

comparison with new parts composite material. Vapor-phase deposition of metals, Chemicikal Vapor Deposition-method, decomposition of organometallic compounds

composite material, vapor phase deposition of metals, Chemicikal Vapor Deposition method - decomposition of organometallic compounds

Одержано (Received) 24.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 29.10.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021

УДК 621.74:669.15

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.174-181>

В.К. Аветісян, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Колпаченко**, доц., канд. екон. наук,

В.Л. Маніло, асист., **Д.П. Ащанулов**, асп.

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

О.В. Сайчук, проф., д-р техн. наук, **О.І. Біловод**, доц., канд. техн. наук, **Ю.Б. Скоряк**, асист.

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

e-mail: oleksandra.bilovod@pdaa.edu.ua

Аналіз якості структуроутворення виливків корпусних деталей з сірого чавуну

Виконано статистичний аналіз якості корпусних деталей в умовах виробництва. У якості критерію використовували магнітний метод неруйнівного контролю якості за коерцитивною силою. Статистичну оцінку проводили на двох типах деталей: корпусах роздавальної коробки передач і корпусах коробки зміни передач які виготовлені із чавунів СЧ15, СЧ18 і СЧ20 відповідно. Обидва типи деталей характеризуються близькою товщиною стінок.

корпусні виливки, пластинчастий графіт, коерцитиметр, мікрорентгеноспектральний аналіз, термоелектронна емісія, сірий чавун

Постановка проблеми. Серед номенклатури деталей, що виготовляються, важливе місце займають корпусні – із сірого чавуну. Аналіз показав, що немає ні однієї сільськогосподарської машини, яка не мала б таких деталей. Частка таких виробів у кількісному співвідношенні для різних одиниць сільськогосподарської техніки становить 3,5-45%, що у більшості випадків визначає ресурс машини. Особливо це відноситься до корпусних деталей, відсоток яких становить від 1,7-24%. Ці вироби відрізняються значною різноманітністю: масою, складною геометрією, об'ємом, умовами роботи.

Широке використання деталей із сірого чавуну обумовлена низкою факторів: технологічністю матеріалу (гарні ливарні властивості і оброблюваність різанням), експлуатаційними властивостями та достатньою надійністю. Технологія плавки чавуну це важлива частина конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення корпусних деталей. Удосконалення систем контролю технологічного процесу плавки спрямоване на отримання високоякісного сплаву з поліпшеними фізико-механічними характеристиками. Контроль процесу, відповідно до критеріїв оцінки показників роботи засобів автоматизації у контурах регулювання температури, дають змогу визначити відхилення від заданого температурного режиму плавлення за складом шлаку [1].

Аналіз основних досліджень і публікацій. Як відомо, робота деталей сільськогосподарської техніки відрізняється досить різноманітними умовами експлуатації. Мають місце статичні, динамічні та ударні навантаження, фактично всі види зношування, корозійні впливи, вплив залишкових, монтажних і робочих напружень (особливо в корпусних виливках).

Вироби із сірого чавуну відносяться до класу важко відновлюваних деталей. Це значною мірою зв'язане зі специфічністю властивостей сірого чавуну (наявністю пластинчастого графіту) у порівнянні зі сталлю. Наявність вуглецю у вільному стані ускладнює одержання покриттів і заварювання тріщин. Процеси термічної обробки і пластичне деформування (поверхневе та об'ємне), хоча і забезпечують підвищення твердості, але в той же час створюють досить високі залишкові напруження, які сприяють зниженню міцності матеріалу в цілому.

Умови експлуатації чавунних деталей і специфіка властивостей цього матеріалу обумовлюють появу дефектів. Причому на одній і тій же деталі їх може бути кілька різних типів.

Постановка завдання. Основною метою роботи є провести статистичні дослідження аналізу якості структуроутворення виливків корпусних деталей.

Виклад основного матеріалу. Статистичні дослідження вимірювань коерцитивної сили на деталях із сірого модифікованого чавуну виконані на корпусах роздавальної коробки, (71 вимірювання) і корпусах коробки зміни передач (148 вимірювань), проведених в умовах ВАТ «ХТЗ».

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 [2].

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 за коерцитивної сили 4,3-6,0 А/см.

При показниках коерцитивної сили вище верхньої межі $\geq 8,0$ А/см 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 ≥ 10 А/см (табл. 1).

