	5,4	6	5,5333	7,1	6,9	7	7	5,1	5,4	5,9	5,4667	6,2	7	6,9	6,7		
111031	241	6,5	7	6,9	6,8	8,4	7	8,2	7,8667	6,2	6,4	7,3	6,6333	9,1	8,9	8,7	8,9		
121035	241	7,1	6,4	6,2	6,5667	8,4	8,3	9	8,5667	6,1	6,2	7	6,4333	9,1	8,9	8,9	8,9667		
111023	235	5,9	6,2	6,1	6,0667	6,9	7	6,5	6,8	7,1	6,9	5,9	6,6333	7,8	7,5	7,4	7,5667		
111027	241	5,4	5,3	6	5,5667	7,8	7,4	7,7	7,6333	5,1	6,4	6	5,8333	7,1	7,2	7	7,1		
111026	255	5,9	6	4,9	5,6	8,1	8,2		8,15	5,1	7	6,9	6,3333	6,4	6,1	7,2	6,5667		
111017	229	5,1	5,2	5,2	5,1667	6,2	5,9	5,7	5,9333	5,7	5,9	5,7	5,7667	9,1	9	9,1	9,0667		
111029	248	6,9	6,7	6,9	6,8333	7,5	6,9		7,2	7,2	7,3	7,2	7,2333	8,2	8,8	8,6	8,5333		
11103	293	5,7	6,1	5,4	5,7333	5,9	6,1	5,7	5,9	5,6	5,9	6,1	5,8667	6,2	6,7	7,2	6,7		
111024	248	7,7	7,8	7,6	7,7	8,2	7,8		8	8,3	8,3	8,3	8,3	9,6	9,6	9,4	9,5333		
111012	262	8,2	7,5	7,7	7,8	8,7	8,7		8,7	8,9	7,8	8,5	8,4	11,7	11,7	11,8	11,733		
111021	235	6,9	6,6	6,6	6,7	7,3			7,3	7,4	7,7	7	7,3667	8,1	9,1	8,8	8,6667		
111016	223	7,5	7,6	7,5	7,5333	11,2	10,7		10,95	8,9	8,8	9	8,9	10,2	10,4	10,3	10,3		
111019	235	4,6	4,7	4,8	4,7	6,4	6,5		6,45	5,3	5,6	5	5,3	8,6	8,5	9	8,7		
111014	255	7,7	7,9	8	7,8667	8,5	8,8		8,65	9	9,6	8,9	9,1667	13,5	13,9	13,7	13,7		
111020	223	5,7	5,6	5,5	5,6	5,9	5,7		5,8	6,5	6,9	6,5	6,6333	7,6	7,3	7,2	7,3667		
min	223	4,6	4,7	4,8		5,9	5,7	5,7		5,1	5,4	5		6,2	6,1	6,9			
max	293	8,2	7,9	8		11,2	10,7	9		9	9,6	9		13,5	13,9	13,7			
Сер.зн.	247	6,3	6,4	6,3	6,3	7,7	7,6	7,1	7,6	6,7	7,0	7,0	6,9	8,6	8,7	8,8	8,7		
Розкид, %	10	27	26	24		24	25	20		24	23	28		28	30	22			
				24-27 % розкид значень				20-25 % розкид значень				23-28 % розкид значень				Однорідно підвищується Н <sub>c</sub> після нормалізації досягає 22-30 % та розкид трохи збільшується			

Повний аналіз структур і відповідний їм рівень коерцитивної сили, наведений у Додатку Б.

Відомо, що показання коерцитивної сили визначаються не тільки рівнем напружень, але й фазовим складом сплаву, як було показано в табл. 2.3. Оскільки аналізується модифікований висококомічний чавун, що кристалізується з досить великою швидкістю в металевій формі, то основною відмінністю у фазовому складі є частка фериту та цементиту. Представляє інтерес встановити, яка із цих фаз має максимальний внесок у зміну рівня показань коерцитивної сили, що дозволить без відбору зразків для металографічних досліджень визначити структуру металу за рівняннями регресії. Для оцінки впливу вмісту найбільш впливових компонентів (C і Si) на фазовий склад висококомічного чавуну аналізували ступінь їх вкладу шляхом планування експерименту Для цього використовували план експерименту 2<sup>2</sup> (табл. 2.5) [187-208].

Таблиця 2.5 – План експерименту 2<sup>2</sup>, що описує вплив фериту і карбідної складової (Ц+Ледебурит) на показники коерцитивної сили

Ф (x <sub>1</sub> )	К (x <sub>2</sub> )	Відгук Н <sub>c</sub> (y)	Вплив фериту більше на 20 % середнє $\sum H_c = 7,25$ $\sum + \sum - / 2$
+1	+1	5,4	
-1	-1	6,5	
+1	-1	3,9	
-1	+1	13,2	
$y = 7,25 - 5,2x_1 + 4,1x_2$			

Встановлено, що з підвищенням частки фериту вона інтенсивніше знижує рівень коерцитивної сили, ніж підвищує її цементит, що з'являється у вигляді невеликих включень.

Відсутність зерен феритної і карбідної складових (тобто якщо вони рівні «-1») характеризується перлітною основою металевої матриці, а графіт у модифікованому чавуні – кулястими включеннями.



Одночасно аналізували вплив нормалізації в мінливості структури та показань коерцитивної сили. Виміри коерцитивної сили виявили що, спосіб оцінки цієї характеристики (кільце або втулка) не впливають на рівень показників.

Значення розкиду показань в обох випадках вихідного стану не перевищує 23-28 %, а при нормалізації вони зростають, у середньому на 10-20 % на кільці (з 20-25 %) та втулках до 22-30 %. Отримані результати з достатньою точністю дозволяють робити аналіз проб (кільце), відібраних від втулок у литому стані.

Виміри  $H_c$  втулок виконані за їх верхом, середині та низу (табл. 2.6). Встановили, що розкид показань у кожній з цих зон у вихідних виливках не перевищує 0-0,4  $H_c$ ; 0-0,3  $H_c$ ; і 0-0,6  $H_c$  відповідно. При цьому, середній рівень показань змінюється лише по їхній висоті (табл. 2.7) в межах 6,4-6,6 А/см. Разом з тим, у верхніх зонах рівень має значення  $H_c = 4,9-7,3$  А/см; у середніх –  $H_c = 4,7-8,2$  А/см; а в нижніх –  $H_c = 5,0-8,6$  А/см (див. табл. 2.6), тобто спостерігається істотний розкид показань, що відповідає 50;74 і 72 %. Найбільший рівень відхилень у показаннях коерцитивної сили характерний середній та нижній зонам втулок, що підтверджує особливо важливе значення умов швидкості кристалізації при охолодженні втулок у різнотовщинній металевій формі (рис. 2.3).

Мінливість показань коерцитивної сили і твердості в достатній мірі відповідають вихідним значенням, що досягаються після лиття втулок.

Розкид показань коерцитивної сили має місце в різних зонах за висотою втулок на рівні 20-28 %, що може бути обумовлено зміною фазового складу, який визначається різною швидкістю їх кристалізації і якістю модифікування рідкого розчину.

Таблиця 2.6 – Результати вимірювань коерцитивної сили

№ п/п	№ втулки	Твердість	Верх			Сер.зн.	Середина			Сер.зн.	Низ			Сер.зн.	min	max	Загальне сер.зн.	Відхилення у хім. складі за компонентами
			5,6	5,4	5,7		5,6	7,8	7,9		8,2	8,0	7,6					
1	21159	196	5,6	5,4	5,7	5,6	7,8	7,9	8,2	8,0	7,6	7,8	8,6	8,0	5,4	8,6	7,2	-
2	21134	217	5,1	4,9	4,9	5,0	4,9	4,7	5,1	4,9	5,1	5	5,3	5,1	4,7	5,3	5,0	-
3	21139	217	6,6	6,7		6,7	6	6,2		6,1	6,2	6,4		6,3	6,0	6,7	6,4	-
4	21162	212	6,6	7	7	6,9	6,5	6,5	6,4	6,5	6,8	6,9	6,8	6,8	6,4	7,0	6,7	-
5	11124	248	7,2	7,1	7,1	7,1	6,9	6,9	6,9	6,9	7,1	7,1	7	7,1	6,9	7,2	7,0	Cu
6	21143	223	6,7	6,9	6,8	6,8	6,5	7,1	6,7	6,8	7,1	6,9	7,2	7,1	6,5	7,2	6,9	C, S
7	21133	212	6,6	6,4	6,1	6,4	5,4	5,4	5,4	5,4	6	6,3	5,9	6,1	5,4	6,6	5,9	Si, Mg, Cu
8	21132	212	5,2	5,5	5,6	5,4	5	5,1	5,2	5,1	5,5	5,7	5,6	5,6	5,0	5,7	5,4	Si, Mg, S
9	11125	241	6,8	6,8	6,8	6,8	7,7	7,8	7,9	7,8	8	8,1	8,1	8,1	6,8	8,1	7,6	S, Cu
10	1127	248	7,3	7,3	7,4	7,3	8	8	8,1	8,0	8,1	8,1	8	8,1	7,3	8,1	7,8	S, Cu
	min	196	5,1	4,9	4,9	5,0	4,9	4,7	5,1	4,9	5,1	5,0	5,3	5,1				
	max	248	7,3	7,3	7,4	7,3	8,0	8,0	8,2	8,0	8,1	8,1	8,6	8,1				
	Сер.зн.	223	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,7	6,5	6,8	6,8	6,9	6,8				
	Розкид, %	12	20	23	23	22	24	28	23	25	24	27	24	25				

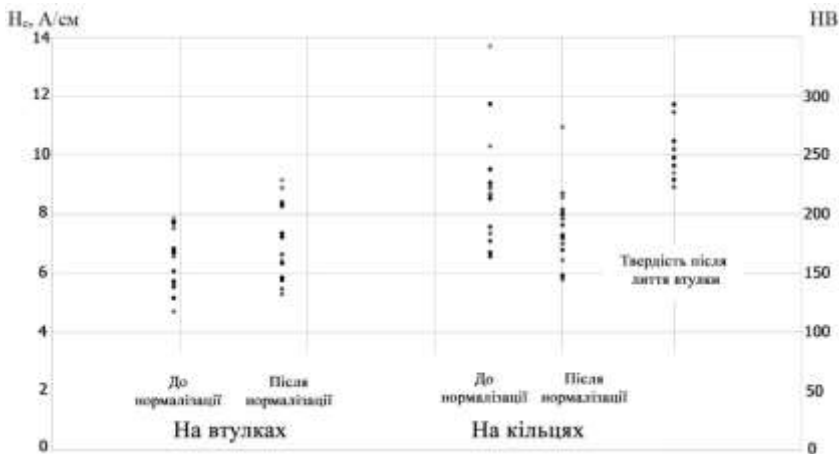


Рисунок 2.3 – Вплив способу обробки на зміну показників коерцитивної сили

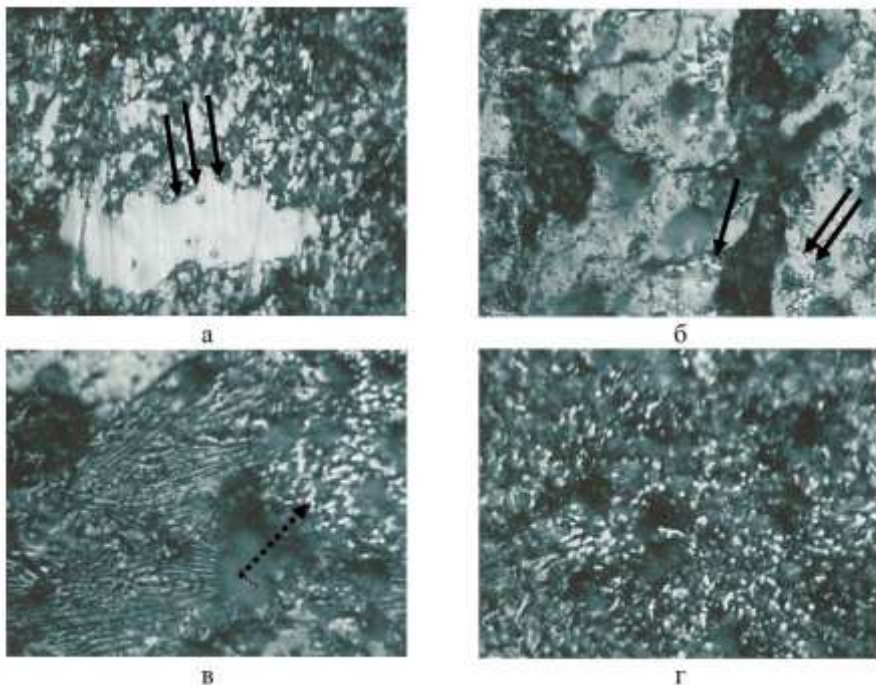
Таблиця 2.7 – Середні зміни показників  $H_c$  за висотою втулок

№ п/п	В*	С	$H_c$
1	5,6	8,0	8,0
2	5,0	4,9	5,1
3	6,7	6,1	6,3
4	6,9	6,5	6,8
5	7,1	6,9	7,1
6	6,8	6,8	7,1
7	6,4	5,4	6,1
8	5,4	5,1	5,6
9	6,8	7,8	8,1
10	7,3	8,0	8,1
Середній рівень показників	6,4	6,6	6,6

Примітка: В – верх втулки; С – середина; Н – низ

Аналіз мікроструктури на пробках (кільцях), відібраних від втулок гільз циліндрів після нормалізації показав, що великі включення цементиту і ледебуриту не змінюються (рис. 2.4, а,в), а – дрібні ізольовані та цементит перліту подрібнюються (див. рис. 2.4, б,г). У таких втулках зі структурно вільним цементитом крім кулястого графіту кристалізувалися і крапкові, пластинчасті виділення, що підтверджує порушення процесу модифікування

(SiMg) і недостатньою часткою таких компонентів у відповідних зонах.



- цементит у вигляді дрібних включень (б);
- цементит по границях зерен (б);
- грубі виділення цементиту (а);
- подрібнені включення цементита перліту (в, г)

Рисунок 2.4 – Структуроутворення після нормалізації  
випливіків,  $\times 1000$

Розв'язати проблему модифікування не складає особливої проблеми. Як було показано в розділі 1, використання нового покоління модифікуючих домішок зі стронцієм знижує схильність рідкого металу до демодифікації при тривалій витримці металу в ковші перед заливанням форм.

Більш складним виявилось завдання реалізації процесу однакової швидкості охолодження різних зон різновтовщинної металевої форми, яку використовували для випливіків втулок гільз циліндрів відцентровим методом.

Результати вимірювань  $H_c$ , наведені в табл. 2.5, не виявили яких-небудь переваг втулок або відсутності відхилень у вмісті компонентів в порівнянні з іншими, які їх мають. Тому найбільш значними на показання якості має фактор швидкості кристалізації.

## **2.2 Використання нових методів та підходів до досліджень**

Для детального вивчення структури різних зон при відновленні дефектів використовували новий підхід з оцінкою всіх формованих фаз по фотографіях різних збільшень і отриманих методом оптико-математичного описання, що дозволило обґрунтувати переваги запропонованої технології.

На протязі значного часу на кафедрі «Технологічні системи ремонтного виробництва» ХНТУСГ ім. Петра Василенка розроблялись нові методики та підходи до оцінювання і прогнозування якості різних деталей, згідно їх матеріалів, способів зміцнення, умов експлуатації та відновлення.

Дослідження якості відливок проводили за методом неруйнівного контролю, згідно рівня коерцитивної сили з визначенням структуроутворення оптико-математичним методом, для подальшої розробки новітніх, екологічних, менш витратних технологічних процесів виробництва.

Основною базою для оцінювання показників зміни структури та виникнення напружень, дефектів, було використання досвіду впливу на показники та спосіб вимірювання у дослідженнях [161] і, розроблений стандарт (Додаток Б). В залежності від розміру та задач вимірювань обирали зони оцінювань та тип магнітного перетворювача.

За допомогою магнітного аналізатора КРМ-Ц-К2М (рис. 2.5) виконували єдиний підхід комплексних досліджень до оцінки структури та напружень, згідно коерцитивної сили з розробкою бракувальних норм.

Для впливу різних факторів на результати вимірювань оці-

нювали: спосіб розташування перетворювача на деталях при проведенні експериментів; вплив якості поверхні, чутливість методу до змін структури та типу формуємих дефектів; зміни напружень, властивостей та навколишнього середовища.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд магнітного аналізатора КРМ-Ц-К2М з різними за розміром накладними перетворювачами

Вимірювання проводили згідно «СТАНДАРТА МІНАГРОПОЛІТИКИ УКРАЇНИ», який розроблено на кафедрі «Технологічні системи ремонтного виробництва» ХНТУСГ імені Петра Василенка та є чинним з 2008-03-01 (СОУ 29.32.4-37-532:2007).

Стандарт поширюється на деталі, металопрокат для потреб сільськогосподарського машинобудування та запасні частини до виробленої техніки, а також виробів, що потребують контролю якості при експлуатації. Він встановлює загальні вимоги та рекомендації з контролю якості, оцінки ресурсу за магнітною характеристикою – коерцитивною силою,  $H_c$  для деталей, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, в тому числі з чавунів.

Стандарт рекомендовано використовувати на підприємствах, які виготовляють, відновлюють та експлуатують сільськогосподарську техніку.

Стандарт включає посилання на ряд нормативних документів, які враховувалися при підходах до вимірювань. Це ДСТУ, стандарт ISO-9000, ГОСТи, а також включає загальні положення вимірювань неруйнівним контролем, порядок його проведення, обробку одержаних експериментальних вимірювань. Стандартом розглядаються чинники, які впливають на результати вимірювань: не виконання калібрування приладу; похибки оператора; недостатній об'єм вимірювань для обробки експериментальних показників; висока (> 30°C) та низька температура (до 10°C) навколишнього середовища; відхилення від обраної методики досліджень; форма та розмір зон вимірів; суттєва зміна хімічного складу, параметри обробки деталі та її залишкова намагніченість. Останні три фактори можуть характеризувати зміни при розвитку і ліквідаційних явищ, накопичення напружень, наявність сформованих дефектів. Для уточнення таких відхилень у різних зонах додатково використовували комплексні дослідження, згідно мікроструктурного та локального мікрорентгеноспектрального аналізу, оцінки механічних властивостей. В стандарті надається методика та підходи до статистичної обробки експериментальних вимірювань, якими користувалися при обробках експериментальних показників.

В даному розділі неруйнівний контроль за коерцитивною силою використовували для пошуку надійного зв'язку структуроутворення (фазових складових) та типу дефектів, які формуються при виробництві корпусних деталей з сірого чавуну. Це дозволяє у поєднанні з іншими методами досліджень (оцінкою механічних властивостей, мікрорентгеноспектрального локального аналізу та новими підходами до оптико-математичних методів опису фаз та дефектів – дислокацій) контролювати стабільність процесу виробництва та виявлять чинники, які впливають на відхилення у формуванні фазового складу та властивостей.

Прийнятий показник неруйнівного контролю якості дозволяє оцінити вплив швидкості кристалізації виливків, або їх зони, згідно зміни структури металу, форми та долі графіту, що суттєво

впливають на створення локальних напружень. Такий метод контролю можливо використовувати і для експрес сортування виливків для використання в різних умовах експлуатації.

Використання неруйнівного магнітного методу є особливо важливим, коли необхідно забезпечити зв'язок структура чавуну – механічні властивості з розкидом показників  $\leq 10\%$ .

Забезпечити надійний зв'язок між розглянутими параметрами можливо лише на основі статистичної обробки одержаних комплексних експериментальних показників якості продукції, що виробляється.

Підходи до статистичної обробки експериментальних даних наведені у СОУ (Додаток Б), а також захищені патентом України [161], який включає метод вимірювань характеристик за коерцитивною силою та створення бракувальних норм.

Оптико-математичний метод досліджень, що використовувався в роботі, відноситься до числа також комплексних методик тому, що базується на виявленні попередніх металографічних, електронікроскопічних, локальних спектральних оцінювань хімічного та фазового складу чавунів. Це особливо доцільно, коли розробляються новітні технології, що забезпечують виявлення структуроутворення при заварюванні дефектів у не технологічному матеріалі – сірому чавуні. Для зміни ступеню його технологічності використовували різні способи та параметри введення модифікуючої домішки, що є практично безкоштовною вторинною сировиною від утилізації боєприпасів, спеціально подрібнених та оброблених для можливості їх застосування.

Оптико-математичне дослідження вперше використовували не тільки для виявлення якісного та кількісного складу, різних зон відновленого шару, а і для пошуку, забезпеченню максимальних зав'язків однакових фаз між відновленою зоною наплавленням, перехідною, основою, бо це формує максимальну міцність зчеплення та мінімізацію напружень. Крім того, аналізували де- та як розташовуються неоднорідності напружень в зонах на-



плавлення. Одночасно аналізували вплив грубих включень графіту, які є місцем формування дефектних зон, що впливає на зміну дислокаційної структури і дифузійні процеси.

Методичний оптико-математичний підхід базувався на дослідженнях фотографій мікроструктур, одержаних на оптичному мікроскопі «МІМ-8М», електронному «YEOL JSM-6390LV», скануючому «YSM-820» Link «YEOL» зі збільшеннями від 70 до 1000 разів.

Для виявлення максимального зв'язку кольорів (однакових за хімічним складом фаз) між різними зонами досліджували комірки  $C(x, y)$  з різним числом пікселів ( $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $10 \times 10$  та інш.). Такі дослідження також проводили вперше. Комірка  $3 \times 3$  пікселя для розрахунків наведено на рис. 2.6.

Аналогічно формували і інші комірки з більшим числом пікселів.

Розрахунки фаз, згідно їх зв'язку у різних зонах та одержання гістограм, додатково проводили на основі аналізу комірок  $10 \times 10$  пікселів.

$$C(x, y) = \begin{pmatrix} C_{i-1, j-1} & C_{i-1, j} & C_{i-1, j+1} \\ C_{i, j-1} & C_{ij} & C_{i, j+1} \\ C_{i+1, j-1} & C_{i+1, j} & C_{i+1, j+1} \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.6 – Схема розташування пікселів навколо середнього, з номером строки  $i$  та стовпця  $j$ . Колір  $C_{ij}$  – середній у форматі *bmp* 256 відтінків

Методика оптико-математичного дослідження базується на положеннях гідродинаміки, де кожній координаті пікселя цифрового зображення надавали значення умовного кольору. Це відповідало абсолютному значенню лапласіану, який описував неоднорідність розподілу хімічних елементів та абсолютні значення дивергенції, що характеризували щільність фрагменту. Для цього використовували показники, які описують локальні диференційні співвідношення між умовними кольорами, оціненими

згідно кінцевих різницевих показників. Розрахунок таких показників проводили на основі диференційних рівнянь Нав'є-Стокса, які представлені в роботі у вигляді змінюючих функцій потоку та вихрю у кінцево-різницевій формі [163-165]. Такі показники використовували для одержання гістограм інтегрального розподілу відповідних структур у кожному фрагменті зображень, що відповідали якісним показникам (характеристикам) оцінки структури.

Отримані у форматі *bmp* фотографії мікроструктур з сірого чавуну розміром 1300×1000 пікселей оброблялися за допомогою комп'ютера. Цей формат має 256 кольорів від 0 до 255 включно. Таке число пов'язане з представленням кольорів в пам'яті комп'ютера за допомогою кольорової моделі RGB. Для представлення всіх можливих кольорів і відтінків використовуються комбінації трьох основних кольорів: червоного (R), зеленого (G) і синього (B). Кожен компонент в моделі RGB кодується числом, яке показує насиченість цього компоненту. Причому, число градацій (відтінків) кожного компонента залежить від того, скільки пам'яті виділяється для зберігання його двійкового коду в пам'яті комп'ютера. Традиційно використовувалася 24-бітна модель RGB, де на кожен компонент виділяється по 8 біт. Відповідно у кожного з базових кольорів є  $2^8 = 256$  відтінків. Сірий колір являє собою змішування всіх трьох базових кольорів в рівних пропорціях, тому у нього теж 256 відтінків.

Фотографії мікроструктур у форматі *bmp* оцифровувалися у формат *pgm* (формат зображення у відтінках сірого) для розрахунку програмою, що було необхідно через особливості роботи обчислювальної апаратури.

Програма обчислює одну фотографію близько 40 хвилин та видає в файл по кожному фрагменту його координати, кількість сполучень, номери кольорів, що входять в поєднання, середню кількість пікселів, що входять в поєднання, і відсоток поєднання всередині фрагмента 10×10. Розміри файлів отриманих результатів становили близько 3,5 мегабайт.

На першому етапі роботи 256 кольорів розподіляли на 17

інтервалів, а потім при відсутності деяких з них проводили їх об'єднання. Згідно досліджень, кольори 1-2 були віднесені до графіту; 3-10 до феритних фаз; 11-17 до карбідних.

Аналізом оптико-математичним методом досліджували фотографії мікро- та електронних зображень структур для того, щоб оцінити однорідності розподілу фаз та виявити такі, які забезпечать найбільший зв'язок між локальними зонами відновлення та основним (вихідним) чавуном.

Зміну дислокаційної структури, яку попередньо виявляли вакуумним травленням, навколо зон грубих графітових включень, що піддаються напруженням після відливання деталей з сірого чавуну, вперше вивчали в умовах виникнення дефектів від локальних деформацій та окислення. Наклеп від дій цих факторів сприяє підвищенню вільної енергії за рахунок зростання пластичної деформації та подальшого зменшення її при розвитку дефектів (дислокацій), їх упорядкування (формування стінок, комірок). Комплексні дослідження та підходи до вивчення впливу змін, згідно щільності дислокаційної структури, детально представлені в 5 розділі роботи. У якості критерію, що описує зміни дислокаційної структури, її щільність, використовували енергетичний параметр – міцність дисипації енергії [165]:

$$M = D(x, y) \cdot L(x, y), \quad (2.1)$$

який представлено у вигляді зв'язку дивергенції та лапласіану функцій  $C(x, y)$ , де  $x, y$  – координати точок металографічного зображення.

При цьому дивергенція

$$D(x, y) = \operatorname{div} C(x, y) = \frac{\partial C(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial C(x, y)}{\partial y} \quad (2.2)$$

описує щільність фрагменту зображення (зон ущільнення та розрядження)

$$L(x, y) = \Delta C(x, y) = \frac{\partial^2 C(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C(x, y)}{\partial y^2} \quad (2.3)$$

а лапласіан – дифузю хімічних компонентів.

В цьому випадку  $C(x,y)$  у кінцево-різницевого вигляді буде мати матрицю  $3 \times 3$  пікселі, згідно рис. 2.6.

Обробку такої матриці виконували при послідовному скануванні кожного пікселю і  $C_{ij}$  розглядається як середній. В якості координати використовували цей піксель центрального зображення.

Кінцево-різницеві представлення  $D(x, y)$  та  $L(x, y)$  будуть мати вигляд:

$$D_{ij} = C_{ij-1} - 2C_{ij} \quad (2.4)$$

$$L_{ij} = C_{ij-1} + C_{i-1j} + C_{ij+1} + C_{i+1j} - 4C_{ij}, \quad (2.5)$$

Переглянемо

$$M_{ij} = (C_{ij-1} + C_{i-1j} + 2C_{ij}) \cdot (C_{ij-1} + C_{i-1j} + C_{ij+1} + C_{i+1j} - 4C_{ij})$$

Для детальної оцінки структуроутворення та його зміни досліджували формування зон стиснення та розрядження. Для цього використовували інший підхід до оцифрування фотографій. Це схема досліджень пікселів:

$$\begin{array}{l} \cdot 3 \cdot 4 \\ \cdot 2 \cdot 1 \end{array} \quad (2.6)$$

В кожній точці фотографій структур попередньо розраховували значення лапласіанів. Їх оцінювали згідно п'яти точок різницевої схеми:

$$\begin{array}{l} \cdot 3 \\ \cdot 2 \cdot 1 \cdot 4 \\ \cdot 5 \end{array} \quad (2.7)$$

$$L_p = c_2 + c_3 + c_4 + c_5 - 4 \cdot c_1 \quad (2.8)$$

Дивергенцію оцінювали згідно формули

$$D_v = c_2 + c_3 - 2 \cdot c_1 \quad (2.9)$$

Одержані результати як за лапласіанами так і за дивергенціями може бути більше або менше нуля. Однак, алгебраїчна їх сума по висоті фотографії практично дорівнює нулю (за випадком граничних умов).

Наприклад, для дивергенції:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij-1} - 2c_{ij} + c_{i-1j}) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(c_{ij-1} - c_{ij}) + (c_{i-1j} - c_{ij})] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij-1} - c_{ij}) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (c_{i-1j} - c_{ij}) = \\ &= \sum_{i=1}^m (c_{i1} - c_{im}) + \sum_{j=1}^n (c_{1j} - c_{mj}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

При цьому слід враховувати, що в кожній сумі має бути місце:

$$a_1 - a_2 + a_2 - a_3 + \dots - a_{n-1} + a_{n-1} - a_n = a_1 - a_n \quad (2.11)$$

Тому при використанні співвідношення абсолютних значень, які наведені вище сум до їх абсолютних значень дивергенції по всій фотографії, що аналізується буде менше цих значень, оскільки доля приграничних точок суттєво відрізняється (на порядок):

$$2(m + n)/(m \cdot n) \cdot A, \quad (2.12)$$

де  $A$  – може дорівнювати  $\approx 1$ .

Співвідношення, згідно приграничних пікселів, дорівнює значенням середніх по всій фотографії. Для надійності оцінок введено додаткову умову теореми: коли  $A$  на порядок менше  $2(m + n)$ , то більш вузький інтервал дивергенцій наближає їх до нуля. Аналогічно це характерно і для лапласіанів.

Використана теорема та зроблені уточнення до неї дозволяють додатково конструювати цілий клас формул при сусідніх кольорах таких, що сума коефіцієнтів при кольорах дорівнювала нулю. В цьому випадку значення одержаних рівнянь для дивергенцій та лапласіанів також буде дорівнювати нулю, за виключенням граничних значень. Такий розподіл оцінок, поділений на суму абсолютних значень, може бути віднесений також і до показників нейтральності. Розрахунки нейтральностей виконані у комітках  $2 \times 2$  пікселі. Стосовно таких комірок формула для розрахунків нейтральності мала вигляд:

$$N_l = \frac{|l_1 + l_2 + l_3 + l_4|}{|l_1| + |l_2| + |l_3| + |l_4|} \quad (2.13)$$

Для оцінки неоднорідності при формуванні дислокаційної

структури різної її щільності досліджували фотографії сірого чавуну у зонах локальних деформацій в процесі вакуумного травлення при різних температурах від 200 до 600°C.

При виявленні деформаційних зон були оцінені середні значення потужності дисипації енергії на всьому відображенні.

Оскільки при деформації енергетичний стан металу не є рівноважним, то згідно розрахунків такому параметру відповідали значення, що будуть відрізнятися знаками.

Стан з підвищеною щільністю дислокацій відповідав стищенню та оцінювався зі знаком «плюс», а малою – знаком «мінус» (зони скидання напружень). Одноразово знаходили зони з абсолютними значеннями потужності дисипації, що характеризують процес у цілому. Що стосується фазового складу змін у чавунах корпусів при їх відновленні та розрахунках гістограм з використанням оптико-математичних методів, при різних варіантах модифікування рідкого розчину, то вони докладно наведені у розділі 2.3.

### **2.3 Вплив дефектів корпусних виливків із сірого чавуну на рівень їх якості**

Статистичні дослідження вимірювань коерцитивної сили на деталях із сірого модифікованого чавуну виконані на корпусах роздавальної коробки, (71 відливка) і картерах коробки зміни передач (148 відливок), проведених в умовах ВАТ «ХТЗ». Встановлено, що для перших деталей цей показник змінюється в межах 4,3-8,0 А/см (табл. 2.8 і 2.9), а для других – 5,0-9,4 А/см (табл. 2.10, 2.11).

Перша група деталей виготовлена із чавуну СЧ15, де підвищена сумарна концентрація вуглецю і кремнію, що призвело до збільшення частки графіту та фериту. Такий чавун характеризується більш низькими показниками коерцитивної сили.

Друга група деталей виготовлена із чавуну марки СЧ20, де підвищена коерцитивна сила і знижена частка графіту та фериту (основа металевої матриці – перлітна складова).

Обидва типи деталей мають близьку товщину стінок, що характеризує формування подібних умов кристалізації.

Із статистичного аналізу випливає, що стабільній і якісній структурі металу відповідають показники коерцитивної сили на рівні 7,0-9,0 А/см. Відхилення нижче нижньої межі показань може бути пов'язане зі збільшеною часткою фериту та наявністю скупчень графіту. Це особливо характерно при зміні коерцитивної сили до рівня 4,3-6,0 А/см.

При показниках коерцитивної сили вище верхньої межі  $\geq 8,0$  А/см, що відповідає і для деталей з високоміцного чавуну (див. розділ 2.1), у структурі може з'являтися вільний цементит. Виявлені відхилення в сірому чавуні супроводжуються появою дефектів: піщаних включень і газових ситоподібних порожнин, тріщин, які виявлені на «зразках-свідках» з коерцитивною силою рівною  $\geq 10$  А/см (табл. 2.12).

Вимірюваннями коерцитивної сили на першому етапі оцінювали ступінь впливу показань на анізотропію властивостей різних поверхонь виливків, їх конструктивних відмінностей і дефектів, які тільки їм відповідають. Схема вирізки зразків для досліджень наведена на рис. 2.7

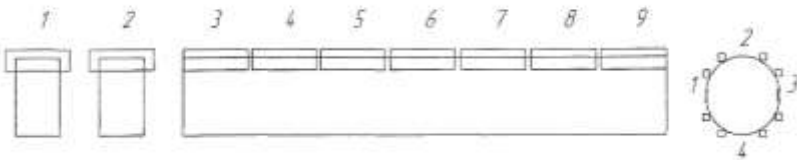


Рисунок 2.7 – Зони вимірювань коерцитивної сили і місця вирізки зразків для досліджень із різними дефектами

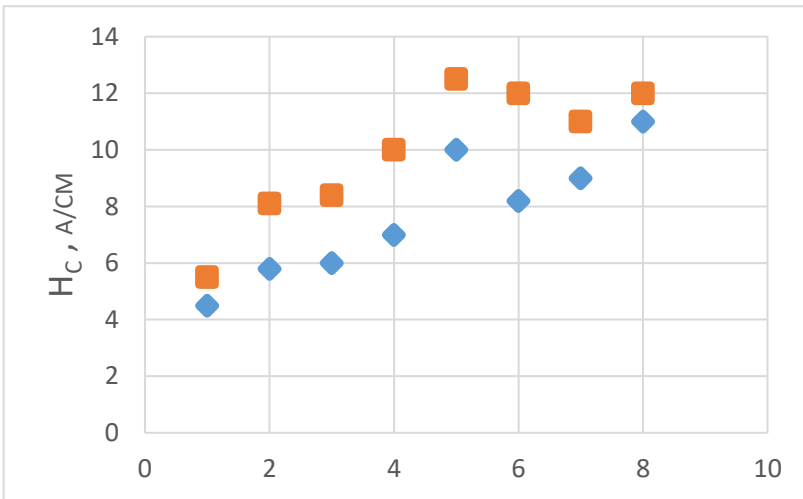
Аналізуючи табл. 2.8 і 2.11, 2.13, які дозволяють оцінити якість корпусів роздавальної коробки зміни передач і картерів коробки зміни передач випливає, що анізотропія властивостей у них практично відсутня. Це характерно як для зовнішньої, так і внутрішньої поверхні виливків, а також конструктивних особливостей вимірюваних зон. Тому при подальших дослідженнях вимірювання робили тільки в одному напрямку.

Середні показники  $H_c$  по зовнішній поверхні корпусів роздавальної коробки зміни передач становлять 4,8 А/см, (4,2-5,6 А/см), а внутрішньої 6,38 А/см (5,2-8,0 А/см). Така відмінність у неоднорідності властивостей обумовлена різною схильністю до формування дефектних зон при кристалізації. Вплив конструктивних особливостей проявляється в меншій мірі, оскільки в зоні ребра  $H_c = 5,2-5,3$  А/см (див. табл. 2.8), що відповідає показникам зовнішньої поверхні.

У зонах з дефектами (неслітин) коерцитивна сила підвищується. Найбільше підвищення (табл. 2.9) відмічається в зонах, що близько розташовані до неслітин і в них самих.

У зонах розташування неслітин коерцитивна сила стабільно висока 10,4 ÷ 11,3 А/см, що дозволяє, виходячи з досвіду контролю, виявляти істотне порушення суцільності.

На рис. 2.8 наведені граничні показники коерцитивної сили вимірювань в різних зонах, що відрізняється якісними показниками.



- 1,2 – зовнішня і внутрішня поверхні без дефектів відповідно;  
 3,4 – теж саме в зонах ребер; 5 – неслітин; 6 – тріщин;  
 7 – газових порожнин; 8 – зонах зварювання

Рисунок 2.8 – Граничні показники зміни коерцитивної сили в залежності від якості корпусних деталей з сірого чавуну



Наявність дефектів збільшує не тільки розкид показань, а і їх рівень, де  $H_c$  змінюється до 10-50 %. При цьому максимальні показники характерні для зон з тріщинами та неслітинами, що дозволяє ідентифікувати ці дефекти. Високі показники характерні і для зони заварювання дефектів ( $H_c = 9,6-10,1$  А/см).

Аналогічна картина неоднорідних показників коерцитивної сили була виявлена і у литій пробі з такого чавуну ( $\varnothing 30$  мм,  $L = 25$  мм), де коливання  $H_c$  складали 7,8-10,9 А/см. (табл. 2.12 і рис. 2.5).

Таблиця 2.8 – Корпус роздавальної коробки

№	Вимірювання поперетину	Поздовжні вимірювання	Візуально визначений дефект або місце вимірювання
1	4,4	4,5	Зовнішня поверхня
2	4,8	4,7	-
3	4,4	4,4	-
4	4,5	4,6	-
5	5,0	5,2	-
6	5,0	4,9	-
7	5,0	5,2	-
8	4,7	4,7	-
9	4,5	4,9	-
10	5,3	5,6	-
11	4,9	4,6	-
12	5,4	5,1	-
13	4,2	4,3	-
14	4,6	4,7	-
15	4,6	4,5	-
16	5,0	5,0	-
<b>Середні значення</b>	<b>4,75</b>	<b>4,8</b>	
1	5,8	5,7	Внутрішня поверхня
2	5,2	5,3	Ребро
3	6,4	6,7	-
4	5,9	6,2	Ребро
5	7,9	8,0	
6	7,3	7,6	-
7	5,5	5,7	-
<b>Середні значення</b>	<b>6,28</b>	<b>6,45</b>	

Різні умови кристалізації

Таблиця 2.9 – Корпус роздавальної коробки зміни передач

№	Вимірювання по перетину	Візуально визначений дефект
1	7	-
2	6,9	-
3	6,9	-
4	7,1	-
5	7,6	-
6	8,3	Стик (мікротріщини)
7	8,6	-
8	8,6	-
9	8,7	-
10	8,7	-
11	7,8	-
12	7,2	-
13	7,5	-
14	7,2	-
15	7,7	-
16	7,8	-
17	9,0	-
18	9,2	-
19	9,0	-
20	9,1	-
21	9,4	-
22	8,6	Рєбро
<b>Середні значення</b>	<b>8,08</b>	
		Окрема визначена неслїтина
1	10,9	Центр зони
2	11,3	Праворуч від зони
3	10,4	Лїворуч від зони
<b>Середні значення</b>	<b>10,86</b>	

Таблиця 2.10 – Картер коробки зміни передач

№	Вимірювання по перетину	Візуально визначений дефект
1	8,4	-
2	9,0	-
3	8,5	-
4	8,3	-
5	7,8	-
6	7,8	-
7	7,7	-
8	8,0	-

## Продовження табл. 2.10

9	8,6	-
10	6,8	-
11	8,8	Тріщина
12	7,8	
13	7,5	-
14	9,1	Не глибокі газові порожнини
15	9,4	
16	8,6	
17	8,8	-
18	8,9	-
19	8,9	-
<b>Середні значення</b>	<b>8,35</b>	
1	7,3	Рибриста поверхня
2	6,9	
3	6,7	
4	5,7	
5	6,7	
<b>Середні значення</b>	<b>6,6</b>	

Таблиця 2.11 – Картер коробки зміни передач

№	Вимірювання по перетину	Поздовжні вимірювання	Візуально визначений дефект
1	5,1	5,1	-
2	5,0	5,1	-
3	5,7	5,7	-
4	6,3	6,4	-
5	5,9	6,0	-
6	5,6	5,6	-
7	6,2	6,1	-
8	6,6	6,7	-
<b>Середні значення</b>	<b>5,8</b>	<b>5,8</b>	

Таблиця 2.12 – Відлита «проба-свідок»

№ п.п	Зони вимірювання								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10,1	10,9	9,3	8,9	8,4	8,4	8,6	8,4	7,8
2	9,8	10,0	9,0	8,8	8,6	8,4	8,4	7,9	8,3
3	10,4	10,6	9,4	8,6	8,4	8,4	8,2	8,0	8,3
4	10,2	10,6	8,9	8,6	8,4	8,4	8,1	7,9	8,0
<b>Середнє значення</b>	<b>10,13</b>	<b>10,53</b>	<b>9,15</b>	<b>8,73</b>	<b>8,45</b>	<b>8,4</b>	<b>8,33</b>	<b>8,05</b>	<b>8,1</b>

Для точного визначення бракувальних норм виливків з дефектами вирізані шліфи для металографічних досліджень і локального рентгеноспектрального аналізу, із литої проби з різним рівнем властивостей, оскільки є припущення також і про нестабільну якість металу по розподілу вуглецю та кремнію (входить до складу модифікатора), а також неоднорідної кристалізації вуглецевмісних фаз.

Одночасно виконані дослідження з оцінки якості заварки дефектів (табл. 2.13). В зонах, де вона не виконувалася коерцитивна сила змінювалася в межах 4,7-6,4 А/см, що визначалося долею феритної складової та графіту. Така технологія використовується на ВАТ «ХТЗ» для зачищення і наступної заварки дефектів. Для цього на першому етапі перевіряють кількість дефектів і за крейдовими позначками зон встановлюють деталь вручну або краном у зручне для заварювання положення.

Заварку слід виконувати ручним дуговим заварюванням або напівавтоматичним методом без підігріву деталі. Для ручної заварки дефектів ефективні електроди з монель-металу ГОСТ 492 без обмазки, МНЧ-1 ГОСТ 9466 діаметром 3...5 мм. Для напівавтоматичної використовують самозахисний дріт ПАНЧ-11 по ТУ 48-21-597, діаметром 1...2 мм.

Ручну заварку слід виконувати на постійному струмі зворотної полярності, напівавтоматичну – на постійному струмі прямої полярності.

Заварку дефектів починають із встановлення режиму з малою погонною енергією (струм і швидкість процесу повинні бути мінімальними). Використовувані режими заварки дефектів, наведені в табл. 2.14.

Для виключення появи гарячих тріщин силу струму більшу 200А застосовувати не рекомендується. При напівавтоматичному заварюванні дротом ПАНЧ-11 виліт електрода відповідає 15...20 мм, а оптимальна напруга дуги – 14,5-18 В.

Заварку виконують невеликими ділянками довжиною 40-60 мм. Після обриву дуги, наплавлений метал у гарячому стані

рекомендується проковувати легким деформуванням цієї зони молотком. Відновлюють заварку тільки після охолодження наплавленого валика до 60-80°C.

Валики ефективно наплавляти послідовно в різних ділянках деталі де є дефекти, що підлягають виправленню.

Таблиця 2.13 – Картер коробки зміни передач

№	Вимірювання по перетину	Поздовжні вимірювання	Візуально визначений дефект та місця вимірювань Нс
1	6,4	6,3	-
2	6,4	6,4	-
3	5,7	5,8	-
4	6,7	6,8	Зона поблизу зварювання
5	7,5	7,4	Край зони зварювання
6	9,7	9,6	Зона зварювання
7	6,1	6,4	Зона зварювання
8	5,2	5,3	-
9	5,0	4,9	-
10	4,6	4,6	Товстостінна зона 3,5 см
11	6,1	6,0	Товстостінна зона 3,5 см
12	5,1	5,3	Товстостінна зона 3,5 см
13	4,7	4,7	-
14	7,1	7,1	Ребриста поверхня усередині виливка
15	5,9	5,8	-
16	5,5	5,5	-
17	5,4	5,8	-
18	5,2	5,3	-
19	5,6	5,7	-
20	5,6	6,1	Зона поблизу зварювання
21	10,1	9,8	Зона зварювання
22	5,2	5,1	Товста стінка виливка 3,5 см
23	6,2	6,2	Товста стінка 3,5 см
24	5,0	5,1	Товста стінка 3,5 см
25	5,1	5,2	-
26	5,9	5,9	Товста стінка 4 см
27	5,5	5,4	Товста стінка 4 см
<b>Середні значення</b>	<b>5,7</b>	<b>5,76</b>	

Таблиця 2.14 – Режими заварювання дефектів

Матеріал	Діаметр, мм	Сила струму, А
Дріт ПАНЧ-11	1,2	110-140
Прутки з монель-металу	3	100-120
	4	120-140
	5	160-190
	3	90-110
Електрод МНЧ-1	4	120-140
	5	160-190

На ділянках, відновлених зварюванням, коерцитивна сила зростає до 9,6-9,8 А/см, що свідчить про структурні зміни і підвищений рівень напружень. У ділянках дефектів, що прилягають до зони заварки, структурні зміни і рівень напружень різні. Так, коерцитивна сила в ряді випадків не перевищує 6,1-6,8 А/см, а з дефектами досягає 9,6-10,1 А/см (табл. 2.13), що пов'язано з додатковим утворенням тріщин при заварюванні дефектів у не технологічному матеріалі – сірому чавуні.

Враховуючи істотну мінливість показань коерцитивної сили, слід оцінити вплив структурного фактору і встановити основні оптимальні параметри технологічного процесу виробництва таких виливків, що відповідні за розвиток дефектоутворення. Для одержання уявлення про особливості структуроутворення, обумовленого за показниками коерцитивної сили, були відібрані проби металу, у якого коерцитивна сила відповідала максимальним і мінімальним значенням цієї характеристики (8,5 А/см і 10,5 А/см відповідно).

На першому етапі досліджень оцінювали хімічний склад проб (табл. 2.12). Оцінку виконували на основі мікрорентгеноспектрального аналізу. Враховуючи той факт, що метод мікрорентгеноспектрального аналізу не дозволяє точно оцінити концентрацію вуглецю, то вміст цього компоненту враховували лише по розкиду значень його вмісту в зіставлюваних пробах. Достовірність за вмістом інших компонентів не викликає сумнівів.

У табл. 2.15 представлені всі компоненти, які виявлені в 2х

зонах: у поверхні проби  $\varnothing$  30 мм, що чітко відповідає показанням обмірюваної коерцитивної сили, а також, оцінені в середній частині цього ж перерізу.

З аналізу видно, що по концентрації вуглецю його частка коливань не перевищує, відповідні до вимог ТУ. Найбільш істотні відхилення характерні для основних елементів: кремнію і марганцю, що пов'язане з їхньою ліквідацією в результаті нерівномірного засвоєння модифікатора (має місце як зональна ліквідація, так і мікроліквідація, що виявлена локальним спектральним аналізом). Незадовільне модифікування викликає й неоднорідний розподіл шкідливих домішок – сірки і фосфору, що також характеризує їхню зональну та локальну мікроліквідацію. При цьому частка цих компонентів у досліджуваних зонах змінюється від 0 % до 0,44...0,53 %, що в ряді випадків перевищує вимоги ТУ в 2,6-3,0 рази.

Неоднорідний розподіл компонентів суттєво позначився і на структурі сірого чавуну. Металографічними дослідженнями показано, що біля поверхні в обох випадках при великій швидкості кристалізації формується ферито-перліто-графітна структура з великою часткою м'якої складової. Відмінність полягає лише в товщині включень графіту. Вони грубіше при більш високих показниках коерцитивної сили. Така форма графітових виділень відповідає і середній частині виливка, однак частка фериту суттєво знижується. Співвідношення структурних складових наведено в табл. 2.16.

З наведених даних видно, що по-різному розподіляється частка графіту. Крім того, основна відмінність виявлена і у розмірі таких включень.

Зважаючи на те, що вміст основних хімічних елементів у поверхні порівнюваних зразків практично мало відрізняється, а також середня частка фериту близька, основна відмінність у коерцитивній силі визначається виділеннями відмінної форми і кількістю графіту (рис. 2.9).

Таблиця 2.15 – Вміст компонентів у досліджуваних зразках і вимоги до чавуну, відповідно діючої нормативно-технологічної документації\*

Характеристика проби і вимоги по ТУ	Хімічний склад, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Ti	V	O <sub>2</sub>
Проба з мінімальними показниками Н <sub>c</sub>										
- біля поверхні	19,87	1,35	0,68	-	-	-	0,25	0,01	0,11	1,17
- у середині	30,92	3,13	2,60	-	-	0,46	0,53	0,16	0,41	2,69
Проба з максимальними показниками Н <sub>c</sub>										
- біля поверхні	18,47	1,42	0,81	0,11	-	0,27	0,09	-	-	3,41
- у середині	24,48	1,37	0,83	0,08	-	0,16	-	0,05	0,09	1,17
<u>Вимоги ТУ</u> ко- ливання відхи- лень, %	<u>3,1-</u> <u>3,4*</u> 10	<u>1,9-2,8</u> 10-29	<u>0,6-0,9</u> 30-50	до 0,3	до 0,2	до 0,14	до 0,2	-	-	-
Фактичні відхи- лення в пробах від ТУ, %	6,0- 11,0	Жодне значення не відповідає ТУ ни- жче на 29 % і вище на 10 %	В 3 рази вище в од- ному випа- дку	-	-	У трьох випад- ках вище норми на 14-20 % і в 3 рази	У двох випад- ках більше на 4 % і в 2, 6 рази	Не обу- мов- лено ТУ	Не обу- мов- лено ТУ	Не обу- мов- лено ТУ

\* – примітка: чисельник – припустимі межі за ТУ; знаменник – межі відхилень.



Таблиця 2.16 – Співвідношення структурних складових\*

Характеристика зразка	Структурні складові		
	Графіт, %	ферит, %	перліт, %
Мінімальні показники $H_c$	5,0-7,0	12,0-15,0 (біля поверхні*) 20,0-25,0 (по центру)	Решта
Максимальні показники $H_c$	12,0-20,0	20,0-25,0 (біля поверхні*) 8,0-10,0 (по центру)	Решта

\* – примітка: у цьому випадку оцінювали відстань від поверхні до 1,5 мм, що трохи менше ніж зона аналізу, яка входить до показника коерцитивної сили.



а



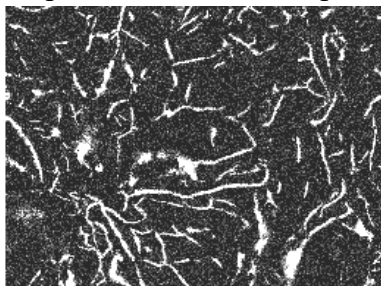
б

Рисунок 2.9 – Форма і кількість графіту в чавуні з низькою (а) і високою (б) коерцитивною силою,  $\times 60$

Металографічні та рентгеноспектральні дослідження показали, що в чавуні з більш грубими включеннями графіту та розташованими поблизу їх неметалевими включеннями (оксиди), і наявність тріщин у вигляді надривів. Їхню появу біля поверхні слід пояснити порушеннями підготовки форми та ливникової системи. Можливо припустити, що наявність вологи у покритті форми, яка контактує з рідким металом, утворює газу, які проникають, у першу чергу, до грубих включень графіту (рис. 2.10 а і б, 2.11 спектри 1 і 2) і «підривають» його. Методом мікрорентгеноспектрального аналізу та емісійною мікроскопією показано (рис. 2.11-2.15), що біля поверхні такого виливка і у його середині по перерізу виявлено від 1,0 до 34,4 %  $O_2$ , а також оксиди Fe і неметалічні включення: (Si+MnS); (MnFe) O та закис – окис марганцю

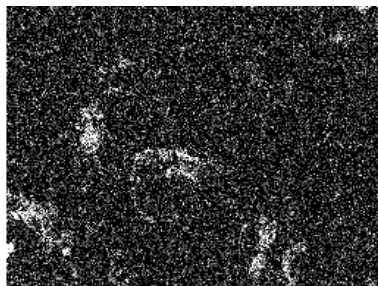
## MnSiO<sub>3</sub> і ортосилікат марганцю (Mn<sub>2</sub>SiOH)

При цьому, частка оксидів суттєво більша в зразках з найбільш високою коерцитивною силою. Включення оксидів (FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) виявлені і у середній частині перерізу такого виліва. У більшій мірі вони розташовуються в перлітній складовій (див. рис. 2.11, 2.12 спектри 1, 2).



C Ka1\_2

а



O Ka1

б

а) – графіт, б) – кисневі включення у графіті, × 100.

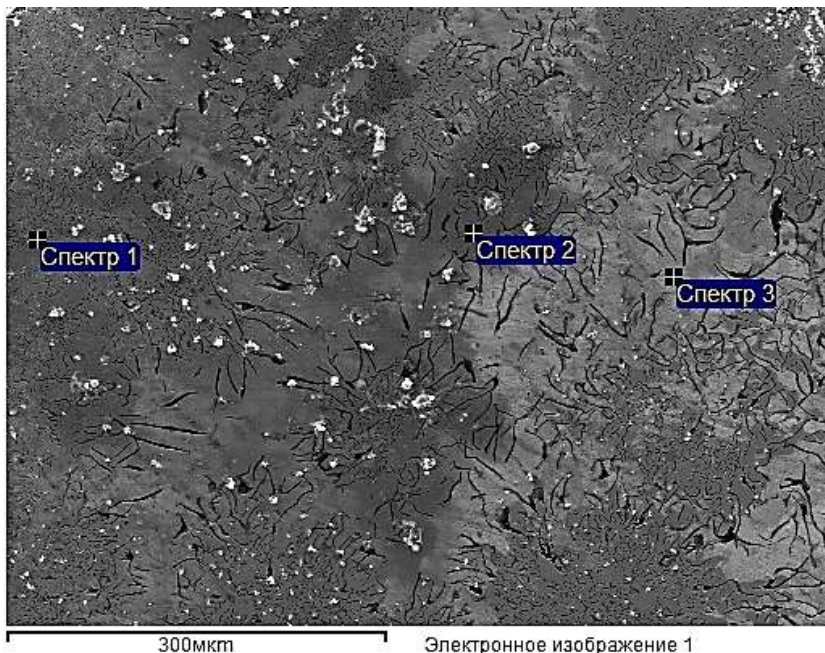
Термоелектронна емісія

Рисунок 2.10 – Наявність кисню в графіті

Аналіз тріщини за графітом виявив, що в них міститься до 90,94 %C; 3,83 %O<sub>2</sub> і всього 2,13 %Fe (аналізом захоплена матриця). Виявлені так само сульфіді і фосфіди (FeS, MnS, FeP<sub>2</sub>) поблизу тріщин, де концентрація S і P досягають 0,46 і 0,53 % відповідно (рис 2.15). У цій корпусній деталі з мінімальними показниками H<sub>c</sub> у середній частині проби виявлені легуючі домішкові компоненти: до 0,40 % Ti і 0,48 %V. Крім того, у досліджуваній пробі виявлена тріщина по графіту. У зоні руйнування (див. рис. 2.10) підвищена концентрація Si (до 3,13 %), Mn (до 2,60 %) і O<sub>2</sub> (до 2,69 %).

