

УДК 389.001:53.08:53.082

О.І. Шевченко, к.т.н.

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОЄМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Держспоживстандарт України, e-mail: soi_metrology@dssu.gov.ua

*У статті проаналізовано питання метрологічного забезпечення виробництва матеріалів для наукоємних виробів машинобудування.***Ключові слова:** метрологічне забезпечення, продукція з хрому та чавуну, покриття, теплофізичні характеристики**Вступ**

Для України, як великого постачальника за кордон металопродукції машинобудування, питання контролю якості цієї продукції має велике значення. Якщо якість товару доведено покупцю, то це принесе значний дохід. І навпаки, якщо якість продукції не доведена, то це принесе втрати. Тому слід приділяти більше уваги до метрологічного (МЗ) якості продукції у машинобудуванні, що і є темою цієї статті.

1. Метрологічне забезпечення виготовлення наукоємної продукції машинобудування.

Метрологічне забезпечення (МЗ) вимірювань та випробувань продукції з чавуну та хрому в Україні розглянуто недостатньо. Вироби з чавуну використовуються у машинобудуванні, суднобудуванні, будівництві тощо.

Технічні характеристики таких виробів з чавунів визначаються шляхом механічних випробувань на розривних машинах, акустоемісійних вимірювань, ультразвукової дефектоскопії, люмінесцентними та магнітними методами.

Прилади для визначення теплофізичних характеристик на Україні не виготовляються. Державні еталони та засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) для визначення теплофізичних характеристик у діапазоні до 600 °С відсутні. Калориметрія на Україні розвинена слабо. Теплофізичних методів та приладів для технологічного, неруйнівного контролю та дослідницьких вимірювань практично немає. Єдиний прилад, що випускався раніше і добре себе зарекомендував, – «Измеритель теплофизических свойств ИТС-400». Випробування жаростійких виробів із хрому відбувається переважно за тими ж методами, що і вироби з чавуну. Ультразвук використовується переважно з метою визначення наявності пор, раковин, розшарувань та неметалічних включень. Вимірювання технічних характеристик покриттів на цих металах практично не розвинене, оскільки немає приладів ні вітчизняних, ні закордонних. Актуальним є аналіз покриттів під час виробничого контролю. Закордонні прилади, які було придбано раніше, не повіряються та не ремонтуються. За останні роки до Показчика «Засоби вимірювальної техніки, занесені до Державного реєстру України» занесено вимірювачі адресії ПСО-1 МГ4 виробництва ООО «СКБ Стройприбор» Російської Федерації. Визначення параметрів кристалічної решітки цих металів відбувається за допомогою оптичних мікроскопів. Більшість стандартів на виготовлення сучасних марок чавунів і методів їх контролю прийнято більш як 20 років тому. Державні стандарти на ці види вимірювань відсутні як в Україні, так і у країнах СНД. Можливе застосування ультразвукового контролю, але немає державних стандартів, методик вимірювань, повірочних схем та еталонів. Вимірювання адресії покриттів тісно пов'язане з вимірюванням товщини цих покриттів, тобто це комплексна робота. Для цього виду вимірювань є єдиний ДСТУ ГОСТ 8.536:2009 у цьому виду вимірювань. До МЗ у більшості випадків відносять: забезпечення парком ЗВТ та можливостями перевірки та калібрування ЗВТ. Але не менш важливим є наявність стандартних зразків складу і властивостей матеріалів (СЗ) та стандартних довідкових даних для матеріалів (СДД). Ця робота в останні роки практично припинена. Однією з причин затримки створення СЗ є наступна. Вважається, що оскільки технологічний контроль прямо не віднесено до державного метрологічного нагляду (ДМН), то і немає необхідності перевіряти та атестувати державні СЗ на підприємствах під час технологічного контролю. Але такий підхід призводить до того, що коли випробовуються вироби з цих матеріалів під час сертифікації машин, обладнання та устаткування, ці вироби відносять до небезпечних, тобто таких, що підпадають під сферу ДМН, виявляється, що атестувати (повіряти) СЗ ні на чому. Наприклад, до Державного реєстру стандартних зразків в Україні занесений лише

один комплект ДСЗУ 083.26-2009 складу чавуна ливарного, переробного та легованого СН01-СН08 (комплект для спектрального аналізу). У Міждержавному реєстрі міждержавних стандартних зразків наявні такі СЗ (табл.1). Для хрому відсутні державні і міждержавні СЗ, зокрема для спектрального аналізу. Відсутні СДД властивостей чавунів, хрому та їх покриттів. При цьому саме питання повірки СЗ проблематичне, оскільки немає методик атестації (повірки) та повірочних схем.