Таблиця 1 – Лита «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
Середнє значення	10,13	10,53	9,15	8,73	8,45	8,4	8,33	8,05	8,1

Джерело: розроблено автором

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.

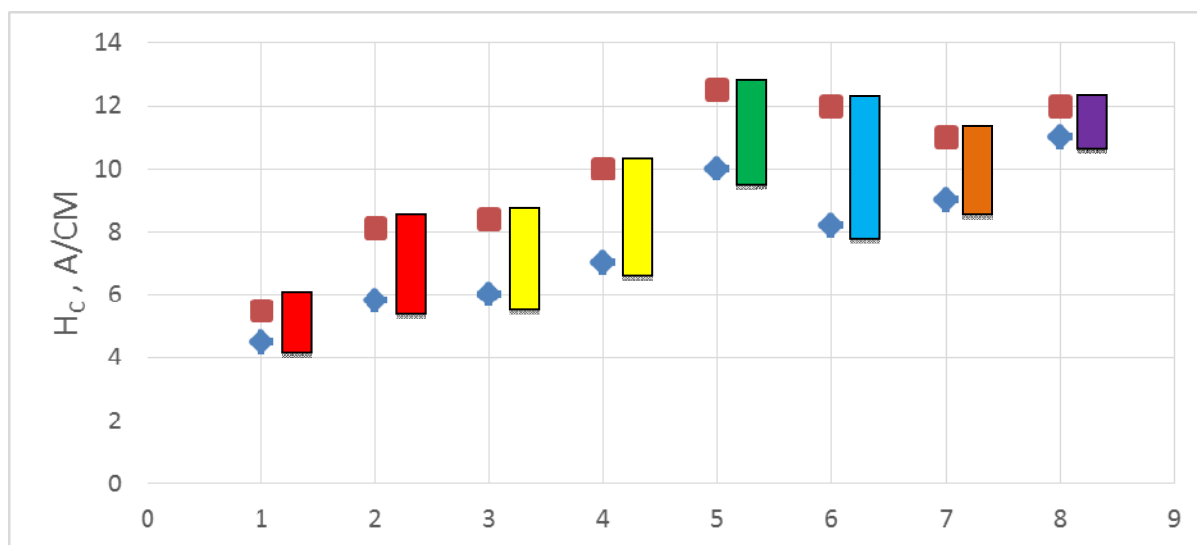
Результати вимірювань коерцитивної сили дозволяють оцінити якість корпусів роздавальної коробки передач і корпусів коробки зміни передач і зробити висновок, що анізотропія властивостей у них практично відсутня. Це характерно як для зовнішньої, так і внутрішньої поверхні виливків, а також конструктивних 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.

У зонах з дефектами (неслітин) коерцитивна сила підвищується. Найбільше підвищення [3] 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, судити про істотне порушення суцільності в такій зоні.

На рис. 1 наведені граничні показання коерцитивної сили вимірювань в різних зонах і якості, що відрізняється. 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 і неслітинами, що дозволяє ідентифікувати ці дефекти. Високі показники характерні і для зони заварювання дефектів ($H_c = 9,6-10,1$ А/см) [4].



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

Джерело: розроблено автором

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 склали 7,8-10,9 А/см. (табл. 1 і рис. 1).

Статистичним аналізом, виливок корпусних деталей із сірого чавуну було

встановлено, що від плавки до плавки структура формованого металу може суттєво мінятися. Це характерно і для різних зон виливків з однієї плавки.

Для з'ясування причин відхилень проведені спеціальні дослідження з використанням мікрорентгеноспектрального аналізу відібраних проб, що відрізняються за рівнем коерцитивної сили (8,5 – 10,5).

Порівняння проводили на двох пробах з різними показниками магнітної характеристики. Як показав аналіз ці проби відрізнялися як формою графіту, так і співвідношенням фаз (перліту, фериту та графіту).

Результати спектрального аналізу досліджуваних проб наведені в (табл. 2-5).

Таблиця 2 – Спектральний аналіз проби зі зниженим рівнем коерцитивної сили (8,5 А/см) у поверхні виливка

Елемент	Ваговий %	Атомний %	
С К	19,87	52,20	О ₂ – min Р – підвищений Ті, V – мікродобавки
О К	1,17	2,31	
Si К	1,35	1,52	
Р К	0,25	0,25	
Ті К	0,01	0,01	
V К	0,11	0,07	
Mn К	0,68	0,39	
Fe К	76,56	43,25	
Підсумок	100,00	100,00	

Джерело: розроблено автором

Ці проби суттєво відрізнялися за рівнем Н_c, яка перебувала в різних зонах виливка в межах 8,5-10,5 А/см відповідно (табл. 2-5).