Вивчений розподіл компонентів по границях первинного зерна. Показано, що в них підвищена частка фосфору, сірки, ванадію (0,32 %), титану (0,21 %), марганцю (1,04-1,74 %) і мінімальна концентрація вуглецю. Враховуючи таку підвищену концентрацію шкідливих домішок і – карбідотворюючих компонентів, можна припустити, що це є сприятливим середовищем для

розвитку тріщин, які зародилися в графіті. Розподіл компонентів по границях зерен підтверджують дослідження термоелектронної емісії.



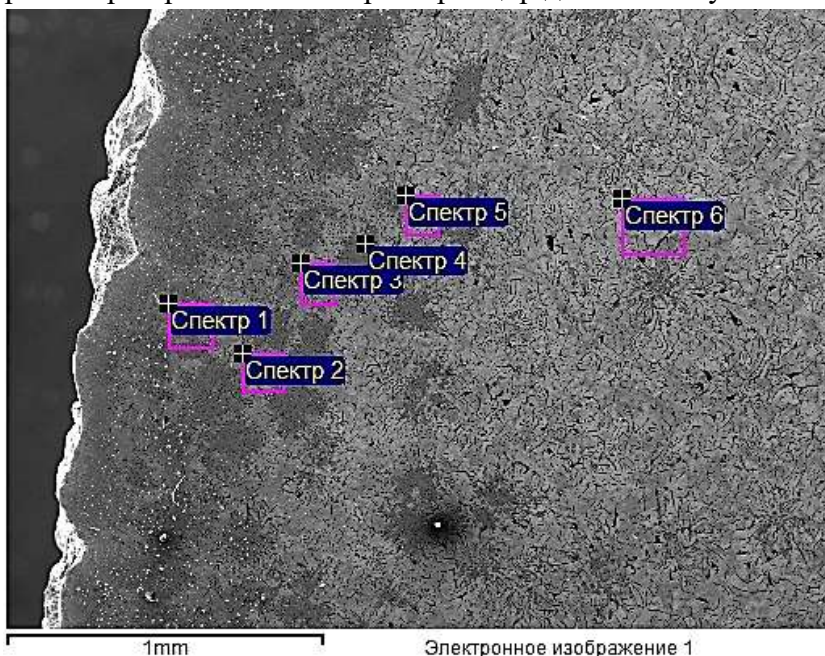
Спектр	C	O	Si	P	S	Cr	Mn	Fe
Спектр 1	13,14	34,40	0,97	-	0,20	-	0,39	50,90
Спектр 2	8,43	4,57	1,95	-	-	-	0,55	84,50
Спектр 3	7,43	-	1,47	0,17	-	0,18	0,99	89,76

Рисунок 2.11 – Мікроструктура середньої зони проби і розподіл оксидів. Термоелектронна емісія

Виявлена істотна неоднорідність і в розподілі сірки. Незалежно від аналізованих зон і досліджуваних виливків її концентрація змінюється в межах від 0 до 0,49 %. Причому, у випадках підвищеної концентрації сірки від 0,27 до 0,49 %, має місце і збільшення – марганцю від 0,83 до 2,6 %. Це свідчить про формування включень MnS [209].

У виливках, менш схильних до поверхневого тріщиноутворення, додатково виявлені в локальних зонах середньої частини по перерізу наступні компоненти, %: 0,29 Al; 0,18 Mg; 0,11 Cl; 0,10 K; 0,21 Na; 0,12 Ca (див. рис. 2.13). Можна припустити,

що метал цих виливків модифікували, введенням комплексного модифікатора, та судячи за долею вмісту компонентів, вони теж нерівномірно розчинилися при обробці рідкого металу.



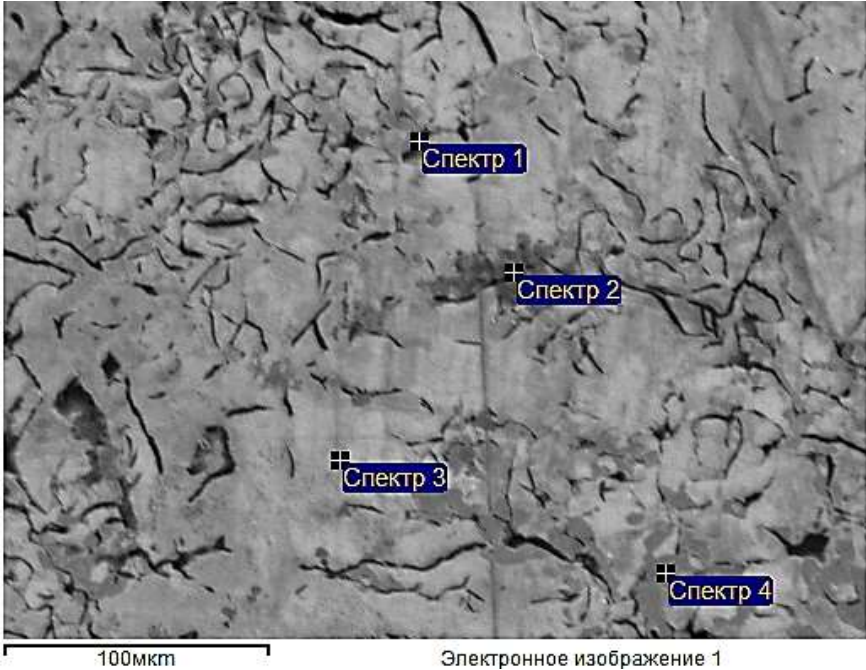
Спектр	C	O	Si	P	S	Cr	V	Ti	Mn	Fe
Спектр 1	19,67	1,81	1,63	0,06	0,34	-	0,04	-	0,94	75,51
Спектр 2	18,70	1,35	1,40	0,04	0,11	0,09	0,04	-	0,75	77,51
Спектр 3	16,22	-	1,49	0,10	0,04	0,08	0,11	0,09	0,79	81,08
Спектр 4	11,44	-	2,02	-	-	-	-	-	0,58	85,96
Спектр 5	21,28	-	1,43	-	-	-	-	-	0,67	76,62
Спектр 6	21,55	-	1,42	0,10	0,17	0,09	0,14	0,08	0,94	75,52

Рисунок 2.12 – Мікроструктура і розподіл компонентів у зонах біля поверхні

У таких виливках на поверхні виявлена і домішка карбидоутворюючого компонента – ванадію. Частка його змінюється в локальних зонах від 0,04-0,48 % (див. рис. 2.14 і 2.15). При максимальній концентрації цього компонента (0,48 %) можливе утворення спецкарбідів VC, тобто внесок його проявляється не тільки у подрібненні зерна.

Метал виливків зі збільшеною схильністю до поверхне-

вого тріщиноутворення, модифікований і мікролегований компонентами Ti, V також розподілені нерівномірно, тому що виявлені тільки в середній частині перерізу виливка товщиною 30 мм, де їх концентрація становить 0,05-0,07 %. В одній із зон частка азоту досягає 5,16 % (див. рис. 2.14). Можна припустити, що це велике нітридовмісне включення.



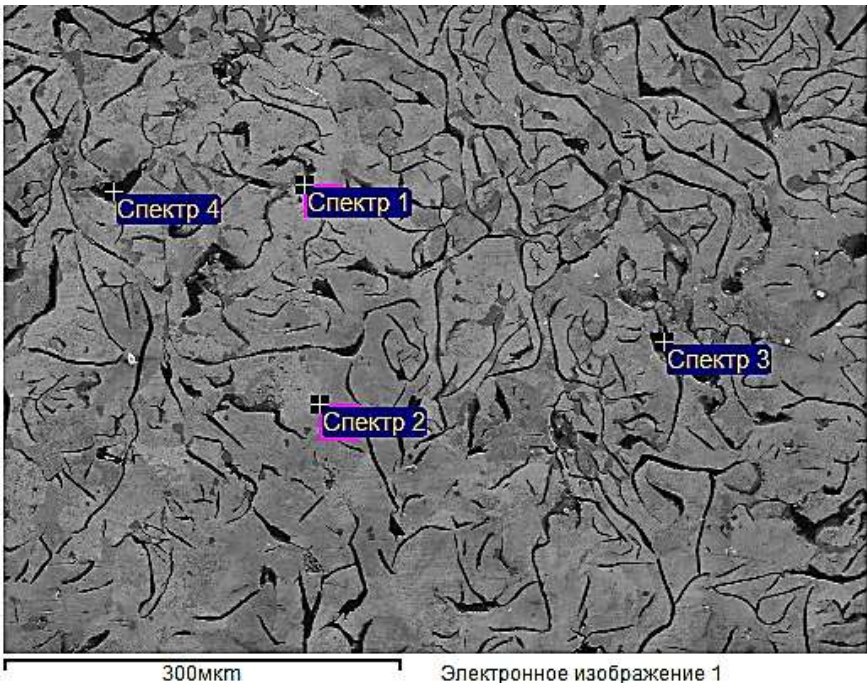
Спектр	C	O	Si	Al	S	Cr	Cl	K	Mn	Fe	Na	Mg	Ca
Спектр 1	80,08	5,34	0,27							14,31			
Спектр 2	36,90	13,78	1,16	0,29	0,16	0,09	0,11	0,10	0,39	46,52	0,21	0,18	0,12
Спектр 3	7,18		1,73						0,82	90,27			
Спектр 4	9,80		2,08						0,62	87,50			

Рисунок 2.13 – Мікроструктура середини виливка без поверхневих тріщин

Статистичний аналіз різних зон виливків з підвищеною схильністю до тріщиноутворення на поверхні виявив наявність великої кількості включень оксидів заліза, кремнію та складних з'єднань – типу  $(MnFe)O$ ,  $MnSiO_3$ ,  $Mn_2SiO_4$ , розміром до 1-2 мкм. Максимальне скупчення відповідає зонам з розетковими вклю-

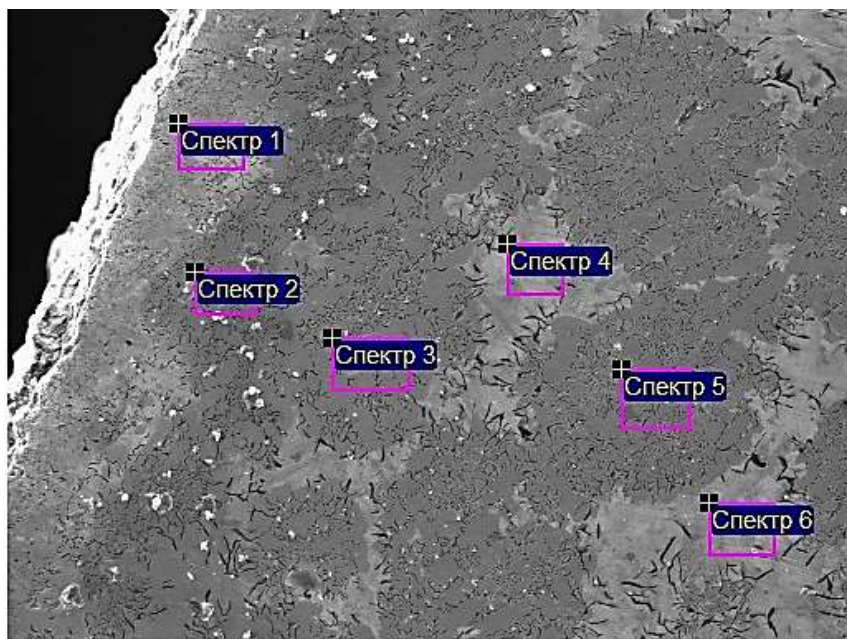
ченнями графіту. У цих місцях визначається і інтенсивне окислення феритної складової. Це проявляється у підвищеному травленні з концентрацією кисню до 34 %. Кисневі включення мають неправильну компактну форму. По мірі віддалення від поверхні розмір таких включень зменшується і не перевищує 0,5-0,7мкм (рис. 2.16).

Поверхнєве окислення металу виливків пов'язане з поганою підготовкою ливарної форми, її підвищеною вологістю. При цьому пластинчастий графіт, має особливо грубі включення, які призводять до переміщення активно-корозійного середовища і у більш глибинні зони виливків.



Спектр	C	O	Si	P	S	Cr	V	N	Mn	Fe	Mg	Al
Спектр 1	23,78	1,00	1,39		0,18				0,84	72,81		
Спектр 2	6,95		2,09	0,08		0,09	0,05		0,61	90,14		
Спектр 3	73,92	8,44	0,33		0,11	0,09		5,16	0,08	11,68	0,05	0,13
Спектр 4	93,94	3,83	0,07						0,04	2,13		

Рисунок 2.14 – Мікроструктура середини виливка з поверхневими тріщинами



300мкм

Электронное изображение 1

Спектр	C	O	Si	P	S	Cr	V	Ti	Mn	Fe
Спектр 1	13,78	2,83	1,50	0,07	0,50	0,08	0,04	0,06	1,25	79,89
Спектр 2	16,95	8,65	1,38	0,03	0,05	0,08	0,07	0,02	0,56	72,22
Спектр 3	18,63	1,35	1,61	0,01	0,19	0,06	0,07	0,01	0,83	77,23
Спектр 4	8,91	1,12	1,39	0,74	0,04	0,13	0,32	0,21	1,04	86,10
Спектр 5	21,52		1,43	0,03	1,07	0,06	0,07		2,15	73,67
Спектр 6	8,94	1,07	1,43	0,74	0,61	0,13	0,48	0,40	1,74	84,47

Рисунок 2.15 – Границя евтектичних зерен (феритна складова)

Аналізом виявлено, що виливки, мало схильні до поверхневого окислення мають у центральній частині перетину підвищену частку кисневих включень, причому навіть у більшій мірі, ніж в корпусних деталях з поверхневими тріщинами (табл. 2.17). В аналіз не потрапила магістральна тріщина, що доставляє активно-корозійне середовище в центральну зону виливка.

Зменшити схильність до тріщиноутворення можливо здійсненням контролю на відповідність технологічних процесів виробництва виливків, згідно нормативно-технічної документації на підготовку ливарного оснащення та способу модифікування рідкого розчину.

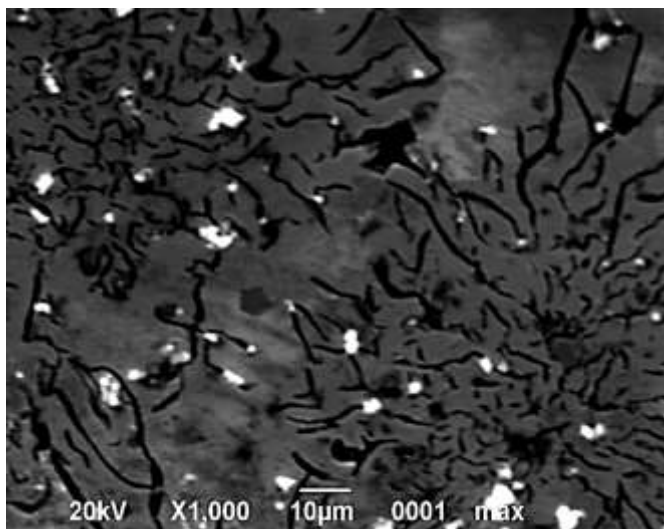


Рисунок 2.16 – Кисневі включення алюмінію ( $Al_2O_3$ ) і кремнію ( $SiO_2$ ). Термоелектронна емісія

У результаті виконаних комплексних досліджень з'ясовано, що основними чинниками тріщиноутворення корпусних деталей із сірого чавуну є: формування більш грубих пластинчастих і розеткових включень графіту; наявність скупчень оксидів; ліквідація компонентів з формуванням неметалевих включень, що є концентраторами напружень.

Таблиця 2.17 – Статистичний аналіз розподілу кисню в досліджуваних виливках

Випадки аналізу	Локальний розподіл кисню в зонах, %			
	З поверхневими тріщинами		Без поверхневих тріщин	
	Поверхня	Середина	Поверхня	Середина
1	3,41	1,0	1,17	0,91
2	3,44	8,44	0	2,96
3	4,57	3,83	1,12	13,98
4	1,81	1,17	1,35	2,65
5	1,35	1,17	8,65	4,54
6	0	0	2,83	0
7	0		1,07	0
8	0			13,78
9	0			5,34
10	0			



На основі виконаних досліджень для зменшення схильності корпусних деталей до тріщиноутворення рекомендується:

- підвищити якість підготовки форм і ливарної системи для забезпечення необхідних властивостей металу в поверхневому шарі виробів, виключивши формування великої частки оксидів, за рахунок контролю використовуваної шихти та підготовки форми до відливання деталей;

- проводити дозоване модифікування для подрібнення включень графіту, із забезпеченням рівномірного засвоєння компонентів і виключення зональної і локальної ліквідації, зниження шкідливих домішок, що кристалізуються по границях евтектичних зерен для забезпечення подрібнення зерен;

- для модифікування по можливості слід використовувати нове покоління модифікаторів пролонгованої дії при заливанні всієї партії корпусів, виключивши процес демодифікації;

- впровадження заходів щодо оцінки якості і зміни технологічного процесу, та це ефективно контролювати за рівнем магнітної характеристики – коерцитивної сили.

В результаті виконаних комплексних досліджень одержана інформація про стан та якість виливків корпусних деталей з високоміцного та сірого чавунів. Це досягнуто за рахунок статистичного аналізу впливу різних факторів виробництва втулок гільз циліндрів та корпусних деталей з – чавуну. Виливки одержують як відцентровим методом у різнотовщинні за висотою металеві форми та у – земляну відповідно.

Досліджували дві вибірки (57 втулок гільз циліндрів), які відповідали вимогам нормативно-технічної документації (ТІ-78.019-2003І) та мали відхилення, згідно вмісту компонентів С, Si, S, Mg. При цьому, найбільші відхилення характерні для Si, S, і Mg, що пов'язане з низькою якістю модифікування домішкою SiMg.

Аналізом встановлено, що виготовлені виливки втулок з високоміцного чавуну відрізняються структурою і рівнем напружень, які можна оцінити неруйнівним магнітним методом за коерцитивною силою. Досліджували вибірку із  $H_c = 3,6$  до  $12,9$  А/см

по цьому параметру. Встановили, що при  $H_c \leq 5,1$  А/см металева матриця чавуну виливків представлена ферито-перлітною складовою і частка перліту локально змінюється від 20 до 70-80 %, що пов'язано з умовами кристалізації. Максимальна частка перліту (основа) характерна для втулок при  $H_c \geq 6,5$  А/см. У цьому випадку феритна складова відсутня, а стабільно виділяється структурно вільний цементит, включення якого не допускаються нормативно-технічною документацією.

Виконано планування експерименту (план 2<sup>2</sup>) по встановленню впливу частки феритної і карбідної складових на показання коерцитивної сили. Встановлено, що частка фериту ( $\Phi$ ) інтенсивніше знижує рівень коерцитивної сили, ніж підвищує її цементит ( $\Psi$ ):  $H_c = 7,2 - 5,2\Phi + 4,1\Psi$ . Підвищення рівня  $H_c$ , починаючи з 8,2 А/см, супроводжується виділеннями ледебуритної евтектики, частка якої помітно зростає  $> 9$  А/см і досягає 20 % при  $H_c = 12,9$  А/см.

Порівняння двох вибірок за хімічним складом втулок, які відповідають вимогам нормативно-технічної документації і мають відхилення від них за рядом компонентів показали, що рівень механічних властивостей чавунів (твердості, міцності, пластичності), глибина азотованого шару робочої поверхні цієї деталі і рівень його мікротвердості, а також розкид показань коерцитивної сили не визначаються цим фактором. При цьому твердість тільки в 12 % випадків не відповідає вимогам, а середні значення коерцитивної сили змінюються в межах до 65 %.

Спостережувані відхилення в коерцитивній силі можуть бути пов'язані із двома факторами: недостатньою засвоюваністю модифікатора, демодифікацією металу при його тривалій витримці в ковші, а також за умовами кристалізації вилівка втулки в різновтовщинній формі, що використовується у відцентровій машині. Зіставні дослідження втулок і кілець, відібраних від них у литому стані, не виявили суттєвих відмінностей у показаннях коерцитивної сили. При термообробці – нормалізації відзначається деяке підвищення цієї характеристики в кільці, причому більшою

мірою ніж у виливку і, у середньому становить 10-20 %. При проведенні термообробки виділення карбідної фази і ледебуриту не змінюються, а подрібнюються лише окремі тонкі пластини цементиту у перліті.

Для оцінки впливу умов кристалізації проведено аналіз змін показань коерцитивної сили за трьома зонами виливка: верхньої, середньої та нижньої (по перетину), а також по висоті виливка. Показано, що вимірювання за кожною зоною між собою мають близькі значення та змінюються в межах від 0 до 0,4 А/см. Разом з тим, рівень показань між різними втулками суттєво відрізняється. Крім того, змінюється рівень показань  $H_c$  у верхній зоні, яка відповідає найбільш стовщеній металевій формі і має меншу швидкість кристалізації і він становить 50 %, а у середній і нижній зонах досягає – 72-74 %, що підтверджує істотний вплив фактору швидкості кристалізації.

Спостережуване пов'язане з мінливістю структури і формуванням карбідів і ледебуриту при більшій швидкості кристалізації в тонкостінній частині форми.

Результати вимірювань коерцитивної сили не виявили суттєвих переваг втулок, у яких відсутні відхилення у вмісті компонентів в порівнянні з тими, які їх мають. Найбільший вплив на структуроутворення та формування дефектів мають умови кристалізації.

Виконано статистичний аналіз якості корпусних деталей, проведений в умовах виробництва ВАТ «ХТЗ». У якості критерію використовували магнітний метод неруйнівного контролю за коерцитивною силою. Статистичну оцінку проводили на двох типах деталей: корпусах роздавальної коробки передач і картерах коробки зміни передач, які виготовлені із чавунів СЧ15, СЧ18 і СЧ20 відповідно. Обидва типи деталей характеризуються близькою товщиною стінок. Встановлено, що в першій групі деталей показник  $H_c$  змінювався в межах 4,3-8,0 А/см, а в – другій 5,0-9,4 А/см. Найбільш високі значення характерні для внутрішніх поверхонь таких деталей, що пов'язано з більшою схильністю у формуванні

в них дефектних зон. Аналіз таких зон, що характеризується порушенням суцільності та відхиленнями в структурі металу, показали, що в них рівень коерцитивної сили стабільно високий і досягає  $H_c = 7,8-11,3$  А/см. Металографічним аналізом виявлені дефекти, що формуються в корпусних деталях. Це неслітини і тріщини, а також структурна неоднорідність, пов'язана з використанням неякісної, достатньо не контрольованою шихтою при виробництві виливків, порушеннями технології модифікування.

Виконані комплексні дослідження з використанням мікроспектрального аналізу і електронної мікроскопії для виявлення чинників, що найбільш частіше пошкоджують виливки в процесі їх виробництва. Показано, що незначні відхилення у вмісті компонентів, згідно нормативно-технічної документації, не мають істотного впливу на рівень споживчих властивостей і показники коерцитивної сили.

Порушення технології модифікування SiMn призводить до кристалізації зон у деталях із сірого чавуну різних неметалічних включень ( $MnFe$ )O;  $MnSiO_3$ ,  $Mn_2SiOH$ ,  $MnS$ ,  $Fe_3N$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $FeP_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Si_2O_3$ , і інш.. В окремих випадках виявлена і локальна частка V і Ti, яка досягає 0,48 і 0,40 % відповідно, що призводить до формування карбідів цих компонентів. Хімічна неоднорідність характерна і для границь евтектичних (первинних) зерен як біля поверхні виливків, так і в їх центральній зоні за перерізом. Усе це створює локальні напруження та сприяє тріщиноутворенню.

Методом термоелектронної емісії показано, що основними чинниками тріщиноутворення також є неякісна підготовка форми для відливання корпусних деталей. Її волога при контакті з рідким розчином металу розкладається з утворенням газів, які проникають у найбільш грубі включення графіту і «підривають» його. Локальним аналізом показано, що частка кисню в таких зонах досягає 34,4 %.

### 3. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Дослідженнями, представленими в розділі 2 було показано, що якість втулок з високоміцного чавуну суттєво залежить від структури, яка формується у виливках, а також ступеню її неоднорідності за висотою.

При цьому, найбільший внесок у забезпечення необхідних властивостей вносить фактор швидкості кристалізації виливка, що охолоджується у різнотовщинній металевій формі. Тому важливим є створення умов, за яких охолодження виливка у формі буде найбільш рівномірним за висотою.

Ця проблема може бути вирішена тільки спеціальним способом підігріву форми, що забезпечить однакову швидкість охолодження виливка при відцентровому методі лиття.

Значимими можуть бути і фактори впливу деяких відхилень вмісту компонентів від нормативно-технічної документації, а також тип і спосіб введення модифікатора, його схильність до демодифікації при витримці рідкого розплаву в ковші.

Ефективні способи введення і типи домішок модифікаторів, які докладно аналізуються в роботах наукової школи університету та використовуються за рекомендаціями на промислових підприємствах [210].

При оцінюванні якості корпусних деталей виявили також істотний вплив структуроутворення і підвищений рівень напружень у різнотовщинних виливках із сірого чавуну для вузлів машин у сільгоспмашинобудуванні. Такі відхилення виявляли неруйнівним методом контролю, згідно зміни коерцитивної сили.

Ці відхилення супроводжуються тріщиноутворенням, та заварівання таких дефектів виробів із сірого чавуну, рекомендованим на виробництві способом, не забезпечує одержання якісної зони сплавної. У зв'язку з цим виникла необхідність виконання теоретичного обґрунтування і розробки інноваційної технології відновлення дефектів.

### **3.1 Розробка інноваційної технології виробництва втулок гільз циліндрів**

Для регулювання умов кристалізації виробів, як правило, перед заливанням підігрівають форму, у яку їх відливають. Цей метод використовують як при виробництві масивних виливків, наприклад, прокатних валків так і тонкостінних – втулок гільз циліндрів, корпусних деталей, гальмівних дисків і інш. [209, 211, 212].

При виготовленні деталей із чавуну ступінь підігріву металеві форми дозволяє корегувати співвідношення структурних складових у робочому шарі масивних виливків з половинчастих чавунів і регулювати процес графітизації в тонкостінних виливках із сірого чавуну, забезпечуючи вимоги експлуатації. При відливанні гільз циліндрів використовують різновтовщинні металеві форми, що полегшує їхнє наступне витягання з горизонтальної відцентрової машини. Разом з тим, через різну їхню товщину швидкість кристалізації окремих зон виливка суттєво відрізняється, що збільшує схильність до локалізації напружень, формування карбідної фази та тріщиноутворення.

Як правило, металеву форму перед заливанням чавуну, незалежно від способу виробництва виробу (стаціонарне або відцентрове лиття), її попередньо підігрівають у газовій печі [211] до необхідних температур (визначається масою виливка і вимогами за рівнем властивостей та структури). При потоковому виробництві продукції металеві форми, що використовують одночасно завантажують у піч для їхнього підігріву, а потім поступово кожну з них витягають для установлення у відцентрову машину і заливають рідкий метал. Така технологія використання підігріву металевих форм вимагає більших витрат енергоносіїв, які є не раціональними через тривале знаходження садки в печі. Крім того, це погіршує екологію цеху через тривалу витримку в печі металевих форм, що підігрівається. Розглядаючи технологічний аспект, не-

обхідно відзначити, що з одного боку, через нерівномірне нагрівання всієї садки, а з іншого – при однаковій температурі нагрівання різнотовщинної за висотою форми немає можливості строго регулювати параметри охолодження для забезпечення стабільних умов кристалізації виливка.

Тому вирішення таких проблем може бути досягнуте тільки при врахуванні всіх негативних факторів виробництва. Найбільш економічним і стабільним, з позицій досягнення необхідної температури підігріву форми, слід визнати використання методу індивідуального її підігріву струмами промислової частоти (СПЧ). Така технологія відповідає екологічним вимогам і енергозбереженню. Крім того, керуючи процесом рівномірного нагрівання форми, можна суттєво знизити в ній рівень напружень і тим самим збільшити термін експлуатації. При температурі металеві форми, що стабільно досягається, буде можливим визначити найбільш ефективну температуру витягання втулки з машини після її відливання. Це дозволить мінімізувати рівень напружень і у виливку.

Такі дослідження спрямовані на розробку технології на основі теоретичного обґрунтування ефективності процесу підігріву металеві форми для одержання виливок втулок гільз циліндрів з високоміцного чавуну відцентровим методом на горизонтальній машині.

На першому етапі дослідження провели грубу оцінку показників, які були базою для подальших розрахунків і оцінок.

Розрахунки нагрівання СПЧ металеві форми (рис. 3.1) виконані для виливка втулки гільзи циліндра дизельного двигуна. У цьому випадку використовується різнотовщинна по довжині металеві форми. Різнотовщинність характерна для зовнішньої частини стінки металеві форми.

Враховуючи різнотовщинність за висотою металеві форми, розглянули ідеалізовану модель. Вона полягала в тому, що потужність індикатора задавали від часу його роботи, а не від зворотного зв'язку. При цьому використовували степеневий закон

розподілу потужності за складними залежностями:

$$Q(t)=q \times [\sin(i)]^2 - \text{один варіант}; \quad (3.1)$$

$$Q(t)=q \times [\sin(2 \times i \times dt)]^2 - \text{другий варіант}, \quad (3.2)$$

де  $q$  – потужність, дорівнює половині мінімальної потужності;

$i$  – номер кроку за часом;

$dt$  – крок за часом.

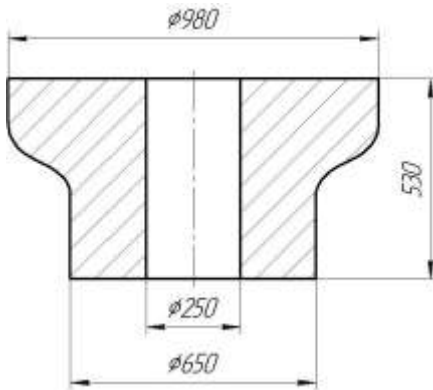


Рисунок 3.1 – Переріз металевої форми

Індукційний нагрівач, який облаштований індукційною котушкою і магнітопроводами, концентрується та створює магнітний потік, який дозволяє здійснювати локальний (місцевий) нагрів окремих зон форми. Зони деталі, що підлягають обробці, вибирали залежно від мети нагрівання. Вибираючи форму і розміри котушки магнітопроводів, вирішували можливість

досягти в деталі необхідне температурне поле у всіх напрямках: радіальному (за товщиною стінки), осьовому (по довжині деталі).

Металева форма для відцентрового лиття втулок гільз циліндрів є асиметричними виробами, тому нагрівання їх в окружному напрямку повинен бути однаковий. Це досягається котушкою круглої форми.

З іншого боку, у випадку, коли металева форма має змінну (уздовж осі) товщину стінки, інтенсивність нагрівання окремих зон повинна бути різною. Тому індукційну котушку слід виконувати з нерівномірним розташуванням витків за довжиною такої форми. Ділянка котушки, що розташовується уздовж стінок збільшеної товщини металевої форми, повинна мати і більшу кількість витків, ніж та, яка перебуває в зоні та біля границі з тонкими



стінками. Це забезпечить її нагрівання з різною інтенсивністю уздовж осі для досягнення однакової в ній температури. В цьому випадку рівномірність нагрівання такої форми в радіальному напрямку кожної зони за товщиною досягається оптимальним рівнем потужності індукційного нагрівача та часом тривалості його дії.

Магнітопровідна система охоплює котушку і металеву форму, прискорюючи нагрівання останньої. Така схема нагрівання дає можливість одержати температурне поле практично рівномірне у всіх напрямках.

Кількість тепла  $Q$ , яка необхідна для нагрівання металевої форми оцінювали, як:

$$Q = C \times m \times (t_2 - t_1), \quad (3.3)$$

де  $C$  – питома теплоємність. Для сталі 20 в інтервалі температур 0-300°C.

$$C = 0,122;$$

$m$  – маса металевої форми, кг;

$t_2$  – температура нагрівання металевої форми при заливці чавуну;

$t_1$  – температура навколишнього середовища. Приймали  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ .

Температура нагрівання повинна бути не менше 300°C на поверхні металевої форми, що забезпечить більш тривалий час перебування в ній вилівка при інтервалі температур магнітного перетворення цементиту (перліта), що вже при литті сприяє зниженню рівня напружень [213].

$$Q = 0,122 \times 940 \times (300 - 20) = 32110,4 \text{ ккал.} \quad (3.4)$$

Сумарна кількість тепла  $Q_{\text{сум}}$  з урахуванням втрат ( $\approx 15\%$ ) на розсіювання в навколишнє середовище оцінювали, як:

$$Q_{\text{сум}} = Q \times 1,15 = 32110,4 \times 1,15 = 36926,96 \approx 36927 \text{ ккал.} \quad (3.5)$$

Потужність  $P$ , необхідна для нагрівання металевої форми, повинна бути не менше:

$$P = Q_{\text{сум}}/0,24 \tau \quad (3.6)$$

де 0,24 – перевідний коефіцієнт  $1 \text{ кВт} = 0,24 \text{ ккал/с}$ .

$\tau$  – тривалість нагрівання, с.

Оскільки рівномірність нагрівання металевої форми в радіальному напрямку (за товщиною стінки) у значній мірі залежить від тривалості нагрівання, то з урахуванням швидкості процесу і теплопровідності матеріалу приймали  $\tau = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$ .

$$P = 36927/(0,24 \times 1200) = 128,22 \approx 129 \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Таким чином, змінюючи час нагрівання, можливо керувати потужністю або, навпаки, змінюючи потужність, можна керувати часом нагрівання.

У цих двох варіантах максимальна потужність джерела була прийнята рівною 2000000. Аналізували доцільність використання і третього варіанту, який полягав у циклічному включенні – відключенні індуктора.

При цьому, максимальну потужність джерела використовували на рівні 8000000.

У розрахунках використовували наступні параметри: крок за часом – 0,4 год; крок за висотою та товщиною металевої форми – 20 мм; запланована температура нагрівання  $400^\circ\text{C}$  (з розрахунком при заливанні на внутрішній частині та досягненні –  $300^\circ\text{C}$ ); при циклічній обробці крок нагрівання і охолодження кожного складав – 1,2 год.

Отримано три типи графічних залежностей, що відповідають перерахованим вище: температура, напруження і час впливу джерела (рис. 3.2).

Температура представлена двома відтінками червоного кольору: більш темний відповідає внутрішньому шару (1); світлий – зовнішньому (2).

Внутрішньому шару відповідають напруження, позначені темно-зеленим кольором (3), зовнішньому – зеленим (4), а жовтим (5) – середній зоні перерізу металевої форми.

Синім кольором (б) наведена зміна відносної потужності джерела в часі (відношення потужності в розглянутий момент часу до максимальних значень).

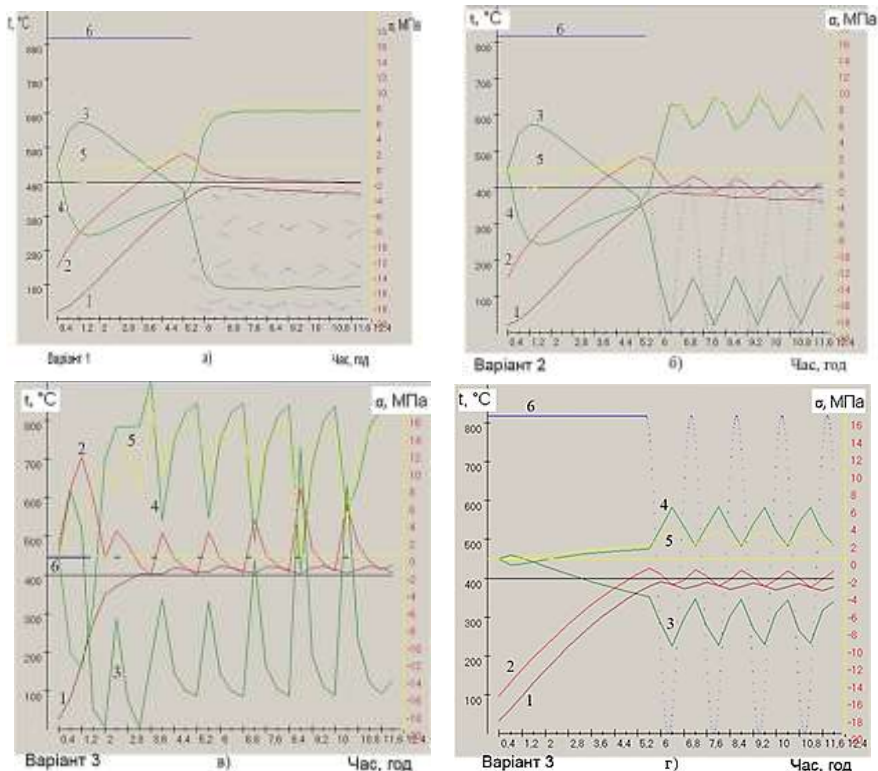
Крім того, виконані зіставні дослідження впливу товщини стінки металевої форми на рівень виникаючих напружень.

З наведених залежностей, враховуючи максимальну товщину стінки форми 365 мм (див. рис. 3.2 а-в) впливає, що перші два варіанти протягом години нагрівання не забезпечують температуру навіть 150°C. Однак при цьому, у першому випадку мають місце мінімальні напруження.

Що стосується загальних витрат енергії, то варіанти, що зіставляються, є ідентичними. Хоча в третьому – використовується більша потужність, але в цьому випадку вона компенсується відключеннями індикатора. На третьому графіку бачимо, що лінія, відповідальна за включення індикатора, є переривчастою, тобто майже увесь час (крім початку) індуктор відключений.

При збільшенні потужності джерела для перших двох варіантів, вже на другій годині температура суттєво підвищується на зовнішній поверхні і досягає 500°C на – внутрішній. Тому ці розглянуті варіанти для товщини стінки металевої форми 365 мм є не ефективними через великий рівень напружень. При цьому, деформації відповідають рівню пластичним як у внутрішній, так і зовнішніх зонах. Регулювання потужності джерела нагрівання для підтримки стабільної температури металевої форми навряд чи вдасться здійснити. Як передбачено розрахунками, синусоїдалне регулювання за допомогою включень і відключень індикатора (варіант рис. 3.2, в) призводить до інтенсивного зростання напружень з більшою кількістю змін знаку в тих самих точках металевої форми. Доцільним для такої великої товщини металевої форми в цьому випадку може бути використання двостороннього нагрівання.

Зі зменшенням товщини стінки металевої форми до 200 мм (рис. 3.2, г) циклічний нагрів є більш стабільним, з точки зору коливань досягнутих температур і рівня напружень.



а, б, в – товста частина форми; г – тонка

Рисунок 3.2 – Залежності: температура – час обробки СПЧ – напруження

Розрахунками було показано, що для тонкої частини металевої форми потрібна більша потужність джерела нагрівання. Аналізом було встановлено, що в цій зоні мають місце більші втрати в навколишній простір, але є й інша причина, яка не була врахована в попередньому розрахунку. Варто було б враховувати потужність джерела не в одній точці, а розподіл її за – декількома, згідно із залежністю (четвертий варіант):

$$q = q_{\max} \times \left(1 - \frac{i}{m}\right)^{10/m} \quad (3.8)$$

Це характеризує число точок за товщиною форми. Такий

підхід, що враховує тепловий потік, забезпечує більшу стабільність процесу.

На наступному етапі досліджень в уточненому варіанті розрахунків нагрівання різнотовщинної металевої форми використовували в якості граничних умов теплові потоки.

У програмі використовували 4 параметра:

два за часом і два за товщиною форми ( $q_0$  і  $qt_e$ )

$q_0 = 20000$ :  $qt_e = 15000$  для товстої частини металевої форми

$q_0 = 15000$ :  $qt_e = 15000$  для тонкої частини металевої форми

У цьому випадку теплові потоки майже пропорційні товщині металевої форми. При розрахунках використаний замість степеневого розподілу потужності окремих випадок експонентного закону з обчисленням параметрів, при яких зберігалася б задана сумарна потужність. У первинному обґрунтуванні вибору і оцінки впливу потужності джерела нагрівання не враховувався розподіл струмів Фуко за товщиною металевої форми, тому він є недостатньо надійним.

У новому варіанті розрахунків при нагріванні металевої форми напружень, в одмінних за товщиною зонах, виявилися суттєво більш низькими і їх взагалі можна не враховувати (рис. 3.3). Незалежно від товщини стінки металевої форми температура і її розподіл стабільні.

З графічних залежностей видно, що існують площадки витримки температури, і вони близькі до величини 0,4 год. Для зовнішнього шару більш товстої частини – це 500-520°C, а внутрішнього – 330-345°C. Для тонкої частини зовнішнього шару – 480-490°C, а внутрішнього – 390-415°C.

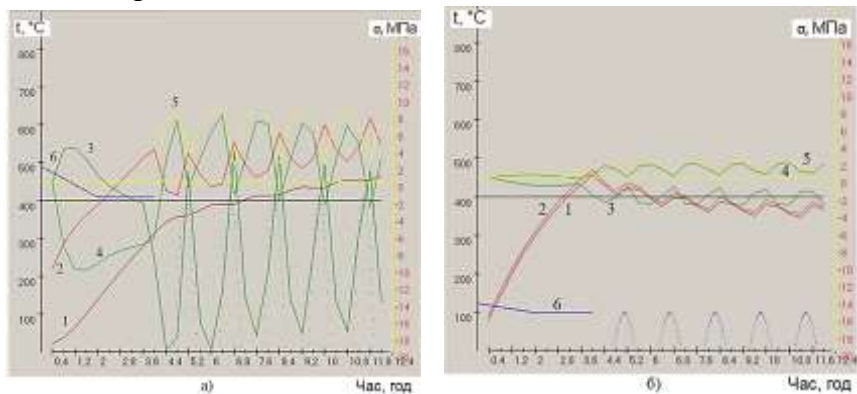
Стабілізація температур у цьому варіанті відбувається трохи по-іншому закону:

$Q(t) = qt_e \times \sin(4 \times i \times dt)$  – для випадку, якщо синус не негативний (3.9)

$i < 0$  – якщо негативний (відповідає періоду відключення).

Характер розподілу температури, напружень стабілізується для тонкої частини металевої форми вже з другого циклу, а

стовщеної частини – з третього. Однорідність сформованої структури виливка можна оцінювати неруйнівним магнітним методом по коерцитивній силі [214, 215].



а – товста частина форми; б – тонка

Рисунок 3.3 – Розподіл температур і напружень у різних зонах втулки

Таким чином, оптимальний час підігріву металевої форми для забезпечення стабільної температури не менше 300°C на поверхні контакту з рідким розчином металу отримано математичним моделюванням і становить: 4,2 год. у період нагрівання і 1,2 год. – у період пауз.

При нагріванні виробів, незалежно від характеристики пічного устаткування, температуру в зоні пружних деформацій підвищують зі швидкістю 25 мм/год. Виходячи із цього, нагрівання металевої форми товщиною 365 мм (182,5 мм при підігріві із двох сторін) може бути реалізовано в період 7,4 год.

При цьому ККД газової печі становить до 60 %. Одночасно, нагрівання металевої форми СПЧ становить 4,2 год. При цьому ККД використання джерела можна підвищити, згідно із запропонованою технологією до 80 %. Зниження енерговитрат при скороченні часу нагрівання металевих форм використанням СПЧ також збільшує їхню стійкість в експлуатації до 15 % завдяки гальмуванню процесів деградації структури металу. Це супрово-

джуються зменшенням рівня виникаючих напружень, що статистично підтверджено неруйнівним контролем якості і оцінено за зниженням коерцитивної сили залежно від використовуваного матеріалу (з 6,9-10,6 до 3,9-7,9 А/см [214, 215]).

Нове технологічне рішення захищено патентом України [216].

### **3.2 Аналіз структуроутворення для обґрунтування нової технології заварювання дефектів у корпусних деталях**

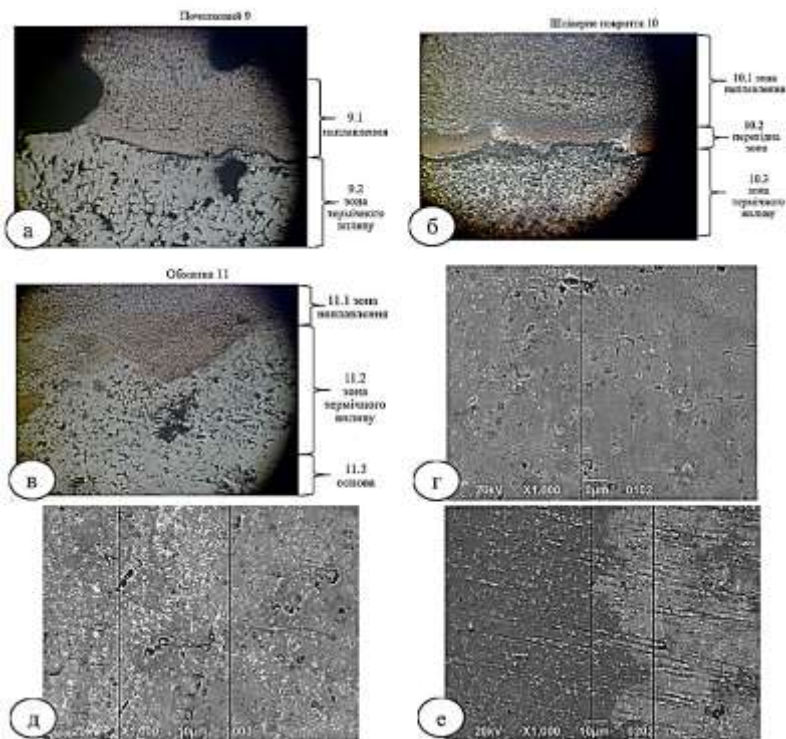
Для проведення досліджень структуроутворення були відібрані фотографії для мікроскопічного та – електронікроскопічного аналізів (рис. 3.4), кожний з яких являє собою три зони формуємих структур при відновленні штучної тріщини: основи, перехідної зони і – наплавленої.

При цьому зіставлення структуроутворення проводили при модифікуванні шлікерним нанесенням покриттів, дозованим введенням домішки та без використання додаткового модифікування. У якості модифікатора використовували не магнітну складову детонаційної шихти, отриманої від утилізації боєприпасів [217].

Дослідження проводили на відбракованих роздавальних коробках передач, які використовують для сільськогосподарській техніки. Використовували однакові параметри, штучно сформованої тріщини. Заварку дефектів проводили електродом ЦЧ-4 Ø 3,0 мм з накладенням коротких валиків довжиною 25-30 мм, зварювальним струмом 60-110 А з охолодженням кожного до 60°C та проковуванням зони наприкінці відновлення легким деформуванням молотком при  $t = 400^\circ\text{C}$ .

Для того щоб виявити якомога більшу кількість поєднань фаз, згідно кольорів, і визначити оптимальну їхню кількість аналізували різні комірки пікселів: 2×2; 3×3 і 10×10.

Аналогічну картину одмінних комбінацій, використовували і для інших комірок пікселів.



за, г – структура без модифікуючої домішки; б, д – шлікерне покриття; в, е – обмазка електрода при дозованому введенні модифікатора

Рисунок 3.4 – Досліджувані оптико-математичним аналізом фотографії

Такий підхід дозволить оцінити міцність зчеплення покриття з основою, та оцінити зміну напружень при різних методах відновлення дефектів.

При цьому для комірок  $2 \times 2$  пікселя розглядали випадки, коли всі 4 кольори однакові; усі – різні; два одного кольору і два – відрізняються; три одного кольору і один відрізняється; два одного кольору і два відрізняються між собою.

Програма розрахунків передбачала знаходження відмінностей у комбінації кольорів, які перебували по різні сторони від границі сплавлення.



Виходячи з принципу невідомості при такому аналізі, у розгляданні використовували 4 масиви:

1-й для тих комбінацій, які мають пари як з лівої, так і з правої, але в яких відсоток праворуч від границі більше, ніж ліворуч;

2-й для тих комбінацій, які мають пару і ліворуч, і праворуч, але в яких відсоток ліворуч від границь сплавлення більше, ніж праворуч;

3-й для комбінацій, які не мають пари праворуч;

4-й для комбінацій, які не мають пари ліворуч.

Дослідженнями встановлено, що 4-й масив чітко не виявляється для першої та другої фотографій, (без модифікуючої домішки і з шлікерним покриттям), а в 3-й – не виявлений.

Однак, така картина нічого особливого не визначає, оскільки відсутність пари більш імовірно характеризує випадкові комбінації, які становлять ~ 2 % від отриманих для кожної фотографії, а враховувати випадкові комбінації є недоцільним, оскільки це може призвести до лавиноподібного зростання кількості комбінацій, за якими буде неможливим зробити який-небудь висновок. Разом з тим встановлено, що такі комбінації створюють структури бейніту.

Розроблена програма розрахунків побудована на сортуванні лівої і правої частини фотографій з номерами комбінацій кольорів, поділом і наступним сортуванням кожного з 4 масивів по убуванню, в %. Щоб сортування не розбило парні комбінації, вони були зосереджені в пам'яті у вигляді одного рядка, програма спеціалізована на базі даних бейсик.

На етапі досліджень докладно аналізували електроніко-роскопичні фотографії, де вище контраст зображень, а потім – оптичні.

Як приклад оформлення розрахунків розглядали, таблицю комбінації кольорів правої (зони наплавлення) і лівої (перехідної зони) частин фотографій.

Для кожної фотографії таблиця повинна була б складатися

з 4 частин, що відповідала би розглянутим вище масивам, але фактично вона складається з 2 частин, які відповідають парним комбінаціям, тобто таким, які є в обох розглянутих зонах (див. В.1, Додаток В). Вони розташовуються один за одним, легко помітні, оскільки перші чотири стовпці в них однакові. На базі цих даних у табл. 3.1 наведені сумарні комбінації по лівим і правим частинам фотографій.

Таблиця 3.1 – Сумарні комбінації за лівою і правою частинами фотографій

1 номер фотографії					
2 сума відсотків правих частин в парних поєднаннях					
3 сума відсотків лівих частин в парних поєднаннях					
4 сума відсотків правих частин в непарних поєднаннях					
5 сума відсотків лівих частин в непарних поєднаннях					
1	2	3	4	5	
1	71.2	58.8	0.0	1.1	відсотки однакових поєднань правої частини більше лівої
	27.4	38.4			відсотки однакових поєднань правої частини менше лівої
2	85.6	74	0.0	0.6	відсотки однакових поєднань правої частини більше лівої
	13.4	23.9			відсотки однакових поєднань правої частини менше лівої
3	61.8	12.4			відсотки однакових поєднань правої частини більше лівої
	34.6	86.1	1.5	0.0	відсотки однакових поєднань правої частини менше лівої

З наведених узагальнених даних видно, що сумарні комбінації фаз, характерних для різних варіантів відновлення, суттєво відрізняються. Особливо це помітно для наплавлення з використанням модифікування при наплавленні електродом методом його обмазки. У такому варіанті досліджень, коли не використовуються модифікуючі домішки, жоден показник не збігається з іншими. При модифікуванні навпаки суттєво зростають як комбі-

нації фаз у зоні наплавлення, так і – перехідній, що, імовірно, можна пояснити зміною тепловкладення і зниженням напружень, які стабілізують структуру сірого чавуну значною мірою при кристалізації.

Розрахунки комбінації фаз показали, що феритні структурні складові (див. табл. В.1, Додаток В) представлено під номерами 7 і 8, а в 10 стовпці наведені цифри 7 і 4, які відповідають правій та лівій частинам фотографії. Стовпець 5 відбиває комбінації фаз правої і лівої частинам, які включають такі структури 33,8 і 26,9 % відповідно.

Аналіз першого варіанту відновлення тріщини (без використання модифікуючої домішки) включає комбінації феритних фаз, яких більше в основі, ніж в зоні наплавлення. Карбідної фази за кількістю та комбінаціям також більше в основному металі. Різниця становить 11-13 %. При цьому, окремі комбінації не перевищують 5-7 %.

Співвідношення за числом комбінацій становить 8 парних, відносно феритних складових, відповідних до зони наплавлення та 18 – характерно для вихідного матеріалу.

Другий варіант при відновленні тріщин включає модифікування рідкої ванни з використанням нанесення шлікерного покриття з наступним його розплавленням. У цьому випадку процес модифікування сприяє росту числа комбінацій фаз. Частка феритних фаз (див. табл. В.1, Додаток В) відповідає сумі у відсотках, характерних для загальних зон фотографій, де вона суттєво зростає з 71,2 % до 85,6 % у порівнянні з першим варіантом, при якому модифікування не здійснювали. Співвідношення за числом комбінацій відповідає 9 парним для феритних складових. Можливо припустити, що кольори фаз основи та зони наплавлення набувають близькі значення і границя розділу чітко не проявляються та це відповідає критерію турбулізації (характеризує штучне прискорення переходу від ламінарної течії до турбулентної шляхом введення в потік спеціальних мікродомішок – турбулізаторів).

Третя фотографія, яка відображає результат модифікування, з рівномірним введенням домішки у вигляді мікро- і наноалмазів, з невеликою часткою графіту, виявляє зовсім іншу картину. Якщо в першому та другому випадках різниця між основним металом і зоною наплавлення не перевищує змін в 1,3 рази (сумарне відношення  $71,2/58,8 = 1,3$ ), то в третьому варіанті вона досягає 5 ( $61,8/12,4 > 5$  див. табл. В.1, Додаток В).

З отриманої інформації можна припустити, що при одночасному введенні великої частки модифікуючої домішки (при шлікерному покритті) вона не встигає рівномірно розподілитися в рідкій ванні і її роль суттєво знижується. Це слід уточнити статистичними дослідженнями зіставляючи макро-і мікроструктури та виявляючи відхилення.

Модифікування при дозованому введенні домішки, як показали оптико-математичні описання сформованої структури, сприяє рівномірному розподілу не розчинної частки домішки нано- і дисперсних алмазів, які розташовуються по границях зерен (рис. 3.7). При заварюванні тріщин у корпусних деталях із сірого чавуну з використанням модифікування на основі шлікерного покриття в зоні наплавлення і основному металі різниці в розподілі таких часток практично не виявлено (рис. 3.5). Це можна пояснити лише тим, що в момент наплавлення, введений таким способом модифікатор, осідає на дно рідкої ванни та не чинить впливу на процес кристалізації. Крім того, на мікроструктурних фотографіях виявляються окремі темні крапки, які дозволяють припустити, що вони відповідають агрегатованим, дисперсним виділенням алмазів.

Заварка тріщин без модифікування (рис. 3.5) характеризується значною неоднорідністю структури в зоні наплавлення з формуванням великої кількості дрібних пор. Зона наплавлення відрізняється збільшенням зерна.

На наведених фотографіях (рис. 3.5-3.7) розглянуті результати різних комбінацій фаз у комірках  $3 \times 3$  пікселя, які по-різному проявляють границю сплавлення. Оцінка в таких комірках є

більш інформативною. Так, рис. 3.5 та 3.6, характеризуються малим числом комбінацій кольорів у зонах наплавлення і основному металі. Більш чітко видна різниця на рис. 3.7, відповідному дозованому введенню модифікатора при наплавленні. Наведені рисунки відповідають 18 рядкам, представленим у додатку Д. Їх використовували для одержання комбінацій кольорів при побудові гістограм Бозе (В.2 Додатку В).