Таблиця 1

Міждержавні стандартні зразки чавуну та хрому

№	Реєстраційний номер	Найменування МСЗ	Держава, організація розробник МСО, номер СЗ по національному реєстру
1	МСО 0109:1999	СО складу чавуну типу ПФЗ (ЧЗ)	Російська Федерація, ЗАО «ИСО», ГСО 1691-92П
2	МСО 0114:1999	СО складу чавуну типу П2 (Ч8)	ГСО 2909-92П
3	МСО 0117:1999	СО складу чавуну ливарного типу Л6 (Ч4)	ГСО 1690-93П
4	МСО 0118:1999	СО складу чавуну передільного типу П2 (Ч1)	ГСО 1302-93П
5	МСО 0219:2001	СО складу чавуну легованого типу ЧХЗТ (Ч15)	ГСО 8020-94
6	МСО 0220:2001	СО складу чавуну легованого типу ЧН4Х2 (Ч16)	ГСО 8021-94
7	МСО 0237:2001	СО складу чавуну передільного типів ПФ1, ПФЗ, П2, ПВКЗ (комплект СО ЧГ1 – ЧГ6)	ГСО 2482-92П – 2487-93П
8	МСО 0238:2001	СО складу чавунів легованих типів ЧХ1, ЧН2Х, ЧНХМД, ЧНХТ (комплект СО ЧГ12 – ЧГ17)	ГСО 7010-93
9	МСО 0225:2001	СО складу руди ферохрому типу ФХ100А (Ф35)	ГСО 7464-98
10	МСО 0226:2001	СО складу руди хромової типу ДХ-1-3 (Р14)	ГСО 430-93П

Складнощі виникають і при роботах з діагностування та моніторингу надійності та довговічності виробів. Наприклад, судини під тиском, мало того, що підлягають ДМН, але і роботу на цих об'єктах доручено виключно Держгірпромнагляду і відбувається вона з дозволу цього Комітету. Можна перерахувати деякі відомі високотехнологічні об'єкти: силові металоконструкції (стріли вантажопідйомних машин), судини під тиском, теплообмінні апарати (магістралі газів та рідин), механізми та машинне обладнання (насоси, компресори), трубопроводи парогенератори та ін. Несправності та дефекти у цих системах призводять до небажаних та небезпечних наслідків. Існують стандарти ГОСТ 22.2.04-97 та ГОСТ 22.2.05-97, у яких підкреслюється необхідність мати СЗ та СДД. Звичайно, що якщо під час виробництва ці СЗ та СДД не було створено, то під час експлуатації та аварій немає можливості забезпечити виконання стандартів. У цих стандартах відзначається: «Використання мір у засобах контролю для оперативної повірки; використання додаткової інформації від декількох джерел, а також додаткових зв'язків між параметрами об'єкту для визначення виходу метрологічних характеристик за допустимі межі; використання методів індивідуального прогнозування змін метрологічних та точнісних характеристик за результатами обмежених статистичних даних». Звичайно, що в зазначених умовах і відсутні міри, і зміни метрологічних характеристик виходять за допустимі межі; і кількість проведених вимірювань обмежена і непрогнозована. З роками під час експлуатації надійність виробів зменшується. Для робіт з проведення моніторингу надійності споруд та конструкцій вкрай необхідні СЗ. Тобто відбувається протиріччя вимог МЗ на виробництві та МЗ наступного життєвого циклу цих виробів. З вищезазначеного випливає питання, що до МЗ відносяться і сертифікація, уповноваження та атестація вимірювальних і випробувальних лабораторій. До цього часу не вирішено належним чином питання розмежування галузей атестації (акредитації) вимірювальних лабораторій та лабораторій з неруйнівного контролю. Вимірювальна лабораторія може бути атестована у сфері ДМН, але не допущена до робіт на об'єктах Держгірпромнагляду. У цьому плані можна відмітити наступні протиріччя. По-перше, протиріччя між метрологічними вимогами до виробів, наприклад, з чавуну, та умовами їх експлуатації. Вимоги до МЗ виробів набагато менші, ніж вимоги до експлуатаційних характеристик. Тобто метрологічні характеристики не забезпечують експлуатаційних характеристик. По-друге, вони слабо корелюють між собою. Наприклад, для виготовлення прогресивних марок чавуну існують стандарт ДСТУ 3925-99 та ДСТУ 3926-99.