Аналізом встановлено, що в першому виливку в поверхні виявлена підвищена концентрація фосфору (0,25%) і незначна частка присадок, що модифікують, Ті і V (0,01 – 0,11% відповідно). Кількість кисню становить 1,7%. У центральній зоні корпусного виливка товщиною 30 мм не змінилася частка графіту і концентрація кисню в порівнянні з поверхневою зоною виливка. Інші компоненти перебувають у межах припустимих технічними умовами на виливок.

Таблиця 3 – Спектральний аналіз проби з підвищеним рівнем коерцитивної сили (10,5 А/см) у поверхні виливка

Елемент	Ваговий %	Атомний %	
С К	18,47	48,36	Високий вміст сірки
О К	3,41	6,70	
Si К	1,42	1,59	
Р К	0,09	0,09	
S К	0,27	0,26	
Cr К	0,11	0,06	
Mn К	0,81	0,46	
Fe К	75,42	42,46	
Підсумок	100,00	100,00	

Джерело: розроблено автором

Таблиця 4 – Спектральний аналіз проби зі зниженим рівнем коерцитивної сили (8,5 А/см) у центральній частині виливка

Елемент	Ваговий %	Ваговий %	Атомний %	
C K	18,81	0,29	50,44	Підвищена концентрація Mn (в 4 рази) V = 0,41% Ti = 0,16% Дуже висока S.
O K	1,15	0,13	2,31	
Si K	1,63	0,05	1,87	
P K	0,15	0,04	0,16	
S K	0,19	0,03	0,19	
Ti K	0,05	0,04	0,03	
V K	0,12	0,04	0,08	
Mn K	0,88	0,06	0,51	
Fe K	77,02	0,31	44,41	
Підсумок	100,00	0,99	100	

Джерело: розроблено автором

Таблиця 5 – Спектральний аналіз проби з підвищеним рівнем коерцитивної сили (10,5 А/см) у центральній частині виливка

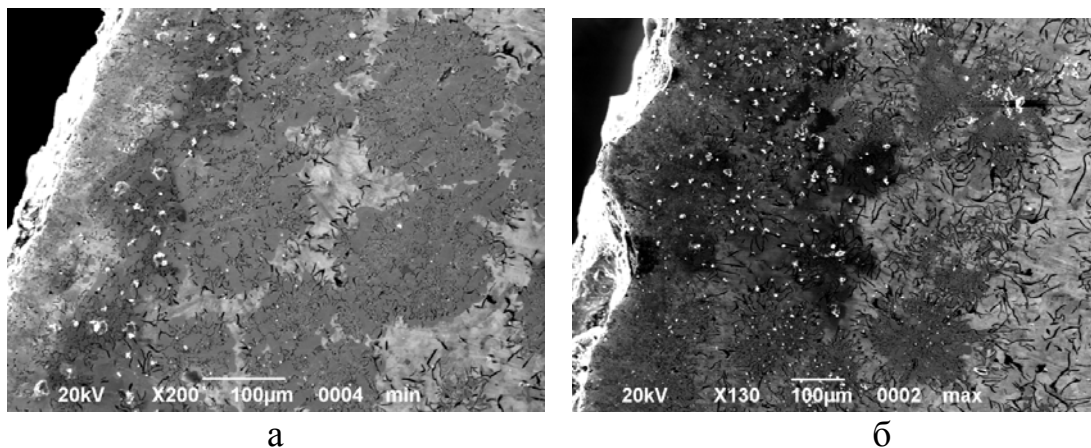
Елемент	Ваговий %	Атомний %	
C K	24,48	58,73	Модифікуючі добавки V, Ti
O K	1,17	2,11	
Si K	1,37	1,41	
S K	0,16	0,15	
Ti K	0,05	0,03	
V K	0,09	0,05	
Cr K	0,08	0,04	
Mn K	0,83	0,44	
Fe K	71,76	37,04	
Підсумки	100,00	100,00	

Джерело: розроблено автором

Вироби з підвищеною коерцитивною силою (10,5 А/см) частка графіту у поверхні виливка суттєво не змінилася в порівнянні з попереднім варіантом, однак суттєво виросла концентрація кисню (у три рази до 3,41%) і сірки (до 0,27%). Модифікуючі присадки Ti і V відсутні. У центральній зоні перетину виробу трохи підвищена частка графіту (на ~ 6%). Незважаючи на те, що в цій зоні насиченість киснем зменшена, однак, його концентрація відповідає показникам виливка з мінімальною коерцитивною силою. Інші компоненти відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

Рентгеноспектральний аналіз виявив підвищену частку кисню.