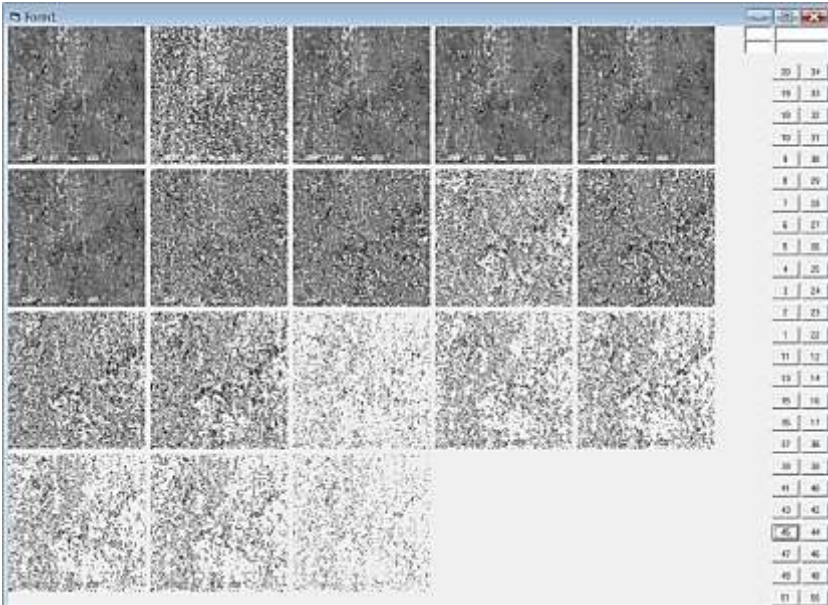


Рисунок 3.5 – Оптико-математичне описання, сформованої структури без домішки модифікатора

Зроблена спроба чіткіше визначити границю наплавлення і основного металу за ступенем турбулізації в комірках  $10 \times 10$  пікселів. У якості критерію використовували відсоток різних комбінацій кольорів. По ідеї в місці стику зон процес дифузії повинен забезпечити більший відсоток таких комбінацій. Однак, крім дифузії при наплавленні можливе і формування хімічних сполук, оскільки шихта містить мідь, а також залишкові концентрації різних домішок.

При такій обробці лінія стику без модифікуючої домішки (рис. 3.8) виявилася у вигляді похилої, розташованої під кутом

45° (третє фото в нижньому ряді ліворуч). При модифікуванні з використанням шлікерного покриття (рис. 3.9) лінія різних зон рівна, а з дозованим введенням домішки (рис. 3.10) зберіглася хвилястою.

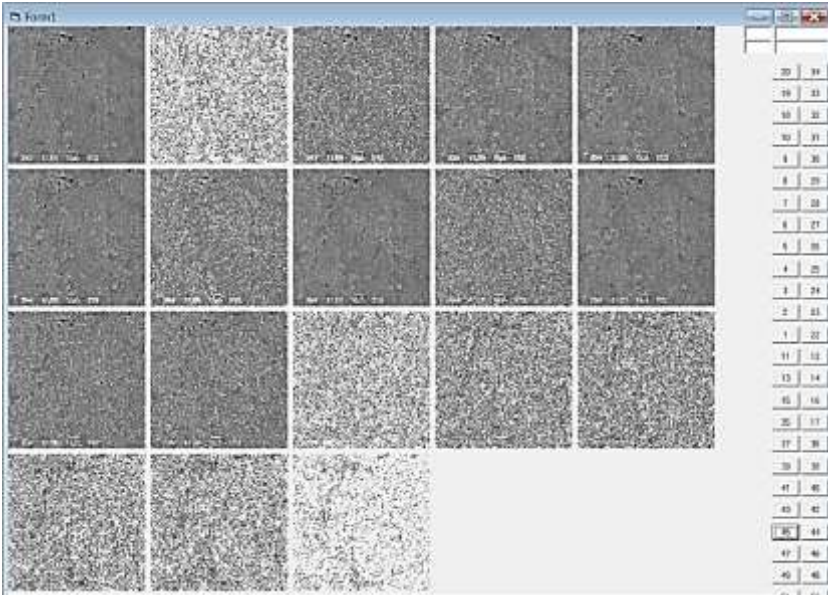


Рисунок 3.6 – Оптико-математичне описання, сформованої структури при внесенні модифікуючої домішки на основі шлікерного покриття

На цих же рисунках (третій ліворуч у першому ряді наведені дані за ступенем турбулізації. Так, у випадку відновлення тріщини без введення модифікатора турбулізація відповідає вихідному сірому чавуну. При використанні шлікерного модифікування такий процес теж відсутній. Обмазка електродом сприяє розвитку цього процесу в зоні відновлення за рахунок чого і формується хвиляста границя з'єднання.

Розрахунки показали, що відсоток комбінацій навіть по 5 кольорах досить малий, і в комірках 3×3 пікселя.

Виконане пересортування в комірках 10×10 пікселів за зростанням відсотків показало, що існують випадки, коли число комбінацій становило 1 або 2, тому для – інших (їх переважна більшість) складала перші три рядки з найбільшими значеннями (%).

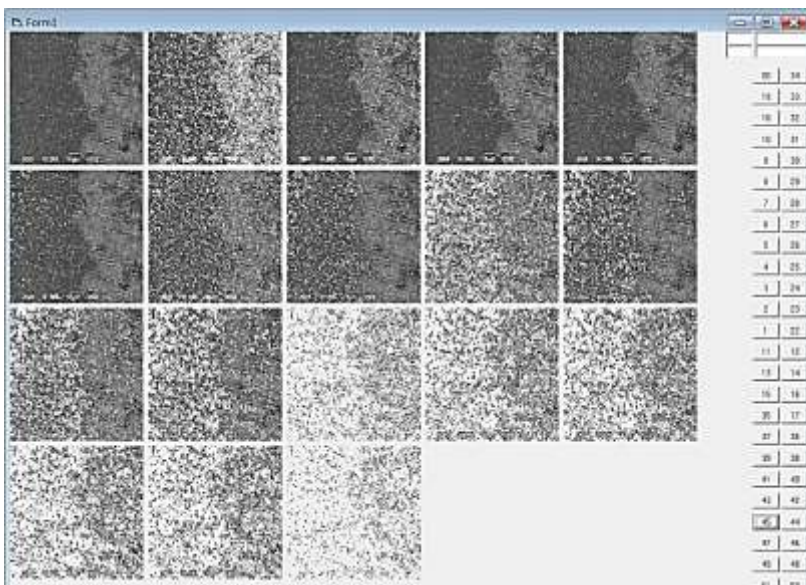


Рисунок 3.7 – Оптико-математичне описання, сформованої структури при внесенні модифікуючої домішки у вигляді введення обмазки електрода

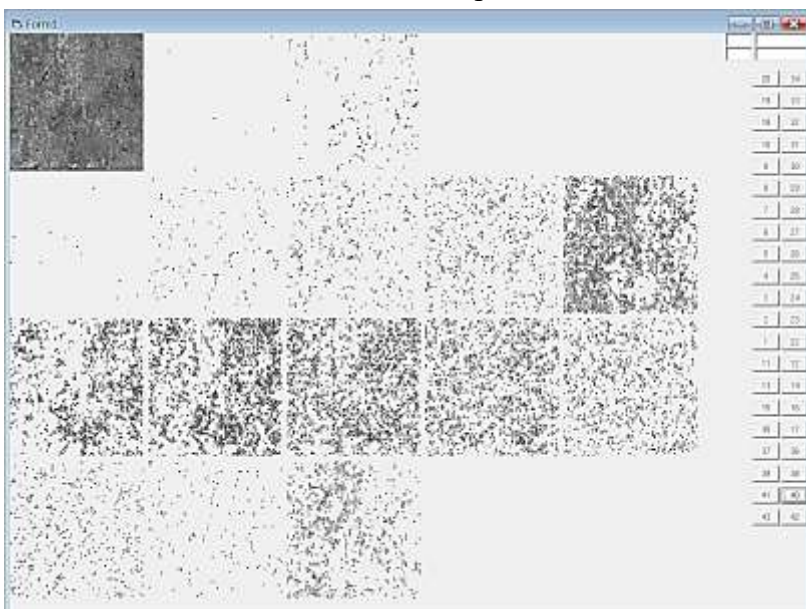


Рисунок 3.8 – Оптико-математичне описання структури при наплавленні без введення модифікуючої домішки (розрахунки на основі аналізу комірок 10×10 пікселів)

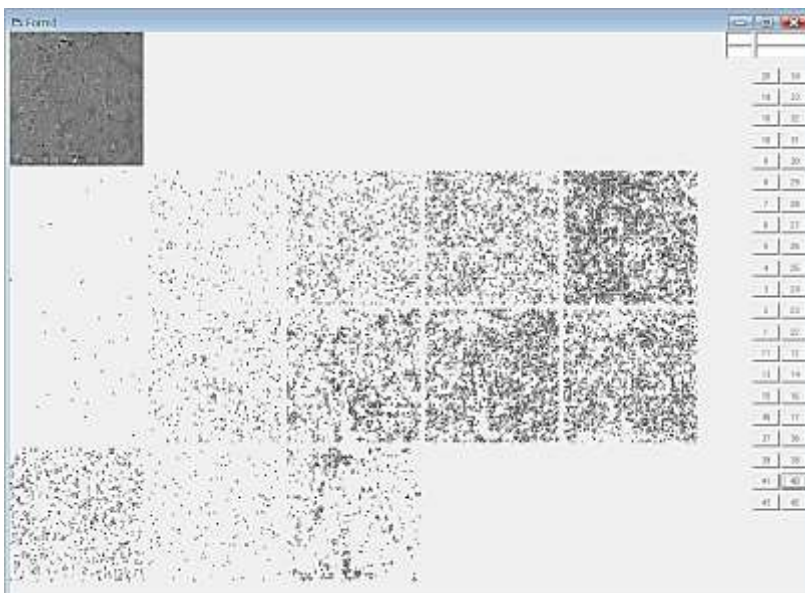


Рисунок 3.9 – Оптико-математичне описання структури при модифікуванні з використанням шлікерного покриття (розрахунки на основі аналізу комірок  $10 \times 10$  пікселів)

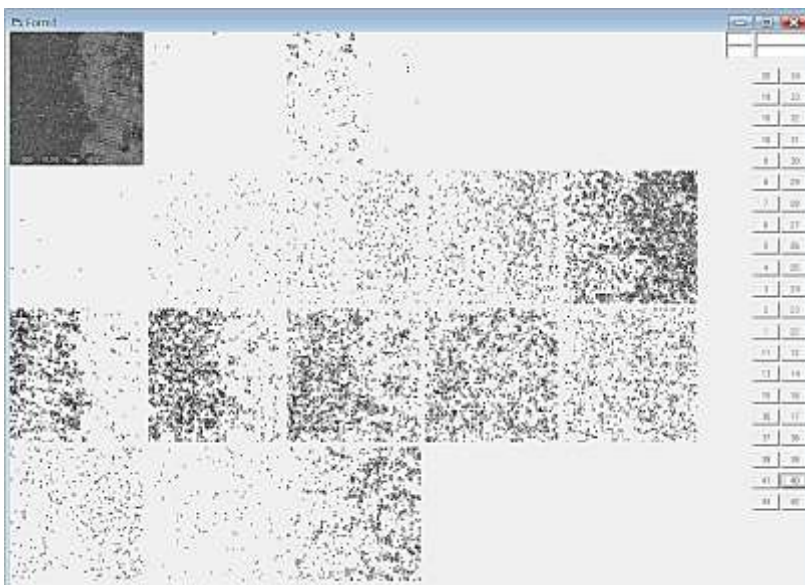


Рисунок 3.10 – Оптико-математичне описання структури при модифікуванні з нанесенням покриття на електрод (розрахунки на основі аналізу комірок  $10 \times 10$  пікселів)



Таблиця (В.1, Додаток В), була основою для побудови гістограм Бозе, наведених на рис. 3.11 - 3.13. При введенні модифікуючих домішок до 11 рядків мають максимальні значення комбінацій кольорів. Без модифікування число таких показань не перевищувало 5.

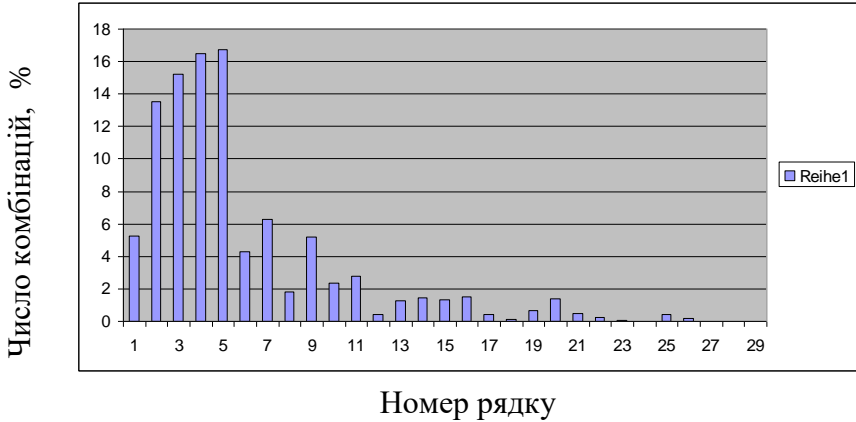


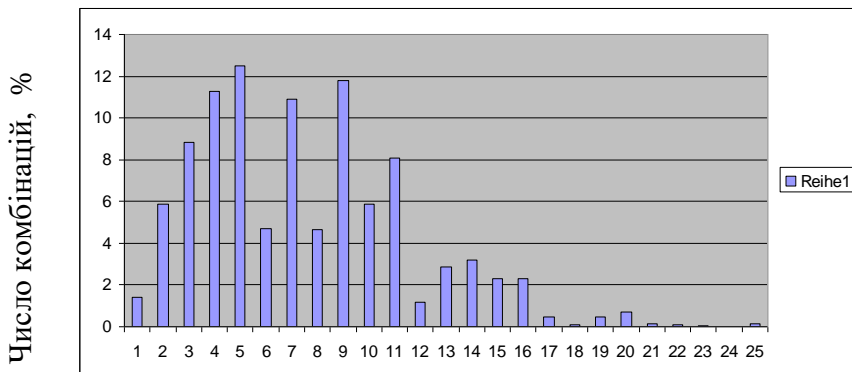
Рисунок 3.11 – Гістограма комбінацій фаз, що відповідає рис. 3.7 і розрахунковим даним (див. табл. В.1, Додаток В))

Розглянуто три варіанти, коли кількість зазначених випадків досягла 50 і 75 %, а також більше. При цьому, приблизно від 5 до 8 випадків відповідає 50 %. Це (номер 17) відноситься до рис. 3.7-3.9 (третій рис. у нижніх рядках). Що стосується більшої частки комбінацій – 75-100 %, то вони дуже слабкі (другі рис. у верхніх рядках фотографій див. рис. 3.7-3.9) або повністю відсутні.

Додатково розглянули кількість фаз і їх комбінацій та вони дорівнювали 7 для мікро- і електронних фотографій.

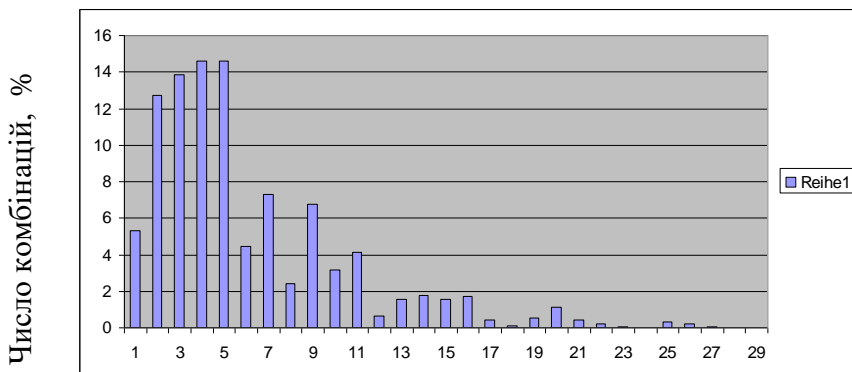
Їх оцінювали в комірках 3×3 пікселя. У цьому випадку:

- 1 – відповідає фериту;
- 2 – аустеніту;
- 3 – карбиду;
- 4 – ферит з аустенітом;
- 5 – ферит з карбідом;
- 6 – аустеніт з карбідом;
- 7 – ферит-аустеніт карбід.



Номер рядку

Рисунок 3.12 – Гістограма комбінацій фаз, що відповідає рис. 3.8 і розрахунковим даним (див. табл. В.1, Додаток В))



Номер рядку

Рисунок 3.13 – Гістограма комбінацій фаз, що відповідає рис. 3.9 і розрахунковим даним (див. табл. В.1, Додаток В))

При аналізі електронних фотографій виявили наступні локальні фази і їх комбінації:

1	2	3	4	5	6	7
87,556	0,005	1,366	4,055	1,279	0,887	4,852
93,400	0,004	0,543	3,816	0,658	0,158	1,425
95,012	0,002	0,505	1,876	1,031	0,158	1,415

Невелика частка комбінацій характерна для феритних складових при дозованому введенні модифікатора і мінімальна для – інших. При шлікерному покритті введення модифікатора є

не стабільним по відношенню як до дозованого його введення, так і традиційного методу наплавлення.

Трохи інша картина отримана при оцінці фаз за оптичними мікрофотографіями, які дають загальне уявлення про фазовий склад:

1	2	3	4	5	6	7
86,658	3,649	0,0	9,425	0,001	0,214	0,054
65,770	0,156	2,008	18,568	0,352	3,435	9,711
98,441	0,352	0,0	10,080	0,004	0,020	0,103

Частка фериту, сформована у вихідних зразках (1-й рядок), модифікованих при нанесенні шлікерного покриття (2-й рядок) і дозованому введенні (3-й рядок) та у ряді порівняльних варіантів при оцифруванні фотографій вони помітно відрізняються. Так, трохи підвищена частка фериту на 8 % відповідає дозованому введенню модифікуючої домішки. Найбільша неоднорідність за розподілом фазового складу характерна для модифікування з використанням шлікерного покриття, де частка фериту, залежно від методу одержання фотографій змінюється в межах 6-27 % у порівнянні з структурою наплавлення без модифікування. У цьому варіанті відрізняються і незначні відхилення в збільшенні частки карбідної фази, а також більш істотні, у комбінаціях фаз – фериту з карбідами.

Підвищена частка залишкового аустеніту до 3,65 % виявлена лише при наплавленні без модифікуючої домішки на оптичній макрофотографії.

Гістограми Бозе, що характеризують число комбінацій фаз, характерні для оптичних фотографій та наведені на рис. 3.14-3.16.

Аналіз цих гістограм підтвердив характер числа комбінацій при модифікуванні, який відповідає різним збільшенням фотографій (електронних і оптичних). Інша картина має місце при заварюванні дефектів без введення модифікуючих домішок де число комбінацій є мінімальним.

Підводячи підсумок проведеним теоретичним дослідженням з використанням оптико-математичного аналізу структур зон наплавлення, перехідного та вихідного шарів металу можна відзначити наступне.

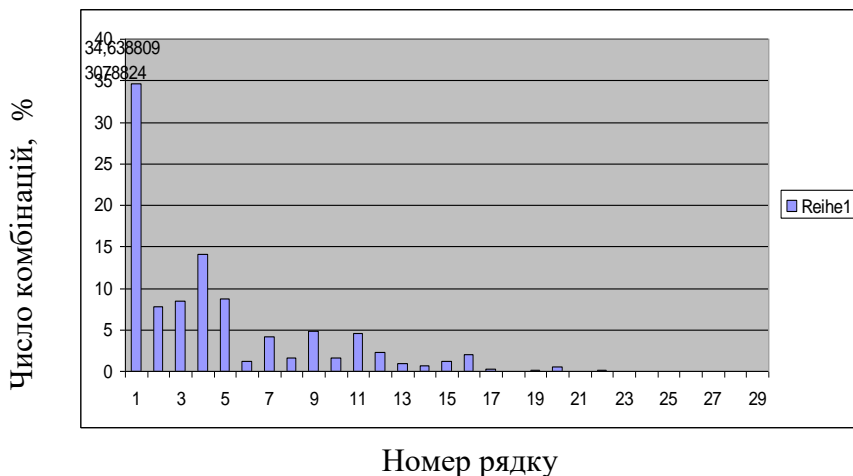


Рисунок 3.14 – Гістограма комбінацій фаз, оцінена по мікрофотографії без модифікуючої домішки

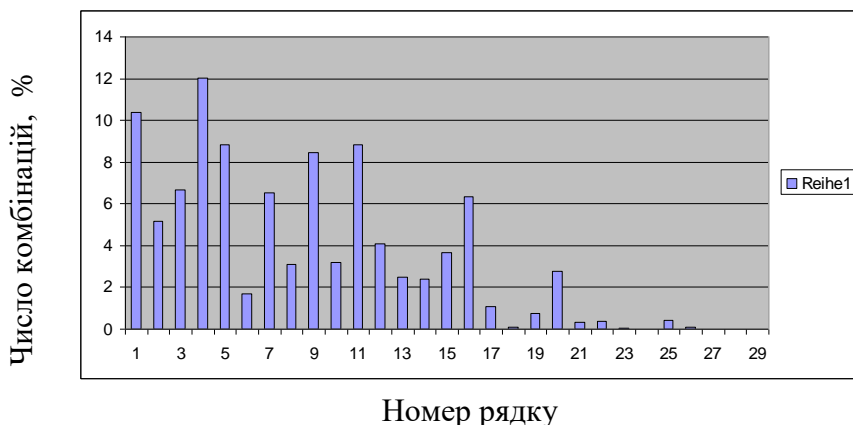


Рисунок 3.15 – Гістограма комбінацій фаз, оцінена по мікрофотографії при модифікуванні зі шлікерним покриттям

Запропонований метод аналізу описання структурних особливостей формування фаз, їх кількості і комбінацій при різних способах введення модифікуючої домішки (не магнітної складової детонаційної шихти, що включає нано- та дисперсні алмази, а

також мікродомішки компонентів) впливають на подрібнення зерен, їх рівномірний розподіл у зоні наплавлення, особливо при дозованому її введенні у рідку ванну. Найбільший ефект досягається при рівномірному, дозованому введенні такої модифікуючої домішки за рахунок локальних мікроохолоджувачів. Вона сприяє зниженню тепловкладень і змінює умови кристалізації, які супроводжуються турбулізацією, зменшенням розміру зерна, збільшенням зв'язків між різними фазами. Нерозчинні нано- і дисперсні алмази розташовуються по границях зерен відновленого шару та, частково осідаючи на дно рідкої ванни, формують хвилясту перехідну зону без дефектів, що відрізняється підвищеною міцністю зчеплення.

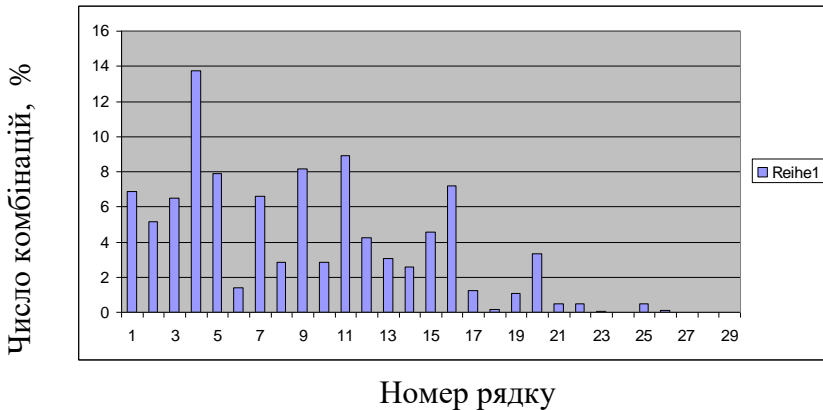


Рисунок 3.16 – Гістограма комбінацій фаз, оцінена по мікрофотографії при дозованому введенні модифікатора

Не менш важливо, використавши отриману інформацію, провести додаткові дослідження для розробки технологічних параметрів процесу заварювання дефектів на корпусних деталях, при їхньому виробництві в умовах ВАТ «ХТЗ», встановивши умови тріщиноутворення, на основі вивчення якості металу деталей, формування рівня напружень у процесі відновлення різними способами, визначенням оптимальних параметрів обробки для промислового використання.

На основі проведеного аналізу з використанням теоретичних підходів математичного опису впливу параметрів підігріву

металевої форми з різним перетином її стінки за висотою для виливків втулок гільз циліндрів з мінімізацією рівня напружень запропоновано спосіб найбільш ефективного, з погляду забезпечення енергозбереження, екології, економії витрат, а в технічному аспекті – програмувальними параметрами СПЧ при циклічній обробці з відключенням індукторів. Встановлено, що сумарний час нагрівання форми СПЧ повинен становити 4,2 год., а відключення в період пауз – 1,2 год. Число циклів, що забезпечують рівномірне нагрівання за висотою металевої форми повинен становити не менше трьох. Запропоновані і обґрунтовані розрахунками технологічні параметри підігріву металевої форми в порівнянні з – пічним дозволяє збільшити ККД процесу з 60 до 80 % і підвищити їх експлуатаційну стійкість на 15 %.

Запропоновано новий підхід до оцінки структуроутворення при різних методах відновлення дефектів оптико-математичним методом, який базується на оцінках типу формуємих фаз, їх кількісному співвідношенні, а також зв'язках між ними. Розглянуто 256 відтінків кольорів, які відповідають: 0-1 – вуглецевим фазам (графіт, кольори до 32); 2-8 – феритним фазам (кольори 33-146 по-різному насичені вуглецем); 9,10 – аустенітним (кольори 147-164) і 11-16 (кольори 165-255) карбідним різних типів ( $Fe_3C$ ,  $Fe_xC_y$ , і  $FeC$ ). Аналіз, проведений на основі пікселів у комірках  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  і  $10 \times 10$ , дозволив не тільки виявити наявність різних структурних складових, але і чітко визначити границю зони сплавлення з перехідним шаром, його форму (суцільна, хвиляста). Для комірок пікселів розглядали різні та однакові комбінації кольорів. При цьому аналізували як окремо різні зони (наплавлення, перехідні), так і по всій фотографії без їхнього врахування.

Встановлено що залежно від способу введення модифікуючої домішки, спеціально підготовленої детонаційної не магнітної складової шихти з алмазною фракцією від утилізації боеприпасів, формується різна кількість фазових складових, яка визначається ступенем неоднорідності розподілу нано- і дисперсних

включень. Одночасно виявлено взаємозв'язок між різними складовими ферит-аустеніт; ферит-аустеніт-карбіди; аустеніт-карбіди; ферит-карбіди; які визначають роль модифікуючої домішки у підвищенні якості відновленого шару (відсутність дефектів), чистоти зони сплавлення, що супроводжується зменшенням тепловкладення і, відповідно умовами кристалізації.

Зіставний аналіз зон наплавлення, різних технологій (з нанесенням модифікуючої домішки у вигляді шлікерного покриття та наступним оплавленням, а також обмазкою електрода) при відновленні корпусної деталі роздавальної коробки передач сільськогосподарської техніки, виконано і для варіанту без введення модифікуючої домішки. При цьому використовували однакові параметри процесу, штучно сформованої тріщини.

Аналізували фотографії різних варіантів мікро- і електронних зображень за однаковими збільшеннями мікроскопа. Встановлено, що найбільш стабільні результати досягаються при модифікуванні з обмазкою електрода. В цьому випадку при дозованому введенні домішки величина зерна зменшується і у відновленому шарі збільшується частка феритної складової, а також суттєво зростає кількість зв'язків у фериті різної насиченості вуглецем і меншою мірою з іншими фазами (аустеніт, карбіди).

Розрахунками показано, що при традиційному методі заварки дефектів і модифікуванні нанесенням шлікерного покриття, різниця у фазовому складі між основним металом і зоною наплавлення не перевищує змін в 1,3 рази (сумарне відношення  $71,2/58,8 = 1,3$ ), однак при дозованому введенні воно досягає 5 ( $61,8/12,4 > 5$ ). Структурні зміни, які забезпечили найбільшу ефективність, досягнуті за рахунок зменшення тепловкладення, а також розвитку явища турбулізації при введенні не розчинених нано- і дисперсних алмазів, що відіграють роль локальних мікроохолоджувачів. Виявлені особливості структуроутворення, які оцінені за фотографіями із зображенням фаз і їхніх комбінацій, а також за гістограмами Бозе.

## **4. ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРАФІТОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ**

Оцінка особливостей структуроутворення у виливках при кристалізації та при відновленні дефектів на першому етапі базувалася на виявленні цих зон неруйнівним методом. На другому етапі проводили експериментальні дослідження з виявленням зон порушення цілісності виливків. Третій етап досліджень передбачав виявлення чинників, що сприяють пошкодженням виливків при виробництві та експлуатації.

### **4.1 Вплив графітових включень на створення локальних напружень**

При експлуатації деталей у машинобудуванні з високовуглецевих сплавів вони зазнають вплив різних навантажень, у тому числі циклічних, розтяганням, стисненням, температурних, що супроводжуються розвитком неоднорідності в розподілу вуглецю у дефектних зонах.

Особливе значення у розвитку деградаційних процесів при експлуатації таких матеріалів належить графітовим, карбідним та неметалевим включенням. Роль включень карбідної фази докладно розглянуто в роботі з оцінки якості неруйнівним методом контролю [218].

Доскональні дослідження структурних змін та створення нових технологічних рішень при виробництві було виконано, згідно розробленого методу оптико-математичного опису фотографій зображень при оптичних та електроніко-мікроскопічних дослідженнях [165, 219-221].

Разом з цим, важливим є вивчення чинників, які призводять до руйнування виробів у машинобудуванні, таких як корпусні деталі сільськогосподарської техніки. Їх виготовляють з сірих чавунів та вони мають змінну товщину стінки, що призводить до розвитку напружень у перехідних по товщині зонах вже під час



їх кристалізації. За рахунок різної товщини корпусної деталі швидкість охолодження суттєво змінюється та формуються дефекти (тріщини, порожнини), змінюються співвідношення фазових складових, форма та доля графітових включень. Поява дефектів призводить до бракування відливок або потребує їх ремонту відновленням. Разом з цим відомо, що відновлення таких деталей з сірого чавуну наплавленням є не ефективним, оскільки цей процес супроводжується тріщиноутворенням відновленого шару формуванням значної зони термічного впливу, підвищеним рівнем напружень. Цю проблему вирішували розробкою інноваційної технології модифікування вторинною сировиною з введенням детонаційної частки не магнітної складової шихти від утилізації боєприпасів. Однак, залишається питання впливу форми та доли виділення графітових включень у змінних зонах виливків на розвиток напружень та їх вплив на порушення суцільності.

Для визначення структурних змін, що відбуваються у сірому чавуні, в умовах впливу напружень, у якості моделювання та вивчення кінетики процесів, використовували метод виявлення дислокаційної структури методом травлення за різним навантаженням у вакуумі  $3 \times 10^{-3}$  мм.рт.ст. з використанням устаткування – мікроскопа типу системи Лозинського. Випробування проводили на зразках  $3 \times 4 \times 80$  мм. (шліф полірували на одній зі сторін розміром 4 мм). Для такого зразка не використовували хімічне травлення, щоб оцінити тільки вплив та зміни в графіті, його жорстко закріплювали в спеціальних пристроях. Після досягнення розрядження у камері здійснювали нагрівання середньої частини зразка і за допомогою мікроскопа спостерігали та фіксували структурні зміни, які формувалися в процесі експериментів за рахунок розвитку дифузійних процесів, а потім, досліджували фотографії мікроструктур. Наступні дослідження проводили по цих фотографіях з використанням розробленої методики, згідно базового підходу, до оптико-математичного комп'ютерного аналізу [165, 219-222]. При цьому, виявляли та описували дефекти структури (дислокації).

В останній час для визначення напружень використовують оптико-математичні методи обробки експериментальних даних, які дозволяють не тільки описати структуроутворення при різних технологічних процесах виробництва, але і проводити розрахунки мікро-та макродеформацій, прогнозувати зони передруйнування з урахуванням властивостей матеріалів [223, 224].

В представлених дослідженнях вперше розглядається вплив графітових включень на локальні напруження, що формуються в перехідних зонах виливків зі змінною товщиною стінок.

Методичний підхід також базувався на дослідженнях фотографій мікроструктур, одержаних на оптичному мікроскопі «МІМ-8М», електронному «YEOL JSM-6390LV», скануючому «YSM-820» Link «YEOL» мікроскопах зі збільшеннями від 100 до 11600 разів.

Для виявлення максимального зв'язку кольорів між різними зонами досліджували комірки  $C(x,y)$  з різними пікселями ( $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $10 \times 10$  та інш.). Методичний підхід до розрахунків детально розглянуто у 3 розділі роботи.

Оцінку щільності дислокацій проводили по значенням, які відповідали скануванню пікселів, виявлених на металографічних зображеннях, що оцифровували у формат *bmp*. Методика комп'ютерного аналізу базується на гідродинамічних аналогіях з використанням рівнянь Нав'є-Стокса, що відбуваються при розвитку дифузійних процесів, змін щільності.

Зміну дислокаційної структури навколо зон грубих графітових включень, які є концентраторами напружень після відливання та експлуатації деталей з сірого чавуну, вивчали в умовах виникнення дефектів від локальних деформацій та окислення (не якісна підготовка форми або пошкодження при експлуатації). Ці фактори обумовлені підвищенням вільної енергії за рахунок зростання пластичної деформації та подальшого зменшення її при розвитку дефектів (дислокацій), упорядкуванні (формування стінок, комірок). У зв'язку з цим, в якості критерію, що описує зміни

дислокаційної структури, її щільності використовували енергетичний параметр – міцність дисипації енергії (див. розділ 2), який представлено у вигляді зв'язку дивергенції  $D(x, y)$  та лапласіану  $L(x, y)$  функцій  $C(x, y)$ , де  $x, y$  – координати точок металографічного зображення.

При цьому, у виявлених найбільш деформаційних зонах були оцінені середні значення потужності дисипації енергії, а потім також на всьому металографічному відображенні.

Оскільки при деформації енергетичний стан металу не є рівноважним то, згідно розрахунків, такому параметру відповідають значення, що будуть відрізнятися знаками.

Стан з підвищеною щільністю дислокацій відповідав стисненню та оцінювався зі знаком «плюс», а малою – «мінус» (зони скидання напружень). Одноразово знаходили зони з абсолютними значеннями потужності дисипації, що характеризують процес у цілому.

Щільність дислокацій, їх упорядкування оцінювали, згідно виявлених фігур травлення, які мали найбільші значення лапласіанів.

Червоним кольором відзначали ті дефекти кристалічного стану, у яких абсолютна величина лапласіанів більше 255.

Дослідження з оцінкою зміни структурного стану при кристалізації та експлуатації вивчали по фотографіях мікроструктур, одержаних при різних збільшеннях.

Так, рис. 4.1 відповідає мікроструктурі, що оброблялася, верхній ряд рис. 4.2 відповідає напруженням (негативним, нульовим і позитивним), а нижній ряд – щільності дислокацій у цих локальних зонах деформацій.

Грубі пластинчасті включення графіту (їх скупчення) при кристалізації підвищують рівень локальних напружень та навколо їх збільшується щільність дислокацій, має місце дифузія вуглецю, яка декорує ці дефекти. При цьому, в окремих зонах графіту проглядаються зміни кольору і виражені в ньому чіткі темні

зони (зневуглецювання та створення порожнин), а границі включень мають червоний колір (крапкові виділення вуглецю на дислокаціях з підвищеною їх щільністю).



Рисунок 4.1 – Вихідна мікроструктура  $\times 100$ .  
Вакуумне травлення

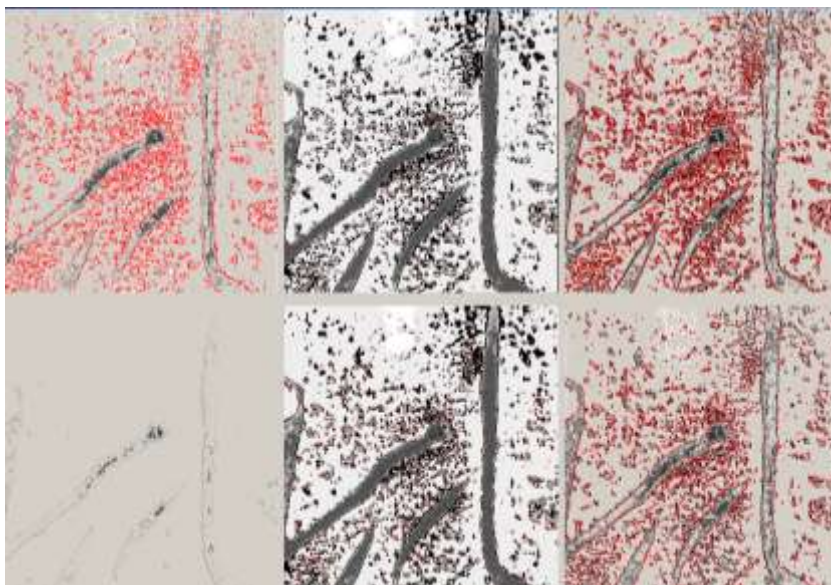


Рисунок 4.2 – Порівняльний аналіз структур, описаних  
оптико-математичним методом

Також виявлено скупчення дислокацій поблизу кінців грубих графітових пластинчастих включень. Ці зони є осередками зародження тріщин. Їхня поява може бути пов'язана з відхиленнями в технологічному процесі виробництва виливків, а також умовами неоднорідної швидкості кристалізації. В першу чергу, істотна роль може бути пов'язана з різнотовщинністю стінок вилівка. У цьому випадку доцільно використовувати різні технологічні прийоми: рівномірно і до потрібної температури підігрівати ливарне оснащення або використовувати різну товщину покриття перехідних зон зі змінним перерізом у виливках, які наносять на земляну форму, якісно модифікувати метал для забезпечення формування дрібних, однорідно розподілених включень графіту, що забезпечить мінімізацію схильності до створення локальних напружень.

При моделюванні процесу створення напружень зразки для досліджень нагрівали до різних температур 200, 400 і 600°C та фіксували зміни структури, що відбуваються в умовах дії напружень. При жорсткому закріпленні зразка і нагріванні у вакуумі на мікроскопі системи Лозинського тільки у середній його частині формувалися деформаційні зони, які проявлялися в збільшенні щільності дислокацій та їх виявлення у вигляді фігур травлення в процесі формування напружень.

Оцінка змін методом оптико-математичної обробки фотографій підтвердила, що осередками зародження пор, тріщин, надривів є зони з підвищеною щільністю дислокацій. При цьому виявили, що включення графіту «втратили частину вуглецю» за рахунок дифузії під напруженням (див. рис. 4.2).

Випробування при експлуатації виробів в умовах зростаючих температур нагрівання, показали, що навколо включень графіту дислокаційна структура за часом змінюється і досягає упорядкування з формуванням сіток (рис. 4.3). Електронікроскопічні дослідження після вакуумного травлення виявили дислокації, які формують таку структуру на даному етапі випробувань, та вона – стабілізує сформовану упорядковану будову (рис. 4.4 і 4.5).

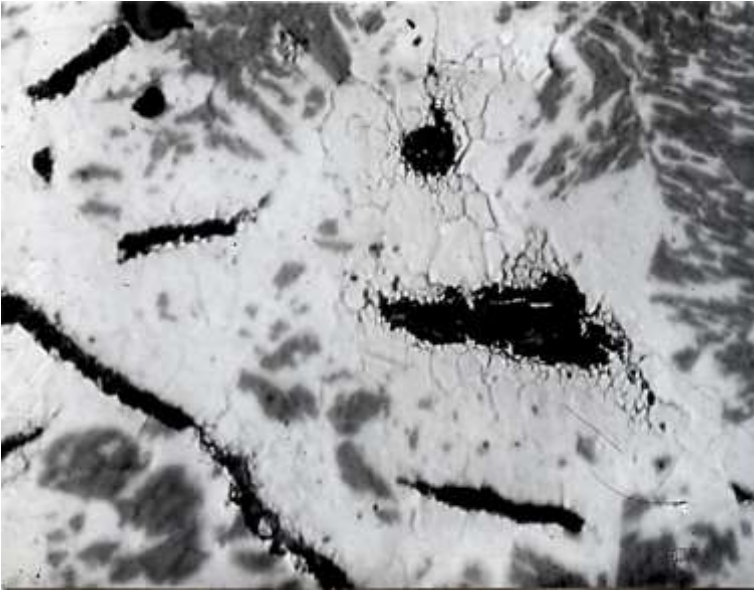


Рисунок 4.3 – Металографічна картина формування дислокаційних сіток навколо графіту,  $\times 100$



Рисунок 4.4 – Дислокації (ямки травлення з декоруванням вуглецем), що формують сітки. Вакуумне травлення,  $\times 11600$

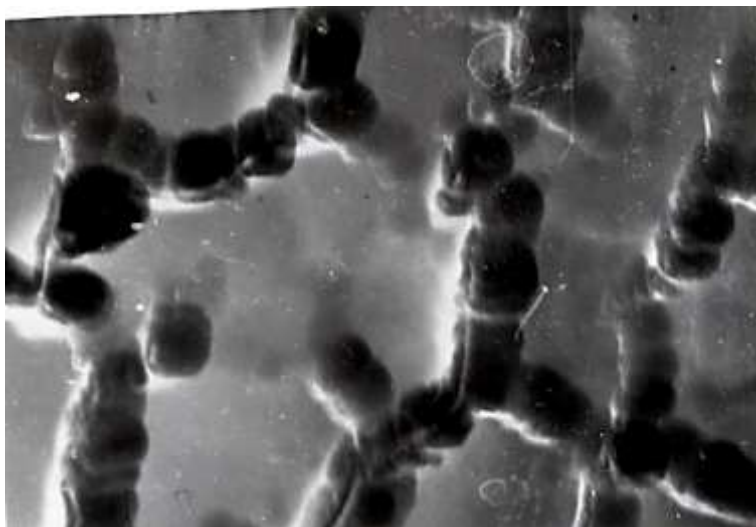
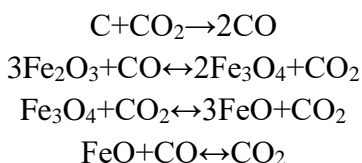


Рисунок 4.5 – Дислокаційні сітки навколо графітових включень, що складаються з ямок травлення. Вакуумне травлення,  $\times 4800$

При використанні не якісно підготовленої форми для одержання вилівка має місце формування кисневих включень навколо графіту, а також таке явище спостерігали і у експлуатації. Де в умовах додаткового розвитку напружень відбувається дифузія вуглецю та кисню, які змінюють такі включення за реакціями:



При цьому, можливо спостерігати, що така структура характерна для зон з підвищеним рівнем напружень не тільки біля пластинчастих включень, але і – компактних (див. рис. 4.3). Це супроводжується і зміною їх цілісності (зародженням руйнування).

Для визначення ступеню неоднорідності у промислових вилівках, що характеризуються зміною щільності дислокацій, досліджували зразки з підвищеним рівнем локальних напружень. Оцінку виконували за рівнем коерцитивною сили та металографічними дослідженнями [164].

У якості критерію, що описує зміну дислокаційної структури, використовували енергетичні параметри (функцію потужності дисипації енергії і напружень), згідно комірок 3×3 пікселя з послідовним їх скануванням, задаючи середню крапку (див. розділ 2).

Досліджувані фотографії оцінювали з використанням удосконаленого методу оптико-математичної обробки [219]. На першому етапі аналізували не травлені хімічним методом зразки, на яких виявили лише графіт та виділення вуглецю з різним кольором (1 – у графіті, 2 – на дислокаціях). Статистичний аналіз оптико-математичним методом, згідно одержаних алгебраїчних гістограм виявив, що у графітових включеннях доля вуглецевої фази змінюється від 88,7 – 95,7 %, а у виділеннях в зонах скупчення дислокацій з 4,3 – 11,3%.

На другому етапі вивчали зразки після попереднього травлення 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

При цьому, весь діапазон зображень, виявлених структур, за умовними відтінками кольору від 0 до 255, був розбитий на 16 інтервалів, що включав три групи фаз: 1) – це 1, 2 відносяться до виділень графіту та вуглецю на дислокаціях; 2) – фериту – 3-10, фази відрізняються типом досконалості кристалічної структури та часткою у ній вуглецю; 3) – карбідні фази типу FeC, Fe<sub>x</sub>C<sub>y</sub> і Fe<sub>3</sub>C (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Кількісне співвідношення виявлених умовних кольорів які характеризують фазовий склад), % в зонах аналізованого зображення

Виявлені умовні кольори, % груп фаз																№ Фото рис.
1) гра- фіту		2) фериту								3) карбідів						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	4.6
26,6	0,5	0,0	0,0	02,3	16,6	0,0	0,0	0,0	06,3	15,2	0,0	0,0	0,0	19,2	13,3	<i>a</i>
12,9	0,0	0,0	0,0	00,0	10,6	0,0	0,0	0,0	06,7	43,7	0,0	0,0	0,0	00,0	26,1	<i>б</i>
39,0	01,7	0,0	0,0	02,1	10,9	0,0	0,0	00,0	03,3	19,3	0,0	0,0	0,0	05,5	18,1	<i>в</i>

Оцінку неоднорідності розподілу деформацій виявляли за



локальним вмістом вуглецю в зонах з підвищеною щільністю дислокацій, декорованих цим компонентом і сформованої структури при кристалізації в умовах локальних напружень. Аналіз враховував і результати, раніше проведених досліджень [220], які показали, що пластичність перліту залежить від орієнтації пластин цементиту, щодо напрямку діючої деформації. Відомо, що збіг напрямку ковзання дислокацій у фериті та цементиті пластин перліту зустрічається рідко, тому у твердій фазі збільшується їх щільність. У цьому випадку при малій схильності до дефектоутворення найбільш твердої структурної складової (цементиту) сприяє тому, що вже при малих деформаціях у м'якій фазі (фериті) суттєво зростає неоднорідність і збільшується щільність дислокацій.

При цьому, важливу роль відіграє межа їх розподілу, що є не тільки джерелом розвитку напружень, але й перешкодою для ковзання дислокацій.

На рис. 4.6 наведені результати зіставних досліджень, які виявлені при локальній деформації (див. *a, в*) на зразках після експлуатації, відібраних від корпусних деталей з сірого чавуну в зонах зі змінною товщиною корпусу та підвищеною коерцитивною силою (див. *г, е*).

З наведених даних видно, що локальна деформація найбільш інтенсивно проявляється навколо грубих скупчень пластичного графіту і у меншій мірі в зонах біля пластин цементу, а створені дефекти декоруються завдяки дифузії вуглецю. Дисперсність фаз, їх взаємозв'язок і частку оцінювали зіставно за горизонтальною та вертикальною спрямованістю (анізотропією) в локальних зонах та, це ілюструють (табл. 4.2 і табл. 4.3).

Аналіз отриманих значень виявив істотні фазові неоднорідності стану структур за різними оцінюваними напрямками вимірювань, що визначається дислокаційною структурою, згідно її щільності у локальних мікрозонах і це добре узгоджується зі значеннями функції потужності дисипації, що перевищують заданий поріг значень (табл. 4.4 рис. 4.6, *г-е*).

Таблиця 4.2 – Величина горизонтальної дисперсності фаз (відносне число пікселів) в локальних зонах зображення комірок розміром 3×3 пікселя

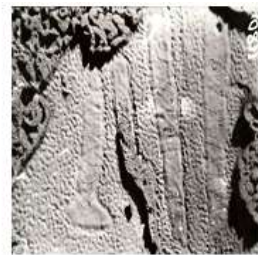
Виявлені фази							Середнє значення горизонтальної дисперсності	№ фото рис. 4.6
Ферит	Графіт	Карбіди	Ферит + графіт	Ферит + карбіди	Карбіди + графіт	Ферит + графіт + карбіди		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10,032	02,665	09,082	02,691	05,015	02,805	02,582	05,794	<i>а</i>
05,959	03,304	10,878	02,257	04,531	02,730	02,752	05,456	<i>б</i>
20,277	02,442	14,213	02,174	04,563	02,423	02,670	08,537	<i>в</i>



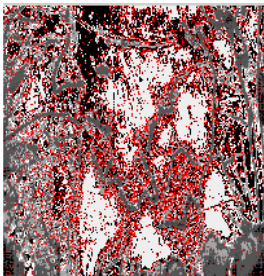
*а*



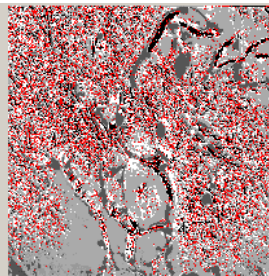
*б*



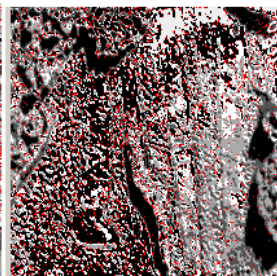
*в*



*г*



*д*



*е*

*а,г* – у литому стані,  $\times 500$ , у зоні пластичної деформації з підвищеною коерцитивною силою; *б,д* – у зоні скупчення грубих включень графіту,  $\times 200$ ; *з,е* – в області цементитних пластин,  $\times 1000$ . Фотографії *а-в* відображають вихідний стан, а *з-е* – картину після оптико-математичної обробки

Рисунок 4.6 – Мікроструктура виливків корпусних деталей із сірого ферито-перлітного чавуну

Таблиця 4.3 – Величина вертикальної дисперсності фаз (відносне число пікселів) в локальних зонах зображення комірок розміром 3×3 пікселя

Виявлені фази							Середнє значення вертикальної дисперсності	№ фото рис. 4.6
Ферит	Графіт	Карбід	Ферит + графіт	Ферит + карбід	Карбід + графіт	Ферит + графіт + карбід		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10,092	02,587	09,071	02,733	05,020	02,813	02,592	05,804	<i>a</i>
05,931	02,850	10,722	02,181	04,657	02,659	02,702	05,402	<i>б</i>
17,078	02,287	12,229	01,952	03,969	02,161	02,379	07,370	<i>в</i>

Таблиця 4.4 – Розподіл середніх значень функції потужності дисипації енергії

Величина функції потужності дисипації енергії						№ фото рис. 4.6
Абсолютне значення		Негативне значення		Позитивне значення		
середнє	середньоквадратичне відхилення	середнє	середньоквадратичне відхилення	середнє	середньоквадратичне відхилення	
15273,80	48129,20	1437,80	1437,90	55222,00	78603,30	<i>з</i>
14636,30	49301,50	1579,10	1302,10	48134,10	79950,50	<i>д</i>
8381,70	36017,30	1290,20	1111,40	44084,70	72525,30	<i>е</i>

Зіставні дослідження локальної неоднорідності у виявлених фазах виконували відповідно до критерію мінливості (табл. 4.5), згідно з методикою, запропонованою в роботах [219, 220].

Для зображень розміром комірки 3×3 пікселя структура є 100 % однорідною за умови збігу всіх 9 кольорів у середині цієї зони. Разом з тим, аналізом виявлена локальна неоднорідність, яка проявляється лише при оцінках методами, що відрізняються. Це розкид значень для структур 1 і 7, 2 і 3 (див. табл. 4.2 і 4.3 стовпець 8 і табл. 4.5, стовпці 7-9). Отримані результати виявили зображення, які оцінювали при більших збільшеннях (вище ніж

×1000) і це дозволило виявити локальну неоднорідність з достатньою точністю.

Таблиця 4.5 – Величина мінливості 2 у локальних областях зображення розміром комірок 3×3 пікселя

Виявлені фази									№ фото рис. 4.6
Ферит + графіт		Графіт+ карбіди		Ферит + карбіди		Ферит + графіт + карбіди			
графіт	ферит	графіт	карбіди	ферит	карбіди	графіт	ферит	карбіди	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,26	1,66	1,57	2,42	2,37	2,76	1,63	2,03	2,44	<i>z</i>
1,27	1,66	1,65	2,51	2,42	2,78	1,65	2,07	2,48	<i>δ</i>
1,24	1,67	1,55	2,44	2,36	2,77	1,56	2,02	2,45	<i>e</i>

Оцінюючи ступінь локальної неоднорідності, визначили зміни щільності дислокацій, на основі чого виконали розрахунки середніх значень функції потужності дисипації енергії на всьому зображенні кожної фотографії. При цьому фіксували виявлені відхилення.

Оскільки деформація енергетичного стану металу є процесом нерівноважним, то оцінку цього параметру приймали із протилежними значеннями від негативних, що характеризують зони скидання напружень до позитивних. Останні відносили до зон збільшення щільності дислокацій (відповідних до стискання). Оцінювали і абсолютні значення потужності дисипації, які характеризували протікання процесу у цілому. Аналізом встановили, що закон розподілу функції потужності дисипації енергії, який відбувається при деформації, є близьким до експонентного. На рис. 4.6, *z-e* представлені фотографії, які оброблені оптико-математичним методом, фіксують розподіл абсолютних значень потужності дисипації енергії, досліджуваних зображень.

При цьому, фіксували лише ті значення параметрів, які відрізнялися від нуля. Чорний колір характеризував відсутність дисипації енергії, тобто рівноважний стан. Перевищення величини 11500 характеризував найбільш нестійкий енергетичний

стан і така крапка відповідала червоному кольору. Обрані параметри граничних значень з'явилися границею чутливості використовуваного методу досліджень.

Виявлено, що грубі включення графіту в сірому чавуні, підвищують рівень локальних напружень, навколо яких позитивні значення дисипації потужності зростають на 25% з 44000 до 56000, (див. табл. 4.5) за рахунок збільшення щільності дислокацій. В цих зонах активізується дифузія вуглецю, який їх декорує. В окремих зонах у включеннях графіту проглядаються зміни кольору і має місце поява в них зон з відсутністю включень (виявляються як порожнини).

Границі графітових включень мають червоний колір (відповідає підвищеній щільності дислокацій).

Напруження оцінювали і згідно щільності дислокацій за середньою дисперсією цієї функції (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Величина середньої дисперсності функції напружень (відносне число пікселів)

Горизонтальна дисперсність	Горизонтальна дисперсність функцій напруги			Вертикальна дисперсність	Вертикальна дисперсність функцій напруги			№ фото рис. 4.6
	негативних	нульових	позитивних		негативних	нульових	позитивних	
03,129	01,000	05,253	01,000	03,122	01,099	05,734	01,097	<i>z</i>
02,943	01,099	05,124	01,069	02,914	01,093	05,052	01,071	<i>д</i>
04,886	01,094	08,945	01,090	04,410	01,090	07,990	01,085	<i>е</i>

Аналогічно функціям потужності дисипації напруження також мають позитивне, негативне і нульове значення, що визначає процеси, які протікають у структурних складових. Аналогічно (див. рис. 4.6) була задана межа граничних значень лапласіана, який відповідає 10000, при перевищенні його пікселі забарвлювались в червоний колір. Картину розподілу неоднорідного напруженого стану за зміною кольорів ілюструє рис. 4.7.

Показано, що грубі включення графіту при кристалізації

підвищують рівень локальних напружень і визначають схильність сірого чавуну до дефектоутворення.

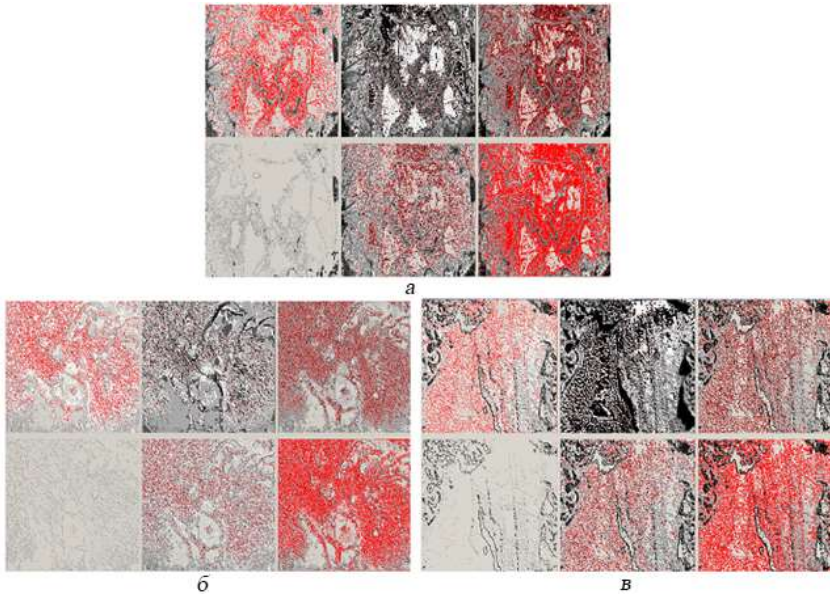


Рисунок 4.7 – Розподіл дисперсності функції напруги. Для кожної структури: верхній ряд – горизонтальна дисперсність; нижній – вертикальна. Ліворуч – з негативним знаком; у центрі – нульовим; праворуч – з позитивним. Червоним кольором вказана щільність дислокаційної структури.