Для чавуна з кулястим графітом існують такі вимоги: підвищена корозійна стійкість у газовому, повітряному та лужному середовищах і умовах тертя та зносу; жаростійкість у повітряному середовищі; стійкість проти абразивного зносу, найбільша стійкість проти ударно абразивного зносу та стирання; стійкість до дії неорганічних кислот великої концентрації та ін.

Звісно, що вимоги до чавуну у стандарті ДСТУ 3925-99, а саме: тимчасовий опір розриву під час розтягування σ_b , відносне видовження δ , структура графіту в чавуні, умовна границя плинності $\delta_{0,2}$, твердість за Брінелем, не мають прямого відношення до зазначених експлуатаційних характеристик. Не є фактом, що вимоги, яких не вистачає, будуть зазначені у стандарту на виробі, тим більше, для постачання на експорт. Таким чином, сертифікаційні випробування не будуть мати МЗ. Аналогічна ситуація у ДСТУ 3926-99. Наведених в стандарті вимог до технічних характеристик недостатньо для забезпечення експлуатаційних характеристик: деталей загального машинобудування, що працюють при підвищених циклічних механічних навантаженнях, та які працюють при змінних підвищених температурах і механічних навантаженнях.

Магнітопорошковий та люмінесцентний контроль у машинобудуванні до цього часу залишається органолептичним, без використання ЗВТ та приладів контролю. Це обмежує використання цих методів в умовах конвеєра.

Надійність виробів машинобудування значною мірою залежить від рівня МЗ та впровадження нових методів вимірювань та контролю.

У роботі Суслова А.Г. [1] відмічається, що наукоємні технології – це ті, що базуються на останніх досягненнях науки. Системність передбачає взаємозв'язок всіх елементів технологічної системи, в тому числі МЗ. Наукоємні технології є результатом фундаментальних та прикладних досліджень [1]. Актуальність розвитку вимірювань тісно пов'язана з розвитком наукоємних технологій. Недоліком метрологічного забезпечення є недостатня кількість вимірювальних перетворювачів підвищеної роздільної здатності. Відповідно відсутні необхідні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), повірочні схеми, СЗ, СДД. За останні роки рівень наукових досліджень із створення сучасних ЗВТ для контролю сучасної продукції машинобудування знизився.

Після 90-х років виробники ЗВТ для контролю продукції машинобудування залишились за межами України або припинили своє існування. Впровадження міжнародних стандартів виявило деякі проблеми у проведенні сертифікації продукції машинобудування.

Вироби з чавуну. Історично склалося, що науковий потенціал був переважно задіяний при розробці виробів зі сталі. Що стосується виробів з чавуну, то досліджень його теплофізичних та механічних властивостей представлено менше. Інтерес до виробів з чавуну збільшився зі створенням марок високоміцного чавуну з кулястим та вермикулярним графітом. Технології створення цих чавунів є більш складними, збільшилися вимоги до технології лиття, параметрів модифікаторів та механічних властивостей. МЗ вимірювань та випробувань продукції з чавунів в Україні залишається на низькому рівні.

Технічні характеристики виробів з чавуну визначаються механічними випробуваннями на розривних машинах, акустичними вимірюваннями, ультразвуковою дефектоскопією, люмінесцентними та магнітними методами.