Встановлено, що його поява пов'язана з формуванням оксидів, концентрація яких була підвищена особливо біля стінок виливків. Це може бути результатом поганої підготовки форм для виливка виробів (рис. 2).



а – з мінімальними показниками H_c ; б – з максимальними показниками H_c .

Рисунок 2 – Оксиди біля поверхні виливків

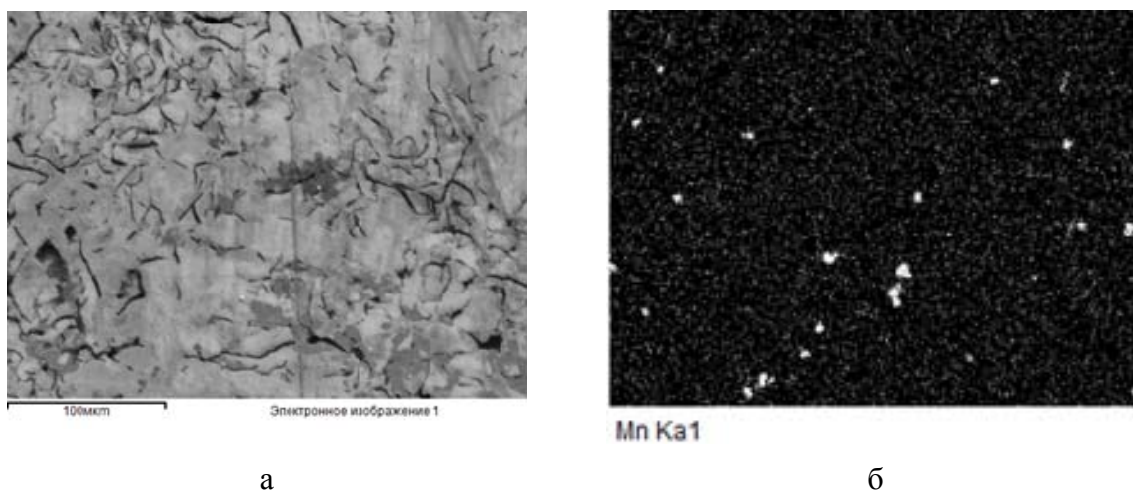
Джерело: розроблено автором

Методом мікрорентгеноспектрального аналізу встановлено, що такі включення є складними з'єднаннями, що містять до 13% кисню. Вони так само містять 1,16-2,08% Si і 0,39-0,62% Mn. (рис. 3).

Їх можна віднести до з'єднань метасилікату $MnSiO_3$ ($MnOSiO_2$) і ортосилікату Mn_2SiO_4 ($2MnOSiO_2$).

За допомогою термоелектронної емісії також встановлено, що крім складних окислів метал містить значну кількість сульфідів марганцю, а також характеризується формуванням зон локальної ліквідації цих компонентів [4].

Спостережуване пов'язане з відхиленнями в способі введення модифікатора (силікомарганцю) і нерівномірним його засвоєнням у всій масі металу. Так, по даним локального рентгеноспектрального аналізу концентрація розподілу цих елементів особливо неоднорідна у виливках з більш високим рівнем коерцитивної сили (0,07-2,09% Si і 0,04-2,15 Mn). Форма включень однакова при різній H_c .



а

б

а – електронне зображення, б – термоелектронна емісія

Рисунок 3 – Аналізований складний за складом оксид

Джерело: розроблено автором

Незважаючи на досить близьку концентрацію в розподіл основних компонентів по перетину виливків встановлено, що причиною різних показань, отриманих при

вимірюванні коерцитивної сили, є збільшена частка графітових включень, оксидів і сульфідів. Використання такого неруйнівного методу контролю дозволить виявити зони у виробках з відхиленнями за структурою та більш ретельно аналізувати в них можливість формування дефектів (поро – та тріщиноутворення).