Величина лапласіанів перевищує 10000

Поява кисневмісних включень, які виявлені термоелектронною емісією (рис. 4.8), а їх кількість оцінена методом мікрорентгеноспектрального аналізу (див. розділ 2.2), з часткою від 0,1 до 25 %  $O_2$  у виробках з чавуну, призводить до підвищення коерцитивної сили та її показники змінюються на 25-30 %. Зі зміною частки кисню  $>12\%$  коерцитивна сила зростає до 10-12 А/см.

Зі зміною частки графіту  $<5\%$  та  $>9\%$  при наявності неметалевих включень (оксидів)  $>12\%$  суттєво зростає схильність до тріщиноутворення.

Виконаним аналізом також встановлено, що виникнення дефектів, які супроводжуються значною локалізацією деформацій

при експлуатації виробів, та працюють в умовах механічних і температурних навантажень з утворенням напружень від концентраторів – графітових включень призводять до тріщиноутворення, розвитку процесів деградації структури. На першому етапі це супроводжується формуванням скупчень дислокацій, локальною деформацією, виділеннями на дефектах вуглецю, а на другому етапі при експлуатації – розвитком інтенсивного руйнування графітових включень, додатковим окисленням і послідовним частковим відновленням оксидів за рахунок дифузійних процесів.

Встановлено, що зі зміною частки графіту до 9-11% структура його включень формується більш грубою, зростає вміст фериту та зменшується доля перліту і коерцитивна сила знижується в 1,2-1,3 разів [222]. В таких зонах з порожнинами у включеннях графіту зароджуються тріщини (рис. 4.8).

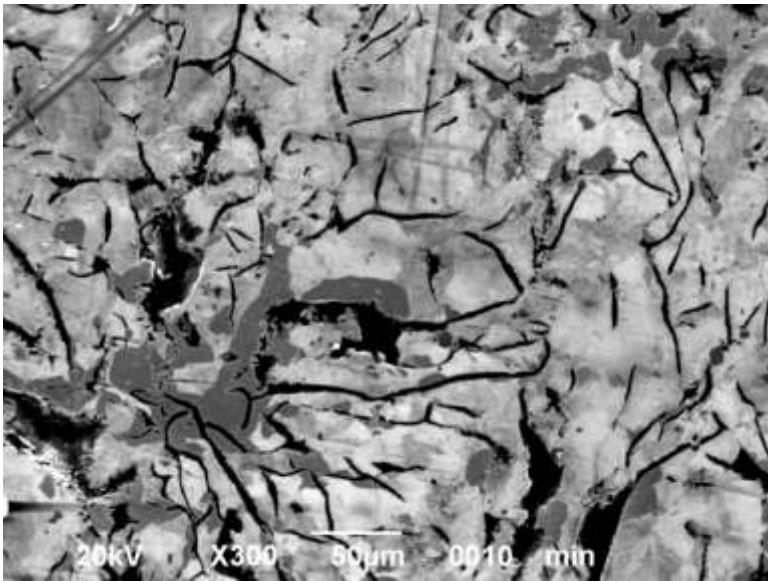


Рисунок 4.8 – Тріщини у графіті, що формуються в грубих включеннях у зонах зміни товщин стінок при кристалізації виливків корпусів з сірого чавуну

На основі моделювання напруженого стану, а потім у виробництві та експлуатації показано, що грубі включення графіту,

які формуються у перехідних по товщині стінок корпусних деталей, є осередками зародження дефектів з їх високою щільністю. Процес їх розвитку відбувається за рахунок зміни дислокаційної структури та дифузії вуглецю з графіту, що призводить до утворення у включеннях порожнини. Це сприяє і розвитку процесів окислення.

Підвищення якості таких деталей можливе з використанням додаткового модифікування та корегування швидкості кристалізації вилівка для подрібнення фазових складових.

## **4.2 Оцінка особливостей структуроутворення при заварюванні дефектів**

В розділі розглядаються особливості структуроутворення при відновленні деталей наплавленням. Розрахунками виконана оцінка показників, що дозволяє оцінити нейтральності, згідно критерію Колмогорова. Порівняльно досліджували варіанти вихідного стану, використання модифікуючих домішок, які вводили у вигляді шлікерного покриття з послідуочим оплавленням при відновленні дефектної зони електродом, а також використовували і покриття, що наносили на електрод обмазкою. У якості модифікуючої домішки використовували вторинну сировину від утилізації боєприпасів.

В цьому випадку були використані дослідження, згідно різних комірок пікселів. Одержані показники використовували для виявлення зон турбулентності, що формуються при кристалізації (за різною щільністю фрагментів зображень).

Співвідношення зон, одержаних згідно показників алгебраїчних гістограм, дозволило виявити їх локальну різницю. Разом з цим, виявлена суттєва різниця в загальному вигляді фотографій з засміченістю неметалевими включеннями сірого чавуну.

Для виявлення зон впливу з різною щільністю фрагментів, використовували різну швидкість сканування зображень фотографій мікроструктур зі зміною інтервалу зони досліджень при ви-



користанні оптико-математичного методу. Встановлено, що швидкість сканування фотографії при оцінках нейтральності практично не впливає на результати розрахунків. Зменшення шагу інтервалу алгебраїчних гістограм з  $1/19$  до  $1/50$  виявило, що при такому підході до оцінювання відсутні однакові їх показники.

Фізичне поняття фактору нейтральності можливо оцінювати як зарядження. За допомогою алгебраїчних гістограм це дає можливість розподіляти зони на частки. Наприклад, це дозволяє побачити які пікселі належать дослідженому інтервалу нейтральності лапласіанів та дивергенцій.

Розрахунками виявлено, що при використанні однакового інтервалу нейтральності можливо виявляти горизонтальні, вертикальні, або разом такі угруповання точок, що характеризують полоси (складаються з зон стиснення та розрядження).

Поява таких полос залежить від обраної схеми комірок, в яких відбувається розрахунок параметру нейтральності. Такі полоси складаються зі скупчення та упорядкування точок, які можливо віднести до зон стиснення, а їх відсутність до розряджень.

Статистичні дослідження параметру нейтральності з використанням різних комірок пікселів при структуроутворенні показали, що формування упорядкованих зон відбувається за рахунок напружень при наплавленні. В умовах дії трьохмірності таких напружень, одне з них є головним, в даному випадку при наплавленні це – горизонтальні, та вони мають знак «плюс». Інші два типи напружень мають знаки, що відрізняються та їх рівень суттєво (в два рази) менший, що пов'язано з процесом тепловідведення при кристалізації. Їх виявлення потребує використання більших комірок пікселів. Формування такої структури пов'язано з пошаровим наплавленням.

На рис. 4.9 - 4.32 представлені результати оптико-математичної обробки електронних фотографій мікроструктур, що сформувалися при наплавленні і відображають параметри нейтральності лапласіанів та дивергенцій.

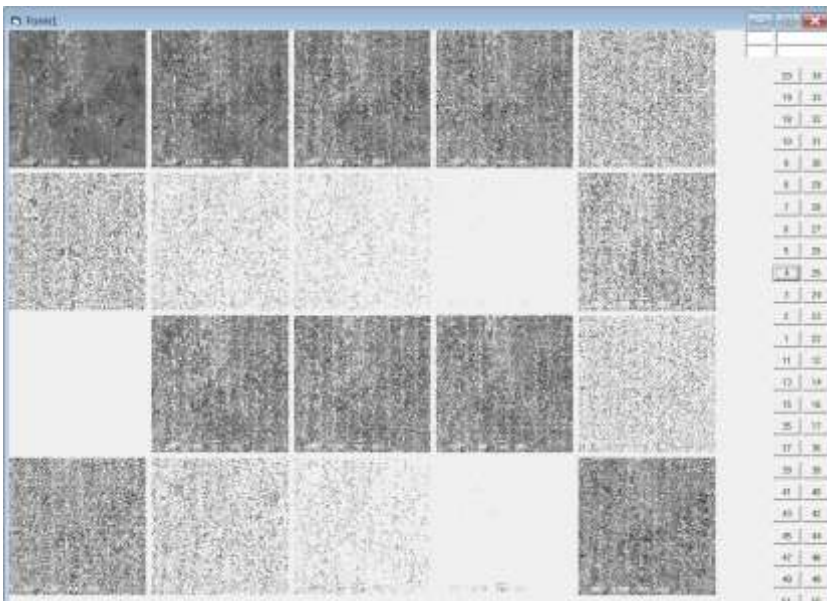


Рисунок 4.9 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $2 \times 2$  пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

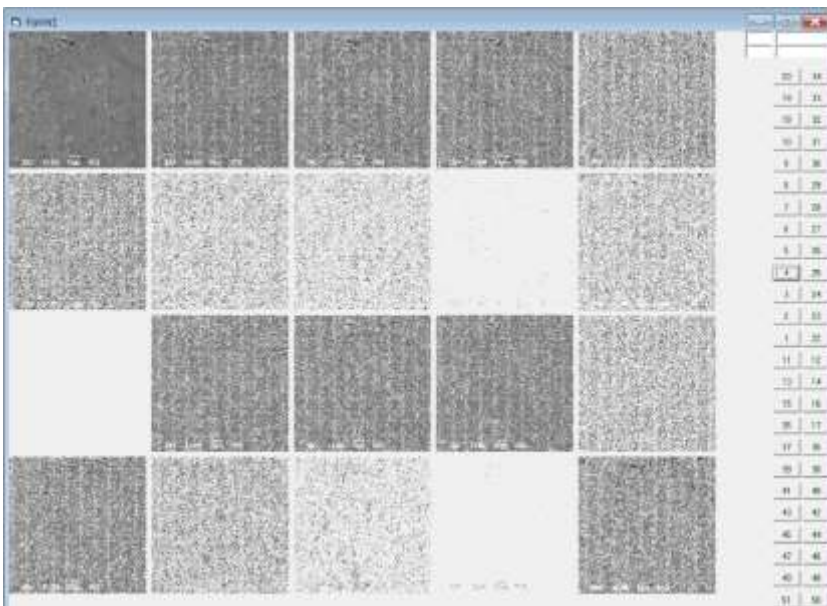


Рисунок 4.10 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $2 \times 2$  пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

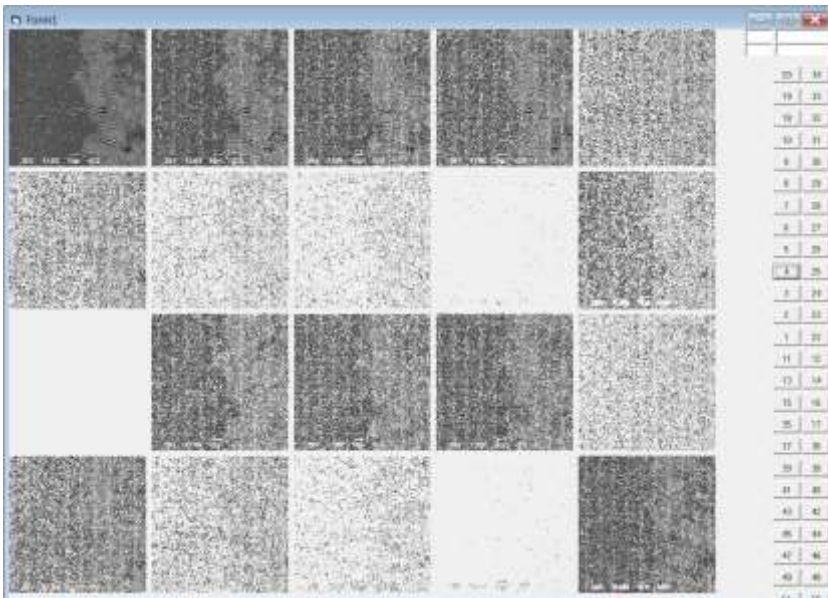


Рисунок 4.11 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $2 \times 2$  пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

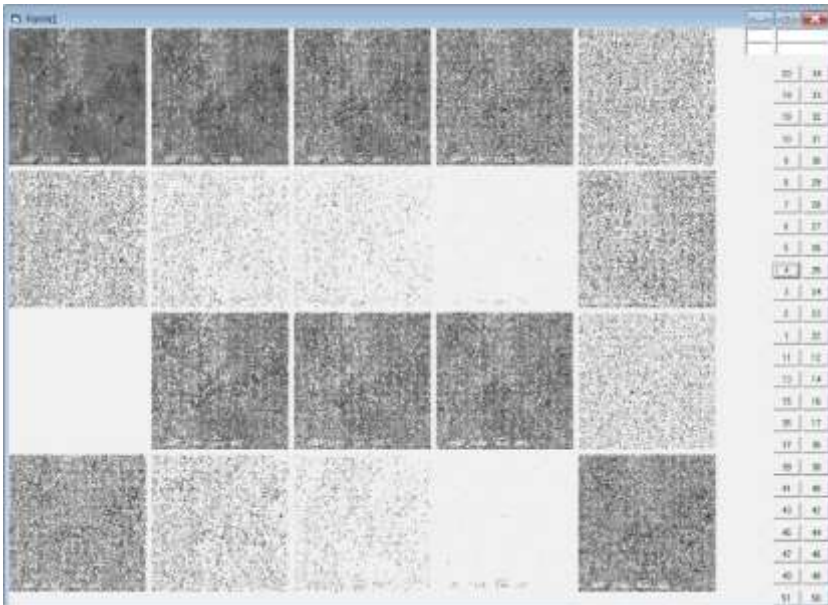


Рисунок 4.12 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $3 \times 2$  пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

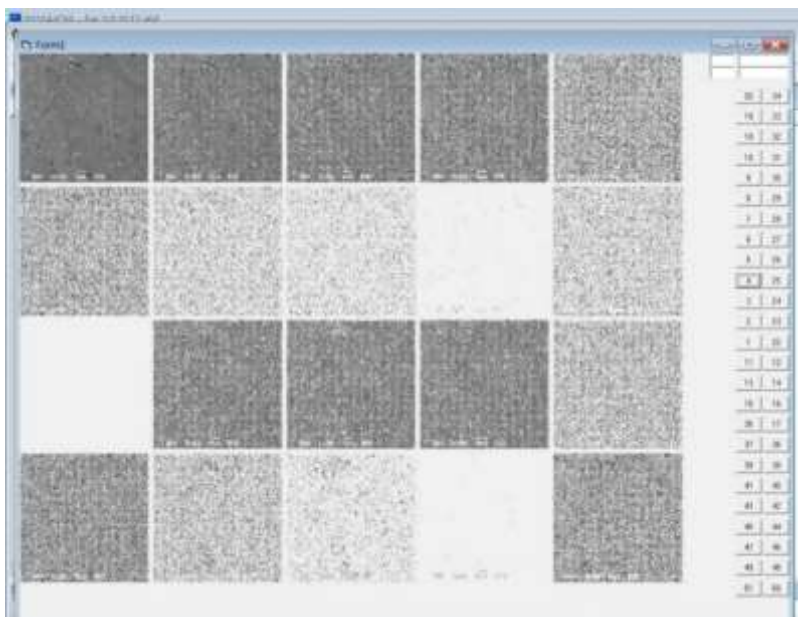


Рисунок 4.13 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $3 \times 2$  пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

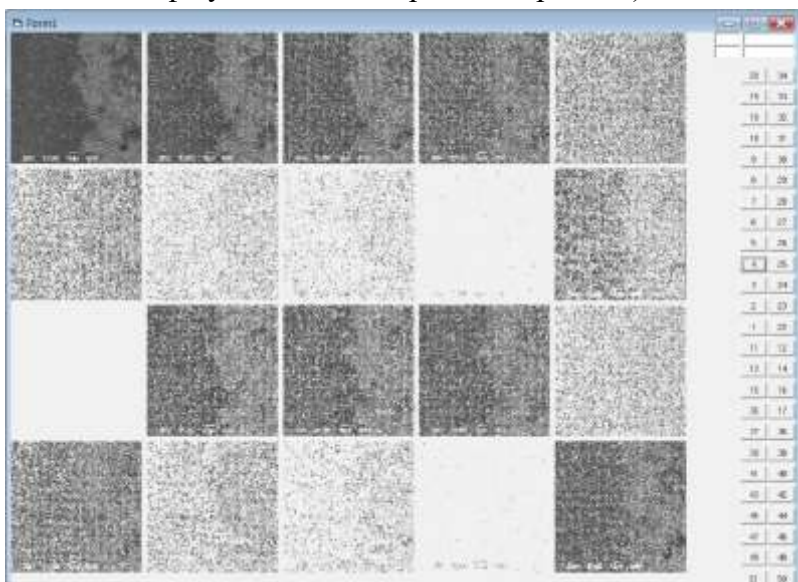


Рисунок 4.14 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $3 \times 2$  пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

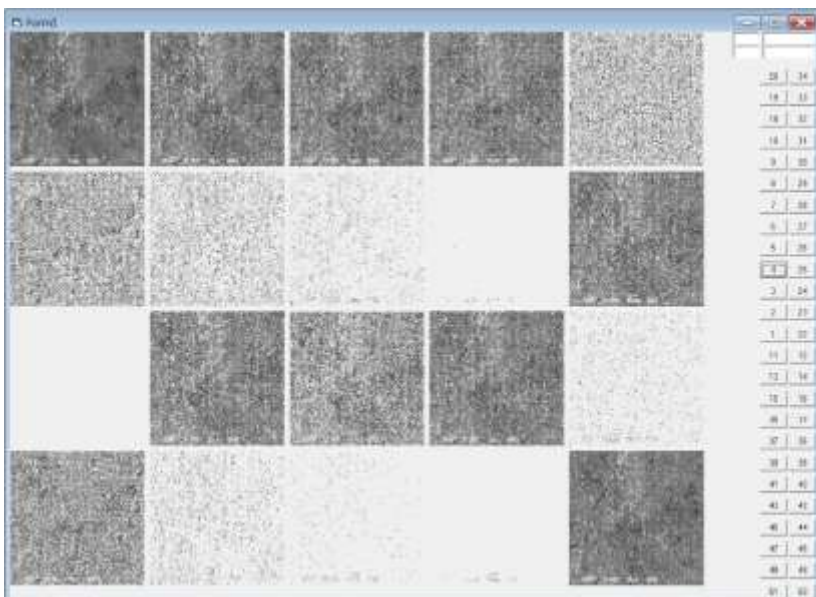


Рисунок 4.15 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $3 \times 3$  пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

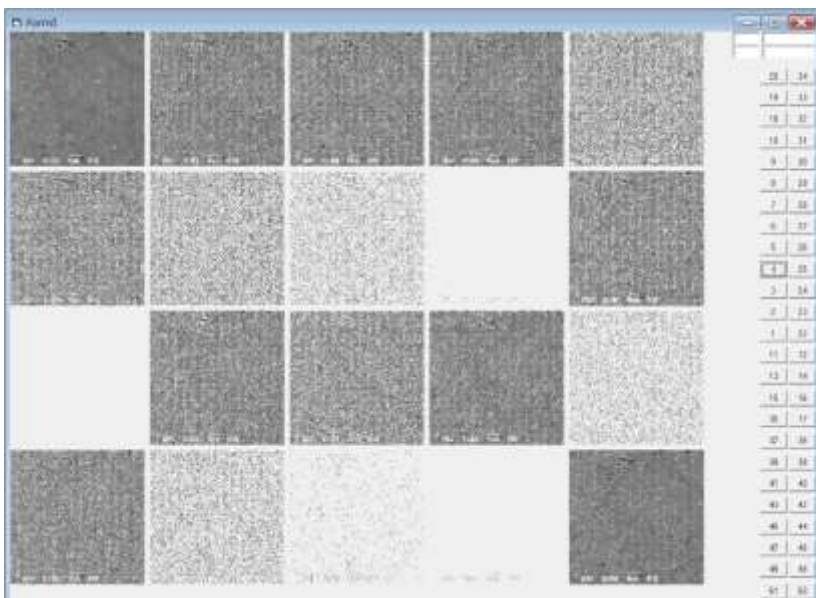


Рисунок 4.16 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $3 \times 3$  пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

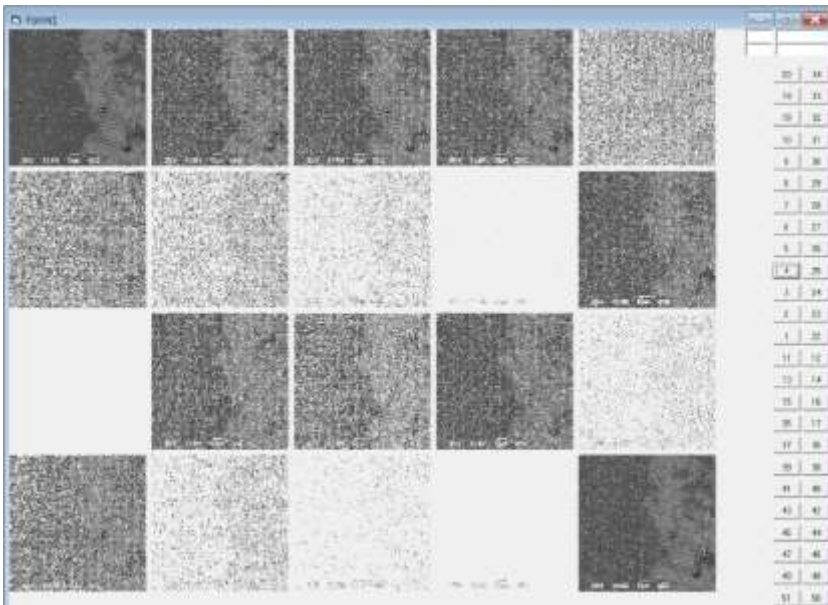


Рисунок 4.17 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 3×3 пікселі (Фото 3 – з обмязкою електроду модифікуючою шихтою)

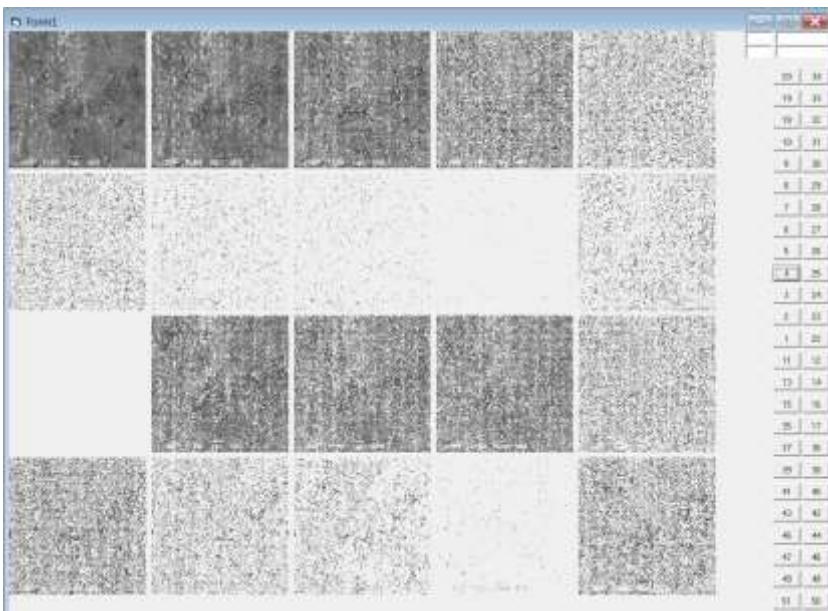


Рисунок 4.18 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×4 пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

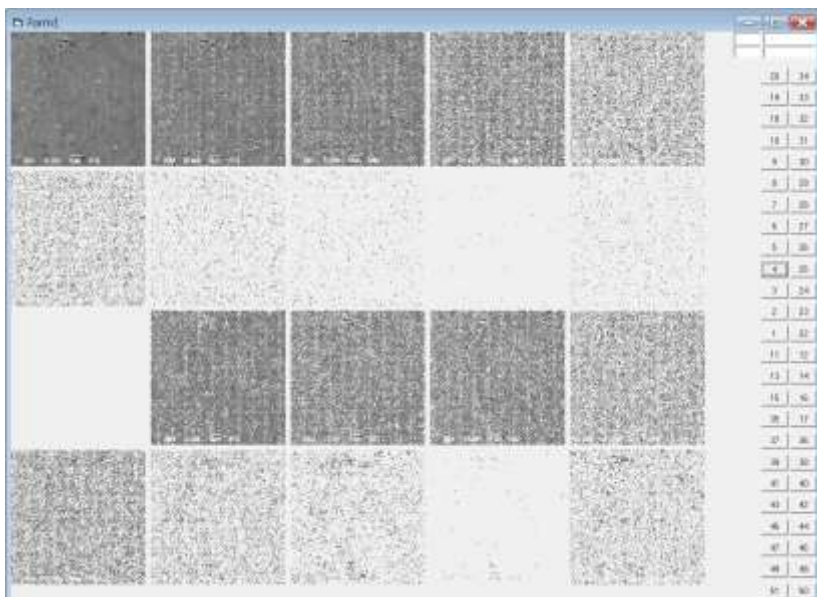


Рисунок 4.19 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×4 пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

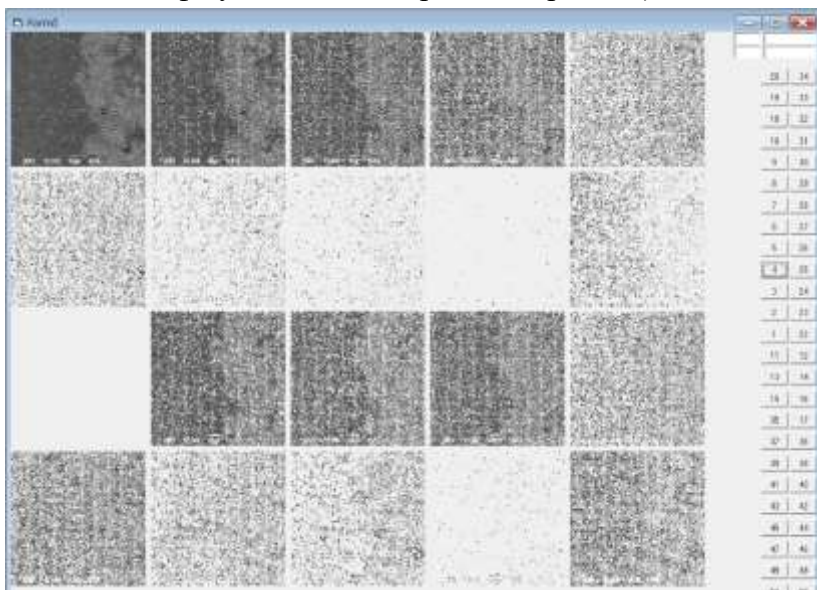


Рисунок 4.20 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×4 пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)



Рисунок 4.21 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×5 пікселі (Фото 1 – вихідний стан)



Рисунок 4.22 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×5 пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)



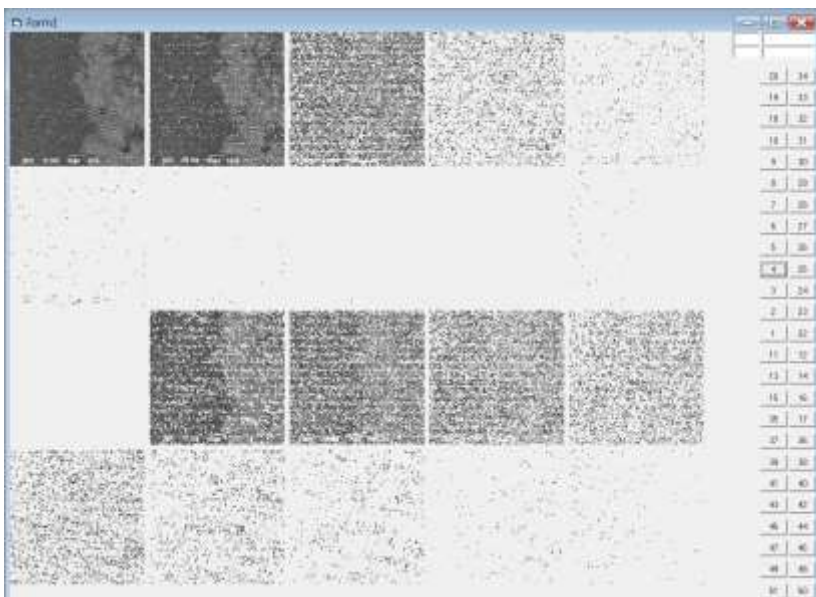


Рисунок 4.23 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 4×5 пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

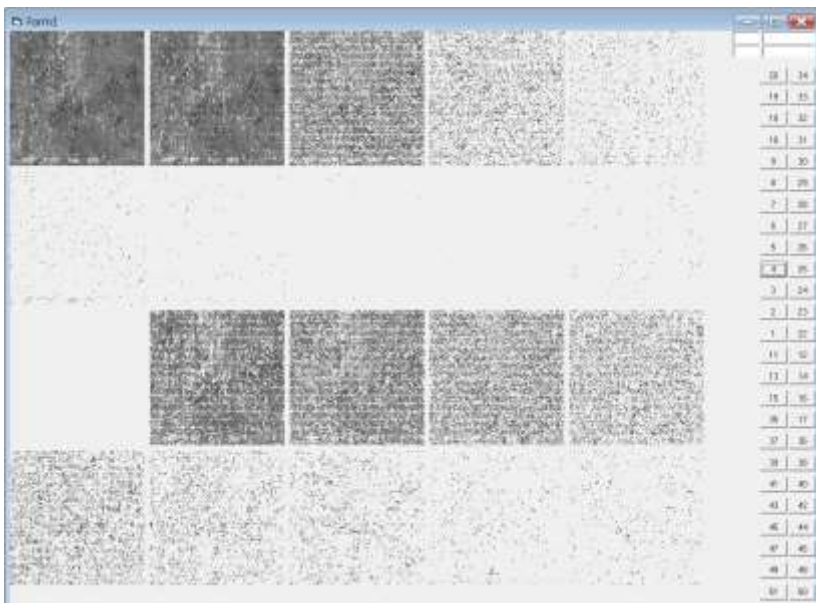


Рисунок 4.24 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 5×4 пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

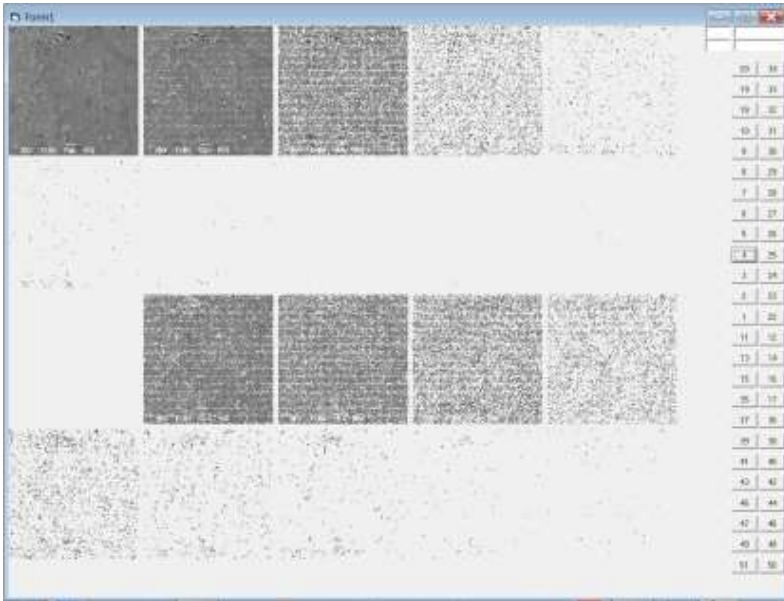


Рисунок 4.25 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 5×4 пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

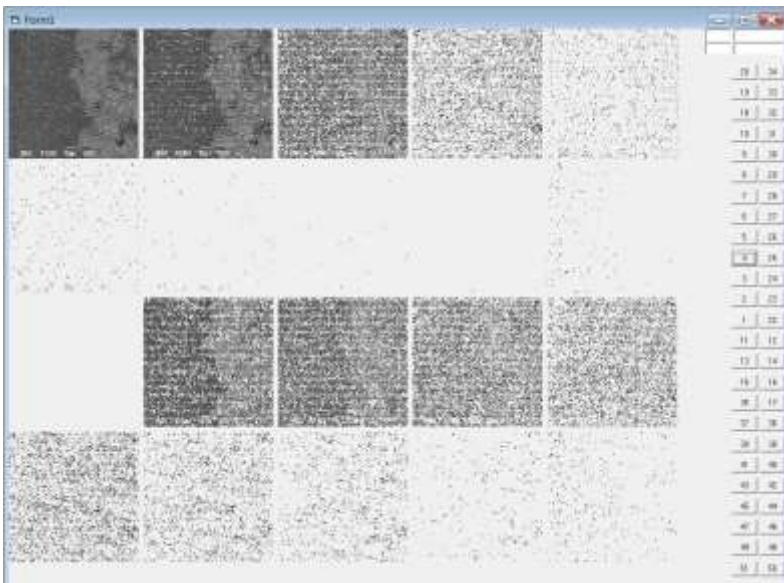


Рисунок 4.26 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 5×4 пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

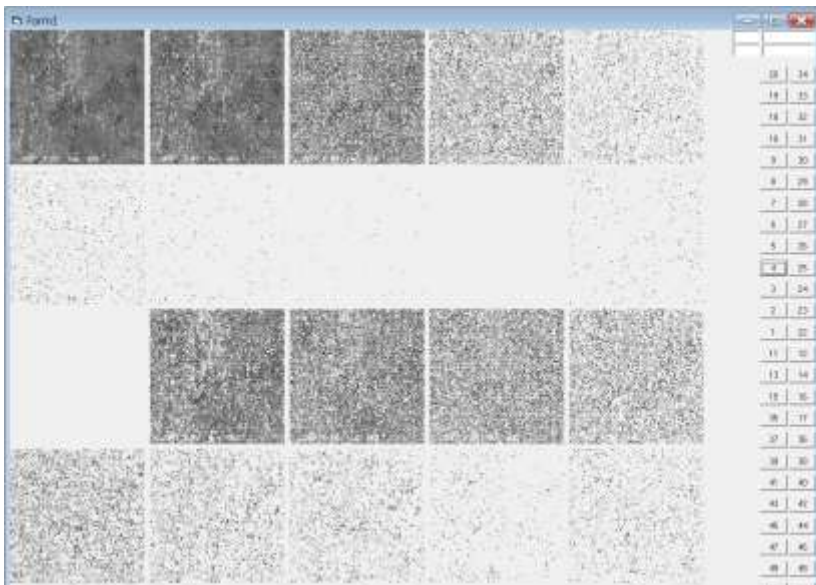


Рисунок 4.27 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $5 \times 5$  пікселі (Фото 1 – вихідний стан)

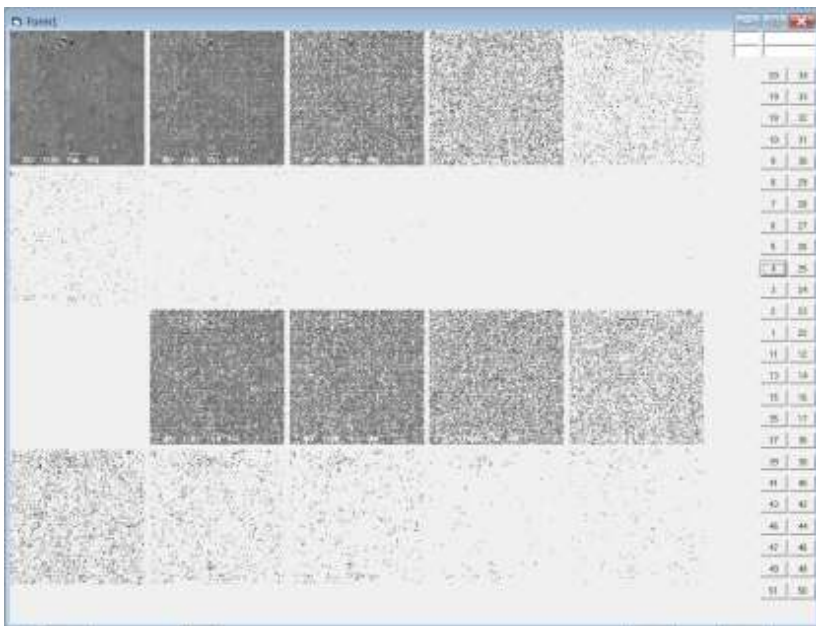


Рисунок 4.28 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $5 \times 5$  пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

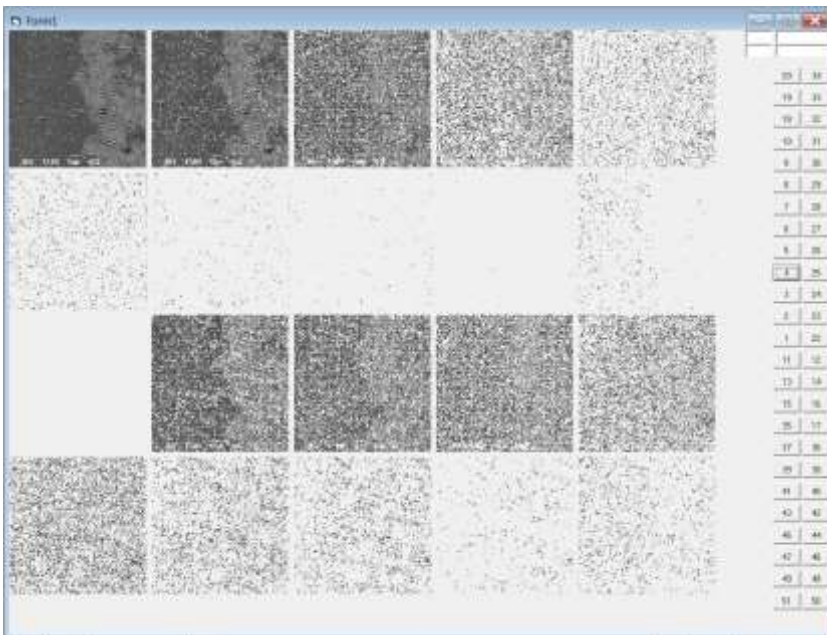


Рисунок 4.29 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 5×5 пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

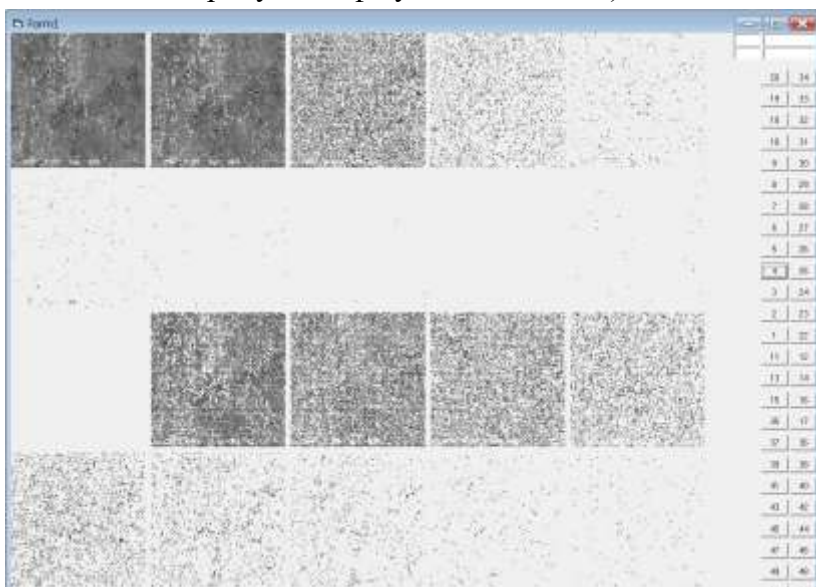


Рисунок 4.30 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур 6×4 пікселі (Фото 1 – вихідний стан)



Рисунок 4.31 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $6 \times 4$  пікселі (Фото 2 – наплавлення з модифікуванням шлікерним покриттям)

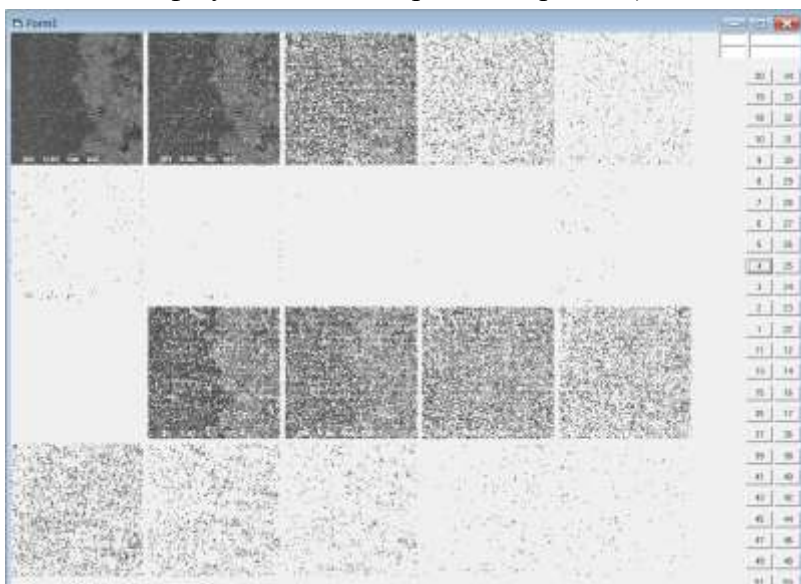


Рисунок 4.32 – Оптико-математична обробка електронних фотографій мікроструктур  $6 \times 4$  пікселі (Фото 3 – з обмазкою електроду модифікуючою шихтою)

Кожна фотографія з трьох порівняльних характеризує вихідний стан; наплавлення з модифікуванням при введенні шлікечного покриття; наплавленням з обмазкою модифікуючою домішкою електроду (Додаток Д). Оптико-математична обробка кожної фотографії включає: у верхньому лівому куті – вихідний стан електронної фотографії; потім зліва направо у верхньому ряді структур відображені пікселі які відносяться до слідуєчих інтервалів алгебраїчних гістограм нейтральності абсолютної величини лапласіану:

0-1/9; 1/9-2/9; 2/9-3/9; 3/9-4/9.

В другому ряді зверху продовження досліджуваних фотографій, які відносяться до нейтральності абсолютної величини лапласіану:

4/9-5/9; 5/9-6/9; 7/9-8/9; 8/9-1.

В третьому ряді у лівому куті зверху – пусте місце, а потім починаються фотографії з зображенням пікселів структур, які відносяться до інтервалів алгебраїчних гістограм нейтральності абсолютної величини дивергенції:

0-1/9; 1/9-2/9; 2/9-3/9; 3/9-4/9.

Четвертий ряд є продовженням досліджуваних інтервалів нейтральності абсолютної величини дивергенції:

4/9-5/9; 5/9-6/9; 7/9-8/9; 8/9-1.

Дослідженнями нейтральності абсолютних значень лапласіанів та дивергенцій виявлено, що при наплавленні сірого чавуну найбільша інформація про структуроутворення та розподіл напружень досягається аналізом різних комірок  $4 \times 5$  пікселів для вертикальної неоднорідності, а  $2 \times 2$  пікселя – горизонтальної (Додаток Д). При цьому найбільша структуризація має місце при наплавленні з дозованим введенням домішки (обмазкою електроду).

При виявленні таких змін у макроструктурі оптимальним є: для вертикальної неоднорідності комірка  $5 \times 5$  пікселів (рис. 4.33), а горизонтальної  $8 \times 8$  пікселів (рис. 4.34).

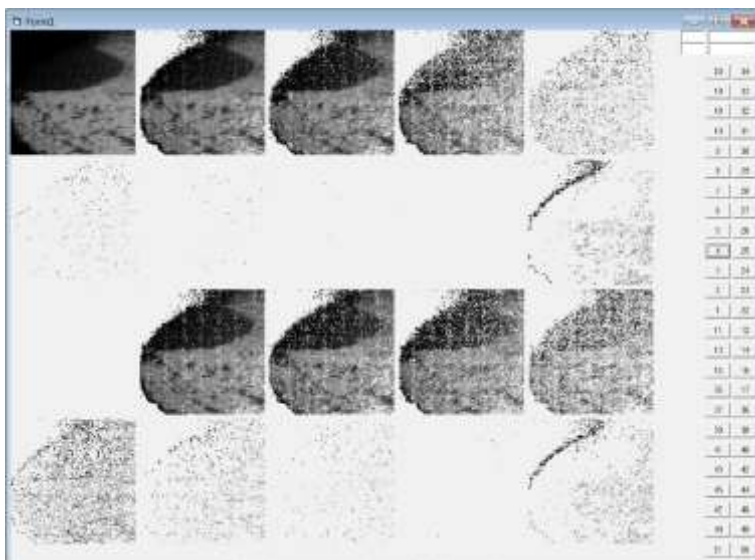


Рисунок 4.33 – Оптико-математична обробка фотографій макро-структур, які формуються при наплавленні та відображають параметри нейтральності лапласіанів та дивергенцій коміркою  $5 \times 5$  пікселів (вертикальна неоднорідність)

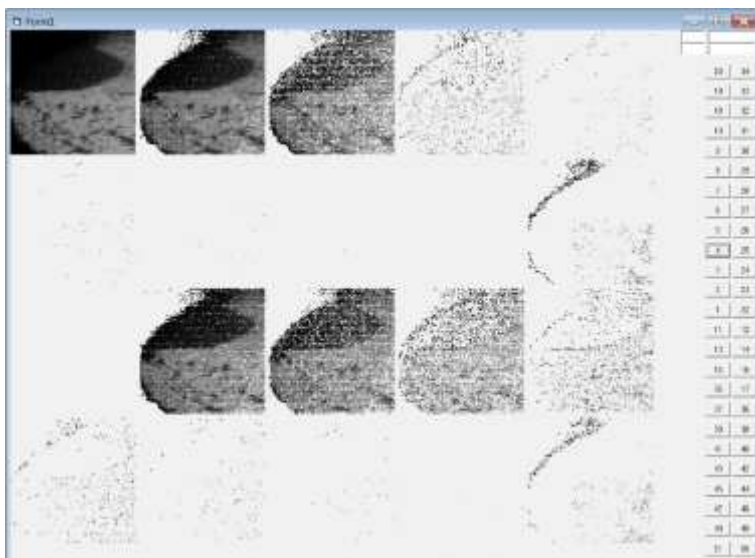


Рисунок 4.34 – Оптико-математична обробка фотографій макро-структур, які формуються при наплавленні та відображають параметри нейтральності лапласіанів та дивергенцій коміркою  $8 \times 8$  пікселів (горизонтальна неоднорідність)

На основі досліджень розроблено комплексний підхід до оцінювання локальних напружень з використанням оптико-математичного аналізу, який застосовували для оцінювання впливу грубих графітових та кисневих включень на створення напружених зон навколо їх виділення, згідно локалізації (щільності) скупчень дислокацій. Для цього оцінювали їх зміну, згідно енергетичного параметру – міцності дисипації енергії, який описує взаємодію фаз при скануванні, а також дивергенцію та лапласіан у кожній точці металографічного зображення.

Дослідження на основі нових підходів до структуроутворення сірих чавунів при їх кристалізації та експлуатації дозволили виявити зони локальних напружень, оцінити зміни функцій потужності дисипації та щільності дислокацій, енергетичний стан системи, що є характерним для такого матеріалу і прогнозувати можливі чинники розвитку пошкоджуваності. Новий підхід в оцінках властивостей рекомендується для використання визначення впливу різних умов кристалізації сірого чавуну, його зміцнення для одержання виробів та їх експлуатації, а також прогнозування надійності, згідно забезпечення споживчих потреб. Одержана інформація по впливу факторів виробництва та експлуатації деталей може бути ефективно використана при виборі технологічних параметрів виробництва: для зменшення впливу швидкості кристалізації, використанням додаткового модифікування рідкого розчину та визначення оптимальних параметрів технологічних процесів, спрямованих на досягнення більш ефективних способів стабільних умов охолодження виливків у формі.

Теоретичними дослідженнями та експериментальним моделюванням виявлено, що створення напружень навколо графітових включень підвищує щільність дислокацій, яка декорується за рахунок дифузійних процесів змін в структурі грубих графітових включень. В залежності від зон напружень доля його змінюється від 88,7 – 95,7 % та за рахунок дифузії вуглецю відбувається його збільшення на дефектах від 4,3 – 11,3 % у зонах навколо графіту. При цьому, максимальні зміни відбуваються біля кінцевих зон



включень.

Фотографії, які були оцифровані оптико-математичним методом виявили, що в цих зонах графіт відсутній та на його місці створилися порожнини. Навколо цих зон виявлена найбільша щільність дислокацій, а також їх упорядкованість з формуванням стінок та комірок.

Оцінку напруженого стану при заварюванні дефектів з використанням оптико-математичного методу виявило характер розташування зон стиснення та розрядження, які відповідають анізотропії властивостей (у вертикальному та горизонтальному напрямках). Це зони стиснення та розрядження. Показано, що вони можуть бути описані, згідно параметрів нейтральності абсолютних величин лапласіанів та дивергенцій. Виявлені зміни структури утворюються у вигляді смуг. Найбільш легко вони виявляються при наплавленні з модифікуванням обмазкою електроду детонаційною шихтою. Інтенсивність створення локальних напружень відбувається у напрямках найбільшого тепловідведення при відновленні виробу.

Дослідження на основі нових підходів до структуроутворення сірих чавунів при їх кристалізації дозволили виявити зони локальних напружень та ступінь їх впливу за величиною дисперсності фаз на енергетичний стан системи, який є характерним для такого матеріалу і виявити можливі чинники розвитку пошкоджень. Новий підхід в оцінках властивостей рекомендується для використання визначення впливу різних умов виробництва виливків з сірого чавуну та його зміцнення для забезпечення необхідних споживчих властивостей.

## **5. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДУВАННЯ**

В розділі наведені дані по аналізу якості деталей машинобудування в умовах їх виробництва з урахуванням виконаних розробок і, представлених в розділах 2-4.

Для контролю якості використовували неруйнівний контроль за магнітною характеристикою,  $H_c$  (коерцитивна сила).

Детальному аналізу піддавали втулки циліндрів з високоміцного чавуну, а також корпусні деталі з сірого чавуну.

Серед номенклатури виготовлених деталей важливе місце займають корпусні – з сірого чавуну. Аналіз показав, що немає жодної сільськогосподарської машини, яка б не мала таких деталей. Частка цих виробів в кількісному співвідношенні для різних одиниць сільськогосподарської техніки становить 3,5-45 %. Причому, в більшості випадків вони визначають ресурс машин. Особливо це відноситься до корпусних деталей, відсоток яких складає від 1,7-24 %. Такі вироби відрізняються значною різноманітністю: масою, складною геометрією, об'ємом, умовами роботи.

Широке використання деталей з сірого чавуну обумовлено низкою факторів: технологічністю матеріалу (необхідні ливарні властивості, легкість обробки), експлуатаційними властивостями і достатньою надійністю.

Як відомо, робота деталей сільськогосподарської техніки відрізняється дуже різноманітними умовами експлуатації. Мають місце статичні, динамічні і ударні навантаження, фактично всі види зношування, корозійні впливи, а також залишкові, монтажні і робочі напруження (особливо в корпусних виливках).

### **5.1 Якість відлитих втулок при контрольованій швидкості їх кристалізації у відцентровій машині**

Раніше (див. розділ 2) було показано, що втулки гільз циліндрів які виготовляються, відрізняються хімічним складом, і структурою. В ряді випадків вироби не відповідають вимогам но-

рмативно-технічної документації. Детальним аналізом було встановлено, що відмінності в структурі металу, головним чином, визначаються не виявленими відхиленнями в хімічному складі металу виливків, а в більшій мірі залежать від умов їх кристалізації в різнотовщинній металевій формі при відцентровому методі відливання. Це підтверджено аналізом мікроструктури і показниками коерцитивної сили, оцінених за периметром (на різних рівнях: зверху, середини та знизу виливка). Було встановлено, що на кожному вимірювальному рівні ці показники практично не змінюються. Істотна різниця виявлена лише по висоті виливка. Не виявлено помітних відхилень і згідно периметру відбираємої для аналізу проби (кільцю).

Статистичні металографічні дослідження показали повну відповідність структури металу зміні показникам коерцитивної сили.

Мінімальний рівень  $H_c = 3,6-5,1$  А/см, характерний для умов, при яких формується значна частка феритної складової. Підвищення  $H_c \geq 8,0$  визначає відсутність м'якої складової – фериту і кристалізації карбідної фази у вигляді структурно-вільного цементиту, його грубих пластин, окремих зерен і навіть евтектики (ледебуриту), частка яких максимальна при 13,6 А/см. Основною металевою матриці в даному випадку є перлітна складова. Встановлено, що в інтервалі показань  $H_c > 5,1 < 8,0$  доля перлітної складової суттєво зростає.

Для досліджень впливу швидкості кристалізації при нагріванні різнотовщинної форми до однакової температури всіх її зон аналізували дві групи втулок: перша – відповідала вимогам ТУ по хімічному складу і друга – з наявністю відхилень по ряду компонентів. (табл. 5.1).

Результати вимірювань коерцитивної сили в різнотовщинних втулках виготовлених згідно запропонованої технології попереднього підігріву металевої форми перед установкою у машину відцентрового лиття показали, що в цьому випадку основна структура металевої матриці втулки формується перлітною, за

винятком – однієї, у якої трохи підвищена концентрація вуглецю і знижена частка графітуючого компоненту – кремнію.

Такий висновок був зроблений, виходячи з оцінки змін показників коерцитивної сили.

Таблиця 5.1 –Хімічний склад досліджуваних втулок

№ з.п.	№ Гільзи	Хімічний склад, %:										Відповідність ТУ	
		C	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Mg	Так	Ні
1	121038	3,45	1,83	0,08	0,01	0,08	0,70	0,5	0,45	0,39	0,05	+	
2	121044	3,40	1,80	0,05	0,01	0,04	0,54	0,44	0,57	0,27	0,05	+	
3	21141	3,30	2,22	0,045	0,04	0,027	0,527	0,296	0,451	0,215	0,05		+
4	1115	3,5	2,45	0,05	0,062	0,098	0,887	0,456	0,485	0,321	0,009		+
5	1019	3,23	2,13	0,03	0,03	0,06	0,536	0,441	0,363	0,297	0,05		+
6	21134	3,31	1,60	0,048	0,018	0,032	0,616	0,28	0,289	0,392	-		+
7	21133	3,51	1,64	0,048	0,02	0,032	0,62	0,3	0,289	0,39	-		+

Аналізом виявлено, що відзначається деяка тенденція до підвищення показників такої характеристики зі збільшенням концентрації вуглецю, хоча раніше виконані дослідження, при використанні різновтовщинної втулки з нагріванням до однакової температури її в печі, цього не виявляли, тобто швидкість кристалізації поглинала вплив відхилень у хімічному складі.

За новою технологією циклічного нагрівання металевої форми до однакової температури її внутрішньої поверхні знижується схильність метала до виділення карбідної фази при кристалізації, а також зменшується рівень локалізації деформацій у зонах переходу від більш товстого перерізу до – тонкого, про що свідчать також результати показників коерцитивної сили (див. табл. 5.2). Так, значення показників на трьох рівнях (верх, середина, низ) і висоті кожної втулки змінюються не більше ніж на 1-3 %.

При зміні частки вуглецю від 3,4 до 3,51 % і зниженні кре-

мнію від 2,45 % до 1,64-1,83 % відзначається середнє підвищення рівня коерцитивної сили на 2,0 %, тобто неоднорідність властивостей і структури у виливках одної деталі практично відсутні.