На вимірювання теплофізичних характеристик є декілька стандартів: на вимірювання теплопровідності але переважно для низької до 20 Вт/(м·К) ДСТУ ГОСТ 8.140:2009 та ДСТУ ГОСТ 8.141:2009, та на вимірювання теплоємності.

Прилади для визначення теплофізичних характеристик на Україні не виготовляються. Державні, вторинні та вихідні еталони теплофізичних характеристик для завдань, окреслених у цій статті, відсутні. Калориметрія на Україні розвинена слабо. Теплофізичних методів та приладів для технологічного, неруйнівного контролю та дослідницьких вимірювань практично немає. Науково-дослідні розробки у наукових установах не стандартизовані. З роками під час експлуатації надійність виробів зменшується.

2. Шляхи вдосконалення метрологічного забезпечення

Наведемо, наприклад, номенклатуру виробів автомобіля КАМАЗ: КРЗМ – картер редуктора заднього моста; маточина переднього колеса; МЗК – маточина заднього колеса; Башмак ресори; картер переднього моста; маточина. У таблицях 2 та 3 наведено технологічні вимоги до чавунів за ДСТУ 3926-99 та ДСТУ 3925-99.

У ДСТУ 3925-99 наводяться вимоги до хімічного складу чавуну.

ГОСТ 24648-90 містить вимоги для проб та зразків чавуну з пластинчастим, кулястим, вермикулярним і ковким графітом. У ГОСТ 1412-85 наведено вимоги: до тимчасовому під час розтягнення σ_{MPa} , твердість за Брінелем. У додатку наводяться фізичні властивості чавуна з

пластинчатим графітом: щільність, лінійна усадка, питома теплоємність, коефіцієнт лінійного розширення, теплопровідність, а також масова частка елементів: вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, сірки. У ГОСТ 27208-87 наводяться вимоги до зразків: випробувань на розтягування, стискання, та згибання, твердості за Брінелем.

Таблиця 2

Метрологічні характеристики вермикулярного чавуну

№	Метрологічна характеристика	Стандарти на випробування
1	Тимчасовий опір розриву під час розтягання σ_B , МПа (кгс/мм ²)	ГОСТ 9012-59 [9]
2	Відносне видовження δ , %	ГОСТ 9012-59
3	Структура графіту в чавуні	ГОСТ 3443 [10]
4	Умовна границя плинності МПа $\delta_{0,2}$ (кгс/мм ²)	
5	Твердість за Брінелем	ГОСТ 9012-59

Таблиця 3.

Метрологічні характеристики чавуну з кулястим графітом

№	Метрологічна характеристика	Стандарти на випробування
1	Тимчасовий опір під час розтягання σ_B , МПа (кгс/мм ²)	ГОСТ 9012-59
2	Умовна границя плинності МПа $\delta_{0,2}$ (кгс/мм ²)	
3	Відносне видовження δ , %	ГОСТ 9012-59
4	Структура графіту в чавуні	ГОСТ 3443-87
5	Твердість за Брінелем	ГОСТ 9012-59
	Ударна в'язкість КСУ кДж/м ²	

ГОСТ 3443-87 розповсюджується на чавуни конструкційного призначення та встановлює методи визначення структури сірого чавуну з пластинчатим графітом, високоміцного чавуну з кулястим та вермикулярним графітом, ковкого чавуну з компактним графітом. У цьому стандарті зазначається: *шкала 1* для пластинчатого графіту – форма, довжина, розподіл та кількість включень графіту; *шкала 2* для вермикулярного графіту: форма, розподіл, кількість включень графіту; *шкала 3* для високоміцного чавуна з кулястим графітом: форма, діаметр, розподіл кількості включень графіту; *шкала 4* ковкого чавуну з компактним графітом: форма, діаметр включень графіту.

Аналізую ситуацію з МЗ цієї галузі в Україні, слід відмітити, що у каталозі стандартів України розподілено стандарти відповідно до міжнародної класифікації:

- 17.000.00 Метрологія та вимірювання. Фізичні явища.
- 17.200.00 Термодинаміка та вимірювання температури.
- 17.200.01 Термодинаміка взагалі.
- 17.200.10 Теплоота. Калориметрія.
- 17.140.00 Акустика й акустичні вимірювання.