Висновки. Виконано статистичний аналіз якості корпусних деталей в умовах виробництва. В результаті досліджень встановлено, що для перших групи деталей виготовлених із чавуну СЧ15 показник змінюється в межах 4,3-8,0 А/см, а для других із чавуну марки СЧ20 – 5,0-9,4 А/см.

Список літератури

1. Stanovska, I., Duhanets, V., Prokopovych, L., & Yakhin, S. Classification rule for determining the temperature regime of induction gray cast iron. *eureka: Physics and Engineering*, 2021, P. 60-66. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001604>
2. Изготовление и обработка корпусных деталей из чугуна / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Сайчук А.В. и др. *Вісник ХНТУСГ ім. П Василенка «Ресурсозберігаючі матеріали та обладнання в ремонтному виробництві»*. 2015. Вип. 158. С. 126-133.
3. Скобло Т.С., Сидашенко О.І., Сайчук О.В. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: монографія ; під ред. дів. проф. Скобло Т.С. Харків: Діса плюс, 2019. 282 с.
4. Применение неразрушающего контроля для оценки качества отливок из серого чугуна / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Сайчук А.В. и др. *Агротехника и энергообеспечение: научно-практ. журнал*, 2015. №4 (8). С. 15-25.
5. Сайчук А.В. Отклонения в структурообразовании при производстве корпусных деталей. *Компрессорное и энергетическое машиностроение: научно-техн. и произв-ный. журнал*. 2014. №4 (38). С. 53-55.
6. Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Москва: 2012. №6 (78) . С.35-42.
7. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Белкин Е.Л. Эффективная технология восстановления корпусных деталей из серого чугуна методом заварки дефектов. *Сварочное производство: ежемес. научно-техн. и производств. журнал*. 2017. 12 (997). С. 33-39.
8. Печенкина Л.С. Влияние содержания структурообразующих компонентов на твердость малоуглеродистых белых чугунов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2017. С. 134-138.
9. Чайкин В.А., Каргинов В.П., Чайкина Н.В. Сравнительный анализ высокопрочных чугунов, полученных различными способами. *Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов: сб. докладов Литейного консилиума №2*. Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007. С. 100.
10. Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron. Skoblo T.S., Sidashenko O.I., Saichuk O.V. *Materials Science*, 2020. P.347–358.
11. Оценка степени деградации металла изделий в процессе эксплуатации / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Рыбалко И.Н, Марченко А.Ю., Тихонов А.В. *Технічний сервіс агропромислового, лісового і транспортного комплексів: міжн. наук. журнал*. 2018. №11. С. 49-59.

References

1. Stanovska, I., Duhanets, V., Prokopovych, L., & Yakhin, S. (2021). Classification rule for determining the temperature regime of induction gray cast iron. *eureka: Physics and Engineering*, P. 60-66 [in English].
2. Sidashenko, O.I. et al. (2015). Yzghotovlenye y obrabotka korpusnykh detalej yz chuhuna [Fabrication and processing of cast iron body parts]. *Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka : zb. nauk. pr. Seriiia : Resursozberihaiuchi materialy ta obladnannia v remontnomu vyrobnytstvi* – Bulletin of KhNTUSG them. P Vasylenko "Resource-saving materials and equipment in repair production, Issue 158, 126-133 [in Russian].
3. Skoblo, T.S., Sidashenko, O.I. & Sajchuk O.V. (2019). *Housing parts made of cast iron and their quality indicators*. Skoblo T.S. (Ed.). Xarkiv: Disa plus [in Ukrainian].
4. Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Sajchuk A.V. i et al. (2015). Primenenie nerazrushajushhego kontrolja dlja ocenki kachestva otlivok iz serogo chuguna [Application of non-destructive testing to assess the quality of gray iron castings]. *Агротехніка і енергообеспечение: Научно-практ. zhurnal – Agricultural technology and energy supply: scientific and practical journal*, №4 (8), 15-25 [in Russian].