Таблиця 5.2 – Показники коерцитивної сили при регламентованій швидкості кристалізації

№ п.п.	№ Втулки	Коерцитивна сила (А/см) та зона її виміру			Середнє значення
		верх	середина	низ	
1	121038	8,5	8,4	8,4	8,3
		7,8	7,9	7,9	
		8	8	8	
		8,5	8,5	8,4	
2	1019	7	6,9	6,9	6,7
		6,4	6,4	6,4	
		6,9	6,9	6,9	
		6,8	6,7	6,7	
3	121044	5,8	5,7	5,6	5,6
		5,8	5,8	5,8	
		5,5	5,5	5,6	
		5,8	5,7	5,7	
4	1115	6,9	6,9	6,9	6,5
		6,1	6,1	6	
		6,5	6,5	6,5	
		6,6	6,5	6,5	
5	21134	5,7	5,8	5,8	5,6
		5,5	5,5	5,5	
		6,1	6,1	6,1	
		5,5	5,5	5,5	
6	31133	6	6,1	6,2	6,1
		6,1	6,1	6,1	
		6,5	6,4	6,4	
		5,8	5,9	5,9	
7	21141	7,5	7,6	7,6	8,3
		8,6	8,5	8,5	
		8,7	8,7	8,7	
		8,4	8,4	8,4	

Разом з тим, відзначаються істотні відмінності між різними виливками (див. табл. 5.2).

Проведено порівняльний аналіз впливу на показники коерцитивної сили за вмістом компонентів C и Si (рис. 5.1).

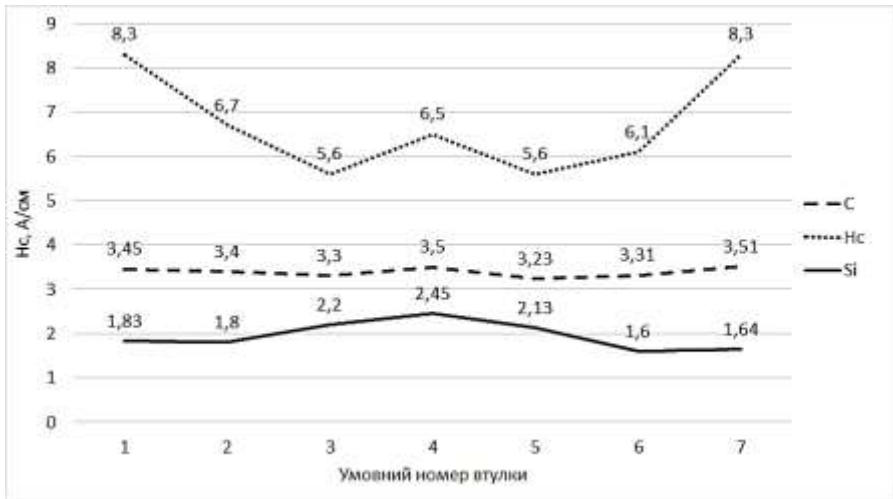


Рисунок 5.1 – Зміна коерцитивної сили у виливках залежно від вмісту в модифікованому чавуні компонентів C та Si

З наведених залежностей (див. рис. 5.1 і табл. 5.2) видно, що середня різниця в показаннях  $H_c$  у окремих виливках може досягати 30 %.

При цьому, вплив вуглецю проявляється навіть у межах, передбачених вимогами ТУ. З підвищенням вмісту цього компонента до верхньої межі ( $C = 3,45 - 3,51$  %) зростає відповідно і коерцитивна сила. Ступінь впливу цього фактору добре описує зміна рівня магнітної характеристики. Що стосується впливу кремнію, то його внесок не однозначний. Відсутня яка-небудь закономірність як при підвищеній концентрації до 2,12-2,45 %, так і зниженій – 1,6-1,64 %, що підтверджує його неоднорідну засвоюваність (ліквацию) при неякісному модифікуванні SiMg. Особливо це стосується виливків з відхиленнями у хімічному складі (див. табл. 5.1, виливки 3-7).

На основі виконаного аналізу показано, що основний вплив на формування перлітної структури в модифікованому чавуні має однорідна швидкість кристалізації виливка. Разом з тим,

у випадку забезпечення однакової швидкості кристалізації у втулках спостерігається і різниця в показниках коерцитивної сили, яка на 30 % може відрізнятись в різних виливках (залежить від спадщини шихтових матеріалів, параметрів технологічного процесу, якості модифікування). Вона визначається концентрацією вуглецю і кремнію, наявністю неметалевих включень. У зв'язку із цим вплив останнього особливо проявляється у виливках з відхиленнями у розподілі кремнію при неякісному модифікуванні.

## **5.2 Оцінка якості і розробка нових технологічних процесів для підвищення експлуатаційної стійкості корпусних деталей**

Дослідження з оцінки якості корпусних деталей з сірого чавуну проводили в умовах виробництва на основі неруйнівного магнітного методу контролю за показниками коерцитивної сили. Аналізу піддавали відлиті деталі: накладки і корпуси коробки передач сільськогосподарської техніки, виготовлені з литої сталі і сірого чавуну відповідно. Вибір таких деталей для досліджень обумовлений необхідністю встановлення чинників їх ураженості дефектами різних типів при виробництві, так і – розробкою нових підходів до їх виявлення з підготовкою рекомендацій для підвищення якості і експлуатаційної стійкості. Це необхідно для встановлення чинників формування дефектів: тріщин, ситоподібної пористості, піщаних включень газових порожнин, а також оцінка ступеню неоднорідності формованої структури металу. Для цього використовували статистичні методи досліджень, які проводили в умовах ВАТ «ХТЗ».

Такий підхід після розробки бракувальних норм показань за  $H_c$  використовували для контролю стану виробів не тільки після їх ремонту, а також у процесі експлуатації.

На першому етапі аналізували накладки з литої сталі 30ГСЛ, оскільки вони мають однакову плоску поверхню і товщину, мінімальний рівень напружень у порівнянні з – корпусною

різнотовщинною коробкою перемикачів. Цей фактор у процесі виробництва литих деталей, як було показано раніше, вносить істотний вклад у локалізацію деформацій в окремих зонах, що впливає на показники магнітної характеристики. Низький рівень  $H_c$  забезпечує при кристалізації литої деталі стабільне і рівномірне формування тонкої дендритної будови і оптимальну структуру металу, її фазовий склад.

Вимірювання показань  $H_c$  проводили в 17 зонах за схемою, представленою на рис. 5.2 [157, 225].

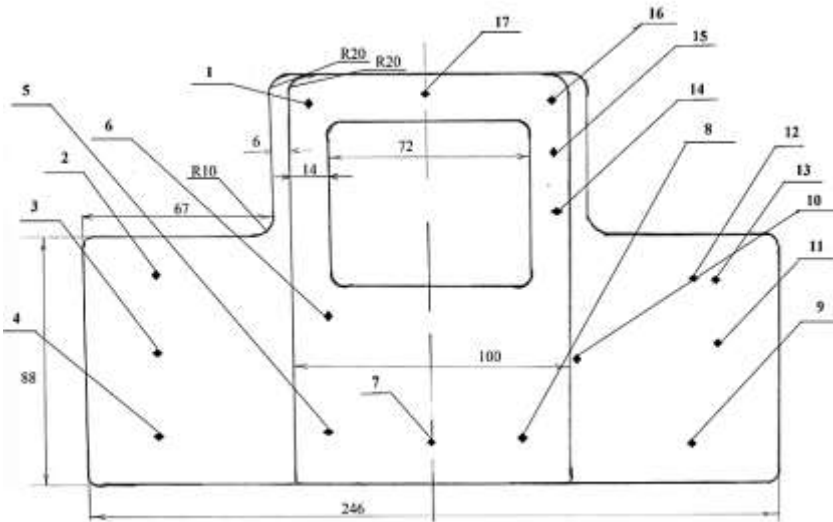


Рисунок 5.2 – Зони вимірювання (1-17) показників коерцитивної сили

Такий спосіб контролю є новітнім, тому що, він включає намагнічення контрольованої деталі та статистичну фіксацію її магнітних параметрів у різних зонах. Дефекти порівняно визначали у різних зонах виливків, згідно коефіцієнта анізотропії коерцитивної сили ( $K$ ), за співвідношенням:  $K = H_{c, \text{поп.}} / H_{c, \text{повз.}}$ , де  $H_{c, \text{поп.}}$  – показники коерцитивної сили у поперечному напрямку;  $H_{c, \text{повз.}}$  – у повздовжньому напрямку.

Порівняльну оцінку зміни коефіцієнта  $K$  у даному випадку



виконували на ділянках однакової форми та товщини деталей, що досліджувалися.

Такий спосіб оцінки якості деталей неруйнівним методом захищений патентом України [157].

Експериментальними дослідженнями були визначені межі показників коерцитивної сили, що відповідають різним дефектам: ситовидної пористості, газовим порожнинам, піщаним включенням. При цьому, заздалегідь визначили рівень зміни цих показників відносно якісної зони, а потім оцінювали коефіцієнт анізотропії коерцитивної сили ( $K$ ) та середні його відхилення по результатах вимірювань.

Цей спосіб дозволяє одночасно визначати наявність поверхневих, підповерхневих, та більш глибоких відхилень у показниках до глибини 5-25 мм (визначається згідно розмірів різних магнітних перетворювачів, які використовувалися при вимірюваннях).

Запропонований спосіб дозволяє достовірно і оперативно здійснювати контроль наявності дефектів у деталях з залізовуглецевих сплавів (рис. 5.3).

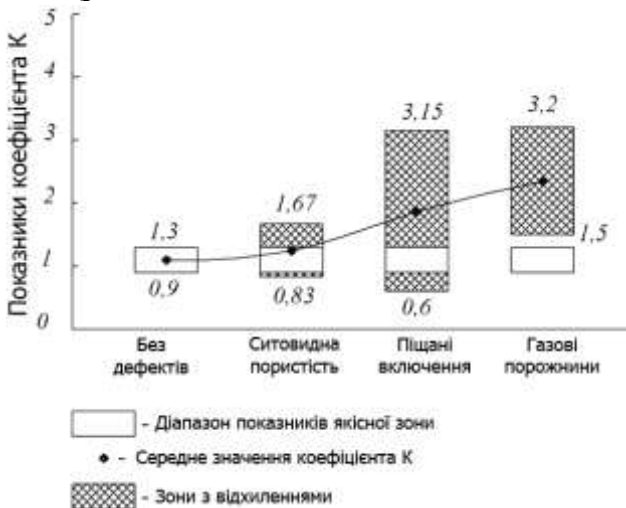


Рисунок 5.3 – Характер зміни показників коерцитивної сили від значень коефіцієнтів  $K$  у якісній зоні та при наявності різних дефектів

Встановлено, що розкид значень у якісних зонах таких деталей не перевищує 18 % (середнє значення  $K_{\text{сер}}$  дорівнює 1,1).

Виявлено, що якісні показники зон з дефектами, суттєво змінюються в залежності від їх типу. Так, коефіцієнт  $K$  з дефектами ситовидної пористості співпадає з – якісною, яка розташовується в центральній зоні розкиду і складає 34 % цього показника ( $K_{\text{сер}} = 1,25$ ). Зони з дефектами, що мають піщані включення відрізняються найбільш широким розкидом  $K$ , досягаючи 68 % ( $K_{\text{сер}} = 1,87$ ) та – якісні знаходяться нижче середніх значень.

Дефекти з наявністю газових порожнин відрізняються більш високими середніми показниками коерцитивної сили, хоча їх розкид суттєво менший (не перевищує 36 %) та значення досягає  $K_{\text{сер}} = 2,35$ . При таких дефектах коефіцієнт  $K$  не співпадає з якісними показниками, та вони знаходяться поза їх межею.

Перш ніж досліджувати вплив модифікуючої домішки детонаційної шихти від утилізації боєприпасів для відновлення деталей з чавуну, яка суттєво може знизити витрати, аналізували поведінку наноалмазів детонаційного походження при їх дозованому введенні у відновлювану зону наплавлення сталевих деталей з використанням спеціального обладнання [226, 227]

Таку домішку вводили разом з вуглецевим або низьколегованим дротом, на який наносили чарунки та заповнювали їх порошком наноалмазів з подальшим ущільненням та закріпленням (рис. 5.4).

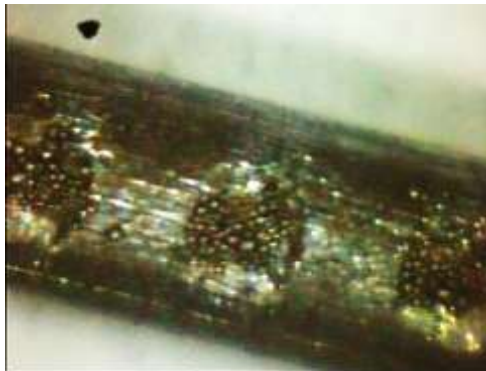


Рисунок 5.4 – Дріт з нанесеними чарунками  $\times 200$

Дозоване введення наноалмазів, сприяє не тільки рівномірному розподілу по перетину відновленого шару, а і частковому осіданню їх в рідинній ванні, що змінює профіль границі наплавленого шар – основа.

Враховуючи той факт, що наноалмази не піддаються розчиненню при температурі наплавлення 1550-1600°C, (наноалмази розчиняються при температурі 4000°C), то для їх однорідного розподілу необхідно вживати дозований, рівномірний внесок. Це стосується, в тому числі, і багат шарового наплавлення.

При такій технології досягається не тільки зміцнення відновленого шару, а й перехідної зони, яка поширюється від рівної (рис. 5.5, а) до хвилястої (рис. 5.5, б), що характеризується наявністю перепадів від 15 до 30 мкм, та суттєво підвищує зчеплення за рахунок збільшення площі контакту матеріалів.

Оптимальною кількістю введених наноалмазів є доля, яка складає 0,2-0,3 % від маси дроту. Нижче цієї величини не забезпечується підвищення мікротвердості відновлюємого шару, а вище ніж 0,3 % – призводить до неконтрольованого випадіння наноалмазів на границю розподілу наплавленого шар – основа (рис. 5.6, а). При значному перевищенні долі наноалмазів не формується хвиляста границя, та на ній можлива поява тріщин (рис. 5.6, б).



Рисунок 5.5 – Формування перехідної зони при наплавленні деталей зі сталі традиційним методом а); та при модифікуванні наноалмазами б),  $\times 100$

При відновленні у шарі з модифікуванням наноалмазами мікротвердість зростає з Н 50-185, до Н 50-321.



а – до травлення; б – після травлення

Рисунок 5.6 – Перевищена доля модифікатора з наноалмазами,  $\times 100$

Розмір чарунок в залежності від зусилля притискання роликів складав 0,15-0,90 кН, що знаходиться у межах:  $\varnothing$  0,32-0,74мм. Глибина чарунок, що формуються, досягала 0,10-0,29мм.

Оптимальні параметри нанесення покриттів з наноалмазами; що забезпечують однорідний їх розподіл у розчину є такі:

- параметри наплавлення: сила току – 160 А, напруга 20 В, зміщення дроту з zenіту – 2мм, швидкість подачі дроту – 0,04 м/с;
- сила притиснення роликів 0,30-0,60 кН, глибина чарунок – 0,13-0,19мм,  $\varnothing$  чарунок 0,35-0,52 мм, з відстанню між ними  $L = 1$  мм та діаметром притискаючого ролика  $\varnothing 50$  мм.

При використанні параметрів нижче оптимальних не досягається рівномірність необхідного розподілу наноалмазів у відновлюваному шарі.

В разі використання параметрів на більш високому рівні (при нанесенні чарунок глибиною  $> 0,19$ мм, та  $\varnothing > 0,52$ мм.), від оптимальних значень не формується хвилястої перехідної зони і наноалмази осідають та сприяють формуванню їх скупчень, тріщин, як показано на рис. 5.6.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє зміцнити відновлений робочий шар дозованим за часом введення наноалмазів у кількості 0,2-0,3 % від маси дроту та за рахунок цього досягти підвищення його мікротвердості, сформуванню хвилясту та більш поширену перехідну зону, що підвищує міцність зчеплення [228].

Вироби з сірого чавуну відносяться до класу важко відновлюваних наплавленням деталей. Це в значній мірі пов'язано зі специфічністю його властивостей (наявністю пластинчастого графіту, низька температура плавлення) в порівнянні зі сталлю. Наявність вуглецю у вільному стані ускладнює отримання якісних відновлювальних покриттів при заварюванні дефектів. Процеси термічної обробки і пластичне деформування хоча і забезпечують незначне підвищення твердості, але в той же час створюють досить високі залишкові напруження, що сприяють зниженню міцності матеріалу, його пошкодженості.

Умови експлуатації чавунних деталей і специфіка властивостей цього матеріалу зумовлюють появу дефектів. Причому на одній і тій же деталі їх може бути декілька різних типів.

Статистичним аналізом виробництва корпусних деталей з сірого чавуну було встановлено, що від плавки до плавки структура металу, що формується, може істотно змінюватися. Це характерно і для різних зон виливків з однієї плавки (див. розділ 2).

Для випробувань були відібрані відбраковані в процесі виробництва корпуси роздавальної коробки передач трактора Т-150К та проведено аналіз хімічного складу чавуну, який показав, що для їх виготовлення в ряді випадків використовували засмічену карбідоутворюючими елементами шихту: ванадієм (1,5-2,3 %) та хромом (0,3-0,7 %). В окремих випадках виявляли наявність титану (до 0,85 %). Ці компоненти формували складні карбіди які склалися з ванадію, хрому, титану.

Одночасно проводили оцінку ступеню неоднорідності якості виливків для встановлення зон з найбільшими відхиленнями за показниками коерцитивної сили. Одержану залежність

між цими показниками використовували для подальшого порівняння з досягнутими – на контрольованих виробках в різних їх зонах. Також визначали якісні показники для порівняння з оцінкою ступеню відхилень. При проведенні вимірювань враховували такі чинники, як форма і товщина виробу, які впливають на відхилення структури металу та показники коерцитивної сили.

Статистичні дослідження співвідношення структурних складових, відповідних за зміну показників неруйнівного контролю, виявили, що основними є графіт, від частки і форми його змінюється кількість виділення і інших фаз, наприклад, фериту та поява карбідів, а також оксидних неметалевих включень, що пов'язано з якістю підготовки форми для лиття. Їх вміст також може бути оцінено згідно з рівнем  $H_c$ .

Такий зв'язок розглянуто на прикладі відливок корпусних виробів з модифікованого сірого чавуну марок СЧ15, СЧ18, СЧ20 з товщиною стінок 30-55 мм. Ці чавуни мають близький хімічний склад (3,1-3,6 % С; 1,9-2,8 % Si; 0,6-0,9 % Mn; до 0,2 % P; до 0,14 % S) та рівень  $\sigma_b = 150-200$  МПа.

Структура виливків з чавуну, яка формується у цих корпусних виробках з таким хімічним складом при модифікуванні SiMn або FeSi, забезпечує вказаний оптимальний рівень  $\sigma_b$  та частку пластинчастого графіту на рівні 5-7 % і має коерцитивну силу  $H_c = 7-9$  А/см.

При відхиленнях у структурі графіту нижче цих показників (< 5 %) коерцитивна сила підвищується (> 10 А/см), зменшуються частка фериту, зростає кількість перліту та виникає можливість появи структурно вільного цементиту і рівень коерцитивної сили підвищується в 1,3-1,6 разів (рис. 5.7) відносно оптимального.

У процесі експлуатації корпусні деталі зазнають вплив різних навантажень, у тому числі циклічних, розтяганням, стисненням, температурним, що призводить до розвитку неоднорідності в розподілі вуглецю та кисню в дефектних зонах з підвищеною щільністю дислокацій.

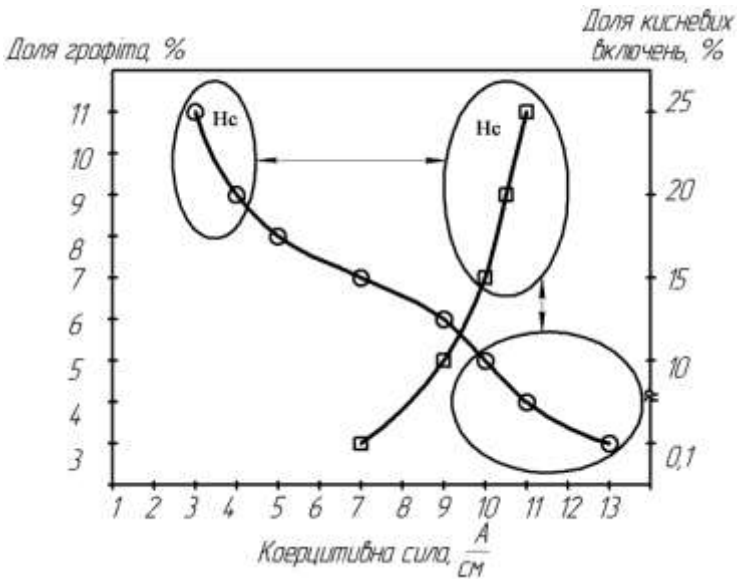


Рисунок 5.7 – Вплив графіту та кисневих включень на показники коерцитивної сили

Особливу роль у розвитку деградаційних процесів при експлуатації такого матеріалу належить графітовим і неметалевим включенням. Роль включень графіту докладно розглянута в нашій роботі з оцінки якості неруйнуючим методом контролю [161].

Виявлені відхилення у складі компонентів та в структурі чавуну, пов'язані зі спадщиною шихтових матеріалів, ліквациєю розподілу модифікуючих компонентів Si, Mn, якістю підготовки форм для лиття та литникової системи і стану модифікуючих домішок (їх вологістю). Ліквация Mn та Si сприяють неоднорідному розподілу графітових включень, що призводить до грубих виділень та скупчень, або зменшення їх часток у зонах з мінімальною концентрацією Si.

Виявлені статистичні залежності «структура чавуну - коерцитивна сила» є надійним методом контролю якості виробів, які дозволяють у порівнянні з їх якісним вихідним структурним станом, обумовленим нормативно-технічною документацією, встановлювати частку чинників відповідних за зміни та корегувати

технологічний процес лиття для одержання однорідної якості виливків у виробництві зі зменшенням схильності окремих зон до тріщиноутворення. Виявлення зон з відхиленнями можуть бути відремонтовані їх зачищенням та подальшим заварюванням.

Відновлення зон пошкодження моделювали попереднім зачищенням цих зон, а потім відновлювали різними методами: з модифікуючими домішками та без них. При цьому їх вводили як шлікерне покриття з подальшим його оплавленням та обмазкою на електрод.

На дефектних корпусних деталях у зонах з однаковою їх товщиною формували штучні тріщини, обробляли зачищенням, а потім відновлювали.

Параметри процесу були однаковими, згідно розробленої та узгодженої з підприємством ВАТ «ХТЗ» технологічною інструкцією (Додаток Е), для всіх досліджуваних технологічних процесів (діаметр електрода 3 мм, зварювальний струм 60-110 А, з накладенням коротких валиків, довжиною 25-30 мм і охолодженням до 60°C на повітрі із проковуванням зони відновлення деформуванням молотком).

У якості домішки, що модифікує, використовували детонаційну не магнітну складову шихти з алмазною фракцією [217], отриману від утилізації боеприпасів, які відслужили строк зберігання, оскільки така порошкова композиція може забезпечити значний економічний ефект у порівнянні з наноалмазами.

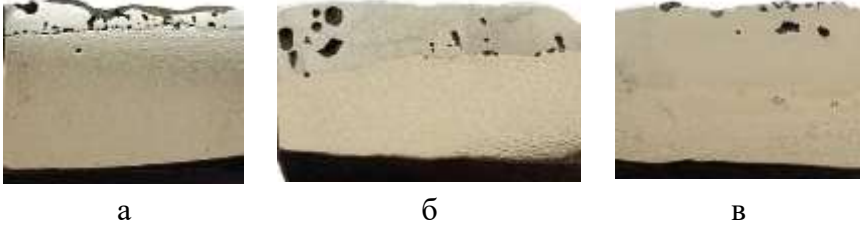
Утилізація проводилася в спеціальному бункері з доступом повітря. Після утилізації шихту розділяли на дрібну і велику фракції. Потім дрібну фракцію додатково подрібнювали і поділяли на магнітну і немагнітну. Склад не магнітної фракції (мікро-і наночастинки): 3,37-3,43 % С; до 3,14 % Сu і решта Fe. Вуглецевмісна складова це алмази різних розмірів.

Проведені порівняльні дослідження, які включали три групи більш простих варіантів заварки тріщин. Перша – електродом без введення домішки, що модифікує; друга – модифікуван-



ням при нанесенні шлікерного покриття; третя – обмазкою електроду домішкою, тобто з дозованим введенням шихти в рідку ванну. Використовували електрод марки ЦЧ-4. Шлікерне покриття наносили по краю дефектної зони так, щоб при наплавленні вона добре засвоювалася [159, 231, 232].

Мікроструктури досліджуваних варіантів відновлення наведені на рис. 5.8.



а – без введення модифікатора; б – з модифікуванням шлікерним покриттям; в – з модифікатором обмазкою електрода  
Рисунок 5.8 – Макроструктура зон заплавлення тріщин

Заварювання дефектів виявилось не задовільним у вихідному варіанті без домішок модифікатора. Тріщини і пори формуються не тільки в зоні наплавлення, але і у – перехідній (рис. 5.8, а).

При модифікуванні домішкою шихти у вигляді обмазки на електрод забезпечили дозоване введення її в рідку ванну. Цей метод виявився найбільш ефективним для заварювання дефектів. Він відрізняється якісним покриттям з перехідною зоною хвилястої будови, яка має тонку дендритну структуру, без порожнин і тріщин із чітко сформованою границею сплавлення (рис. 5.9).



Рисунок 5.9 – Структура металу зон сплавлення при дозованому введенні модифікатора,  $\times 100$

Детальному мікрорентгеноспектральному аналізу піддавали найбільш ефективний варіант відновлення.

На (рис. 5.10 *в-д*) наведені неметалеві включення складних карбідів змінного складу і розміром від 0,4 до 200 мк, які відповідають основному металу і складаються з 8-11 % V; 1,0-1,13 % Mn; 0,4-0,7 Ст. Рис 5.10, *а, б* ілюструє всі зони, сформовані при наплавленні з використанням модифікуючої домішки, нанесеної на електрод. Показана якісна зона наплавлення без дефектів, мала перехідна зона, що не перевищує 10-20 мк, яка має хвилясту будову і забезпечує високу міцність зчеплення. Зона термічного впливу мінімальна і становить 120-140 мкм. Вона характеризує і мінімально досягнутий рівень напружень.

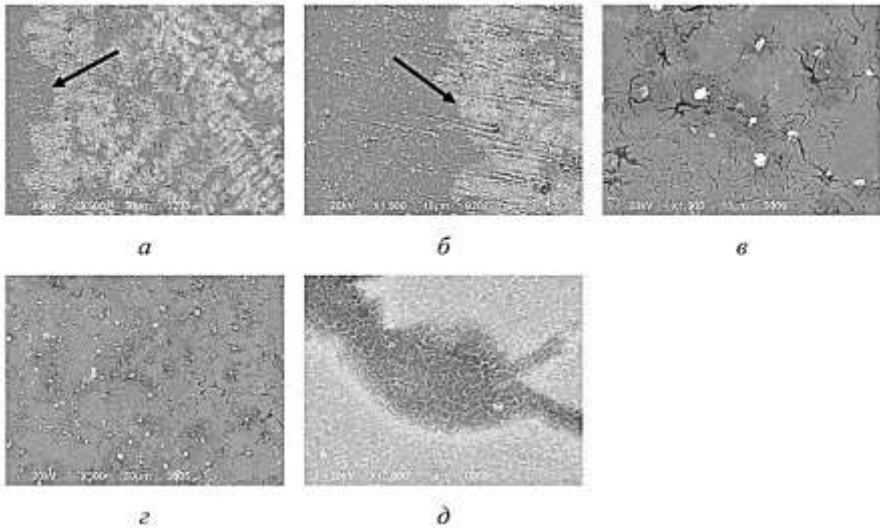


Рисунок 5.10 – Структура основного металу (*в, г, д*) і всіх зон (*а, б*) після відновлення дефектів із внесенням модифікатора у вигляді обмазки електрода

Крім того, введення вуглецевмісних нанодомішок, збільшуючи число центрів кристалізації, суттєво подрібнює зерно.

На рис. 5.11 наведена картина, що відбиває формування перерахованих дефектів в зонах наплавлення без модифікуючої домішки.

У вихідному стані включення (світлі), та вони перебувають у поверхневій зоні, більш рівномірно розподілені у вихідній структурі (по границях евтектичних зерен) і менше – у наплавленій, тобто вони при формуванні перехідної зони частково спливають із основного металу, а температура плавлення їх вище, ніж рідка ванна з сірого чавуну ( $t_{пл} =$  карбідів хрому 1550-1665°C; карбідів ванадію 2750-2850°C; карбідів титану 3150-3250°C).



Рисунок 5.11 – Дефекти, що формуються при наплавленні без модифікуючої домішки  $\times 100$

Зона термічного впливу в цьому випадку досягає 1000 мкм із формуванням грубої дендритної структури. Перехідна зона покриття – основа формується рівною.

Виявлено, що шлікерне покриття, введене одночасно в зону наплавлення в кількості  $\sim 15\%$  від її частки, не встигає рівномірно розподілитися, а осідає на дно рідкої ванни. У цьому випадку перехідна зона характеризується наявністю окремих ділянок поганого з'єднання наплавлення і основного металу, супроводжується формуванням грубих дендритів, порожнинами та їх розмір досягає 1,0-2,5 мм, але набагато є меншим, ніж у варіантах без модифікуючої домішки. Грубих тріщин не виявлено. При такому способі введення модифікуючої домішки, також відзначається впливання неметалевих включень у покриття (рис. 5.12) з основного металу. Незважаючи на погану засвоюваність модифікатора при такому способі модифікування відзначається формування меншої довжини перехідної зони. Вона не перевищує 500 мкм, що характеризує помітний внесок у рівень зниження напружень порівняно з першим варіантом. При цьому вже формується і частково хвиляста перехідна зона.

Якість формування зон наплавлення з модифікуючою домішкою тріщин також можливо оцінювати згідно показників коерцитивної сили. Проведені вимірювання коерцитивної сили показали, що відновлення лише електродом її рівень становить 28,0-30,0 А/см, з нанесенням шлікерного покриття – 33,0-35,0 А/см, а з покриттям домішки, нанесеної на електрод не перевищує 15,0-18,0 А/см [229].



Рисунок 5.12 – Структура металу зони наплавлення при введенні модифікуючої домішки у вигляді шлікерного покриття,  $\times 100$

Як показали дослідження такі зміни виявляються з використанням оптико-математичного аналізу. Раніше ефективність використання такої технології була показана при відновленні деталей зі сталей, які працюють в умовах тертя та зношування [218].

У результаті проведених досліджень і отриманих результатів рекомендується використовувати метод заварювання дефектів в деталях із сірого чавуну електродом ЦЧ-4 з параметрами обробки: (електрод  $\varnothing$  3 мм, зварювальний струм 60-110 А, з накладенням коротких валиків, довжиною 25-30 мм і охолодженням кожного до температури 60°C на повітрі із послідуєчим проковуванням зони відновлення легким деформуванням молотком). У якості модифікуючої домішки рекомендовано використовувати не магнітну детонаційну шихту дисперсної і нанофракції, спеціально отриманої від утилізації боєприпасів, яка містить 3,37-3,43 % С; 3,14 % Сu і залізо – решта.

Нова технологія розроблялася разом зі спеціалістами ВАТ «ХТЗ» згідно створеної нормативно-технічної документації та захищена патентом України [229].

Проведеними дослідженнями встановлено, що 32 % корпусних деталей, виготовлених із сірого чавуну, мають відхилення при їх виробництві, які суттєво впливають на їхні експлуатаційні характеристики.

В даному розділі проведені дослідження по впровадженню у виробництво розроблених нових технологічних процесів виробництва і ремонту деталей для потреб машинобудування, а також методи та підходи до оцінки їх якості неруйнівним методом з встановленням бракувальних норм.

Експериментально доведено, що використання циклічного методу нагрівання різнотовщинної металевої форми забезпечує досягнення рівномірної температури перед її використанням при центробіжному відливанні втулок гільз циліндрів, а також досягається формування найбільш однорідної структури по всіх зонах та зменшується рівень напружень.

Виключення впливу фактору швидкості кристалізації за висотою втулки на напруження та неоднорідність формуємої структури з високоміцного чавуну, виявили незначні зміни в показниках коерцитивної сили і відхиленнях у хімічному складі (згідно норм ТУ). Показано, що при однорідній кристалізації проявляється вплив вмісту С та Si. В цьому випадку рівень в показниках  $H_c$  між різними втулками може досягати 30 %. Це стосується вмісту вуглецю вже на рівні 3,45-3,51 %. Вплив Si не однозначний. Він проявляється, як при його підвищеній концентрації, 2,12-2,45 %, так і зниженої до 1,6-1,64 %, що пов'язано з неякісним процесом засвоєння цього компонента при модифікуванні рідкого розчину SiMn.

Якість корпусних деталей з сірого чавуну оцінювали за коерцитивною силою порівняльно на деталях одного перерізу і – змінного, щоб виявити вплив локальних напружень, які сприяють істотному внеску у цю характеристику. Досліджували накладку, яка має плоску поверхню і однаковий переріз у всіх її зонах (формується однакова дендритна будова, структура і фазовий склад), що дозволило більш точно виявляти і характеризувати дефекти

ливарного походження.

Аналізом встановлено, що якісні показники суттєво залежать від типу дефектів, які оцінювали згідно коефіцієнта анізотропії  $K$  (де  $K = \frac{H_{с.поп.}}{H_{с.повз.}}$ ). Якісні показники зон без дефектів мають

розкид, який не перевищує 18 % (середнє значення  $K = 1,1$ ). Зона з ситовидною пористістю підвищує  $K_{сер.}$  до 1,25 та розкид значень досягає 35 %. При цьому якісні показники  $H_c$  співпадають з цим дефектом. Наявність піщаних включень підвищує  $K_{сер.}$  до 1,87, розкид значень досягає 68 %. Найбільший рівень  $K_{сер.} = 2,35$  мають зони з газовими порожнинами, хоча розкид їх показників  $H_c$  не перевищує 36 % та вони знаходяться за межами – якісних.

Розробку процесу модифікування та способу внеску домішок, а також вибір основних компонентів такої суміші для відновлення корпусних деталей (заварюванням) з сірого чавуну досліджували з використанням різних підходів. На першому етапі вивчали введення чистих наноалмазів детонаційного виробництва. Встановили, що така модифікуюча домішка, яку вводили дозовано у рідкий розчин разом з вуглецевим або низьколегованим дротом, на який наносили чарунки, заповненими наноалмазами, забезпечує не тільки зміцнення відновлювального шару, а і – перехідної зони. При цьому перехідна зона змінюється від рівної до хвилястої та наявність її перепадів складає від 15 до 30 мкм. Таке відбувається за рахунок нерівномірного осідання наноалмазів, які не розчиняються та є включеннями – мікро охолоджувачами, і впливають на локальні зміни кристалізації границі відновлений шар – основа.

Враховуючи високу вартість наноалмазів, детально досліджували можливість модифікування рідкого розчину використанням детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, які втратили термін використання, та включали нано- і дисперсні алмази та домішку  $Cu$  та  $Fe$ .

При відновленні дефектів проводили вибір найбільш ефективного технологічного процесу, який забезпечує рівномірне завоювання модифікатора та формування хвилястої зони сплавлення і якісного покриття, не має тріщин, порожнин та інших дефектів. Це відбувається за рахунок дозованого введення домішки, забезпеченням зниження температурного режиму процесу на 300°C, який наблизився до температури плавлення сірого чавуну. Такі дослідження проводили разом зі співробітниками ВАТ «ХТЗ» на корпусних деталях сільськогосподарської техніки, які виготовляють з чавунів близького хімічного складу та властивостей СЧ15, СЧ18, СЧ20 з товщиною стінок 30-55 мм. Такий чавун модифікують SiMn або FeSi.

Встановлено, що в залежності від способу введення модифікуючої домішки (детонаційної шихти) у сірий чавун при відновленні має місце кристалізація різної долі фазових складових, які характеризуються ступенем неоднорідності їх розподілу, а також взаємозв'язком між ними. Такі зв'язки взаємоутворення між фазами забезпечують якість відновленої зони без дефектів, характеризуються суттєвим зменшенням тепловкладення при наплавленні. Найкращі результати досягнуті при заплавленні дефектів з обмазкою електроду ЦЧ-4 Ø 3 мм, що забезпечує дозоване введення модифікуючої домішки з накладенням коротких валиків - 25-30 мм, зварювальним струмом 60-110 А та охолодженням кожного до 60°C з послідуною проковкою зони наприкінці відновлення легким деформуванням за  $t = 400^\circ\text{C}$  (Додаток Е). Така обробка забезпечує зменшення розміру зерен, підвищення зав'язків у фериті з різним насиченням вуглецю та іншими фазовими складовими; а також за рахунок зменшення тепловкладення та розвиток явища турбулізації (введенням локальних мікроохолоджувачів-алмазів).

Вивчені чинники, які впливають на тріщиноутворення в корпусних деталях. При виробництві та експлуатації основна роль в порушеннях цілісності таких деталей мають напруження, формування структурно вільних карбідів і неметалевих з'єднань,

а також грубого графіту та його заповнення кисневими включеннями. Вплив на тріщиноутворення при відливанні корпусів може мати і неякісна підготовка форм, яка насичена вологою.

Промислові дослідження корпусних деталей сільськогосподарської техніки з товщиною стінок 30-55 мм показали, що при якісному модифікуванні SiMn або FeSi таких виливків з чавунів СЧ15, СЧ18, СЧ20, забезпечується частка пластинчастого графіту на рівні 5-7 % та  $H_c$  в них досягає 7 А/см. При відхиленнях в структурі графіту < 5 % рівень  $H_c$  підвищується в 1,3- 1,6 разів та в металевій матриці з'являється структурно вільний цементит і частка фериту зменшується.

Відновлення дефектів заплавленням з використанням детоційної шихти від утилізації боєприпасів підтвердило ефективність використання такої модифікуючої домішки при дозованому її введенні у рідкий розчин. Нові технологічні рішення, які доведені до промислового використання захищенні патентами України.



## ВИСНОВКИ

В монографії представлені нові, науково-обґрунтовані результати розробок, які узагальнюють та забезпечують вирішення проблеми, що стосується підвищення властивостей втулок гільз циліндрів дизельних двигунів та корпусних деталей сільськогосподарської техніки з чавунів за рахунок використання нових підходів до структуроутворення та технологічних процесів їх виробництва і відновлення.

В результаті виконаних розробок одержані наступні результати:

З аналізу науково-технічної літератури, стандартів та патентів виявлені основні напрями досліджень по виробництву та використанню деталей з високоміцного та сірого чавунів. Для підвищення якості таких виробів використовують модифікування рідких розчинів домішками з різними способами їх введення, які дозволяють керувати структуроутворенням та властивостями. Розглянуті умови, що забезпечують відсутність формування карбідних включень в структурі металу виробів з чавунів.

Узагальнені вимоги до якості, властивостей та технологій виробництва корпусних деталей, які забезпечують їх надійну роботу та відносно низьку собівартість. Розглянуті основні типи їх пошкоджень при експлуатації в умовах дії різних навантажень (ударних, вібраційних, корозійних середовищ, зношування, кавітації та інш.)

Основними чинниками порушення якості при виробництві є тріщини, пороутворення, не відповідність вимогам за структурою металу і діючій нормативно-технічній документації, Міжнародним стандартам (США, Німеччини, Франції, Японії), які в окремих випадках відрізняються від тих, що використовуються на Україні, та вони враховують механічні властивості, термообробку, але не використовують неруйнівні методи контролю якості.

Представлені дослідження спрямовані на обґрунтування нових технологій виробництва та відновлення корпусних деталей

з чавунів. Для цього розроблено новий методологічний підхід, який базувався на досягненнях, відображених в публікаціях авторів, а також спрямований на вивчення безпосередньо чинників відмов їх у виробництві та експлуатації, виявленні впливу різних параметрів на якість металу, що використовували при розробках бракувальних норм магнітним неруйнівним методом контролю.

Виконані теоретичні та експериментальні дослідження структуроутворення також спрямовані на визначення основних напрямів пошуку найбільш ефективних технологій виробництва та відновлення, які дозволяють забезпечити підвищення працездатності виливків.

Для оцінки напружень, зав'язків фаз, що забезпечують необхідні споживчі властивості, розроблені та використані нові методики, які базувалися на поєднанні експериментальних досліджень з теоретичними, згідно оптико-математичного методу опису змін.

Статистичний аналіз впливу технологічних параметрів виробництва втулок гільз циліндрів з високоміцного чавуну, які відливаються в різнотовщинні металеві форми методом відцентрового лиття, виявив дві групи деталей. Перша – відповідає діючим ТУ 78.019-2003У за структуроутворенням, але має деякі відхилення по вмісту Si, S та Mg, що пов'язано з неякісним модифікуванням рідкого розчину чавуну. Друга – не відповідає вимогам, згідно цієї характеристики. Структура їх включає карбідну фазу, а в деяких випадках і ледебурит, що є неприпустимим у діючій нормативно-технічній документації.

Для контролю якості втулок гільз на відповідність їх структурного стану діючим ТУ розроблені бракувальні норми, згідно неруйнівного магнітного методу за коерцитивною силою,  $H_c$ . Вимірюваннями встановлено, що при  $H_c \leq 5,1$  А/см структура чавуну втулок гільз складається з ферито-перлітної суміші, а –  $H_c \geq 6,5$  А/см металева матриця чисто перлітна. При  $H_c \geq 8,2$  А/см в структурі з'являється цементит, а –  $\geq 9$  і ледебурит, доля якого досягає 20%, що призводить до суттєвого підвищення  $H_c = 12,9$  А/см.

Методом планування експерименту встановлено, що вміст ферриту більш інтенсивно знижує коерцитивну силу, ніж доля цементиту, яка її підвищує.

Статистичний аналіз якості корпусних деталей з сірого чавуну сільськогосподарської техніки, згідно якого проводили виміри Нс, дозволив виявити, що рівень цієї характеристики на зовнішній поверхні має різні показники, які змінюються від 4,3 - 8,0 А/см, а на внутрішній вони досягають 5,0 - 9,4 А/см, що свідчить про формування дефектів частіше в цій зоні. Металографічними та мікрорентгеноспектральними дослідженнями встановлені зони з порушеннями якості металу (тріщини, пори, локальні напруження, структурні відхилення, ліквідаційні явища з формуванням неметалевих включень) де показники Нс підвищуються та досягають 7,8-11,3 А/см.

Поява скупчень неметалевих включень є результатом неякісної підготовки форми при її використанні та засміченістю шихти, що використовується.

На основі розрахунків впливу різних методів та параметрів підігріву різнотовщинної металевої форми для формування виливків втулок циліндрів було показано, що досягти необхідних однорідних умов їх кристалізації в машині відцентрового лиття з рівномірним тепловідведенням можливо лише при циклічному нагріванні одночасно всіх зон.

Теоретичними розрахунками встановлено, що загальний час нагрівання індуктором форми СПЧ (струм промислової частоти) складає 4,2 год, а період пауз відключення – 1,2 год. Число циклів повинно бути не менш ніж – три.

Такий підігрів металевої форми перед заливанням металу в порівнянні з пічним її нагрівом забезпечує зростання ККД процесу на 20% та підвищує стійкість оснащення на 15%.

Розроблено новий підхід до оцінки структуроутворення при відновленні корпусних деталей з сірого чавуну на основі виявлення в них дефектів та змін оптико-математичним і неруйнів-

ним методами за показниками  $H_c$ . Аналізували структуроутворення по всій мікрофотографії та в різних локальних зонах: наплавлення, перехідної та основи. Такий підхід у дослідженнях виявив тип феритних фаз, які згідно властивостей, при модифікуванні забезпечують зв'язок зон наплавлення та основного металу з достатньою міцністю перехідного шару.

Теоретичними і експериментальними дослідженнями та розрахунками встановлено, що тріщиноутворення в корпусних деталях з сірих чавунів відбувається за рахунок створення напружень у перехідних зонах зміни товщини стінки корпусної деталі де формуються більш грубі включення графіту. За рахунок напружень, а також в умовах не якісної підготовки форми до використання при кристалізації виливків, навколо цих включень має місце скупчення дислокацій, які декоруються за рахунок дифузії вуглецю та кисню. Дослідження таких зон виконані на зразках відібраних з виливків та при моделюванні процесу.

Розрахунками показано, що при цьому доля графіту зменшується та не перевищує 88,7 - 95,7 %, а виділення вуглецю на дислокаціях досягають 4,3 - 11,3 %. Одночасно встановлено, що у зонах з підвищеними локальними напруженнями формуються дуже дисперсні нестехіометричні карбіди  $Fe_xC_y$ , доля яких не перевищує 0,01 - 0,03 %.

Напруження різних знаків та напрямів їх формування досліджували при наплавленні оптико-математичним методом, згідно оцінки показників нейтральності лапласіанів та дивергенцій. Показано, що інтенсивніше зміни структури відбуваються при модифікуванні з дозованим введенням домішки. При цьому, формуються зони, які відображають смуги стиснення та розрядження. Найбільше цей ефект проявляється за напрямом інтенсивного тепловідведення.

Промисловими дослідженнями підтверджено, що основним фактором зниження якості втулок гільз циліндрів є нерівномірність їх кристалізації в металевій формі при відцентровому від-

ливанні за рахунок структуроутворення з відхиленнями та напруженнями у відповідних зонах з формуванням карбідної фази. Показано, що при виключенні дії цих факторів відхилення в структурі не перевищують 1-3%.

Промислові дослідження корпусних деталей сільськогосподарської техніки з товщиною стінок 30-55 мм підтвердили результати теоретичних та експериментальних досліджень і показали, що при якісному модифікуванні SiMn або FeSi чавунів СЧ-15, СЧ-18, СЧ-20 забезпечується частка пластинчастого графіту на рівні 5-7% та  $H_c$  не перевищує 5-7 А/см. При відхиленнях в структурі графіту < 5 % рівень  $H_c$  підвищується в 1,3-1,6 разів та в структурі металевої матриці з'являється структурно вільний цементит і частка фериту зменшується.

Відновлення дефектів заплавленням з використанням вторинної сировини – детонаційної шихти від утилізації боєприпасів підтвердило ефективність такої модифікуючої домішки при дозованому її введення у рідкий розчин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сайков М.А., Грищенко В.С., Карпенко М.И. и др. Производство чугуновых отливок ответственного назначения в условиях завода РУП ГЛЗ «Центролит» *Литье и металлургия*. 2008. № 3. С. 98-101.
2. Литовка В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна. Киев: Наукова думка, 1987. 208 с.
3. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г. и др. Киев: Наукова думка, 1986.
4. Вальтер А.И., Зенкин Р.Н. Производство отливок из высокопрочного чугуна с использованием металлизированных окатышей. *Теории и технологии в металлургии и металлообработке. Известия ТулГУ. Технические науки*. 2014 Вып. 7. С. 141-145.
5. Особенности процессов производства корпусных отливок из высокопрочных чугунов. Карпенко М.И., Сайков М.А., Мамаева М.В. и др. *Литье и металлургия*. 2009. № 3, С. 169-174.
6. Зенкин Р.Н. Механизм кристаллизации высокопрочного чугуна. *Машиностроение и машиноведение. Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. Вып. 6. Ч.1. С. 192-200.
7. Зенкин Р.Н. Механизм и разновидности модифицирования высокопрочного чугуна. *Теории и технологии в металлургии и металлообработке. Известия ТулГУ. Технические науки*. 2014 Вып. 1. С. 6-14.
8. Карпенко М.И., Марукович Е.И., Сусло П.П. др. Комплексный модификатор чугуна: Пат. RU № 9935 30.10.2002. Бюл. № 22.
9. Алов В.А., Карпенко М.И., Епархин О.М. и др. Высокопрочный чугун: Пат. RU № 2293048. 27.04.2007. Бюл. №12.
10. Спицын И.А., Захаров Ю.А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей цинкованием. *Технический сервис в лесном комплексе. Научные труды*. Москва, 2000. 75 с.

11. Захаров Ю.А., Рылякин Е.Г., Лахно А.В. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин. *Молодой ученый*. 2014. № 16. С. 68-71.
12. Производство отливок из чугуна: Монография / Смирнов А.Н., Лейрих И.В. Донецк: Норд-Пресс. 2005. 245с.
13. Пивоварский Е. Высококачественный чугун. М.: Металлургия, 1984. т.2. 364 с.
14. Стеценко В.Ю. Дендритная кристаллизация чугуна. *Литье и металлургия*. 2015. №1 (78). С. 58-61.
15. Лисин А.Н., Набоков И. И. К проблеме взаимосвязи характеристик механических свойств металлов. *Технология машиностроения и материалы. Известия МГТУ «МАМИ»*. 2013. №2 (16). С. 334-348.
16. Гладкий И.П., Мощенок В.И., Глушкова Д.Б. Пути уменьшения брака чугунолития. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2006. С. 1-5.
17. Покровский А.И. Пластическое течение включений цемента и графита при обработке давлением чугуна. *Литье и металлургия*. 2013. №1 (69). С. 88-95.
18. Шумихин В.С., Кутуров В.П., Храмченков А.И. Высококачественные чугуны для отливок. М.: Машиностроение, 1982. 222 с.
19. Гарост А.И. Улучшение состава, структуры и механических характеристик чугуна при графитизирующем модифицировании. *Литье и металлургия*. 2008. №2 (46). С. 15-22.
20. Бовтало Я.Н., Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н. Влияние деформации и схемы напряжённого состояния на механические свойства стали. *Технологии и оборудование обработки металлов давлением. Известия ТулГУ. Технические науки*. 2010. Вып.4. Ч.1. С. 108-115.
21. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. Издание 5-е. М.: Машиностроение, 1980. Т.1 728 с.
22. Суслон Н.В. Исследования влияния обработки чугуна

комплексными брикетированными модификаторами на его свойства. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2015. Вип. 31. С. 26-31.

23. Гурьянов Г.В., Бобанова Ж.И., Кроитору Д.М. Технология восстановления и упрочнения цилиндров двигателей износостойкими покрытиями. *Электронная обработка материалов*. 2008. №6. С. 16-26.

24. Шаров Г.П., Межецкий Г.Д., Стрельников В.А. Повышение термоусталостной прочности головок блоков цилиндров. *Техника в сельском хозяйстве*. 1980. №2. С. 50-53.

25. Русаков П.В. Шинский О.И. Остаточные напряжения в отливках головок блока цилиндров и способ их уменьшения динамическим нагружением. *Процессы литья*. 2000. №3 С. 26-30.

26. Чекмарев В.В. Анализ характерных дефектов в головках цилиндров двигателей ЯМЗ 238НБ, А-41, А-01М и СМД-14. *Ремонт тракторов и сельхозмашин*. Саратов, 1982. 164 с.

27. Карабинеш С.С. Дефекты. Повреждения деталей. Методы их определения. Saarbruken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 2013. P. 89.

28. Гришин Д.К., Вальехо Мальдонадо П.Р., Лодня В.А., Сигай Е.А. Проектирование головки цилиндра малогабаритного дизельного двигателя с учетом оценки термонапряженного состояния. *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*. 2009. №2. С. 80-85.

29. Мельник А.А. Механические колебания и образование трещин в блоке цилиндров двигателей внутреннего сгорания. *Труды ГОСНИТИ*: Том 62. М.: ГОСНИТИ, 1980. С. 15-22.

30. Федьков В.А., Федьков А.В., Меняйло С.И. Модифицирование чугунов отходами титаномагниевого производства. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2011. №1. С. 85-87.

31. Вдовин К.Н., Зайцева А.А. Влияние термической обработки на валковый чугун, модифицированный бором. *Вестник*



*Магнитогорского государственного технического университета МГТУ им. Г.И. Носова.* 2011. №4. С. 13-15.

32. Колокольцев В.М., Шевченко А.В. Повышение свойств отливок из чугунов специального назначения путем рафинирования и модифицирования их расплавов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2011. №1. С. 23-29.

33. Nisitani H., Tanaka S., Todaka T. Relation between microcrack and coxing effect of aged 0,15 % C steels after quenching at low temperatures. *J. Soc. Mat. Sci Japan.* 1980. №26. p.317.

34. Леушин И.О., Тимофеев А.М., Зиновьев Ю.А. Внутрiformенное модифицирование высокопрочного чугуна магнийсодержащим модификатором с добавлением бора. *Теория и технология металлургического производства.* 2011. С. 105-110.

35. Иванов В.Г. Металлографічні дослідження графітних вкраплень у відцентровій заготовці для поршневих кілець. *Компресорное и энергетическое машиностроение.* Март. 2016. №1(43). С. 40-44.

36. Ердаков И.Н. Ресурсосберегающие принципы в литейном производстве. *Журнал Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия.* Вып. 19. 2012. №39. С. 139-141.

37. Акимов И.В. Повышение механических свойств литой графитизированной стали. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.* 2015, Вип. 3 (57). С. 129-136.

38. Михальченков А.М., Дроздов А.В. Упрочнение серого чугуна и технология изготовления деталей. *Проблемы повышения качества машин: Тез. докл. международной науч-техн. конф. РАН.* Брянск, 1994. С. 130-131.

39. Колокольцев В.М., Сеницкий Е.В., Волков С.Ю. Аналитические и инженерные критерии оценки абразивной износостойкости отливок как показатель их качества. *Вестник*

*Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 16-18.*

40. Ульева Т.А., Дроздов А.В., Михальченков А.М. О механизме изменения модуля упругости стали и чугуна после пластического деформирования. *Пути ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве Брянской области: тез. докл. обл. науч-произв. конф.* Брянск: Брянский СХИ, 1983. С. 166.

41. Печенкина Л.С. Влияние содержания структурообразующих компонентов на твердость малоуглеродистых белых чугунов. *Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. С. 134-138.*

42. Шанявский А.А. Ротационная неустойчивость деформации и разрушения металлов при распространении усталостных трещин на мезоскопическом масштабном уровне. II. Механизмы разрушения. *Физическая мезомеханика 4. 2001. №1. С. 81-95.*

43. Панов А.Г., Панфилов Э.В., Гуртовой Д.А. Управление качеством чугуна дуговой плавки для ответственных автомобильных отливок. *Литейное производство. М: 2011, № 12. С. 5-7.*

44. Стеценко В.Ю. Наноструктурные процессы плавления и кристаллизации чугуна. *Литьё и металлургия. 2015. №1(78). С. 29-30.*

45. Крутилин А.Н., Лущик П.Е., Андриц А.А. Анализ напряжений, действующих в отливке при вертикальном полунепрерывном литье чугуна. *Литьё и металлургия. 2014. №4(77). С. 10-18.*

46. Тюрин А.И., Пирожкова Т.С., Шуварин И.А. Микромеханизмы пластичности и разрушения твердых тел при действии высоких локальных напряжений. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т.21, Вып.3. С. 1381-1386.*

47. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А. Влияние серы, кальция, алюминия на пластические свойства металла. *Теория и технология металлургического производства. 2010. С. 107-113.*

48. Чайкин В.А., Каргинов В.П., Чайкина Н.В. Сравнительный анализ высокопрочных чугунов, полученных различными способами. *Сб. докладов Литейного консилиума №2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов»* Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007. С. 100.

49. Сидоренко Р.А. Некоторые аспекты производства чугунов с шаровидным графитом. *Литейное производство*. 2002. № 6. С. 8-9.

50. Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Анализ взаимосвязи химического состава, условий охлаждения при затвердевании с особенностями строения сплавов, окисленной поверхности и свойствами комплексно-легированных белых чугунов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2011. №4. С. 50-53.

51. Рахманкулов М.М., Парашенко В.М. Технология литья жаропрочных сплавов. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 464 с.

52. Колокольцев В.М., Конопка З., Пвтрочвнко Е.В. Структура и свойства белых чугунов разных систем легирования. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. №4. С. 19-23.

53. Гуревич Ю.Г. Износостойкие детали из порошковой стали. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. С. 84-88.

54. Жуков А.А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.

55. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. М. Металлургия. 1983. 256 с.

56. Специальные чугуны. Литье, термическая обработка, механические свойства: учеб. пособие / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, В.П. Соловьев, С.В. Цыбров; под. ред. В.М: Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 187 с.

57. Покровский, А. И. Горячая пластическая деформация чугуна: структура, свойства, технологические основы. ISBN 978-

985-08-1155-4. Минск: Беларус. навука, 2010. 56 с.

58. Антонишин Ю.Т. Совершенствование технологии восстановления деталей и повышение их качества электродуговой наплавкой. Агропанорама. 2005. № 4. С. 13-14.

59. Антонишин Ю.Т. Пластическая деформация чугуна. *Наука и техника*. Минск, 1990. 158 с.

60. Патент RU № 2277589. Корниенко Э.Н., Панов А.Г. Способ получения модифицирующей лигатуры для чугуна. 2006. БИ №16. <http://www.freepatent.ru/patents/2277589>.

61. Патент RU № 2121510. Черепанов А.Н. Полубояров В.А. Жуков М.Ф. Дробяз А.И. Мирошник Н.П., Ушакова Е.П. Способ модифицирования чугунов и сталей. публ. 10.11.1998 г., С21С 1/00, 7/00; С22С 35/00. <http://www.modificator.ru/abstracts/2121510.html>.

62. Патент RU № 2162109. Афанасьев В.К. Койнов В.А. Кольба А.В. Седлецкий Н.Ф. Способ модифицирования чугунов и сталей. опубл. 1980. <http://www.modificator.ru/abstracts/2162109.html>.

63. Колокольцев В.М. Легирование и модифицирование литых сталей: Учебное пособие. Магнитогорск: изд. МГМИ, 1993. - 80 с.

64. Нетребко В.В., Волчок И.П. Особенности легирования хромом износостойких чугунов. *Литьё и металлургия*. 2013. №3 (72). С. 75-78.

65. Патент RU № 2086675. Толстогузов Н.В., Прошунин И.Е. Гуменный В.Ф. Нохрина О.И. Способ получения брикетов для прямого легирования стали марганцем. 11.08.1994. С22В1/00, С22С35/00. <http://www.modificator.ru/abstracts/2086675.html>.

66. Патент RU № 2064508. Толстогузов Н.В., Классен Э.Я. Иванов Б.В. Нохрина О.И. Терентьев И.Ф. Медников В.И. Харламов А.А. Кадуков В.Г., Морозов В.К., Гарифулин Ш.И. Экзотермический брикет для раскисления и легирования спокойной стали. 15.03.1993. С21С7/00, С22С35/00. <http://www.modificator.ru/abstracts/2064508.html>.

67. Патент RU № 2023044. Толстогузов Н.В., Черняк С.С. Ромен Б.М. Ивакин В.Л. Брикет для раскисления и модифицирования стали и чугуна. 15.11.1994. С22С35/00. <http://www.modificator.ru/abstracts/2023044.html>.

68. Патент RU № 2124566. Анисимов А.Н., Сивко В.И., Муртазин Р.Г. Курочкин Л.В. Суппес В.Я. Брикетированная смесь для модифицирования серого чугуна. 10.01.1999. <http://www.modificator.ru/abstracts/2124566.html>.

69. Колокольцев В.М. Выплавка, легирование, модифицирование литейных сталей. Магнитогорск: ПМГРмини Тип, 1996. 88с.

70. Панов А.Г. Стабильное модифицирование высокопрочных чугунов: метод, модификаторы, технологии. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 348 с.

71. Гольдштейн Я.Е. Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. 272 с.

72. Гольдштейн Я.Е. Мизин В.Г. Инокулирование железом углеродистых сплавов. М.: Металлургия, 1993. 416 с.

73. Шуб Л.Г. Ахмадеев. А.Ю. О целесообразности модифицирования стали. *Металлургия машиностроения*. 2006. №5 С. 38-41.

74. Болдырев Д.А. Новые эффективные модификаторы и технологии модифицирования чугунов. *Литейное производство*. - 2006. - № 12. - С. 9-13.

75. Журавлев Л.Г., Демеке Нигусе Тадеге, Корягин Ю.Д. Износоустойчивость литых высокоуглеродистых сталей при абразивном изнашивании. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия Вып. 6*. 2005. №10. С. 89-91.

76. Влияние легирующих элементов на кристаллизацию, структурообразование и физико-механические свойства белого чугуна / Ри Хосен, Ри Э.Х., Тейх В.А. и др. *Литейное производство*. 2000. №10. С. 15-17.

77. Федоренко Е.М., Дробышев А.Н., Протасов Ю.Н. Влияние типа формы на структуру и твердость чугунных валков. *Металлургия машиностроения*. 2004. №2. С. 9-10.

78. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Воронков Б.В. Особенности формирования структуры белых чугунов и их классификация. *Вестник УСГТУ им. Г.И. Носова*. 2007. С. 97-105.
79. Ультрадисперсные модификаторы для повышения качества отливок / В.Е. Хрычников, В.Т. Калинин, В.А. Кривошеев, Ю.В. Доценко и др. *Литейное производство*. 2007. №7. С. 2-5.
80. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах; изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. 2005. 476 с.
81. Давыдов С.В., Панов А.Г. Тенденции развития модификаторов для чугуна и стали. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2007. №2. С. 3-11.
82. Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. О критериальной оценке эффективности модификаторов при обработке чугунов. Теория и практика металлургии. 2004. №2. С. 25-29.
83. Волощенко М.В. Использование кальцийсодержащих комплексных модификаторов. *Литейное производство*. 1998. №11. С. 15-19.
84. Колокольцев В.М., Шевченко А.В. Рафинирование и модифицирование комплексно-легированных белых чугунов. *Молодежь. Наука. Будущее. Вып.7.: Сб. науч. тр. студентов: под. ред. С.В. Пыхтуновой*. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2007. С. 55-58.
85. Колокольцев В.М., Шевченко А.В., Быков К.В. Рафинирование и модифицирование специальных чугунов. *Литейные процессы. Вып. 7. межрег. сб. науч. тр.* 2008. С. 98-101.
86. Бабанин А.Я., Паренчук В.В., Дадонов М.К. Модифицирование чугуна кальцийсодержащей порошковой проволокой в различных ковшах малой емкости. *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. 2007. №1. С. 32-34.
87. Бахметьев В.В., Колокольцев В.М., Миляев А.Ф. Повышение свойств литейных сталей внепечной обработкой калий-магниевыми лигатурами. *Литейное производство*. 2006. №11. С. 7-10.
88. Болдырев Д.А. Внутриформенное модифицирование чу-

гуна магниевым модификатором с лантаном. *Литейное производство*. 2006. № 5. С. 10-12.

89. Совершенствование технологии электроплавки высокомарганцовистых износостойких сталей / Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Долгополова Л.Б. и др. *Современные проблемы электрометаллургии стали: тез. докл. IX междунаро. конф.* Челябинск. 1995. С. 37-38.

90. Колокольцев В.М. Аксенов В.Н. Совершенствование режимов плавки высокохромистого чугуна и термообработки отливок из него. *Литейное производство*. 1994. №3. С. 5-6.

91. Раскисление и рафинирование высокохромистого чугуна / Тейх В.А., Хо-сен Ри, Литвиненко Л.М., и др. *Литейное производство*. 1984. №8: С. 10-13.

92. Бестужев А.М. Кристаллизация первичных карбидов; хрома в высокохромистых заэвтектических чугунах / А.М. Бестужев, А.П. Крутилин, Н.И. Бестужев // *Литейное производство*. - 2006. - № 3. - С. 25-28.

93. Леушин И.О., Андреев И.А. Моделирование процесса десульфурации металлического расплава при обработке на высокопрочный чугун с использованием карбонатов щелочноземельных металлов. *Черные металлы*. февраль 2009. С. 20-22.

94. Эффективность усвоения магния и десульфурации чугуна в процессах ковшевого рафинирования / Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Курилова Л.П. и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. №4. С. 12-14.

95. Петроченко Е.В. Повышение эксплуатационной стойкости отливок из белых легированных чугунов за счет комплексного воздействия на их структуру: дис. канд. техн. наук: Магнитогорск, 2003. 138 с.

96. Тихомирова И.М., Клименок Е.В. Разработка технологии изготовления отливки литьем по газифицируемым моделям. *Литье и металлургия*. 2013. №3 (72). С. 132-137.

97. Шварцман Ю.Х. Шкуркин В.И., Галян В.С. Основные направления совершенствования технологии выплавки чугуна и

стали. *Труды пятого съезда литейщиков России*. Москва. Радунца. 2001. С. 172-176.

98. Седельников В.В. Структурообразование кристаллизующихся систем при модифицировании их ультрадисперсными порошками. *Литейное производство*. 2005. № 1. С. 2-5.

99. Влияние микролегирования и модифицирования на свойства жароизносостойких чугунов / Колокольцев В.М., Петрученко Е.В., Шевченко А.В., Гольцов А.С. *Труды 9 съезда литейщиков России*. Уфа. 2009. С. 12-15.

100. Кузовлева О.В., Гвоздев А.Е. О закономерностях и причинах изменения пластичности металлов и сплавов в состоянии предпревращения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. Вып. 5. Ч. 3. С. 94-103.

101. Изучение структурной неоднородности ферритно-мартенситных сталей методами рентгеновской дифрактометрии / Жариков Е.С., Исаенкова М. Г. Перлович Ю.А. Крымская О.А. и др. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2013. №3. С. 167-169.

102. Леоненко А.Н., Павлюченко А.А., Савченков Б.В. Влияние термомеханического упрочнения на изменения микроструктуры поверхностного слоя специального легированного чугуна. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2007. № 14. С. 1-5.

103. Коджаспиров Г.Е., Камелин Е.И. Исследование динамической рекристаллизации высокопрочной низколегированной стали с применением физического моделирования. *Materials Physics and Mechanics. Received*. May 16, 2016. P. 215-222.

104. Ермолов Л.С. К вопросу низкотемпературного термомеханического упрочнения металлопокрытий, наплавленных механизированной наплавкой. *Сб. науч. тр. МИИСП*. М., 1984. С.15-20.

105. Леоненко А.Н., Цыбульский В.А. О возможности применения высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) для упрочнения чугунных гильз цилиндров двигателей. *Вестник ХНТУСХ*. – Х.: Изд-во ХНТУСХ. 2004. № 24. С.220-224.



106. Колокольцев В.М., Шевченко А.В. Модифицирование расплава белого чугуна боридом титана. *Литейные процессы. Межрег. сб. науч. тр.* 2010. Вып. 9. С. 208-214.

107. Патент RU № 2135599. Афанасьев В.К., Чибряков М.В., Прудников А.Н., Сардин М.К. Способ модифицирования серого чугуна. <http://www.modificator.ru/abstracts/2135599.html>.

108. Патент RU № 2151198. Афанасьев В.К., Койнов В.А., Кольба А.В., Седлецкий Н.Ф., Туева Г.В. Способ модифицирования серого чугуна.

109. Патент RU № 2135600. Афанасьев В.К., Чибряков М.В., Прудников А.Н., Сардин М.К. Способ модифицирования чугуна. <http://www.modificator.ru/abstracts/2135600.html>.

110. Патент RU № 2163646. Исаев Г.А. Исаев С.Г., Исаев П.Г., Кудрин В.А. Шишимиров В.А. Способ получения лигатуры. <http://www.modificator.ru/abstracts/2163646.html>.

111. Патент RU № 2058416. Баранник И.А., Белов А.Н. Карпенко В.И., Сивко В.И. Якобсон А.И. Способ содержания магнийсодержащей лигатуры. <http://www.modificator.ru/abstracts/2058416.html>.

112. Термовременная обработка жидких сплавов и стали / Б.А. Баум, Г.В. Тягунов, Е.В. Барышев и др. *Сталь*. 1996. №6. С. 16-20.

113. Сысоев А.М. Бахмет В.В., Колокольцев В.М. Рафинирование и модифицирование стали комплексом титан-бор-кальций. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2008. №1. С. 43-45.

114. Леушин И.О., Ермилин А.С. Пути повышения эффективности модифицирования. *Труды пятого съезда литейщиков России*. Москва: Радуница. 2001. С. 79-81.

115. Бахметьев В.В., Колокольцев В.М. Повышение эксплуатационных свойств отливок путем рафинирования и модифицирования расплавов сталей. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2006. №4. С. 34-40.

116. Ачкасов К.А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 272 с.
117. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин. Магнитогорск, 2002. 330 с.
118. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учебное пособие / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный, и др.: под ред. В.И. Черноиванова. Москва. Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. 992 с.
119. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.: под ред. В.В. Курчаткина. М.: Колос, 2000. 776 с.
120. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК.: М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 604 с.
121. Гурьев А.М., Марков В.А. Контроль качества отливок в машиностроении. Барнаул.: Изд-во АлтГТУ, 2002. 280 с.
122. Воздвиженский В.М., Жуков А.А., Бахраков В.К. Контроль качества отливок: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1990. 240 с.
123. Емельянова А.П. Технология литейной формы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
124. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М: Машиностроение. 1985. 400 с.
125. ГОСТ 19200-80 "Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов" - "Iron and steel castings. Terms and definitions of defects".
126. Бернштейн М.Л. Атлас дефектов стали. Пер. с нем. М., "Металлургия", 1979. 188 с.
127. Тодоров Р.П., Пешев П.Ц. Дефекты в отливках из черных сплавов. Сокращенный перевод с болгарского. М.: Машиностроение, 1984. 184с.
128. Швецов В.И., Иванов М.А., Кулаков Б.А. Процессы образования и предотвращения пригара на стальных отливках. *Ве-*

стник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия» 2015. Т.15, №1. С. 17-23.

129. Черный А.А., Ковалева А.В., Соломоницина С.И. Инновационные процессы в литейном производстве. *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2008. <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-protsessy-v-liteynom-proizvodstve>.

130. Влияние геометрии слитка и условий затвердевания головной части на процессы структурообразования и развитие внутренних дефектов / Гаманюк С.Б., Рущкий Д.В., Зюбан Н.А., Чубуков М.Ю. и др. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2016. Т.14. №4. С. 11-19.

131. Неуструев А.А., Пантюхин В.П., Абрамов Г.Г. Расчет времени охлаждения чугунных отливок в песчаных формах. *Литейное производство*. 1983. № 10. С. 16-17.

132. Котлярский Ф.М., Борисов Г.П. Об организации направленного затвердевания фасонных отливок. *Литейное производство*. 1985. № 10. С. 4-5.

133. Ермаков И.Н. Ресурсосберегающие принципы в литейном производстве. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия*. Вып. 19. 2012. №39. С. 139-141.

134. Берг П.П. Формовочные материалы. М.: «Машиностроение», 1989. 210 с.

135. Кобяков К.В., Николайчик Ю.А. Моделирование процессов образования усадочных дефектов при изготовлении отливок. *Литье и металлургия*. 2014. №4 (77). С. 131-137.

136. Ильинский В.А., Костылева Л.В. Дефекты чугунных отливок (атлас). Учебное пособие. ВолгГТУ, Волгоград, 1996. 105с.

137. Гаранин В.Ф., Фирсов В.Г., Куренков О.А. Классификация отливок. *Литейное производство*. 1997. № 3. С. 5.

138. Чистяков В.В. Оптимизация режимов заливки форм по критериям качества. *Литейное производство*. 1994. № 6. С. 13-14.

139. Ситников А.В. Актуальные проблемы систематизации причин образования литейных дефектов. *Молодой ученый*. 2011. №7. Т.1. С. 56-57.
140. Захаров Ю.А., Рылякин Е.Г., Лахно А.В. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин. *Молодой ученый*. 2014. №16. С. 68-71.
141. Рылякин Е.Г. Исследование интенсивности изнашивания ресурсоопределяющих сопряжений гидронасосов. *Молодой ученый*. 2014. №8. С.243-246.
142. Patejuk A., Biely A., Bielocerkowski M. Wlasciwosci stopu tytanu Ti-6Al-3Mo-2Cr kszaltowane struktura geometryczna i stamen warstwy powierzchniowej. *Przeglad Mechaniczny*. 2007. № 9. P. 129-131
143. Бойко Н.И., Фисенко К.С. Исследование качества поверхности наплавленного металла цилиндрической детали, обработанной в горячем состоянии. *Инженерный вестник Дона*, 2012, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine /archive/n2y2012/746](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/746)
144. Захаров Ю.А. Рылякин Е.Г., Семов И.Н Восстановление посадочных поверхностей корпусных деталей машин проточным гальваническим цинкованием. *Молодой ученый*. 2014. №17. С. 58-62.
145. Belotserkovsky M., Yelistratov A., Byeli A., Kukareko V. Steel Thermal Sprayed Coatings: Superficial Hardening by Nitrogen Ion Implantation // *Welding Journal*. 2009. Vol. 88, № 12. P. 243-248.
146. Захаров Ю.А., Рылякин Е.Г., Семов И.Н. Восстановление корпусных деталей гальваническим цинкованием. *Актуальные вопросы современной науки. Научный журнал*. № 4 (4). 2014. С. 11-16.
147. Металлографические исследования структуры защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки / Т.А. Литвинова, Д.В. Могилевский, Н.Н. Подрезов и др. *Инженерный вестник Дона*. 2014, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454).

148. Захаров Ю.А. Ремзин Е.В., Мусатов Г.А. Основные дефекты корпусных деталей автомобилей и способы их устранения, применяемые в авторемонтном производстве. *Инженерный вестник Дона*. 2014. №4 [ivdon.ru/ru/magazine/achive/n4y2014/](http://ivdon.ru/ru/magazine/achive/n4y2014/) 2584.

149. Сайчук А.В., Позняков Н.Г., Кохан И.Р. Анализ методов упрочнения и восстановления гильз цилиндров автотракторной техники. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Випуск 96. Харків: ХНТУСГ. 2010. С. 475-483.

150. Исследование микроструктуры после комбинированных методов упрочняющей обработки / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні»*. Випуск 106. Харків: ХНТУСГ, 2010. С 13-16.

151. Разработка способа предварительного поверхностного упрочнения деталей при газотермическом напылении / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Випуск 110. Харків: ХНТУСГ, 2011 С. 93-98.

152. Экономическая эффективность восстановления деталей машин плазменно-порошковым методом / Сайчук А.В., Харьяков А.В., Науменко А.А., Беловол В.С. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Випуск 110. Харків: ХНТУСГ, 2011 С. 336-341.

153. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Сайчук А.В., Манило В.Л. *Науковий вісник ЛНАУ присвячений 111-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка*. 2011. №30. С. 257-265.

154. Анализ процессов легирования при нанесении покрытий лазерным лучом / Сидашенко А.И., Скобло Т.С., Сайчук А.В., Науменко А.А. и др. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Випуск 112. Харків: ХНТУСГ, 2012. С. 56-63.

155. Теоретическое обоснование температуры нагрева детали при механизированной наплавке по винтовой линии для проведения термомеханической обработки / Сидашенко А.И., Скобло Т.С., Сайчук А.В., Манило В.Л. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Випуск 133. Харків: ХНТУСГ, 2013 С. 15-22.

156. Сайчук А.В. Комбинированный способ восстановления деталей сельскохозяйственной техники. *Материалы восемнадцатой международной научно-производственной конференции. «Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и IT-технологий»*, 26-27 мая, БелГСХА им. В.Я. Горина, 2014. С. 188.

157. Спосіб оцінки якості виробів неруйнівним методом: пат. 95287 Україна, МПК G01N 27/82 (2006.01). № а201406020; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. №24.

158. Оценка качества отливок из серого чугуна методами неразрушающего контроля / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Международный научно-технический журнал «Литейное производство»*. 2014. №12. С. 2-4.

159. Сайчук А.В. Технология производства корпусных деталей из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* январь. 2017. №1 |50|. С. 54-58.

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

161. Спосіб оцінки якості виробів з сірого чавуну неруйнівним методом: пат. 100780 Україна, МПК: G01N 27/82, G01N 27/00 № u201501491; заявл. 20.02.15; опубл. 10.08.2015, Бюл. №15.

162. Влияние модифицирования углеродосодержащими порошковыми присадками на износостойкость при нанесении покрытий / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* октябрь. 2016. №10 |47|. С. 54-58.

163. Heat Treatment of TwoLayer AlloyedIron Rollers / Skoblo T.S., Klochko O.Yu., Sidashenko A.I., Sokolov R.G. ISSN 09670912, *Steel in Translation*, 2013, Vol. 43, No. 9, pp. 603-606.

164. Скобло Т.С., Белкин Е.Л., Ключко О.Ю. Обоснование применения понятий уравнений гидродинамики Навье-Стокса для анализа металлографических изображений. *Materialy VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Europejska nauka XXI powieką - 2011»* Volume 21. Techniczne nauki: Przemysł. Nauka i studia. С.94-96.

165. Skoblo T.S., Klochko O.Y., Belkin E.L. The Use of Computer Analysis of Metallographic Images in thx Study of the Structure of High-Chromium Cast Iron. *INORGANIC MATBRIALS English translation of selected articles from Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov*. 2012. Т. 78, № 6. Р. 35-42.

166. Приходько Э.В., Тогобицкая Д.Н. Физико-химическое моделирование процессов межатомного взаимодействия в металлургических расплавах. *Вестник приазовского государственного технического университета*. 1999г Вып. №7. С. 72-83.

167. Моделювання та оптимальні металургійні системи. Навч. посібник / Кол. авт. за заг. ред. В.Б. Охотського. К.: ІЗМН, 1998. 156с.

168. Мочернюк Д.Ю. Физическое моделирование инженерных процессов. Львов.: Вища школа, 1987. 160с.

169. Кориков А.М. Эксперимент в научном исследовании.

Журнал Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Июнь. 2015. №2 (36). С. 148-154.

170. Налимов В.В., Голиков Т.И. Логические основания планирования эксперимента. М.: Металлургия, 1981. 151с.

171. Новик Ф.С. Планирование эксперимента на симплексе при изучении металлических систем. М.: Металлургия, 1985. 256 с.

172. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение. София: Техника, 1980. 304 с.

173. Пінчук С.Й., Рослик І.Г. Організація активного експерименту: Навч. Посібник. Дніпропетровськ. Системні технології, 2003. 88 с.

174. Білуцак Г.І., Чабанюк Я.М. Теорія ймовірностей і математична статистика. Практикум. Львів, 2001. 418 с.

175. Белей Г.Е., Дембовский В.В., Саценко О.В. Организация металлургического эксперимента: Учеб, пособие для вузов Под ред. В.В.Дембовского. М.: Металлургия, 1993. 256 с.

176. Теория и техника теплофизического эксперимента: Учеб, пособие для вузов / Ю.Ф. Гортышов, Ф.Н. Дресвянников. Н.С. Идиатуллин и др.; Под ред. В.К. Щукина. М.: Энергоатомиздат, 1985. 360 с.

177. Новицкий П.В., И.А. Зограф Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 354 с.

178. Бояршинова А.К., Фишер А.С. Теория инженерного эксперимента. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 85 с.

179. Гліненко Л. К., Сухоносів О. Г. Основи моделювання технічних систем: Навчальний посібник. Львів: Вид-во «Бескид Біт», 2003. 176 с.

180. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.

181. Математическая статистика: Учеб, для вузов Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко / Горяйнов В.Б., Павлов И.В.,



- Цветкова Г.М., Тескин О.И. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. 424 с.
182. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
183. Тюрин Ю.Н. А.А. Макаров Статистический анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М, 1998. 528 с.
184. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб, пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 479 с.
185. Новая энергосберегающая технология термоупрочнения гильз цилиндров. / Скобло Т.С, Сидашенко А.И., Марченко М.В., Поздняков Н.Г. *Мир техники и технологий*. 2011. №4 (113) С. 54-55.
186. Спосіб зміцнення гільз циліндрів: пат. № 53647 Україна, МПК (2009), С21Д, 1/06. №4201005071; Заявл. 26.04.2010. Опубл. 2010. Бюл. №19.
187. Кремер Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика. М.: ЮНИТИ, 2001. 545 с.
188. Ананьев В.А. Анализ экспериментальных данных: учеб. пособие: в 2 ч. Кемерово: ГОУ ВПО «Кемеровский госуниверситет», 2008. Ч.1. 92 с.
189. Мазуренко В.П. Теорія статистики: Навчальний посібник К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2006. 232 с.
190. Кулинич О. І. Теорія статистики. К.: Вища школа., 1992. 135 с.
191. Статистика: Підручник / А. В. Головач, А. М. Єріна, О. В. Козирев та ін.: За ред. А. В. Головача, А. М. Єріної, О. В. Козирева. К.: Вища школа., 1993. 623 с.
192. Конділенко О.Ш., Міщенко М.І. Похибки вимірювань фізичних величин: методичні рекомендації. К.: Либідь, 1991. 278 с.
193. Кремер Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика. 2-е изд., перераб. и доп. М.: 2004. 573 с.
194. Зуйков Д. В., Крупен А. Е. Отсеивание факторов при

планировании эксперимента. *Вестник НГИЭИ*. 2014. С. 62-69.

195. Власов К.П., Власов П.К., Киселёва А.А. Методы исследований и организация экспериментов. Х.: Гуманитарный центр, 2002. 256с.

196. Босов А. А., Артемчук В. В. Математичне моделювання планування експериментів. *Наука і прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2008. С. 118-120.

197. Исследование математических моделей в планировании эксперимента методом сравнительного анализа / Тузенко О.А., Кухарь В.В., Балалаева Е.Ю., Дубинина А.В. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2013. № 39. С. 182-188.

198. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин: учебное пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2005. 112 с

199. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1988. 448 с.

200. Венцель Е.С. Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука. 1988. 480 с.

201. Венцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1998. 576 с.

202. Бендат Дж. Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.

203. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб, для вузов. М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000. 541 с.

204. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 752 с.

205. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. 2-е изд. М.: Информационно-издательский дом ФИЛИНГЪ. 608 с.

206. Чекотовкий Э.В. Графический анализ статистических данных в Microsoft Excel 2000. М.; СПб; Киев: Диалектика, 2002. 462 с.

207. Бородин А.Н. Элементарный курс теории вероятностей и математической статистики: Учеб, для вузов. 3-е изд., испр. и

доп. СПб.: Издательство "Лань", 2002. 356 с.

208. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров, проверка гипотез / А.А. Боровков - М.: Наука, 1984. - 312 с.

209. О причинах трещинообразования в корпусных отливках сельскохозяйственных машин / А.В Сайчук, Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Рыбалко И.Н. *Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение»* Орел, 2015. №2 (6). С. 6-14.

210. Применение шлакообразующих смесей при производстве и реновации изделий: Монография. Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.Д. Мартыненко, и др. Под ред. д.т.н., проф. Т.С. Скобло Х.: «Полосатая типография», 2016. 284 с.

211. Производство и применение прокатных валков: Справочник. Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, В.М. Власовец, О.Ю. Ключко и др. Под ред. проф. Т.С. Скобло. Х.: ЦД №1, 2013. 572 с.

212. Качество чугуна при различных способах модифицирования его магнием / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Рыбалко И.Н. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* май. 2015. №5 [29]. С. 56-58.

213. Спосіб виробництва прокатних валків: пат. Україна №105761 МПК В22D 23/00, В21В 27/00. u2015 07442. заявл. 24.07.2015.; опубл. 11.04.2016., Бюл. № 7.

214. Применение неразрушающего контроля для оценки качества отливок из серого чугуна / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение»* Орел, 2015. №4 (8). С. 15-25.

215. Анализ качества втулок цилиндров двигателей методом неразрушающего контроля / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. *Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение»* Орел, 2015. №5 (9). С. 26-32.

216. Спосіб рівномірного нагріву конусної різновтовщинної металевої форми струмами промислової частоти: пат. 105644 Україна, МПК (2016.01) С21D 1/00 С21D 1/34 (2006.01) № u

201510204. заявл. 19.10.15.; опубл. 25.03.16., Бюл. № 6.

217. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей. *Промышленность в Фокусе*. август №8 |8| 2013 С. 52-55.

218. Сайчук А.В., Скобло Т.С., Ключко О.Ю. Особенности структурной деградации в отливках из серых чугунов, работающих в условиях нагружения. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* апрель. 2016. №4 |41|. С. 55-57.

219. Development of new approaches estimation of the structure formation in high-chromium cast iron / Skoblo T., Klochko O., Belkin E., Sidashenko A. *Industrial Laboratory. Diagnostics of materials*. 2017, №5 (83) С. 27-38.

220. Ключко О.Ю. Оценка оптико-математическим методом локальной неоднородности высокоуглеродистых сплавов, образованной в результате РТО. *Вісник ХНТУСГ ім. П Василенка «Ресурсозберігаючі технології матеріали та обладнання в ремонтному виробництві»*. Випуск 183. Х.: ХНТУСГ, 2017. С. 20-30.

221. Effective Technological Process of Crystallization of Turning Rollers' Massive Castings: Development and Analysis / Skoblo T., Klochko O., Belkin E., Sidashenko A. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2017. № 2(3). С. 34-39

222. Effective technology for the restoration of body parts from gray cast iron by defects / Saychuk A.V., Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Belkin E.L. *Svarochnoe Proizvodstvo*. №12, 2017, p.p. 33-39.

223. Panasyuk V.V. Ivanyts'kyi Ya.L., Maksymenko O.P. Analysis of the elastoplastic deformation of the material in the process zone. *Materials Science*, Vol. 40, No. 5, 2004.

224. Вибір бази вимірювання переміщень для визначення деформації методом оптико-цифрової кореляції зображень / Л.Я. Іваницький, П.С. Кунь, Т.М. Ленковський, Ю.В. Мальков та інші. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 53 №6, 2017. С. 94-98.

225. Оценка качества литых стальных изделий неразрушающим методом / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., и др.

*Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* август. 2014. №8 [20]. С. 56-57.

226. Спосіб оцінки якості виробів неруйнівним методом: пат. 95287 Україна, МПК G01N 27/82 (2006.01). № а201406020; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. №24.

227. Технология локального легирования при восстановлении деталей: Монография / Сайчук А.В., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. и др. Под ред. проф. Т.С. Скобло Х.: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. 208с.

228. Спосіб відновлення та підвищення властивостей робочого шару деталей: пат. 92472 Україна, МПК: В23К 26/00 (2014.01). № а201403324; заявл. 01.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. №16.

229. Спосіб підвищення якості відновлення тонкостінних виробів з сірого чавуну: пат. 114950 Україна, МПК В23К 9/04 (2006.01), В23К 35/22 (2006.01) № u201610481; заявл. 17.10.2016; опубл. 27.03.2017, Бюл. №6.

230. Скобло Т.С. Ключко О.Ю., Белкин Е.Л. Исследования локальной структурной неоднородности в сером чугунае оптико-математическим методом. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. № 8. С. 193-200.

231. Saychuk A. Rybalko I. Method of defects restoring in parts made from gray cast iron by hardfacing with recyclable materials modifying. *9-th International conference of young scientists on welding and related technologies Proceedings* Kyiv, Ukraine, 23-26 May 2017. P. 156-159.

232. Сайчук А.В. Сіряк Б.С. Відновлення дефектів корпусних деталей модифікуванням вторинною сировиною. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»* март. 2018. №3 [64]. С. 53-58.

233. Сайчук О.В. Економічна ефективність від відновлення дефектів лиття при виробництві корпусних деталей. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*.

2018. № 13. С. 143-148.

234. Шпилько А.В., Драгайцев В.И., Тулапин П.А. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники. М.: ВНИИЭСХ, 1998. 219 с.

235. Мазнев Г.Е., Турченко М.Н., Щетинин М.Д. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК Навч. посібн. Х.: ХДТУСГ; 2001. 401с.

# ДОДАТКИ

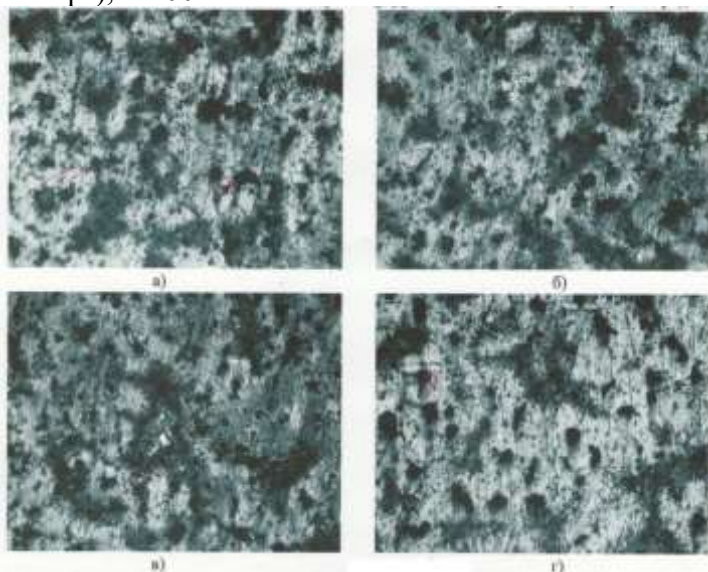
# Додаток А



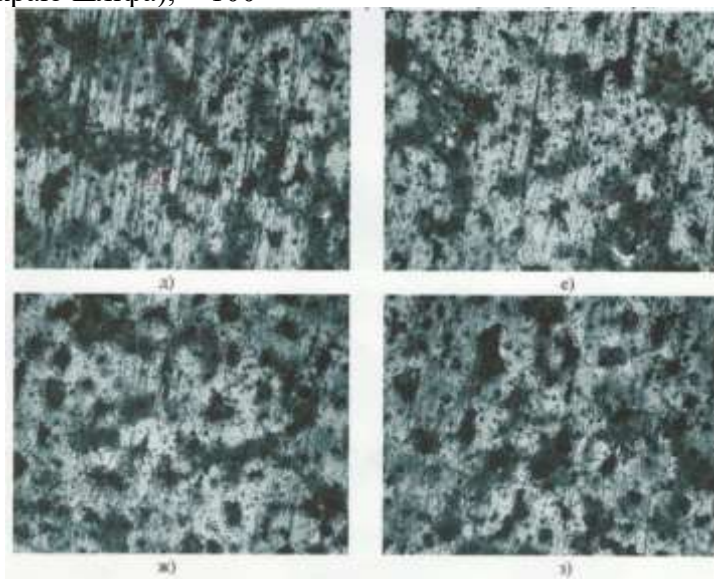
Структура досліджених втулок циліндрів з високоміцного чавуну з різним рівнем коерцитивної сили

$H_c = 3,6 \text{ A/cm}$

Зразок (01) 10211 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

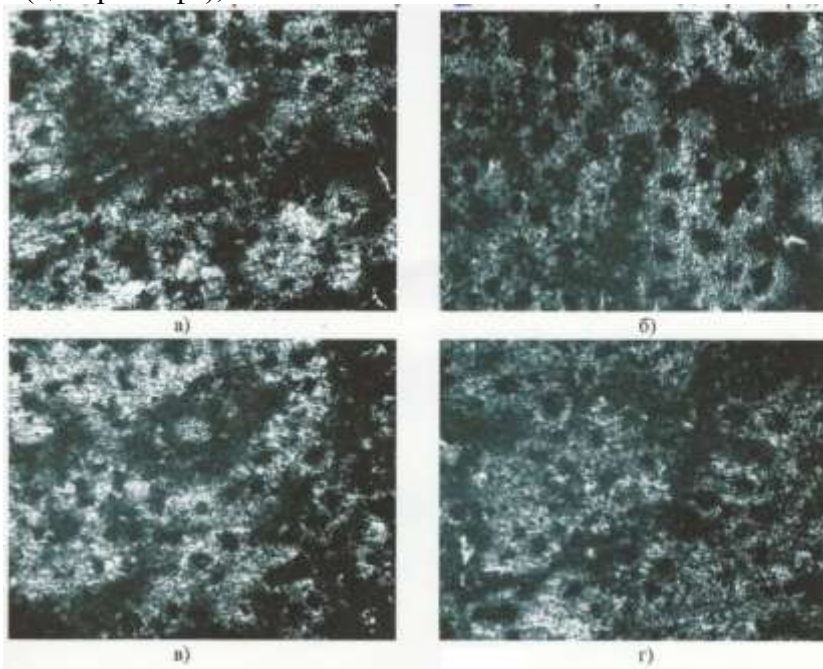


Зразок (01) 10211 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (біля краю шліфа),  $\times 100$

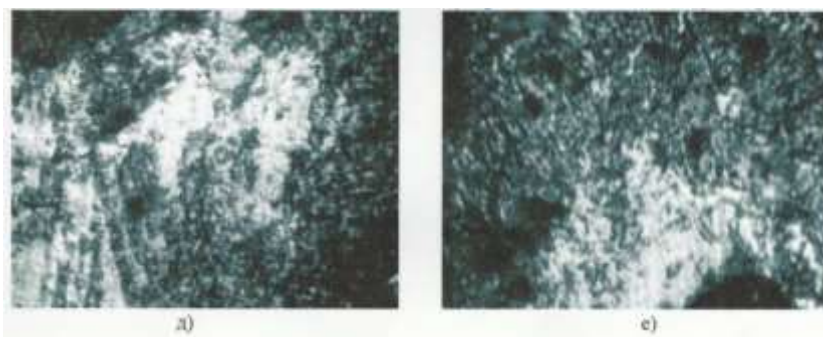


$H_c = 6,1 \text{ A/cm}$

Зразок (02) 21132 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

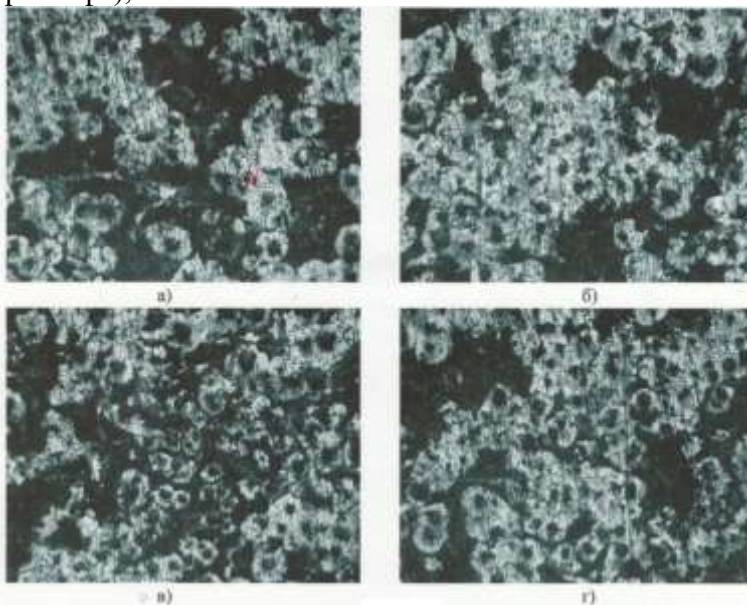


Зразок (02) 21132 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 1000$

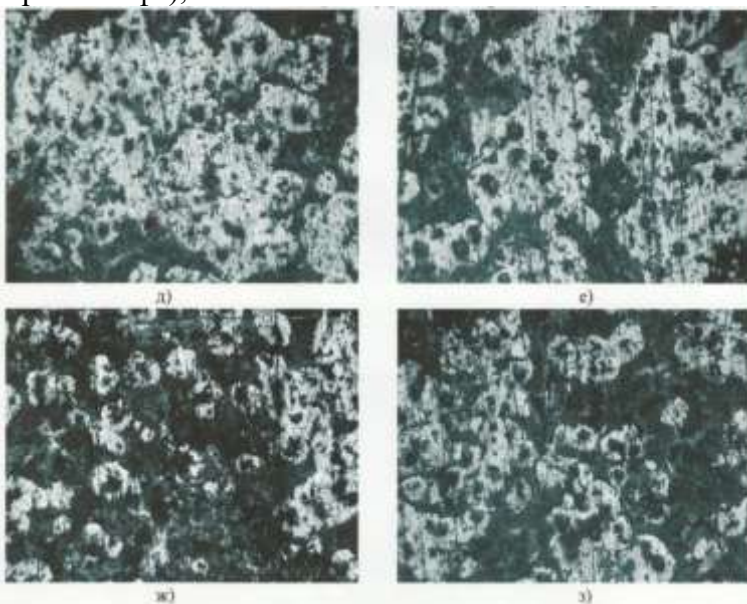


$H_c = 4,5 \text{ A/cm}$

Зразок (02) 111027 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

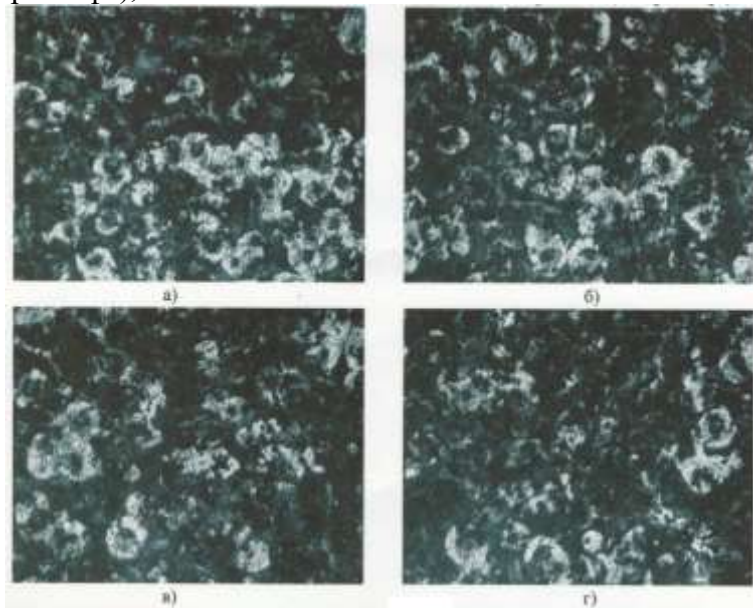


Зразок (01) 1021 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (біля краю шліфа),  $\times 100$

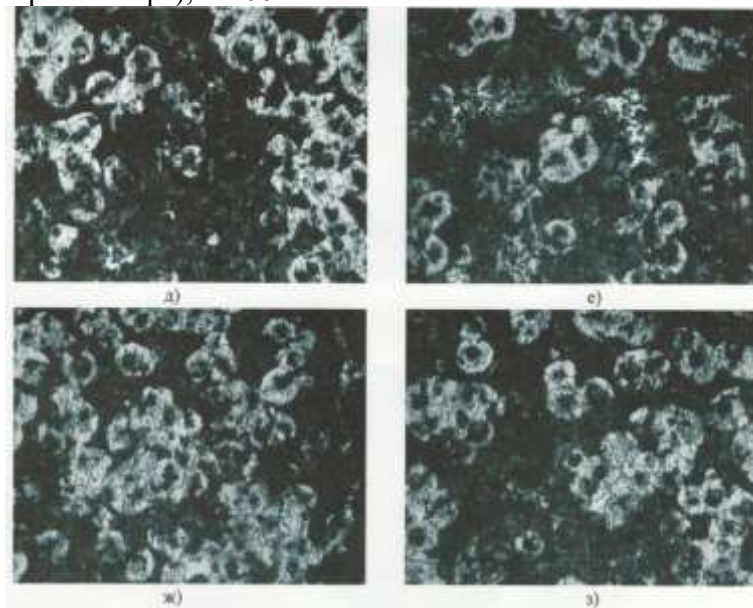


$H_c = 5,1 \text{ A/cm}$

Зразок (03) 111028 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

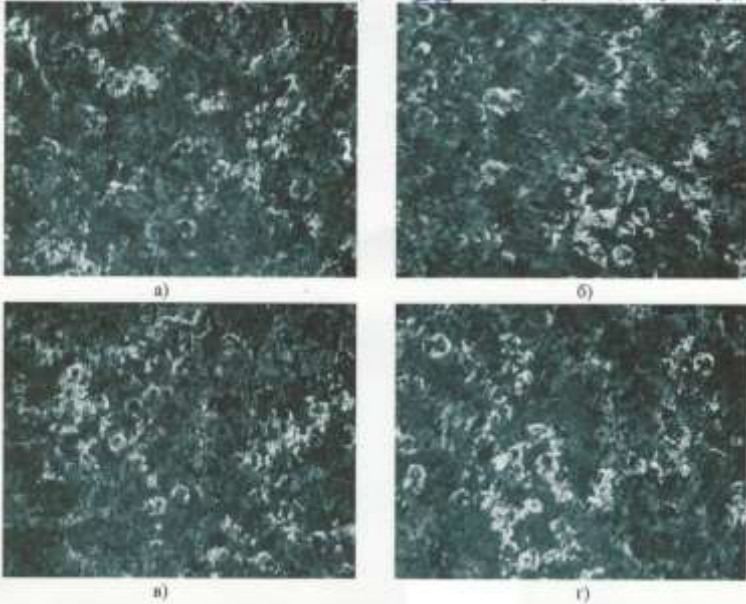


Зразок (03) 111028 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (біля краю шліфа),  $\times 100$

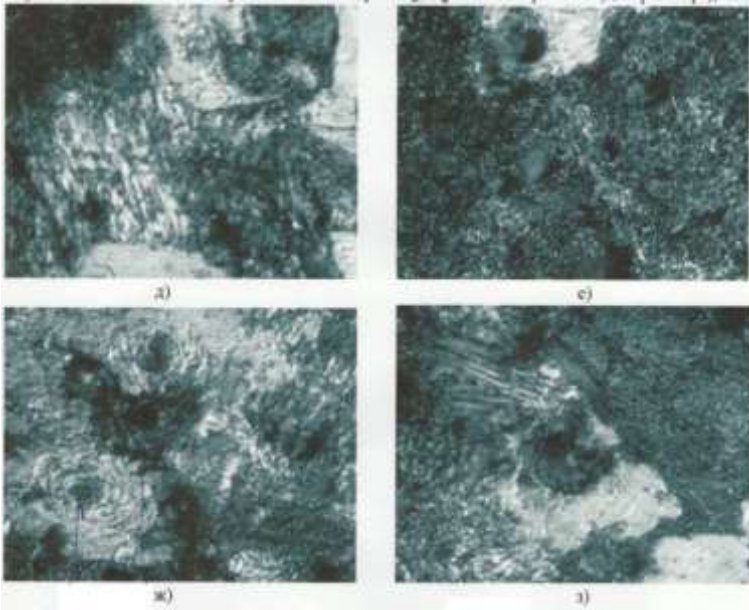


$H_c = 8,7 \text{ A/cm}$

Зразок (03а) 21153 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

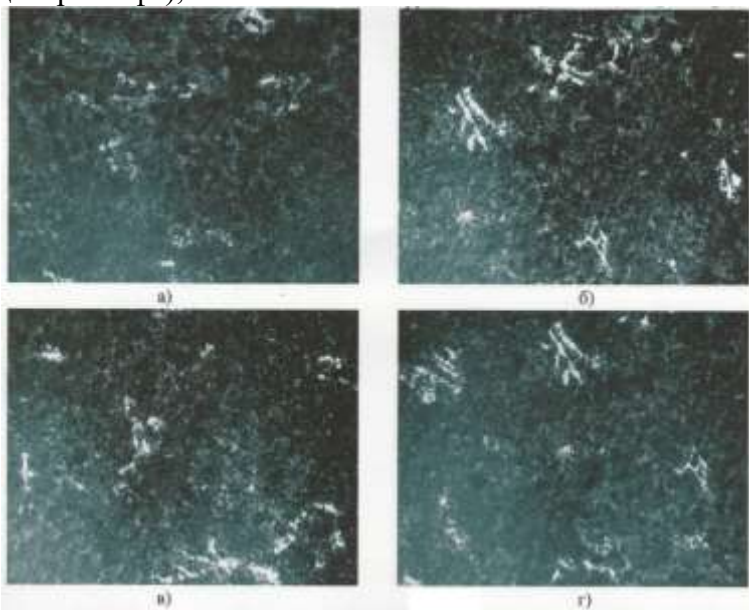


Зразок (03а) 21153 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 1000$

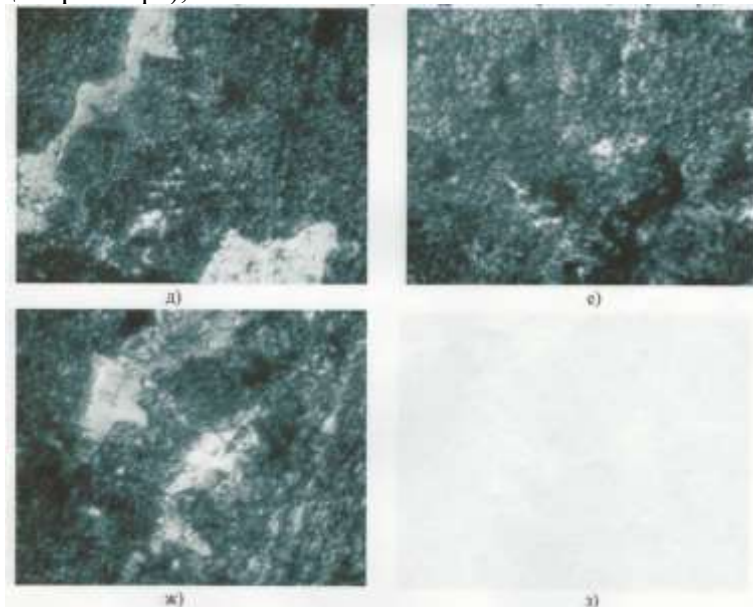


$H_c = 9,6 \text{ A/cm}$

Зразок (04) 21160 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

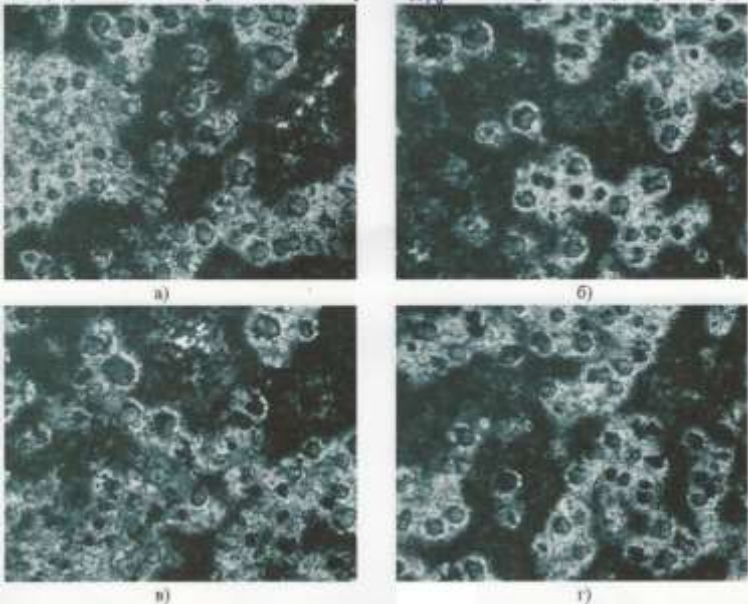


Зразок (04) 21160 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 1000$



$H_c = 9,6 \text{ A/cm}$

Зразок (04) 21160 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

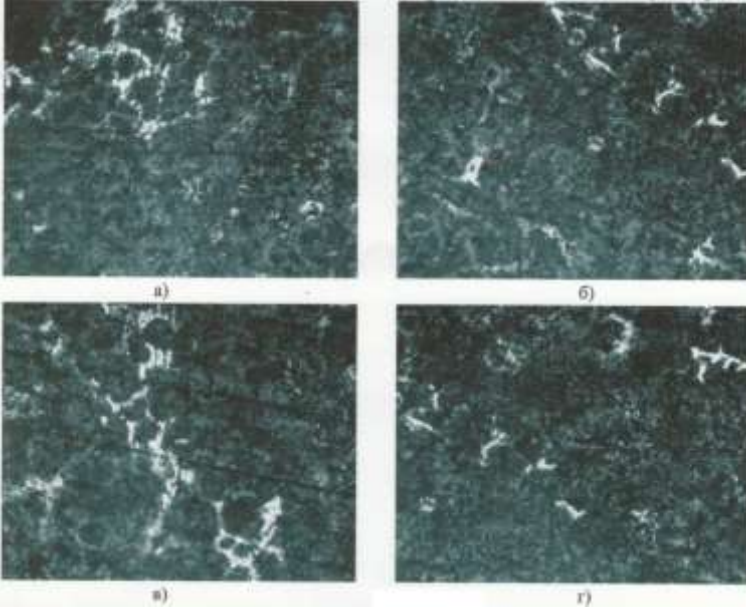


Зразок (04) 21160 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 1000$

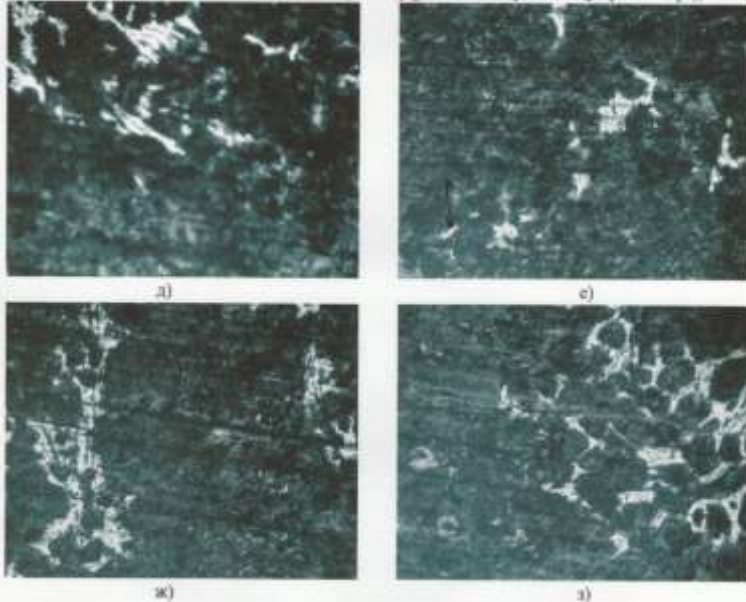


$H_c = 8,2 \text{ A/cm}$

Зразок (05) 121038 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$



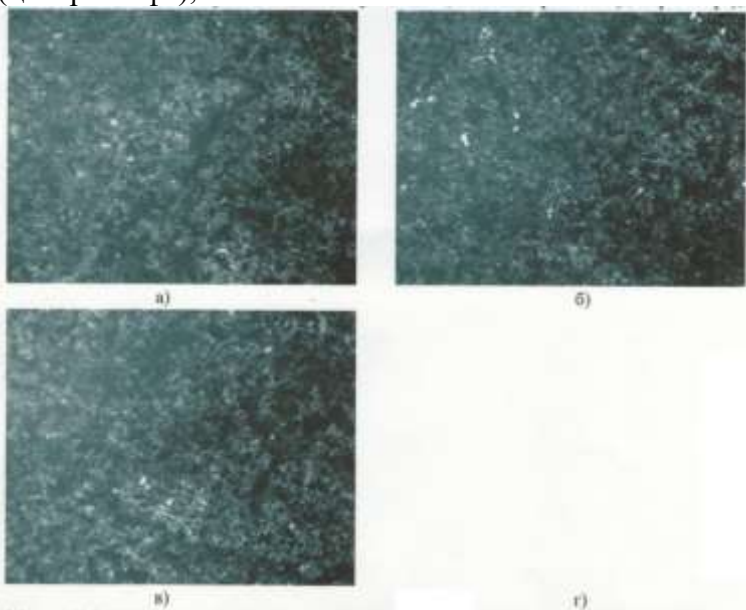
Зразок (05) 121038 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (біля краю шліфа),  $\times 100$