5. Sajchuk, A.V. (2014). Otkloneniya v strukturoobrazovanii pri proizvodstve korpusnyh detalej [Deviations in structure formation in the production of body parts]. *Kompressorное i jenergeticheskoe mashinostroenie : Nauchno-tehn. i proizvodstv. zhurnal – Compressor and power engineering: scientific, technical and industrial journal, №4 (38)*, 53-55 [in Russian].
6. Skoblo, T.S., Klochko, O.Y. & Belkin, E.L. (2012). Primenenie komp'yuternogo analiza metallograficheskikh izobrazhenij pri issledovanii struktury vysokohromistogo chuguna [Application of computer analysis of metallographic images in the study of the structure of high-chromium cast iron]. *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov – Factory laboratory. Diagnosis of materials, 6 (78)*, 35-42. [in Russian].
7. Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I. & Belkin, E.L. (2017). Jeffektivnaja tehnologija vosstanovlenija korpusnyh detalej iz serogo chuguna metodom zavarki defektov [Effective technology of restoration of case details from gray cast iron by a method of welding of defects]. *Svarochnoe proizvodstvo: ezheмес. nauchno-tehn. i proizvodstv. zhurnal – Monthly scientific-technical and production magazine "Welding production", 12 (997)*, 33-39. [in Russian].
8. Pechenkina, L.S. (2017). Vlijanie soderzhanija strukturoobrazujushchih komponentov na tverdosť malouglerodistykh belyh chugunov [Influence of the content of structure-forming components on the hardness of low-carbon white cast irons]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta – Pechenkina LS Bulletin of the Voronezh State Technical University*, 134-138. [in Russian].
9. Chaikin, V.A., Karginov, V.P. & Chaikina, N.V. (2007). Sravnitel'nyj analiz vysokoprochnykh chugunov, poluchennykh razlichnymi sposobami [Comparative analysis of high-strength cast irons obtained in different ways]. *Teorija i praktika metallurgicheskikh processov pri proizvodstve otlivok iz chjornykh splavov: sb.dokladov Litejnogo konsiliuma – Theory and practice of metallurgical processes in the production of castings from ferrous alloys: Col. of reports of the Foundry Council, 2*, Chelyabinsk: Chelyabinsk Printing House [in Russian].
10. Skoblo T.S., Sidashenko O.I. & Saichuk O.V. (2020). Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron. *Materials Science*, P347–358 [in English].
11. Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Rybalko, I.N., Marchenko, A.Yu. & Tikhonov, A.V. (2018). Ocenka stepeni degradacii metalla izdelij v processe jekspluatacii [Assessment of the degree of degradation of metal products during operation]. *Tehničnij servis agropromislovogo, lisovogo i transportnogo kompleksiv: mizhn. nauk. zhurnal – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes: International scientific journal. Kharkiv: KhNTUSG, 11*, 49-59 [in Russian].

Viktor Avetisyan, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nadia Kolpachenko**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., Ph.D., assoc., **Vadym Manilo**, Assistant, **D. Ashchaurov**, post-graduate
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Olexandr Saichuk, Prof., DSc., **Olexandra Bilovod**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Yuliya Skoriak**, Assistant
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Analysis of the Quality of Structure Formation of Castings of Body Parts From Gray Cast Iron

The purpose of this article is to carry out a statistical analysis quality of structure formation of castings of body parts made of gray cast iron.

The magnetic method of non-destructive quality control of the coercive force was used as a criterion for the analysis of the quality under production conditions was carried out. The evaluation was carried out on two types of parts: transfer case housings and gear change housings made of SCH15, SCH18 and SCH20 cast irons, respectively. Both types of parts have similar wall thickness.

The observed phenomenon is associated with deviations in the method of injection the modifier (silicomanganese) and its uneven assimilation throughout the mass of the metal. Thus, according to local X-ray spectral analysis, the distribution concentration of these elements is especially inhomogeneous in castings with a higher level of coercive force (0,07...2.09% Si and 0,04...2.15% Mn). The shape of the inclusions is the same for different Hc. Despite the close concentration in the distribution of the main components over the cross-section of the castings, we found that the reason for the difference between multiple readings obtained when measuring the coercive force is an increased proportion of graphite inclusions, oxides and sulfides. The use of such a non-destructive control method will make it possible to identify zones in products with deviations in structure and to more thoroughly analyze the possibility of defect formation (pore and crack formation).

body castings, lamellar graphite, coercitimeter, micro-X-ray spectral analysis, thermoelectron emission, gray cast iron

Одержано (Received) 12.11.2021

Прорецензовано (Reviewed) 18.11.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021