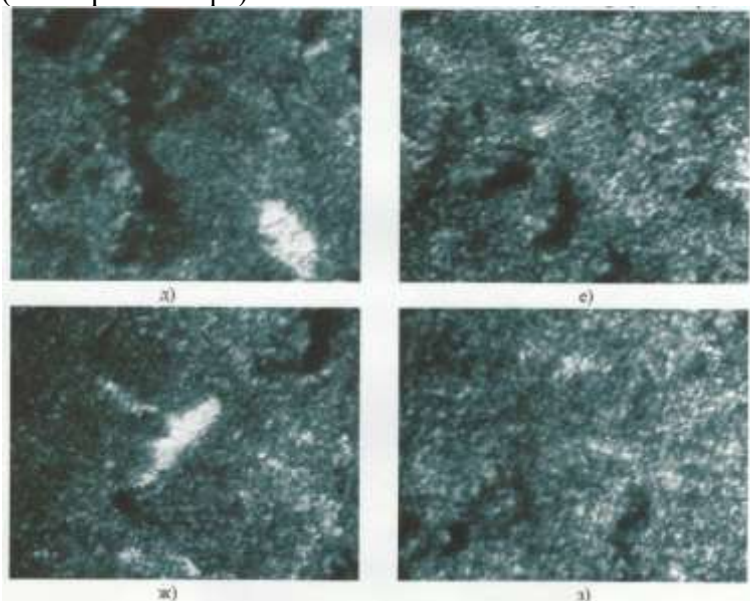


$H_c = 11,9 \text{ A/cm}$

Зразок (06) 111016 після нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

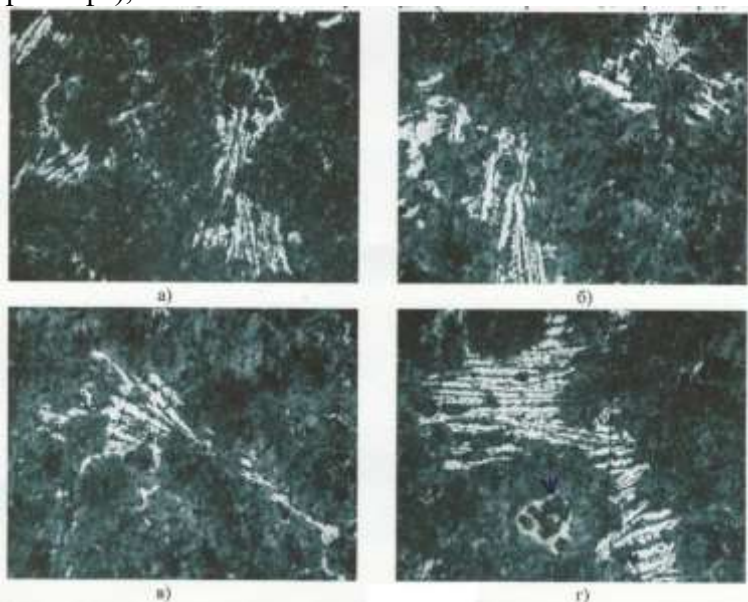


Зразок (06) 111016 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (біля краю шліфа)

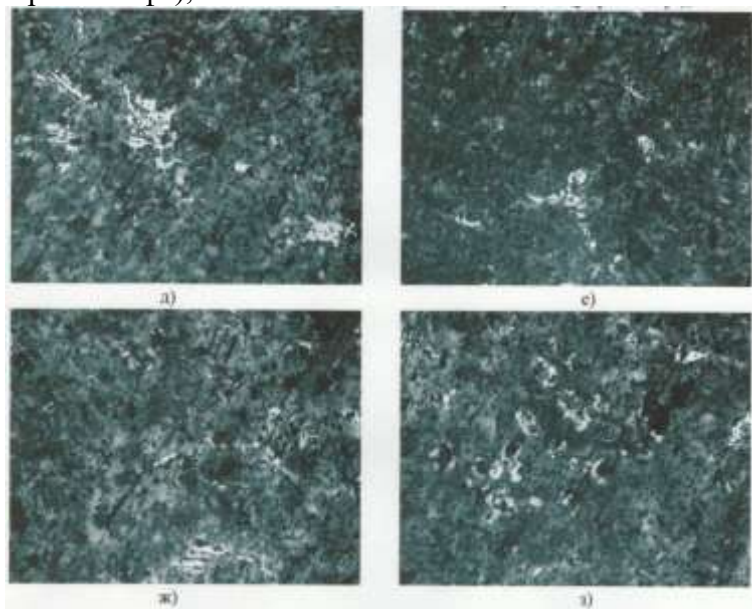


$H_c = 9,1 \text{ A/cm}$

Зразок (06) 12811 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

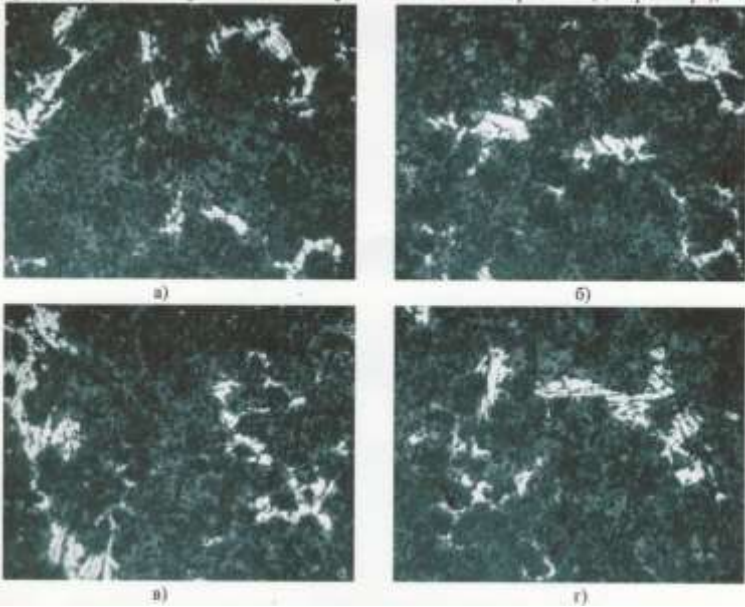


Зразок (06) 12811 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (біля краю шліфа),  $\times 100$

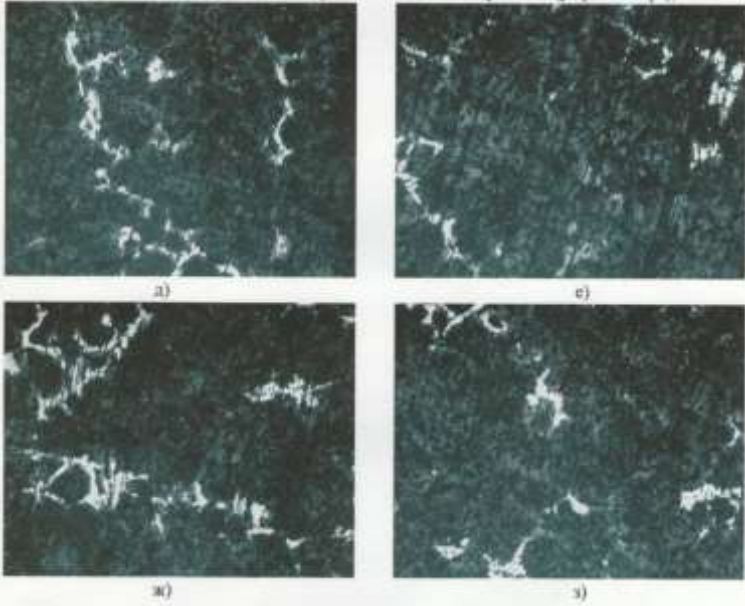


$H_c = 10,3 \text{ A/cm}$

Зразок (07) 11110 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні  
(центр шліфа),  $\times 100$

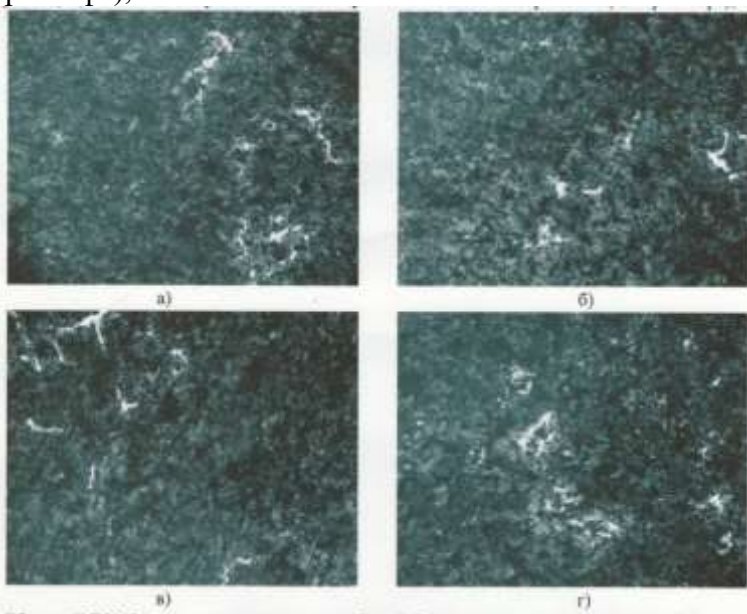


Зразок (07) 11110 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні  
(біля краю шліфа),  $\times 100$

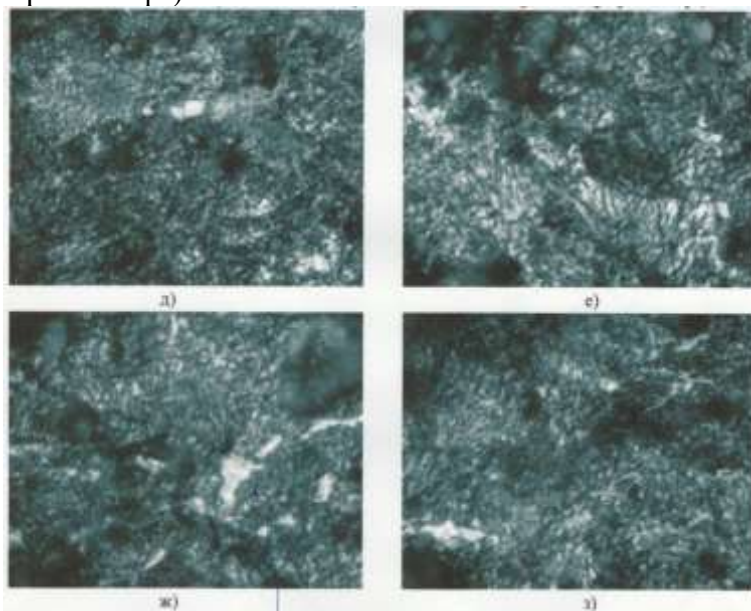


$H_c = 13,4 \text{ A/cm}$

Зразок (07) 1112 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні  
(центр шліфа),  $\times 100$

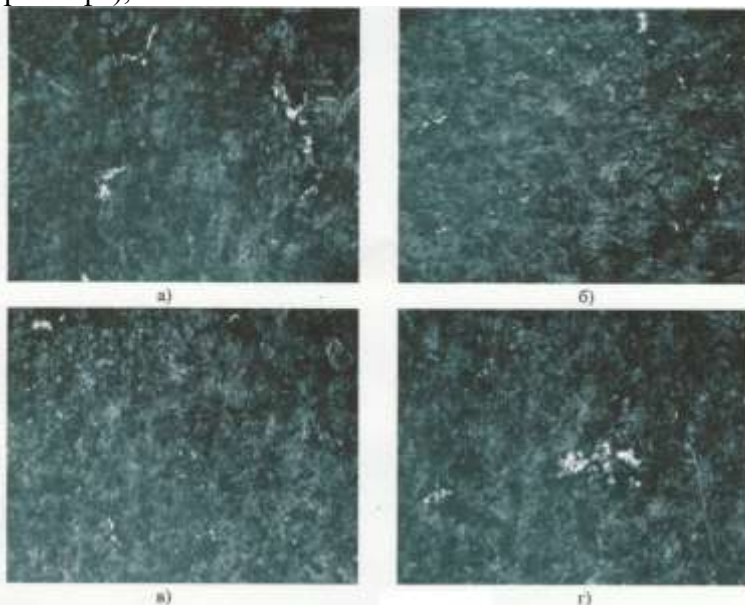


Зразок (07) 1112 після нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні  
(біля краю шліфа)

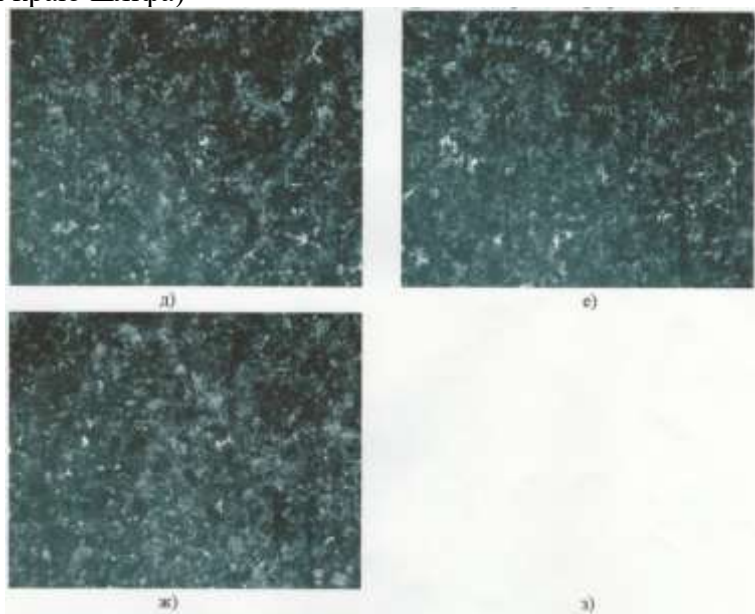


$H_c = 11,9 \text{ A/cm}$

Зразок (08) 111121 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

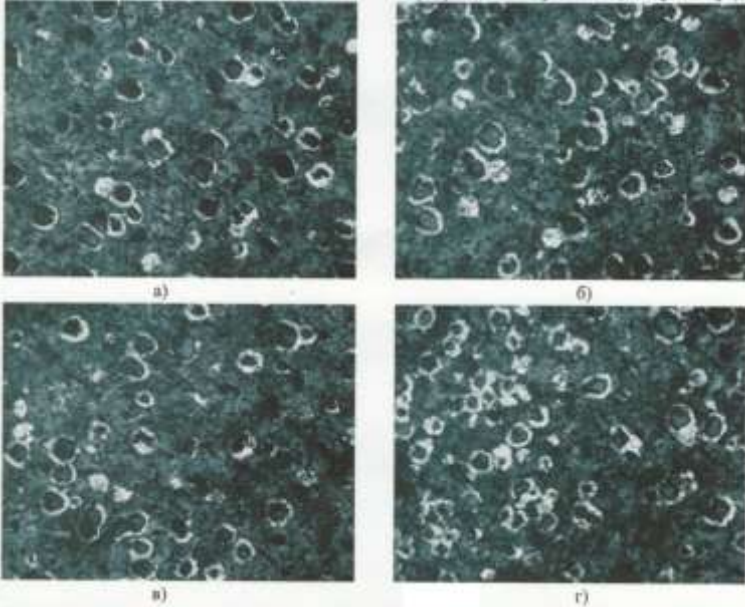


Зразок (08) 111121 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні (біля краю шліфа)

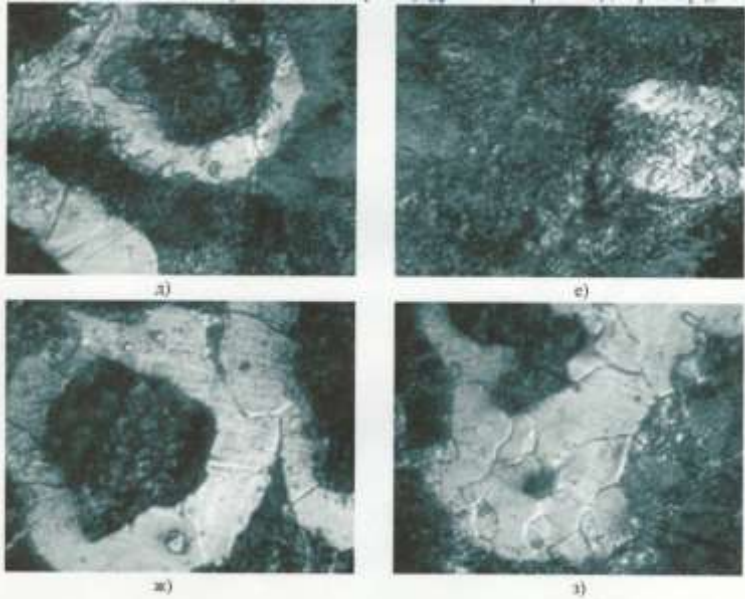


$H_c = 8,3 \text{ A/cm}$

Зразок (036) 21141 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 100$

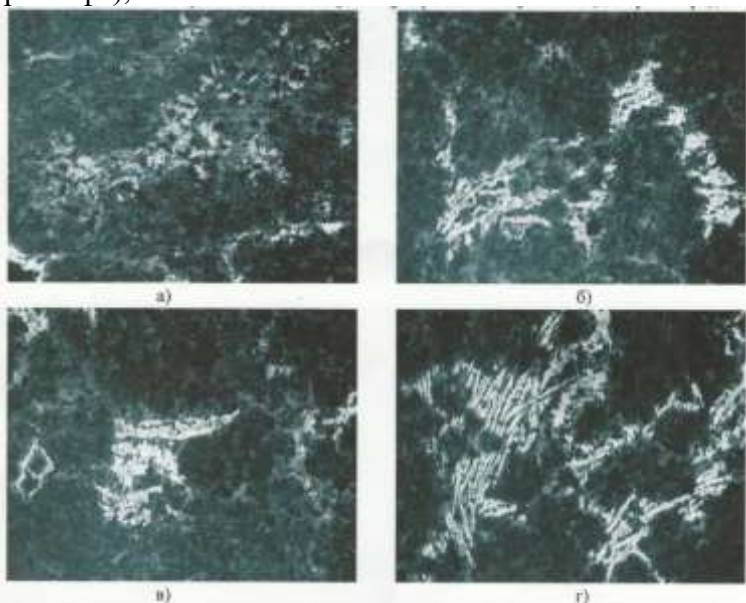


Зразок (036) 21141 після нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні (центр шліфа),  $\times 1000$

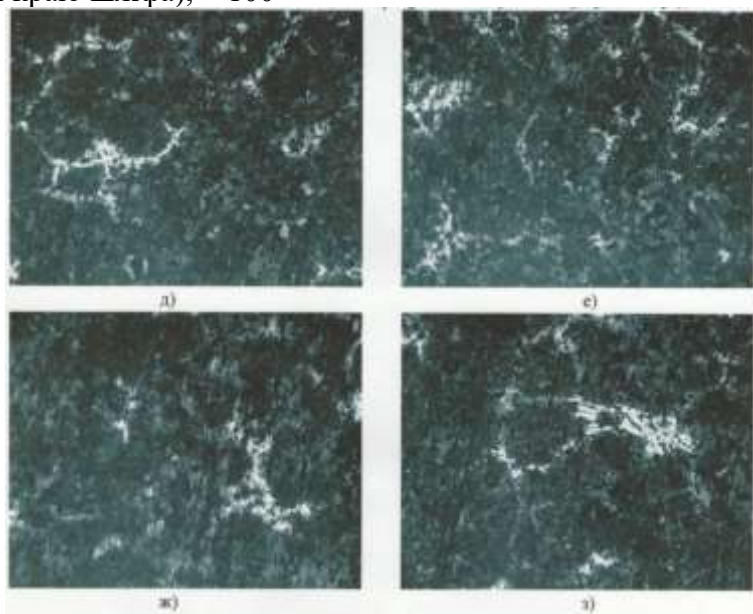


$H_c = 12,9 \text{ A/cm}$

Зразок (09) 1118 до нормалізації на глибині 4-5 мм від поверхні  
(центр шліфа),  $\times 100$



Зразок (09) 1118 до нормалізації на глибині 1-2 мм від поверхні  
(біля краю шліфа),  $\times 100$



# Додаток Б





СТАНДАРТ МІНАГРОПІЛІТКИ УКРАЇНИ



НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ МАГНІТНИМ МЕТОДОМ  
ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ТЕХНІЧНОМУ  
ОБСЛУГОВУВАННІ ТА РЕМОНТІ

СОУ 29.32.4-37-532:2007

*Видання офіційне*

19.02.07  
1658

Київ

МІНАГРОПІЛІТКИ УКРАЇНИ

2007

*Відомий особистий підпис*

## **ВСТУП**

Важливим чинником в забезпеченні стабільної якості використання деталей машин, у тому числі сільськогосподарських, є застосування 100% їх контролю. До числа таких методів, в першу чергу, слід віднести контроль за магнітними характеристиками металу деталей.

Використання даного методу дозволить проводити контроль якості деталей сільськогосподарських машин, які виготовлені методами лиття, кування, прокаткою, точінням, штамповкою, зварюванням та різними способами зміцнення (поверхнево-пластичним деформуванням, термічною та хіміко-термічною обробками, нанесенням покриттів).

Цей стандарт встановлює основні принципи оцінки якості деталей сільськогосподарських машин при їх виготовленні, вхідному-вихідному контролі, ремонті та прогнозуванні остаточного ресурсу металопродукції під час технічного обслуговування. Стандарт спрямований на забезпечення не менш ніж 80% ресурсу відновлених та відремонтованих деталей.

## ЗМІСТ

Вступ	0
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	2
4 Позначки та скорочення	3
5 Неруйнівний контроль якості деталей магнітним методом	4
5.1 Загальні положення	4
5.2 Засоби контролю, особливості його проведення та оцінюючі характеристики	7
5.3 Порядок проведення контролю	8
5.4 Аналіз причин відхилення результатів вимірювань	9
5.5 Опрацювання результатів	10
6 Вимоги безпеки	11
Додаток А Склад вимірювальних характеристик властивостей деталей	12
Додаток Б Схема груп причин відхилення результатів вимірювань	12
Додаток В Опис технології автоматизованої побудови математичних моделей з використанням EOM	13

### ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ)

РОЗРОБНИКИ: **А. Автухов**, канд.техн.наук; **Г. Безлюдько**, канд.фіз-мат.наук; **В. Власовець**, канд.техн.наук; **М. Марченко**; **М. Поздников**; **О. Сідашенко**, канд.техн.наук; **Т. Скобло**, докт.техн.наук (керівник розробки); **П. Сиромятніков**

2 ЗАТВЕРДЖЕНО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: Міністерство аграрної політики України від . "17" грудня 2007 р.

3 ЗАРЕЄСТРОВАНО: ДП "УкрНДНЦ" за № 32595752/1658 від "19" грудня 2007 р.

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

---

Право власності на цей документ належить Мінагрополітики України. Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати його повністю чи частково на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено. Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Мінагрополітики України

**5.1.8** Неруйнівний контроль якості, який використовується для оцінки “задовільно” або “незадовільно”, повинен забезпечувати необхідну межу виміральної магнітної характеристики, що гарантує встановлені норми з урахуванням наведеної в стандарті ймовірності.

## **5.2 Засоби контролю, особливості його проведення та оцінюючі характеристики**

**5.2.1** Для неруйнівного контролю якості, згідно цього стандарту, використовують прилади, які вимірюють одну чи декілька структурно-чутливих характеристик з основною похибкою не більш ніж 5% в робочому діапазоні вимірів.

**5.2.2** Основними характеристиками неруйнівного контролю якості магнітним методом є: коерцитивна сила, намагніченість насичення, залишкова магнітна індукція, магнітна проникність.

Рівень властивостей оцінюють і характером петлі магнітного гістерезису.

**5.2.3** В залежності від товщини об'єкту, що вимірюється, використовують різні за розміром полюси магнітів, які мають плоску або відповідну виміральному об'єкту форму.

**5.2.4** Метод дозволяє контролювати деталі з кривизною поверхні будь-якого порядку.

При проведенні вимірів контакт полюсів датчика (перетворювача) повинен однаково контактувати з деталлю. Оцінювати слід зони з однаковою товщиною деталі та способом зміцнення.

Порівняння результатів слід проводити по однаковій кривизні поверхні, а також при вимірюванні однотипними перетворювачами (розмірами полюсів магнітів та відстані між ними).

**5.2.5** Якість поверхонь деталей (шорсткість, після механічної обробки, наявність пригару та окислів після термічної обробки з товщиною шару  $\leq 3$  мм) не впливають на показники (характеристик) магнітних властивостей, що оцінюються. Шуми та вібрації також не впливають на результати вимірів.

СОУ 29.32.4-37-532:2007

коливання властивостей від їх середнього рівня  $\leq 10\%$  (довірча ймовірність не нижче 0,9 для сплавів та 0,95 для сталей).

**5.1.4** Кореляційну залежність між магнітними характеристиками та показниками властивостей слід встановлювати на основі інформаційного масиву залежно від типу деталей (форми поверхні, що аналізується), їх матеріалу (хімічного складу), способу зміцнення, виробника, методу ремонту або відновлення.

**5.1.5** Для оцінки однорідності та пошуку залежностей між вимірювальними характеристиками властивостей (відповідно ТУ, ДСТУ, СОУ), структури матеріалу деталі та магнітними характеристиками слід занести вихідні значення показників (Склад найбільш поширених характеристик наведено в таблиці А.1 додатку А).

Оцінювання необхідно проводити на одних і тих же місцях деталі в різних зонах. Відстань між вимірюваннями магнітних характеристик, структури та властивостей визначається розміром не менш 0,5 зони, що аналізується накладним перетворювачем.

Для встановлення бракувальних норм необхідно мати масив даних не менше 50 значень, одержаних не менше ніж на 10 деталях.

При оцінюванні показників магнітних властивостей на поверхні зміцнених шарів деталей слід враховувати первинну структуру матеріалу, яка впливає на результати контролю.

**5.1.6** Для оцінки механічних властивостей деталей можливо використовувати зразки. В цьому випадку слід забезпечити елементи подібності, які наближаються до реальних умов експлуатації, технологій ремонту та відновлення деталей.

**5.1.7** Рівень показників магнітних характеристик (бракувальна норма) може бути визначений на підставі кореляційних залежностей з показниками властивостей, що оцінюються. Вони повинні забезпечити вимоги нормативної документації (ТУ, ДСТУ, СОУ, договір між ремонтним підприємством та споживачем).

- первинного оцінювання параметрів статистичних вимірювальних характеристик та наступних контрольних процесів при відновленні деталей;
- встановлення зв'язку між магнітними та механічними властивостями металу (твердість, міцність, пластичність та інші);
- оцінювання зв'язку магнітних характеристик зі структурою (фазовим складом; розміром зерен, дендритів у відливках; евтектичних зерен, неметалевих включень, формою виділення графіту, його вмісту; коефіцієнтом анізотропії структури та властивостей);
- виявлення зон з відхиленнями по структурі робочого шару деталей за рахунок ліквідації хімічних компонентів та нерівномірної кристалізації фаз, порожнин, пор;
- встановлення зв'язку з глибиною відпаленого, зміцненого, знеуглецьованого та зношеного шару;
- оцінки якості зварних з'єднань різних типів і конструктивного виконання;
- визначення зон та рівня напружень, які можуть бути джерелами розвитку пошкоджень, що виникли при порушенні умов експлуатації, після неякісно виконаного ремонту і відновлення деталей;
- експрес-сортування деталей по їх структурі і якісним показникам при комплектуванні вузлів, які ремонтуються.

Неруйнівний контроль за магнітними характеристиками використовується одночасно з іншими стандартними методами, що оцінюють властивості і структуру металу.

Стандарт може застосовуватися в інших галузях народного господарства за узгодженням виробника та споживача.

**5.1.2** Неруйнівний контроль якості за магнітними характеристиками слід використовувати у випадках, коли має місце стабільний парний або множинний ймовірний зв'язок між показниками якості, які контролюються, та магнітними характеристиками деталей, виготовлених зі сталей та сплавів.

**5.1.3** Значення показників якості, оцінені магнітним методом для деталей, що підлягають використанню, а також ремонту та відновленню, повинні мати

4.6  $r_{y_i}, r_{x_i}$  - коефіцієнт кореляції для оцінювання лінійного зв'язку між показниками

4.7  $r_{xy}$  - коефіцієнт множини кореляції між цільовим та сукупністю показників (характеристика визначається при необхідності багатофакторного контролю)

4.8  $S_{\text{ост}}$  - залишкове стандартне середньоквадратичне відхилення похибок регресії

4.9  $S_y$  - середньоквадратичне відхилення показника

4.10  $t_{\text{кр}}$  - критерій Стюдента для перевірки гіпотези про рівність середніх значень

4.11  $t_r$  - критерій Стюдента для перевірки значності коефіцієнту кореляції

4.12  $X$  - вибірка матриці спостережень

4.13  $\bar{x}$  - середнє значення

4.14  $(X_1, X_2, \dots, X_k)$  - показники,  $k$  - кількість показників у вибірці

## 5 НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАГНІТНИМ МЕТОДОМ

### 5.1 Загальні положення

5.1.1 Неруйнівний контроль за магнітними характеристиками доцільно використовувати для:

- вхідного контролю металопрокату та матеріалів, що використовуються при виготовленні та відновленні деталей сільськогосподарських машин;

- контролю стабільності технології виробництва та вихідного контролю деталей;

- простого та ефективного вхідного контролю якості деталей на підприємствах, в тому числі з ремонту сільськогосподарської техніки, їх відповідності вимогам ТУ, СОУ, ДСТУ, вилученню псевдофірмових деталей;

- прогнозування залишкового ресурсу металу деталей при технічному обслуговуванні та ремонті сільськогосподарської техніки;



**3.1 вимірювальний процес**

Процес, який дозволяє одержати значення параметрів вимірювання з урахуванням використаного приладу та іншого обладнання, дій оператора, а також методик з урахуванням оточуючого середовища

**3.2 деталь**

Комплектуючий виріб або матеріал, що використовується при виготовленні, ремонті або відновленні сільськогосподарської техніки

**3.3 оператор**

Особа, яка виконує вимірювання та відповідає за якість процесу

**3.4 причина змінності**

Джерело змінності, яке завжди впливає на індивідуальні значення результатів процесу вимірювання

**3.5 спеціаліст**

Особа яка відповідає за проведення та обробку статистичних характеристик вимірювального процесу, має достатню кваліфікацію і досвід для планування та виконання досліджень

**3.6 структурно-чутливі характеристики**

Магнітні параметри чутливі до зміни будови матеріалу, що визначається абсолютними та відносними розмірами, формою і характером поверхні елементів структури та їх просторовим взаємовідношенням

Інші терміни та визначення використовуються згідно з ДСТУ 2681, ДСТУ 2865 та ДСТУ 2925.

**4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ**

Список познач та скорочень, використаних у стандарті:

- 4.1**  $C_u$  - приймальне число показника якості, нормоване зверху
- 4.2**  $C_l$  - приймальне число показника якості, нормоване знизу
- 4.3**  $F$ , - критерій Фішера перевірки гіпотези про рівність дисперсій
- 4.4**  $I_{1\alpha}$ ,  $I_{2\alpha}$  - довірчий інтервал середнього значення
- 4.5**  $N_i$  - обсяг вибірки,  $N$  – число спостережень над кожним показником

СОУ 29.32.4-37-532:2007

ДСТУ ISO 9000 Системи управління якістю. Основні положення та словник

ГОСТ 12.1.007 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки)

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования (Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги)

ГОСТ 12.1.030 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення)

ГОСТ 12.2.007.0 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. (ССБП. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки)

ГОСТ 12.3.002 Процессы производственные (Процеси виробничі)

ГОСТ 27.202 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции (Надійність в техніці. Технологічні системи. Методи оцінки надійності по параметрах якості продукції, що виготовляється)

ГОСТ 24297 Входной контроль продукции. Основные положения (Вхідний контроль продукції. Основні положення)

ГОСТ 24450 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения (Контроль неруйнівний магнітний. Терміни і визначення)

ГОСТ 30415 Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом (Сталь. Неруйнівний контроль механічних властивостей і микроструктури металопродукції магнітним методом)

### **3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ**

В цьому стандарті використовуються терміни згідно з вимогами ДСТУ 2865, ДСТУ 2925, ДСТУ ISO 9000 і ГОСТ 24450, а також наведені нижче терміни, що вживаються в такому значенні:

---

**СТАНДАРТ МІНАГРОПОЛІТИКИ УКРАЇНИ**


---

**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ МАГНІТНИМ МЕТОДОМ  
ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ТЕХНІЧНОМУ  
ОБСЛУГОВУВАННІ ТА РЕМОНТІ**
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ  
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ  
ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ**


---

Чинний від 2008-03-01**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт поширюється на деталі, металопрокат сільськогосподарського машинобудування та запасні частини до виробленої продукції, що перебуває в експлуатації. Стандарт встановлює загальні правила та рекомендації з контролю якості та ресурсу за магнітними характеристиками металу деталей, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, в тому числі чавунів.

Стандарт застосовують при розробці нормативних документів, методик оцінки властивостей та документів, які діють на підприємствах в межах системи управління якістю.

Цей стандарт можуть застосовувати підприємства Мінагрополітики, що виготовляють, ремонтують, відновлюють та експлуатують техніку сільськогосподарського призначення.

**2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ 2681 Державна система забезпечення єдності вимірювань.

Метрологія. Терміни та визначення

ДСТУ 2865 Контроль неруйнівний. Терміни та визначення

ДСТУ 2925 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення.

---

Видання офіційне

**5.2.6** Температура поверхні, яка підлягає вимірюванням не повинна перевищувати 50°C. Для вимірювань коерцитивної сили допустимим є несистематичний короткочасний нагрів металу (в межах вимірювального процесу) до температури 250 С.

**5.2.7** Вибір зразків та деталей для проведення контролю слід здійснювати згідно з чинними стандартами (ГОСТ 30415, ГОСТ 24297 та на методи оцінки механічних властивостей та структури матеріалів).

**5.2.8** Оцінку показників магнітним методом слід проводити по середньому значенню на основі не менш як трьох вимірювань, або згідно з нормативними документами.

**5.2.9** У період вимірів магнітних характеристик не повинні діяти інші ферромагнітні чи електромагнітні джерела, які знаходяться поблизу. Це не відповідає вимогам та умовам експлуатації приладів і проведенню вимірів, тому що призводить до похибок результатів контролю.

### 5.3 Порядок проведення контролю

**5.3.1** Обов'язковому визначенню підлягають статистичні характеристики по кожному інформаційному масиву згідно п. 4.1-4.14.

**5.3.2** Значення приймальних чисел

$C_n = X_n + t \cdot S_{\text{max}}$  - для характеристик, нормованих знизу;

$C_n = X_n' - t \cdot S_{\text{max}}$  - для характеристик, нормованих зверху,

де  $X_n$  - норма  $i$ -го показника якості, встановлена відповідним стандартом для характеристик, нормованих знизу;

$X_n'$  - норма  $i$ -го показника якості, встановлена відповідним стандартом для характеристик, нормованих зверху;

$S_{\text{max}}$  - залишкове середньоквадратичне відхилення  $i$ -го показника якості, що визначається за формулами:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(X_i' - X_i)^2}{(N-1)}} \quad \text{або} \quad S_{\text{max}} = S_i \cdot \sqrt{1-R^2}, \quad (1)$$

Вказаний критерій використовується для малих вибірок обсягом  $\leq 50$ .

При необхідності слід перерахувати статистичні характеристики.

### **В.3 Дослідження характеристик розподілу і приведення їх до нормального**

Цільовий показник (показник якості) сформованої групи факторів необхідно піддавати дослідженню на нормальність розподілу.

Перевірку нормальності розподілу показників слід здійснювати за такими критеріями:  $\chi^2$  - Пірсона для обсягу вибірки, що перевищує 200; Колмогорова - Смірнова, для обсягу вибірки, що перевищує 100; Смірнова для обсягу вибірки перевищує 50 та Шапіро-Уїлка при обмеженому (до 50) обсязі вибірки.

Використання критерію  $\chi^2$  передбачає розбиття розмаху варіювання вибірки на інтервали та визначення числа спостережень (частоти)  $n_i$  для кожного з  $e$  інтервалів. Для зручності оцінювання параметрів розподілу інтервали вибирають однакової довжини.

Кількість інтервалів залежить від обсягу вибірки: при  $n=200$   $e=15-20$ , при  $n=400$   $e=25-30$ , при  $n=1000$   $e=35-40$ . Інтервали, до складу яких входить менше п'яти спостережень, об'єднують з сусідніми. Однак, якщо число таких інтервалів складає менше 20% від їх загальної кількості, можливо використовувати інтервали з частотою  $n_i \geq 2$ .

Статистикою критерію Пірсона є величина

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^e \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (\text{В.3.1})$$

де  $p_i$  – вірогідність попадання результату спостережень в  $f$ -й інтервал, що розраховується відповідно з гіпотетичним законом розподілу.

Нульову гіпотезу про відповідність вибіркового розподілу нормальному закону слід перевіряти шляхом порівняння розрахованого за формулою В.3.1 значення з критичним  $\chi^2_{\alpha}$ , у відповідності з рівнянням значущості  $\alpha$  та числа ступеню вільності. Якщо виконується нерівність

**В.2 Організація робочого масиву. Аналіз результатів вимірів**

З множини параметрів, що складають похідну інформацію, умовно формують групу факторів (робочий масив), що вміщують всі робочі змінні показники та оцінювані властивості.

Значення показників якості, що не несуть інформації у контексті вирішуваного завдання, а також відповідні їм значення незалежних змінних з вибірки слід виключити. В такому разі статистичні характеристики перераховують.

Виключення значень, що різко відрізняються, здійснюється зважаючи на кількісний та якісний аналіз вибірки.

При більшій кількості спостережень використовується правило "трьох сігм", згідно з яким спостереження  $X$  виключається в тому випадку, якщо його відхилення від  $X$  перевищує  $3S$ , де  $S$  – середньоквадратичне значення показника якості.

Для більш точної оцінки результатів спостережень, що різко відрізняються, їх розташовують у вигляді варіаційного ряду:

$$X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n \quad (\text{B.2.1})$$

де  $n$  – число спостережень у кожному показнику.

Щоб оцінити належність  $X_n$  та  $X_1$  до даної сукупності і ухвалити рішення про виключення або залишення  $X_n$  ( $X_1$ ) у складі вибірки, необхідно знаходити відношення:

$$U_n = \frac{X_n - X}{S} \quad \text{та} \quad U_1 = \frac{X - X_1}{S} \quad (\text{B.2.2})$$

Нульовою гіпотезою при використанні критерію є припущення, що значення  $X_n$  та  $X_1$  належать до тої ж генеральної сукупності, що й інші  $n-1$  спостережень.

Результати порівнюються з табличним значенням  $\beta$  критерію Смірнова обчислення критичних значень при вірогідності  $P$ , які слід знаходити з співвідношення для даного обсягу вибірки  $n$  і рівня значності  $\alpha = 0,05$ .

$$\alpha = P(U_n \geq \beta) \quad \text{та} \quad \alpha = P(U_1 \geq \beta) \quad (\text{B.2.3})$$

Якщо  $U_n$  ( $U_1$ )  $\geq \beta$ , то результат спостережень, що різко відрізняється, виключається з вибірки, в іншому випадку він залишається.

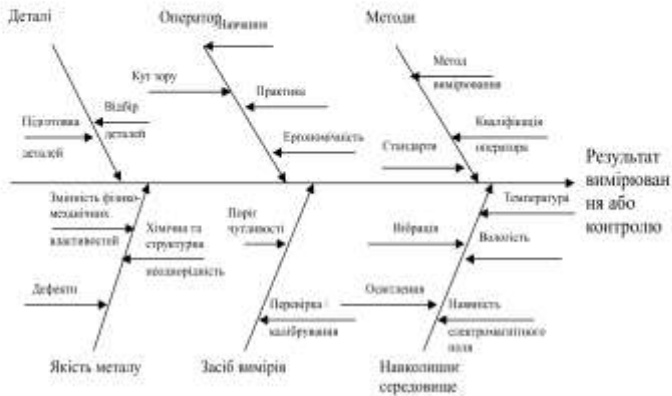


Рисунок Б.1 – Групи причин відхилення результатів вимірювання

## Додаток В

(довідковий)

ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ  
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ

## В.1 Підготовка на носіях та контроль вхідних даних

При підготовці первинної інформації на машинних носіях здійснюється технічний контроль, що полягає у перевірці кожного числа на невірний символ.

Похибки підготовки даних визначаються за допомогою роздрукування інформації та аналізу розрахункових таблиць, оцінюваних статистичних характеристик, магнітних властивостей та інших параметрів.

Після корегування даних слід перерахувати статистичні характеристики та приступити до формування робочого масиву та його аналізу за допомогою вибіркових методів математичної статистики.

**Додаток А**

(довідковий)

**СКЛАД ВИМІРЮВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАСТИВОСТЕЙ****ДЕТАЛЕЙ****Таблиця А.1 - Склад вимірювальних характеристик властивостей деталей**

Умовний номер праця	Властивості										Структурні складові							Глибина впливеного шару	Результат	
	НВ	HS	HRC	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$\sigma_5$	$K_u$	$\psi$	$\delta_1$	Ф	П	Ц	Г	М	Т			Б

Примітки: НВ – твердість за Брінеллем; HS – твердість за Шором; HRC – твердість за Роквеллом;  $\sigma_1$  – тимчасовий опір;  $\sigma_2$  – межа текучості;  $\sigma_3$  – відносна напруження згину;  $\sigma_4$  – відносна напруження стискування;  $\sigma_5$  – границя витривалості при симетричному повторю-змінному згині при обертанні;  $K_u$  – ударна в'язкість;  $\psi$  – відносне зсування після розриву;  $\delta_1$  – відносне подовження; Ф – ферит, %; П – перліт, %; Ц – цементит, %; Г – графіт, %; М – мартенсит, %; Т – троостит, %; Б – бейніт, %; А – аустеніт, %; Н – коерзітивна сила.

**Додаток Б**

(Довідковий)

**СХЕМА ГРУП ПРИЧИН ВІДХИЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ**

Аналіз причин відхилення результатів вимірювань здійснюється у випадку, якщо яка-небудь із статистичних характеристик контрольного процесу за результатами вимірювань признається неприйнятною. Основні чинники можливих відхилень показників наведені в підрозділі 5.4.

Схематично групи чинників відхилень процесу, що контролюється, а також додаткові, представлені на рисунку Б.1:

- невідповідності деталей вимірюванням;
- невідповідності засобів вимірювань;
- невірна методика обслуговування і ремонту засобів вимірювань.
- нестабільність характеристик, пов'язаних з конструкцією засобів вимірювань.
- необхідність обслуговування / ремонту або модернізації засобу вимірювань;
- слаба фіксація засобу накладного перетворювача;



матеріалу, макро- та мікроструктуру, типорозмір та товщину деталі, значення магнітної характеристики та показників якості у точках, що контролюються, а також висновки за результатами контролю.

## **6 Вимоги безпеки**

**6.1** Загальні вимоги безпеки до проведення контролю слід виконувати згідно з ГОСТ 12.3.002.

**6.2** Перед проведенням вимірів оператор повинен пройти інструктаж з техніки безпеки та зареєструвати це в журналі.

**6.3** При проведенні вимірів оператор повинен дотримуватись загальних правил праці на устаткуванні і загальних норм безпеки, які встановлені на підприємстві (спедодяг, праця на висоті та інше).

**6.4** Вимоги щодо електробезпеки слід виконувати згідно з ГОСТ 12.2.007.0 та ГОСТ 12.1.019.

**6.5** Захисне заземлення повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.030.

- залишковою намагніченістю металу, що контролюється;
- невірно обраним зразком для вимірювань;
- відхиленням хімічного складу деталі;
- підвищеною змінністю (може бути пов'язана з металургійною

неоднорідністю властивостей матеріалу та дефектами самої деталі, або сукупності деталей, що аналізуються, умовами експлуатації або відхиленнями в технології їх відновлення, зміщення і термічної обробки) вимірювальних параметрів.

### **5.5 Опрацювання результатів**

**5.5.1** Для забезпечення єдиної методики та отримання даних неруйнівним магнітним контролем, що можна порівняти, рекомендується дотримуватися формалізованої процедури прийняття рішень при побудові математичних моделей показників оцінюючих властивостей. Опис послідовності будування математичних моделей наведено в додатку В.

**5.5.2** Оцінювання відповідності результатів визначення якості неруйнівним та іншими методами проводиться за допомогою контрольних карт, і використанням аналітичних та графічних методів.

**5.5.3** Кількість відхилень, що виходять за контрольну межу, не повинні перевищувати 5% за період контролю однотипних деталей зі сталей і 10% з чавунів. При незадовільних результатах випробувань контроль проводиться, як правило руйнівним (арбітражним) методом у відповідності з вимогами державних стандартів та технічних умов на деталь.

**5.5.4** Оцінка показників якості є задовільною, якщо зміщення центру розподілу відносно центральної лінії не перевищує  $\pm 0,5S_{\text{сер}}$ . При більшому зміщенні центру розподілу відхилень здійснюється корегування рівнянь регресії; висновок про необхідність зазначеного корегування виноситься на підставі обробки вибірки об'ємом не менш 50 деталей (на деталях великої довжини не менше 50 вимірів).

**5.5.5** В протокол випробувань заноситься номер нормативного документу, що визначає технічні умови на деталь, умови та режими експлуатації, марку

де  $X_i$ ,  $X_i'$  - показники якості, що визначаються при неруйнівних та руйнівних випробуваннях;

$N$  – об'єм вибірки;

$S_i$  - середньоквадратичне відхилення  $i$ -го показника якості;

$R$  – коефіцієнт кореляції;

$t$  – значення критерію Стьюдента для прийнятої надійної ймовірності.

Якщо значення результатів неруйнівного контролю виходять за межі, що встановлені прийнятними значеннями показника, деталі потрібно перевірити іншими методами.

**5.3.3 Рівень показника якості  $X_i$  деталей відповідає вимогам нормативних документів, якщо за кожною характеристикою виконуються наступні вимоги:**

$X_i \geq C_{\alpha}$  - для характеристик, нормованих знизу;

$X_i \leq C_{\alpha}$  - для характеристик, нормованих зверху;

$C_{\alpha} \leq X_i \leq C_{\beta}$  - для характеристик, нормованих зверху та знизу.

Деталі, що відповідають вищезгаданім вимогам, слід заносити у протоколи випробувань та наводити розрахункові показники якості.

#### **5.4 Аналіз причин відхилення результатів вимірювань**

**5.4.1** Оцінка відхилення результатів вимірів проводиться, коли яка-небудь вимірювальна характеристика виходить за межі від приймальних значень. При цьому слід виявити причину відхилення, яка може бути пов'язана з наступними чинниками (схема груп причин відхилення наведена у додатку Б):

- невірною початковою настройкою приладу, наприклад, не проведено його калібрування;
- похибкою оператора (індивідуальні особливості);
- методом вимірювання, який недостатньо ефективний для кількісного або якісного контролю;
- невідповідністю середовища проведення вимірів (аномально висока, низька температура деталі або приміщення);
- невірно обраною методикою досліджень;

$$\chi^2 \leq \chi_{\alpha}^2, \quad (\text{B.3.2})$$

то нульову гіпотезу не відкидають. При невідповідності до вищезгаданої умови приймають альтернативну гіпотезу про належність вибірки невідомому розподілу.

Критерій Колмогорова-Смірнова базується на розподілі максимального відхилення накопиченої частоти від значення функції розподілу. При його використанні розраховують такі статистики:

$$D_1^* = \max_{1 \leq k \leq n} \left[ \frac{k}{n} - \Phi(z_k) \right]; \quad (\text{B.3.3})$$

$$D_2^* = \max_{1 \leq k \leq n} \left[ \Phi(z_k) - \frac{k-1}{n} \right]; \quad (\text{B.3.4})$$

$$D_n^* = \max[D_1^*; D_2^*], \quad (\text{B.3.5})$$

де  $\Phi(z_k)$  - значення функції Лапласа для  $z_k = (x_k - \bar{x})/S$ . Критерій Колмогорова-Смірнова:

$$D_n^* (\sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}) \leq \lambda_{\alpha}, \quad (\text{B.3.6})$$

Критичні значення  $\lambda_{\alpha}$  відповідно  $\lambda_{0.05} = 0.82$ ;  $\lambda_{0.01} = 0.89$ ;  $\lambda_{0.001} = 1.04$ . Якщо виконується нерівність В.3.6, то нульову гіпотезу не відкидають.

При використанні критерію Смірнова використовують статистику, що є зваженою сумою квадратів різниці між емпіричною і теоретичною функцією розподілу:

$$\omega^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n [W(X_i) - \Phi(z_i)]^2 \quad (\text{B.3.7})$$

Нульову гіпотезу про відповідність вибірки функції розподілу не відкидають, якщо виконується нерівність:

$$\omega^2 \left(1 + \frac{1}{2n}\right) \leq W_{\alpha}^2, \quad (\text{B.3.8})$$

де  $W_{\alpha}^2$  - критичні значення критерію Смірнова ( $W_{0.01}^2 = 0.104$ ;  $W_{0.05}^2 = 0.126$ ;  $W_{0.001}^2 = 0.178$ ).

СОУ 29,32.4-37-532:2007

13. ГОСТ 3443 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры (Відливки з чавуну з різною формою графіту. Методи визначення структури)

14. ГОСТ 27208 Отливки из чугуна. Методы механических испытаний (Відливки з чавуну. Методи механічних випробувань)

15. ГОСТ 1778 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений (Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень)

16. ГОСТ 7564 Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических испытаний (Прокат. Загальні правила відбору проб, заготовок і зразків для механічних випробувань)

17. ГОСТ 13585 Сталь. Метод валиковой пробы для определения допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки (Сталь. Метод валикової проби для визначення допустимих режимів дугового зварювання і наплавлення)

18. ГОСТ 19905 Упрочнение металлических изделий поверхностной химико-термической обработкой. Состав общих требований (Зміцнення металевих виробів поверхневою хіміко-термічною обробкою. Склад загальних вимог)

19. ГОСТ 27750 Контроль неразрушающий. Покрытия восстановительные. Методы контроля толщины покрытий (Контроль неруйнівний. Покриття відновлюючі. Методи контролю товщини покриттів)

20. ГОСТ 18321 Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции (Статистичний контроль якості. Методи випадкового відбору вибірок штучної продукції)

21. ГОСТ 20736 Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Планы контроля (Статистичний приймальний контроль по кількісній ознаці. Плани контролю)

Додаток Д  
(Довідковий)

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. ДСТУ 2954 Сталь. Методи магнітного контролю
2. ГОСТ 2999 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Викерсу (Метали і сплави. Метод вимірювання твердості по Вікерсу)
3. ГОСТ 1497 Металлы. Методы испытания на растяжение (Метали. Методи випробування на розтягання)
4. ГОСТ 9012 (ИСО 410:1982, ИСО 6506) Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю (Метали. Метод вимірювання твердості по Брінеллю)
5. ГОСТ 9013 (ИСО 6508) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу (Метали. Метод вимірювання твердості по Роквеллу)
6. ГОСТ 22761 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия (Метали і сплави. Метод вимірювання твердості по Брінеллю переносними твердомірами статичної дії)
7. ГОСТ 18661 Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка (Сталь. Вимірювання твердості методом ударного відбитка)
8. ГОСТ 18835 Металлы. Метод измерения пластической твердости (Метали. Метод вимірювання пластичної твердості)
9. ГОСТ 14019 Металлы. Методы испытания на изгиб (Метали. Методи випробування на згин)
10. ГОСТ 1763 Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя (Сталь. Методи визначення глибини знеуглекенованого шару)
11. ГОСТ 5640 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и лент (Сталь. Металографічний метод оцінки мікроструктури листів і стрічки)
12. ГОСТ 10243 Сталь. Метод испытаний и оценки макроструктуры (Сталь. Метод випробувань і оцінки макроструктури)

$l$  - число змінних в рівнянні регресії на даному кроці;

$b_k$  - коефіцієнт регресії;

$S_{b_k}$  - стандартні похибки коефіцієнтів регресії, обчислювані як елементи матриці протилежної кореляційній.

Оцінки  $b_k$ , параметрів регресійної моделі згідно методу найменших квадратів вибираються на кожному кроці такими, щоб значення, що характеризують міру розкиду експериментальних даних по відношенню до передбачених за моделлю були мінімальні.

При оцінюванні якості моделі значення  $t_k$ , показників надійності коефіцієнтів регресії порівнюють з граничним значенням статистики Стьюдента  $t_{\alpha, \nu}$  ( $q$  - прийнятий рівень значущості,  $\nu$  - число ступенів вільності), а значення  $F$  - коефіцієнт надійності множинного коефіцієнта кореляції порівнюють з табличним значенням статистики Фішера  $F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$  ( $q$  - прийнятий рівень значущості,  $\nu_1 = l$ ,  $\nu_2 = n - l - 1$  - відповідні значення ступенів вільності).

Якщо  $t_k \geq t_{\alpha, \nu}$ , то значення  $k$ -го коефіцієнта регресії вважається надійним.

Якщо  $F \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ , то значення множинного коефіцієнта регресії вважається надійним.

Перш за все необхідно отримати моделі з надійними оцінками коефіцієнтів регресії і множинної кореляції, мінімальною похибкою апроксимації і стандартною похибкою.

Зупинитися слід на тій з побудованих моделей, яка має надійні оцінки  $t_k$ , коефіцієнтів регресії  $b_k$ , надійну оцінку  $F$  множинного коефіцієнта кореляції, найменшу стандартну похибку оцінки моделі, достатньо високий коефіцієнт множинної кореляції  $r$ , як показник детермінованості взаємозв'язку цільової змінної  $Y$  з незалежними змінними  $X$ , а також має склад змінних  $X$  прийнятний в контексті вирішуваної задачі.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^l b_i X_i, \quad (\text{B.6.1})$$

де  $X_i$  - показники похідної сукупності ( $X_i$ ) або показники, отримані з ( $X_i$ ) шляхом алгебраїчних перетворень;

$b_0, b_i$  - коефіцієнти регресії, оцінки параметрів моделі.

Для інших моделей використовуються стандартні методики.

Критерій покрокової побудови регресії ґрунтується на зменшенні залишкової суми квадратів рівнянь (B.6.1), при цьому в рівняння вводиться змінна, що впливає на це зменшення у даному кроці, а виключається найменш вагома.

Процедуру побудови моделі слід продовжувати до тих пір, поки не вичерпуються всі різні  $X \in (X_i), k = \overline{1, l}$ . При цьому множина можливих моделей складає  $2^l$ . Покрокова побудова припускає рух по напрямках, перспективних з погляду зменшення залишкової суми квадратів. Остаточний вибір моделі необхідно визначати статистичною надійністю її, а в цілому і статистичною надійністю кожної одержуваної оцінки  $b_i$ , параметрів моделі.

На кожному  $l$ -му кроці побудови регресійної моделі необхідно обчислювати її характеристики:

$S_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{n-1}{n-l} \cdot \frac{SS - SS_{\text{ост}}}{n-l-1}}$  стандартна похибка оцінки моделі з урахуванням ступеню вільності;

$r_l = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{n-1}{l} \cdot \frac{SS_{\text{ост}}}{SS}\right)^2 \cdot \frac{n-1}{n-l}}$  коефіцієнт множинної кореляції, скорегований на ступінь вільності;

$F = \frac{n-l-1}{l} \cdot \frac{SS_{\text{ост}}}{SS - SS_{\text{ост}}}$  коефіцієнт надійності кореляції (статистика Фішера);

$t_r = \frac{b_i}{S_{b_i}}$  - коефіцієнт надійності регресії (статистика Стьюдента),

де  $SS$  сума квадратів відхилень залежної змінної від свого середнього;

$SS_{\text{ост}}$  - накопичена сума квадратів, визначена множинною регресією;

$n$  - число спостережень по кожній змінній;



Припустимо  $Y$  - середнє значення спостережень при простій випадковій вибірці і вірогідність

$$P(Y' - Y \geq d) = \alpha, \quad (\text{B.4.1})$$

де  $d$  - вибране граничне значення похибки;  $\alpha$  - деяка мала вірогідність;  $Y'$  - генеральне середнє значення.

Як наближення мінімального обсягу вибіркової сукупності вибирається значення

$$n = 1 + \left(\frac{tS}{d}\right)^2 \quad (\text{B.4.2})$$

де  $t$  - значення абсциси для кривої нормального розподілу, відсікаючої на "хвостах" площу  $\alpha$ .

### **B.5 Аналіз парних залежностей**

Наявність лінійної кореляційної залежності між показниками  $X$  та  $Y$  виявляється порівнянням коефіцієнта кореляції  $r$  і кореляційного відношення  $\eta$ .

Якщо різниця  $\eta^2 - r^2$  не перевищує 0,1, то припущення про лінійну форму кореляційного зв'язку підтверджується. В цьому випадку можливо використовувати побудову регресійних залежностей.

Якщо різниця  $\eta^2 - r^2$  перевищує 0,1, то оцінюють значущість відмінності між  $r$  і  $\eta$ .

Для виявлення виду криволінійної залежності слід побудувати кореляційні поля і емпіричні лінії регресії, встановити форми зв'язку між  $Y$  і показниками  $X$ . Підбирають аналітичну формулу  $Y = f(X)$ , що відображає характер емпіричної кривої, наприклад:  $Y = X^2, Y = \sqrt{X}, Y = \frac{1}{X}, Y = \ln x, Y = e^x$ .

### **B.6 Побудова моделі**

Як статистичний метод встановлення зв'язку між залежною змінною  $Y$  і сукупністю показників ( $X_i$ ) використовується покроковий метод побудови множинної регресії, що дозволяє включати або виключати незалежні змінні  $X_i$ , в порядку їх значущості.

Оцінка параметрів виконується для лінійних та лінеаризованих моделей:

При обмеженому обсязі вибірки (до 50) розраховують статистики критерію Шпіро-Уїлка:

$$W = \frac{b^2}{S^2} \quad (\text{B.3.9})$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{B.3.10})$$

$$b = \sum_{i=1}^n a_{i-1,1} (X_{i-1} - X_i) \quad (\text{B.3.11})$$

Гіпотезу перевіряють на підставі нерівності:

$$W \geq W_{\alpha} \quad (\text{B.3.12})$$

де  $W_{\alpha}$  - критичне значення критерію Шпіро-Уїлка. Якщо нерівність B.15 виконується, то нульову гіпотезу приймають.

У разі відсутності нормальності розподілу виконується перехід від початкового показника  $X$  до іншої змінної  $Y$  шляхом функціонального перетворення даних.

У разі нормальності розподілу цільового показника або приведенні до нормальності його розраховані статистичні характеристики мають відомі розподіли і для цих характеристик можна встановити довірчі межі змінюваності, і тоді оцінки майбутньої моделі стають обґрунтованими з ймовірностно-статистичної точки зору, що дозволяє перейти до наступного етапу моделювання по даній схемі.

Якщо перехід до нормальності не здійснений, то це спричиняє за собою ненадійність статистичних оцінок майбутньої моделі.

#### **В.4 Оцінка обсягу вимірювань**

Якщо обсяг вибірки по цільовому параметру не менше обчисленого по наведеним нижче формулам, то здійснюється перехід на наступний етап статистичної обробки даних, в протилежному випадку проводиться збирання інформації для поповнення вибірки, і процес моделювання проводиться для доповненої вибірки згідно схемі.

---

Код УКНД 19.100

**Ключові слова:** бракувальна норма, коерцитивна сила, магнітні властивості, магнітний гістерезис, магнітні характеристики, неруйнівні випробування, неруйнівний контроль якості, показники властивостей, ремонт та відновлення деталей

---

Заст. керівника організації-розробника,  
проректор з наукової роботи  
ХНТУСГ

\_\_\_\_\_ В. Войтов

Керівник розробки,  
професор

\_\_\_\_\_ Т. Скобло

Відповідальний виконавець  
доцент

\_\_\_\_\_ В. Власовець

Виконавці:

доцент  
старший науковий співробітник  
асистент  
науковий співробітник  
професор  
доцент

\_\_\_\_\_ А. Аятухов

\_\_\_\_\_ Г. Безлюдько

\_\_\_\_\_ М. Марченко

\_\_\_\_\_ М. Поздняков

\_\_\_\_\_ О. Сідашенко

\_\_\_\_\_ П. Сиром'ятніков

# Додаток В

**Поєднання кольорів правої і лівої частин фотографії**

- 1 первый номер цвета в сочетании из 4 цветов
  - 2 второй номер цвета в сочетании из 4 цветов
  - 3 третий номер цвета в сочетании из 4 цветов
  - 4 четвертый номер цвета в сочетании из 4 цветов
  - 5 процентное содержание сочетания
  - 6 среднее количество пикселей первого цвета в сочетании
  - 7 среднее количество пикселей второго цвета в сочетании
  - 8 среднее количество пикселей третьего цвета в сочетании
  - 9 среднее количество пикселей четвертого цвета в сочетании
  - 10 номер фотографии, но так как здесь половинки фотографий, то для
  - 1-й фотографии левая половина имеет номер 4, правая - номер 7
  - 2-й фотографии левая половина имеет номер 5, правая - номер 8
  - 3-й фотографии левая половина имеет номер 6, правая - номер 9
  - 11 количество точек (нужно было при отлажке, столбец лишний)
- | 1    | 2    | 3  | 4  | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10 | 11     |
|------|------|--|----|------|-------|-------|-------|-------|----|--------|
| 1    | 59   | фотография номер 1, в которой 59 сочетаний, из них не-парных 7 |    |      |       |       |       |       |    |        |
| 07   | 08   | 00   | 00 | 33.8 | 1.921 | 2.079 | 0.000 | 0.000 | 7  | 766812 |
| 07   | 08   | 00   | 00 | 26.9 | 1.937 | 2.063 | 0.000 | 0.000 | 4  | 584108 |
| 08   | 00   | 00   | 00 | 14.0 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7  | 318896 |
| 08   | 00   | 00   | 00 | 11.0 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4  | 239708 |
| 06   | 07   | 00   | 00 | 10.4 | 1.770 | 2.230 | 0.000 | 0.000 | 7  | 236532 |
| 06   | 07   | 00   | 00 | 09.3 | 1.773 | 2.227 | 0.000 | 0.000 | 4  | 202512 |
| 07   | 00   | 00   | 00 | 09.0 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7  | 203448 |
| 07   | 00   | 00   | 00 | 07.7 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4  | 167220 |
| 05   | 06   | 00   | 00 | 01.6 | 1.786 | 2.214 | 0.000 | 0.000 | 7  | 037104 |
| 05   | 06   | 00   | 00 | 01.6 | 1.818 | 2.182 | 0.000 | 0.000 | 4  | 034832 |
| 06   | 00   | 00   | 00 | 01.5 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7  | 035000 |
| 06   | 00   | 00   | 00 | 01.4 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4  | 031212 |
| 04   | 05   | 00   | 00 | 00.6 | 1.904 | 2.096 | 0.000 | 0.000 | 7  | 013200 |
| 04   | 05   | 00   | 00 | 00.6 | 1.920 | 2.080 | 0.000 | 0.000 | 4  | 013808 |
| 05   | 00   | 00   | 00 | 00.3 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7  | 006700 |
| 05   | 00   | 00   | 00 | 00.3 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4  | 007200 |
| 71.2 | 58.8 | сумма процентов правых и левых половин в парных сочетаниях     |    |      |       |       |       |       |    |        |

08 09 00 00	18.3	2.250	1.750	0.000	0.000	7	415360
08 09 00 00	20.4	2.138	1.862	0.000	0.000	4	442692
09 10 00 00	03.4	2.274	1.726	0.000	0.000	7	076480
09 10 00 00	06.7	2.226	1.774	0.000	0.000	4	145732
09 00 00 00	02.3	4.000	0.000	0.000	0.000	7	052388
09 00 00 00	03.8	4.000	0.000	0.000	0.000	4	082012
10 11 00 00	00.9	2.225	1.775	0.000	0.000	7	019568
10 11 00 00	01.9	2.201	1.799	0.000	0.000	4	042212
14 15 00 00	00.4	1.428	2.572	0.000	0.000	7	009488
14 15 00 00	01.1	1.438	2.562	0.000	0.000	4	023960
15 00 00 00	00.2	4.000	0.000	0.000	0.000	7	005496
15 00 00 00	00.7	4.000	0.000	0.000	0.000	4	014924
11 12 00 00	00.3	2.163	1.837	0.000	0.000	7	006548
11 12 00 00	00.7	2.166	1.834	0.000	0.000	4	015700
10 00 00 00	00.3	4.000	0.000	0.000	0.000	7	006844
10 00 00 00	00.7	4.000	0.000	0.000	0.000	4	016184
12 13 00 00	00.1	2.128	1.872	0.000	0.000	7	002560
12 13 00 00	00.3	2.107	1.893	0.000	0.000	4	006908
09 11 00 00	00.2	2.383	1.617	0.000	0.000	7	003980
09 11 00 00	00.3	2.336	1.664	0.000	0.000	4	007124
08 10 00 00	00.2	2.355	1.645	0.000	0.000	7	004244
08 10 00 00	00.3	2.258	1.742	0.000	0.000	4	006056
03 04 00 00	00.2	1.844	2.156	0.000	0.000	7	004928
03 04 00 00	00.3	1.747	2.253	0.000	0.000	4	005464
10 12 00 00	00.1	2.279	1.721	0.000	0.000	7	002684
10 12 00 00	00.2	2.304	1.696	0.000	0.000	4	005364
10 11 12 13	00.1	1.000	1.000	1.000	1.000	7	002276
10 11 12 13	00.2	1.000	1.000	1.000	1.000	4	004276
09 10 11 12	00.1	1.000	1.000	1.000	1.000	7	003036
09 10 11 12	00.2	1.000	1.000	1.000	1.000	4	005096
08 09 10 11	00.1	1.000	1.000	1.000	1.000	7	002620
08 09 10 11	00.2	1.000	1.000	1.000	1.000	4	004048
07 09 00 00	00.1	2.060	1.940	0.000	0.000	7	002676
07 09 00 00	00.2	2.053	1.947	0.000	0.000	4	003348
04 00 00 00	00.1	4.000	0.000	0.000	0.000	7	003176
04 00 00 00	00.2	4.000	0.000	0.000	0.000	4	003588
27.4 38.4 сумма процентов правых и левых половин в парных сочетаниях							

13	15	00	00	00.2	1.614	2.386	0.000	0.000	4	003376
13	14	00	00	00.2	2.036	1.964	0.000	0.000	4	004724
11	13	00	00	00.2	2.201	1.799	0.000	0.000	4	003308
11	00	00	00	00.2	4.000	0.000	0.000	0.000	4	004044
12	14	00	00	00.1	2.146	1.854	0.000	0.000	4	002460
12	13	14	15	00.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4	002720
11	12	13	14	00.1	1.000	1.000	1.000	1.000	4	003192
1.1	сумма процентов левых половин непарных сочетаний									
2	47									

*Додаток В.2***Розрахунок гістограм Бозе**

Имеется 9 точек, а каждая точка имеет какой-то цвет. Тогда можно перечислить способы размещения точек в такой ячейке. Всего 29 вариантов.

В первой строке случай, когда все 9 цветов одинаковы. В последней, 29-й случай, когда все 9 точек разного цвета. Это элементарная задача, связанная с теорией вероятности.

Зная все случаи, для каждой фотографии, последовательно обходя ее, точка за точкой накапливается количество случаев. Для каждого случая (строки) можно выдавать на экран рисунок точек, соответствующих каждому случаю. Процент точек, отвечающих каждому случаю и будет гистограммой Бозе. В теории вероятности есть распределение Бозе тождественных точек. В этой задаче для исследования структур, так же, как и распределение сочетаний цветов, оно оказалось, чрезвычайно полезным. И они связаны между собой. Но непростой связью. Приведенная ниже таблица имеет два вспомогательных столбца (первый и второй), а также 9 основных столбцов (с 3-го по 11-й), в которых стоит количества точек одного и того же цвета. Сумма по столбцам количества точек одного и того же цвета равна 9 по числу точек в ячейке 3 на 3 пикселя.

В первом дополнительном столбце с номерами от 1 до 9. Эти номера соответствуют числу возможных разных цветов в ячейке. Так, номер 1 может быть только для случая, когда все 9 точек одного и того же цвета. Номер 9 соответствует только од-

ной строке, когда все цвета разные. А номеру группы 2 соответствует 4 строки. Номеру группы 2 соответствует 2 разных цвета, для 4 случаев: 8+1, 7+2, 6+3, 5+4.

1 номер на предыдущем рисунке

2 номер строки гистограммы Бозе

3-11 количество точек одного и того же цвета гистограммы Бозе

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

01: 01: 9

02: 02: 8 1

: 03: 7 2

: 04: 6 3

: 05: 5 4

03: 06: 7 1 1

: 07: 6 2 1

: 08: 5 2 2

: 09: 5 3 1

: 10: 4 4 1

: 11: 4 3 2

: 12: 3 3 3

04: 13: 5 2 1 1

: 14: 4 3 1 1

: 15: 4 2 2 1

: 16: 3 3 2 1

: 17: 3 2 2 2

05: 18: 5 1 1 1 1

: 19: 4 2 1 1 1

: 20: 3 2 2 1 1

: 21: 3 2 1 1 1

: 22: 2 2 2 2 1

06: 23: 4 1 1 1 1 1

: 24: 3 2 1 1 1 1

: 25: 2 2 2 1 1 1

07: 26: 3 1 1 1 1 1 1

: 27: 2 2 1 1 1 1 1

08: 28: 2 1 1 1 1 1 1 1

09: 29: 1 1 1 1 1 1 1 1 1



# Додаток Д

Оптико-математична обробка електронних фотографій  
мікроструктур

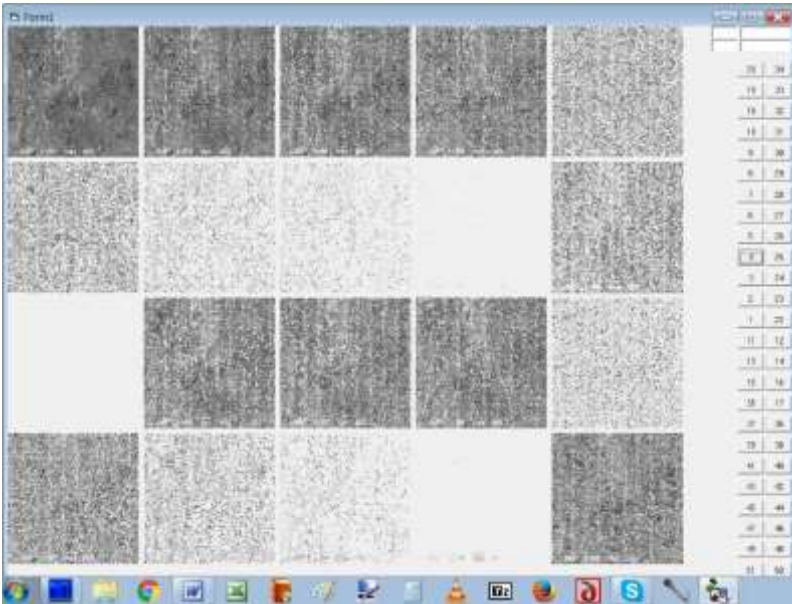


Фото 1

Досліджувана комірка 2×2 пікселі

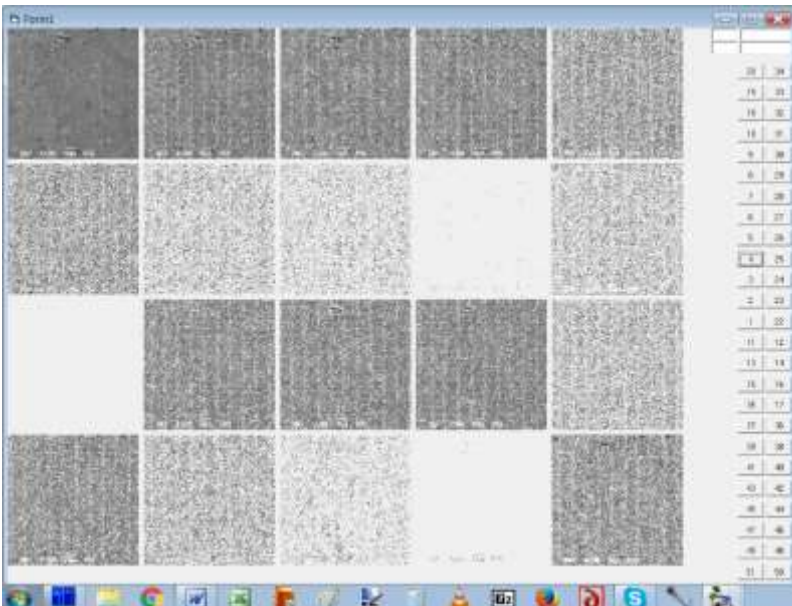


Фото 2

Досліджувана комірка 2×2 пікселі



Фото 3

Досліджувана комірка 2×2 пікселі

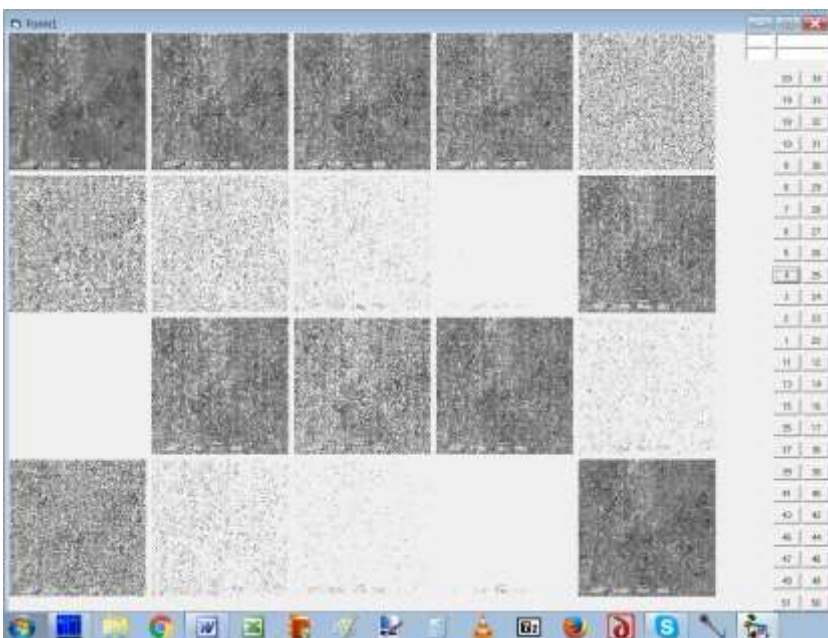


Фото 1

Досліджувана комірка 3×3 пікселі

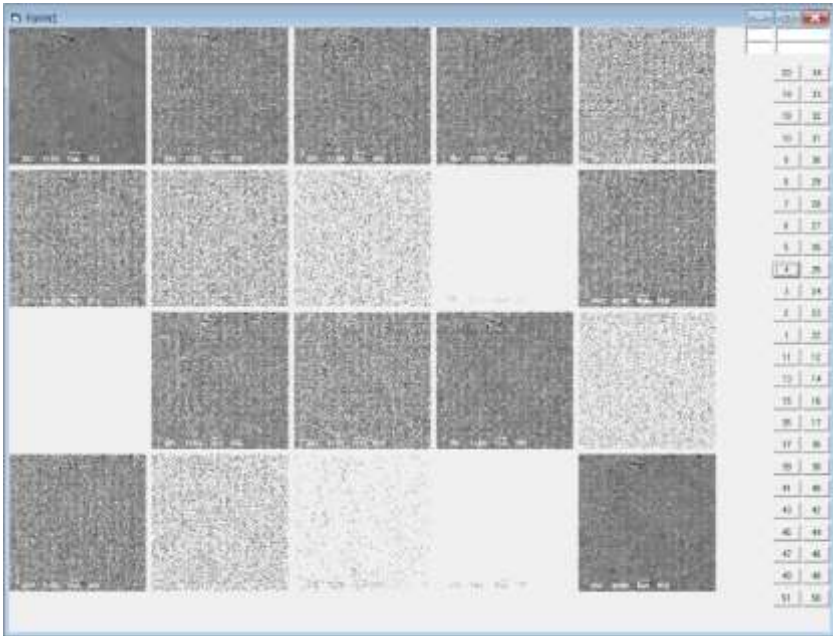


Фото 2

Досліджувана комірка  $3 \times 3$  пікселі

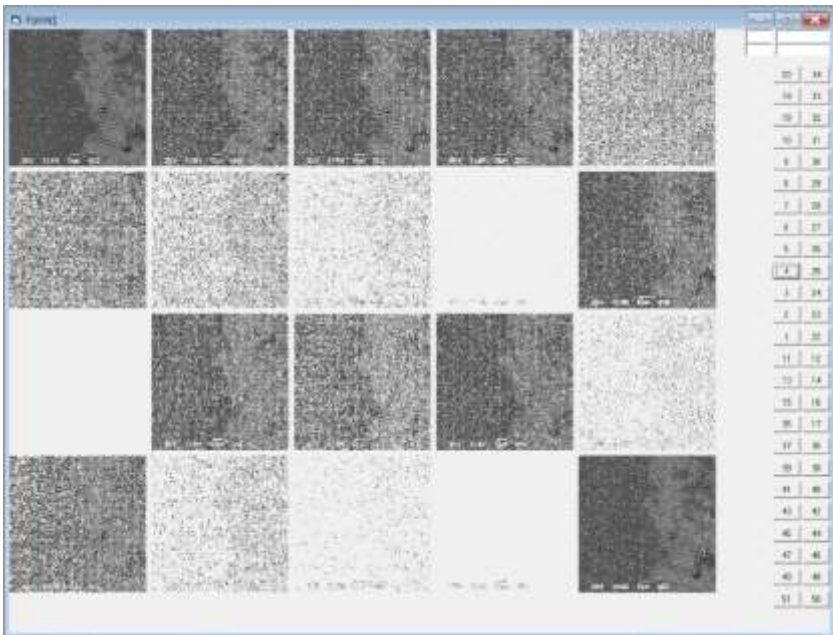


Фото 3

Досліджувана комірка  $3 \times 3$  пікселі

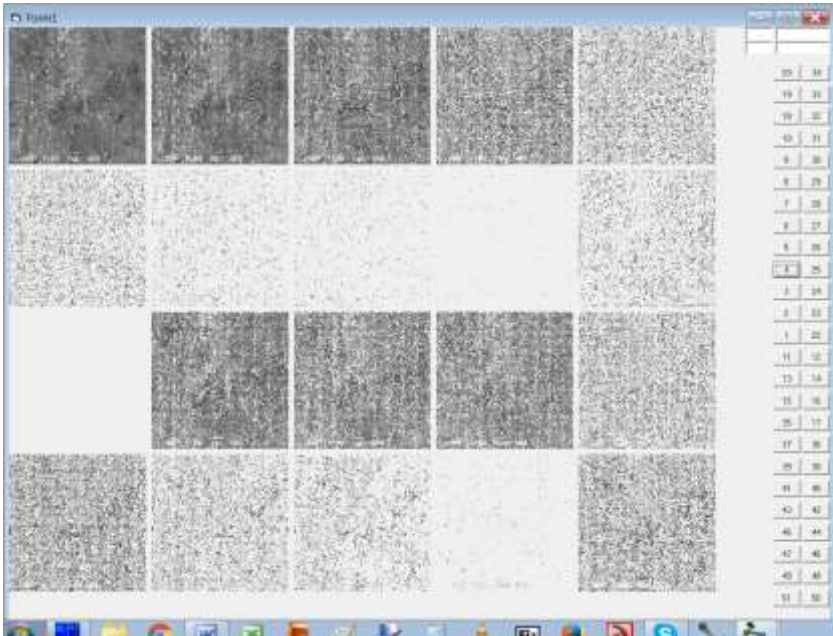


Фото 1

Досліджувана комірка 4×4 пікселі

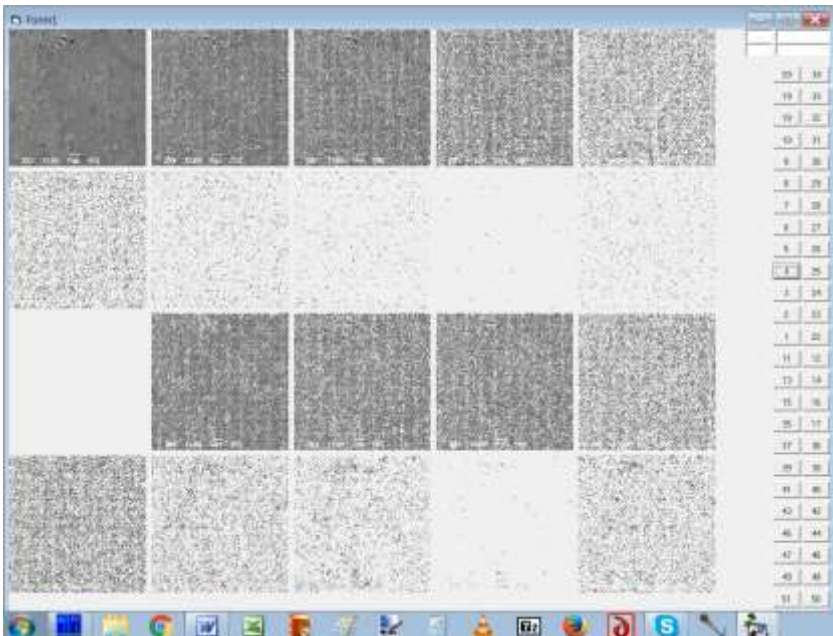


Фото 2

Досліджувана комірка 4×4 пікселі

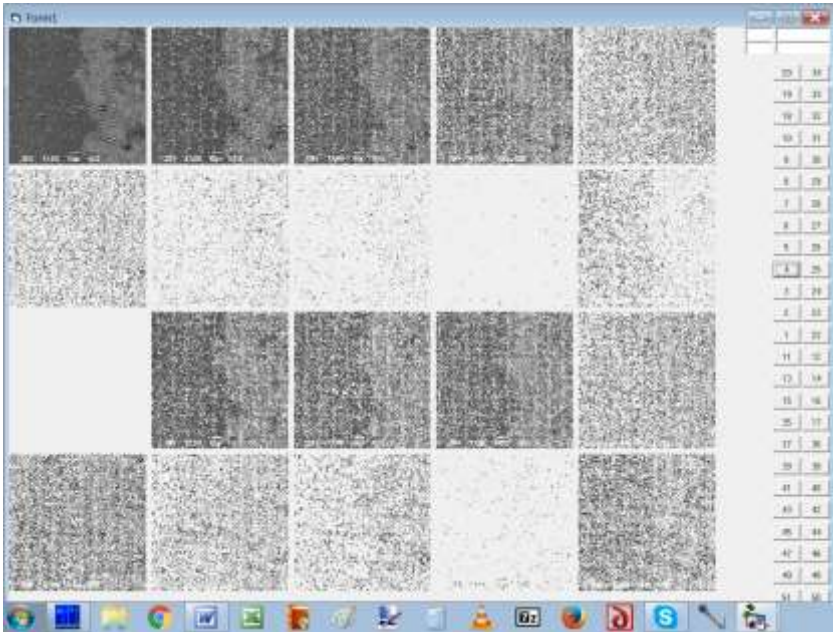


Фото 3

Досліджувана комірка 4×4 пікселі

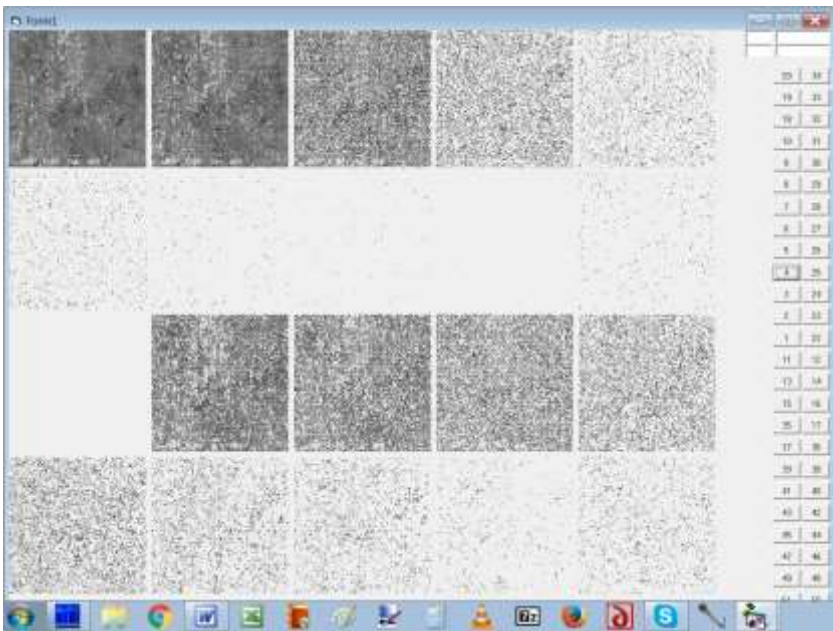


Фото 1

Досліджувана комірка 5×5 пікселі

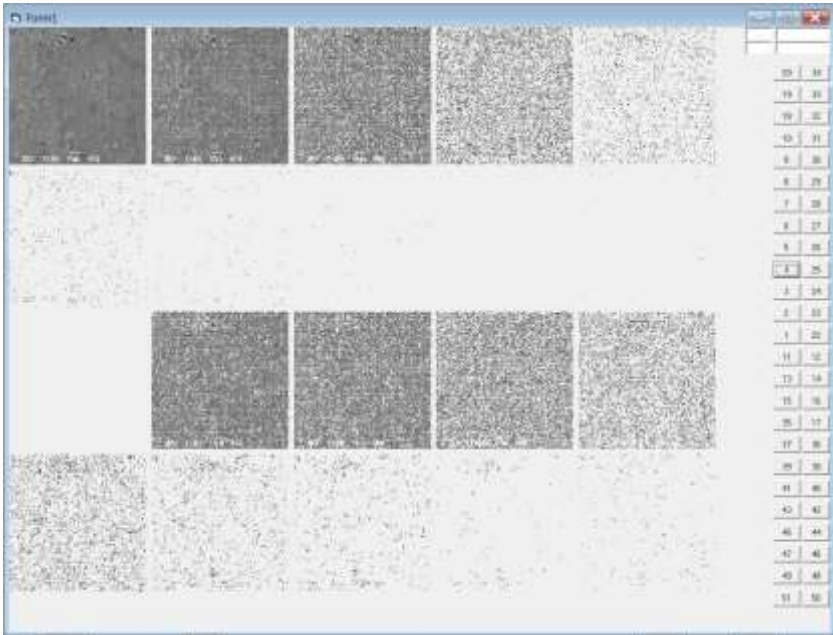


Фото 2

Досліджувана комірка  $5 \times 5$  пікселі

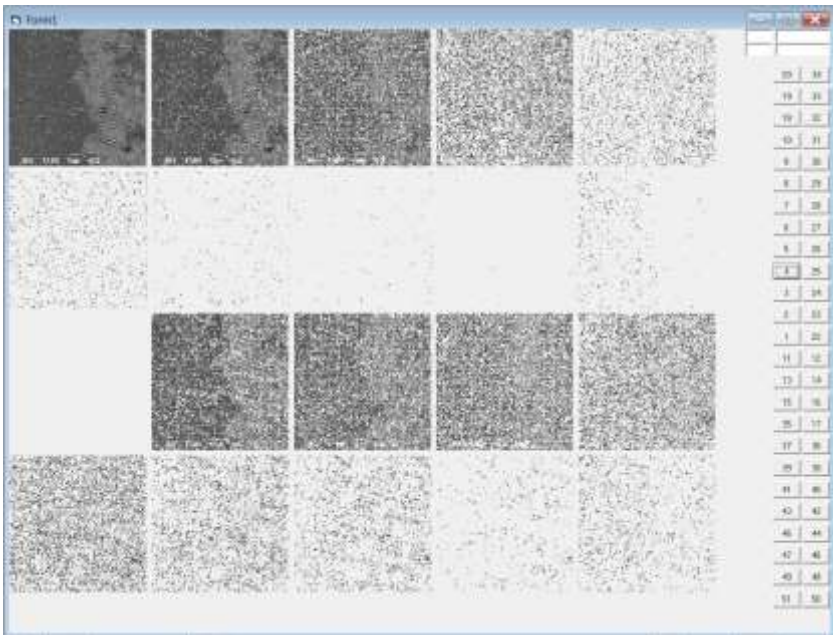


Фото 3

Досліджувана комірка  $5 \times 5$  пікселі

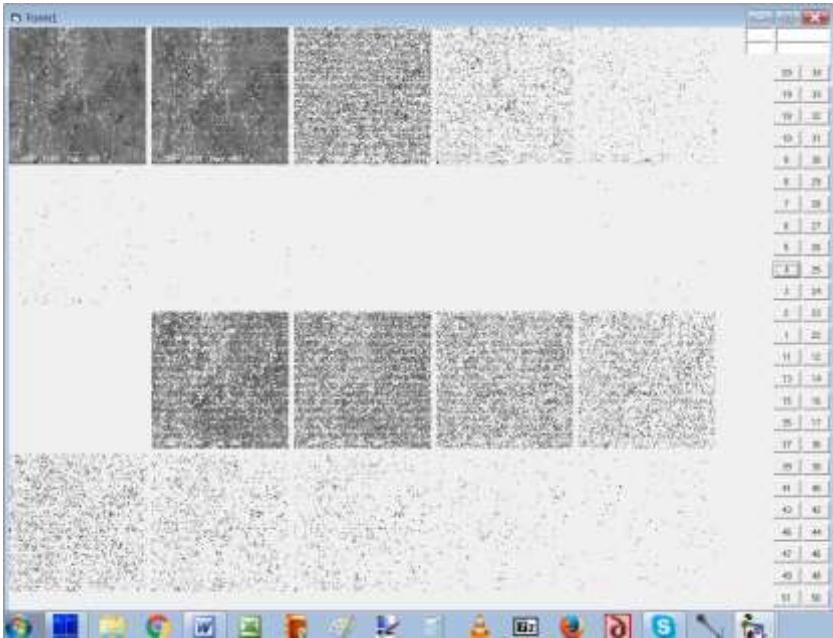


Фото 1

Досліджувана комірка 4×5 пікселі

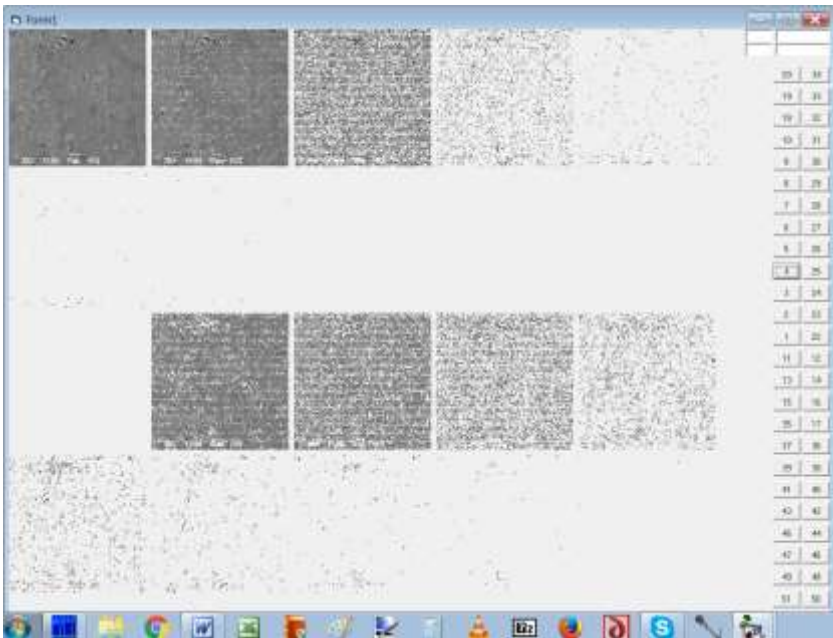


Фото 2

Досліджувана комірка 4×5 пікселі



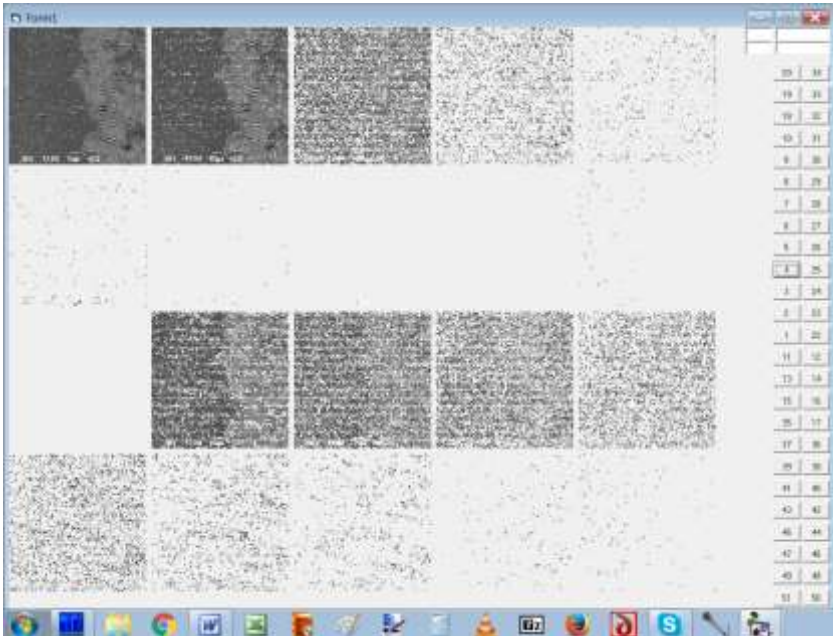


Фото 3

Досліджувана комірка 4×5 пікселі



Фото 1

Досліджувана комірка 5×4 пікселі

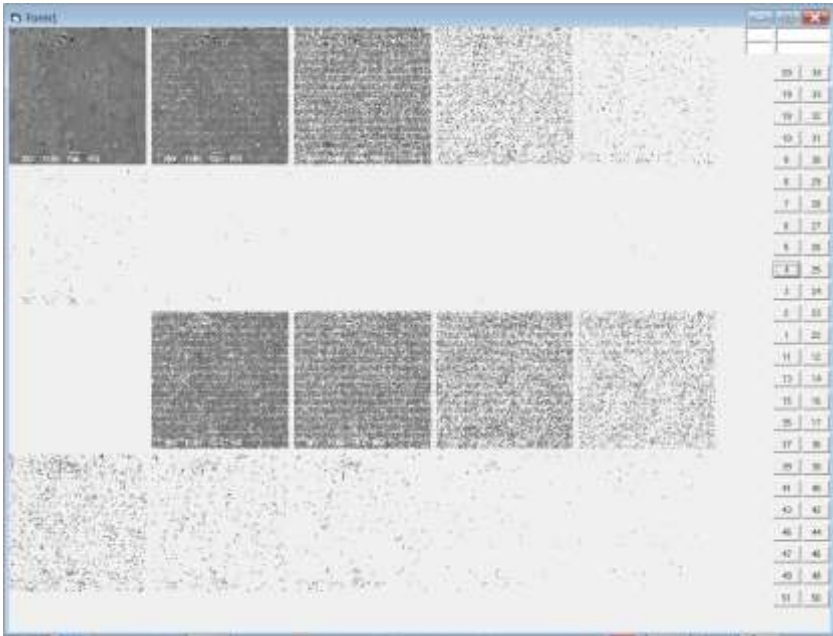


Фото 2

Досліджувана комірка  $5 \times 4$  пікселі

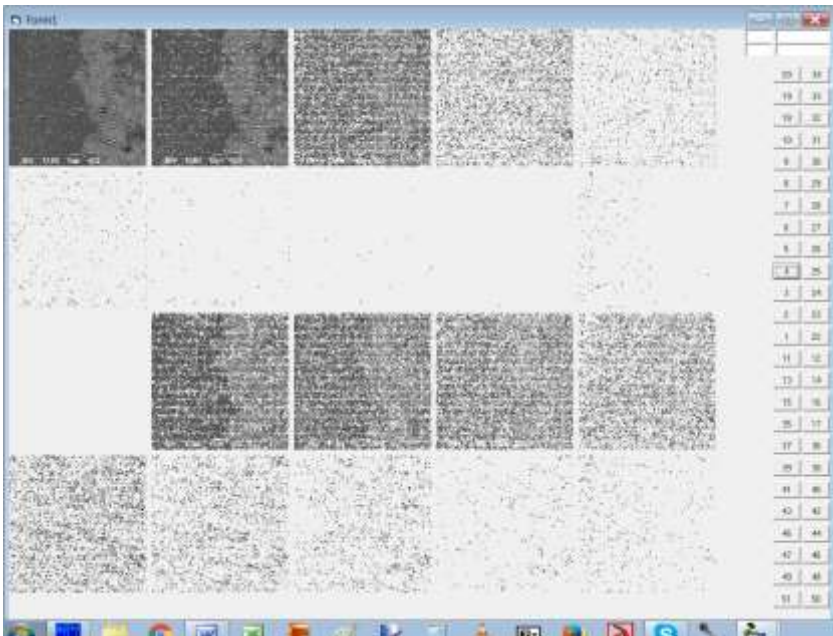


Фото 3

Досліджувана комірка  $5 \times 4$  пікселі

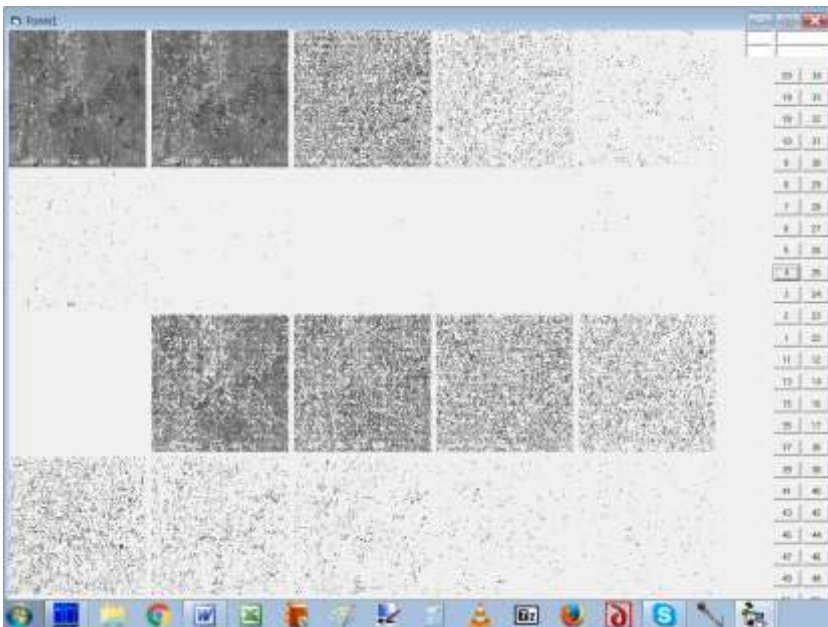


Фото 1

Досліджувана комірка  $6 \times 4$  пікселі

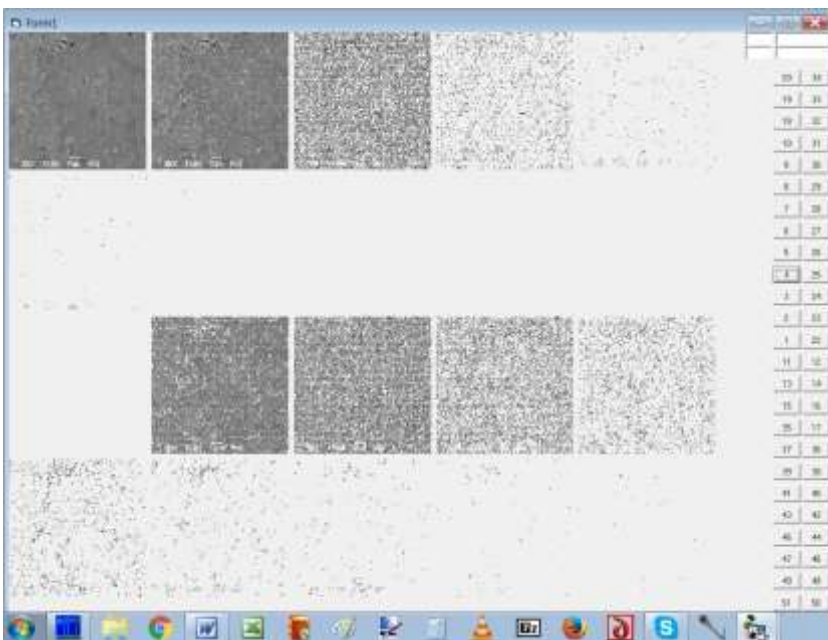


Фото 2

Досліджувана комірка  $6 \times 4$  пікселі

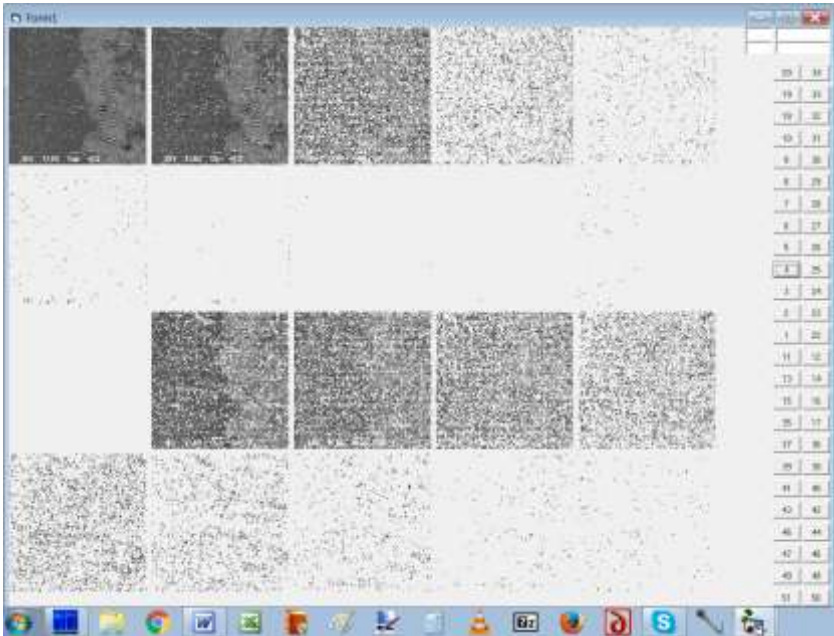


Фото 3

Досліджувана комірка  $6 \times 4$  пікселі

# Додаток Е

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКО

**ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ З КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА  
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ КОРПУСНИХ  
ДЕТАЛЕЙ З СІРОГО ЧАВУНУ**

**ЗАТВЕРДЖУЄ**

Проректор з наукової роботи  
ХНТУСГ імені Петра Василенка  
д.т.н. Професор Мельник В.І.



**ПОГОДЖЕНО**

Нач. ВЗЛС - Головного металурга  
Володимир О.А.



Харків 2017

Інструкцію розроблено на основі узагальнення досліджень фахівців ХНТУСГ імені Петра Василенко та ВАТ «ХТЗ».

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Виявлення дефектів виливків здійснюється неруйнівним контролем якості, а також таких, які виявляються за зовнішнім оглядом. Особлива увага при використанні цих методів контролю повинна приділятися перехідним зонам перетину виливків і оцінка проводиться за їх периметром та висоті у внутрішніх зонах та на – поверхневих.

1.2. В якості неруйнівного методу контролю слід використовувати магнітний аналізатор КРМ-Ц-К2М, а оцінку проводити згідно показників коерситивної сили  $H_c$  та використовувати магнітні перетворювачі найбільш ефективного розміру з урахуванням вимірювальної форми деталі з контактуючою поверхнею не менш ніж 30%. Вимірювання слід проводити послідовно в різних зонах виливка для запобігання намагнічення виробу.

1.3. Аналіз вимірювань починають з якісних деталей, за якими встановлюють базові показники з порівнянням їх розкиду, згідно коерситивної сили,  $H_c$ .

1.4. При відсутності дефектів показники  $H_c$  можуть змінюватися при відсутності дефектів у виливках марок чавунів СЧ-15, СЧ-18 та СЧ-20 в межах  $H_c = 7-9$  А/см:

- при наявності відхилень у структурі металу, згідно кристалізування цементиту та грубих скупчень графіту, неметалевих включень  $H_c$  підвищується в 1,3-1,6 разів (до 9,1-14,5%).

1.5. Дефекти виливків, що підлягають виправленню одночасно газо- і електрозварюванням, виправляють спочатку електрозварюванням, потім газозварюванням.

1.6. Видалення дефектів у вигляді наростів на необроблених поверхнях рекомендується виконувати газовим пальником, а неслітини зачищати повітряно-дуговою строжкою, шліфувальною машинкою або зубилом.

## 2. СПОСОБИ ВИДАЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ПІДГОТОВКА ВИЛИВКІВ ДО ЇХНЬОЇ ЗАВАРКИ

2.1. Дефекти виливків на необроблених поверхнях (раковини, пори, тріщини та інш.) видаляти без підігріву електродуговим способом.

2.2. Дефекти виливків на необроблених поверхнях видаляти наплавленням вуглецевим дротом, зі спеціально нанесеними, торованими лунками, заповненими модифікатором або електродом марки ЦЧ-4 з обмазкою їх модифікуючою домішкою – детонаційною шихтою в кількості 10-15% від частки металу, який наплавають.

2.3. У якості модифікуючої домішки рекомендовано використовувати не магнітну детонаційну шихту дисперсної і нанофракції, спеціально отриманої від утилізації босприпасів, яка містить 3,8 % С; 3,14 % Сu і залізо – решта.

2.4. Дефекти після додаткової механічної обробки видаляти до здорового металу.

2.5. Для зручності заварювання дефектні місця обробляти як крайки стикового з'єднання.

### 3. СПОСОБИ ЗАВАРЮВАННЯ ДЕФЕКТІВ

3.1. Електродугове заварювання.

3.1.1. Наявність дефектів відзначаються хрейдю після оцінки Н<sub>с</sub>. Потім встановлюється деталь на зручне для заварювання положення.

3.1.2. Заварювання виконувати ручним дуговим або напівавтоматичним методом без підігріву деталі.

3.1.3. Для ручного заварювання дефектів застосовувати електроди ЦЧ-4 діаметром 3 мм з обмазкою шикстою, а для напівавтоматичної – вуглецевий дріт діаметром 1,2 мм з модифікатором. Заварку електродом робити на постійному струмі зворотної полярності, напівавтоматичну – на постійному струмі прямої полярності.

3.1.4. Перед заварюванням встановити режим з малою погонною енергією (струм та швидкість заварки повинні бути мінімальними).

3.1.5. Процес заварювання проводити так, щоб проплавлення чавуну було мінімальним.

3.1.6. Застосовувати режими заварювання дефектів, наведені в таблиці.

Матеріал	Діаметр, мм	Сила струму, А
Дріт Нп-30ХГСА	1,2	150-170
Електрод ЦЧ-4	3	60-110

3.1.7. Заварку робити невеликими ділянками довжиною 40-60 мм, після обриву дуги наплавлений метал у гарячому стані рекомендується прокувати. Відновлювати заварювання проводити тільки після охолодження наплавленого валуку до 60-80°C.

3.1.8. Валики наплавляти послідовно в різних ділянках деталі де є дефекти, що підлягають виправленню. Після заварки цю зону піддавати ППД.

3.1.10. При заварюванні наскрізної раковини, щоб запобігти протіканню рідкого металу, необхідно знизу підкласти пластину з кольорового металу.

3.1.11. Останній верхній валик, який необхідно заплавляти, потребує щоб його поверхня була рівною та гладенькою відносно поверхні деталі.

### 4. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПІСЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1. Зовнішнім оглядом перевірити 100% виливків.

4.2. Місця відновлення та їх прилеглі зони контролювати, згідно показників Н<sub>с</sub>, які при якісному відновленні будуть знаходитися на рівні до 15-18 А/см.

4.3. Прийнятні виливки повинні бути зачищені від шлаків, бризів та мати чисту рівну поверхню наплавленого металу.

4.4. Виливки до яких пред'являються вимоги герметичності повинні бути перевірені на ці вимоги будь-яким методом.

4.5. Прийнятні виливки повинні відповідати вимогам технічних умов креслення, а також технологічній інструкції. Виливки відповідального призначення додатково мати клеймо зварювальника та пресувальника, якщо



випливи піддавалися випробуванню на герметичність.

## 5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

5.1. Проведення робіт з виправлення дефектів лиття повинне проводитися відповідно до ГОСТ 12.3.003 «ССБТ. Роботи електрозварювальні. Загальні вимоги безпеки».

5.2. Застосовуване електрозварювальне устаткування повинне відповідати ГОСТ 12.2.007.8 «Обладнання електрозварювальне та вимоги безпеки».

5.3. Застосовуване устаткування повинне відповідати діючій нормативно-технічній документації.

5.4. До зварювання дефектів лиття допускаються особи, що мають посвідчення зварника та II кваліфікаційну групу за ел. безпекою.

5.5. Зварювальники повинні мати досвід та проінструювані безпечним методом роботи.

5.6. Корпус зварювального трансформатора і вторинна обмотка повинні бути заземлені.

5.7. Забороняється використовувати контур заземлення як зворотній зварювальний дріт. В якості зворотного необхідно використовувати гнучкі дроти.

5.8. При зварюванні зварювальник повинен виконувати вимоги безпеки та промислової санітарії, згідно з діючими інструкціями.

5.9. Зварювальні роботи проводити в кабіні або спеціальному місці, огороженому переносними, захисними щитами та обладнанням з витяжною вентиляцією.

5.10. Зварювання дефектів робітників повинен робити в спеціальному одязі, взутті, рукавицях, відповідно до типових галузевих норм.

5.11. При електродуговому зварюванні застосовувати штики та маски.

5.12. Після закінчення роботи зварювальник зобов'язаний:

- відключити зварювальний апарат, забрати дроти, матеріали;

- прибрати тліючі предмети;

- скласти випливи в тару у спеціально відведених місцях;

- відключити газові крани, та це робити згідно з інструкцією для зварювальників і різальників.

Розробник:

Харківської національний технічний  
університет сільського господарства імені  
Петра Василенка

- керівник

д.т.н., проф.  (Скобло Т.С.)

- відповідальний виконавець

к.т.н., доц.  (Сайчук О.В.)

Розробник:

ВАТ «ХТЗ»

- заст. Головного металурга

 Черкашин В.Ф.

-нач. лабораторії ЦЗЛ

к.т.н.  Радченко О.О.

Скобло Тамара Семенівна  
Сідашенко Олександр Іванович  
Сайчук Олександр Васильович

# **Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники**

## **Монографія**

Комп'ютерна верстка: Маніло В.Л.  
Підписано до друку 30.07. 2019р  
Формат 70x108 1/16 Папір офсетний. Друк цифровий.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 7,9  
Обл. – друк. арк. 12,5  
Наклад 100 прим. Зам № 198

Видавництво «Діса плюс»  
Тел. (057) 786-03-15  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготовників та  
розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК №4047 від 15.04.2011 р.

Надруковано в друкарні «БУКЛАЙН»  
61000, м. Харків, вул. Катерининська, 46  
Тел. (099) 604-49-45  
e-mail:bookline.ua@gmail.com