Що стосується механічних випробувань то на Україні крім державної повірочної схеми випробувань за Брінелем ДСТУ 3870-99 відсутні державні, вторинні еталони та повірочні схеми на похідні одиниці механічних випробувань, що зазначено у вищенаведених стандартах.

У роботі Цуркіна В. Н. [2] описується сучасний стан контролю якості литого металу: спочатку аналізуються окремі властивості, які характеризують якість лиття, а потім характеризують їх сукупність у вигляді деякого комплексу. На цьому питанні необхідно зупинитися більш детально. Питання щодо того яким чином аналізувати взаємозв'язок фізичних показників та показників якості, комплекси метрологічних, фізичних характеристик та їх параметрів з метою визначення кореляції цих комплексів та якості продукції є важливим. Звичайно використовують багатофакторні планування експериментів за допомогою математичної статистики. Але для виробів машинобудування, зокрема литих, цей підхід малоприйнятний, оскільки марок чавуну є багато, а СЗ та СДД недостатньо, є широке поля допуску виготовлення виробів у хімічному складі та умовах литва. Вимірювання механічних та теплофізичних експлуатаційних характеристик робиться з великою похибкою, якісні характеристики кожного виробу у партії характеризується великим розкидом. Якість виробу залежить не тільки від марки чавуну але й від умов тверднення, габаритів виробу, умов його обробки. Характеристики не систематизовано, стандартів на ці вироби не існує. Довідники з машинобудування наводять орієнтовні метрологічні характеристики, як правило, з наукової літератури. Тобто складні математичні прогнозування та побудова якісних моделей не окуплять затрат на їх застосування, і не мають широкого спектру достеменних СДД. Паліативним

вирішенням цього питання може бути математичне планування окремих найбільш важливих комплексних параметрів та аналіз якості експертним шляхом з використанням досвіду фахових працівників літєйного виробництва. У табл. 4 наведено характеристики, які можуть бути використано при формуванні комплексних параметрів для технології виготовлення чавунів.

Таблиця 4

Метрологічні характеристики сірого, вермикулярного та високоміцного чавуну

Марка	σ_b , МПа	λ , Вт/(м·К)	Відносне вдовження, δ , %, не менша	Твердість за Брінелем, НВ	Питома теплоємність, Дж/(кг·К) при температурі від 20 до 200 °С	Щільність, кг/м ³
ГОСТ 1412-85				Для товщини стінки 8 мм		
СЧ10	100	60	–	200	460	6800
СЧ15	150	59	–	224	460	7000
СЧ18	180	–	–	–	–	–
СЧ20	200	54	–	240	480	7100
СЧ21	210	–	–	–	–	–
СЧ24	240	–	–	–	–	–
СЧ25	250	50	–	255	500	7200
СЧ30	300	46	–	270	525	7300
СЧ35	350	42	–	290	545	7400
Таблиці DPVA.info 3 [3]	–	54,43	–	–	502,4	–
Чудаков Е.А. [4]	–	55,4 ÷ 58,6 (100 °С)	–	–	–	–
Изосимов В.А. [5]	–	50-60	–	–	–	–
ГОСТ 28394-89						
ЧВГ30	300	–	–	–	–	–
ЧВГ35	350	–	–	–	–	–
ЧВГ40	400	–	–	–	–	–
ЧВГ45	450	–	–	–	–	–
ЧВГ 500-1 ДСТУ 3925-99		500	1	200-250	–	–
Изосимов В. А. [5]		42-50	–	–	–	–
ГОСТ 7293-85						
ВЧ35	350	–	22	140–170	–	–
ВЧ40	400	–	15	140–202	–	–
ВЧ 420-12 ДСТУ 3925-99	420	–	12	140–217	–	–
ВЧ45	450	–	10	140–225	–	–
ВЧ 450-5 ДСТУ 3925-99	450	–	5	160–220	–	–
ВЧ50	500	–	7	153–245	–	–
ВЧ 500-2 ДСТУ 3925-99	500	–	2	180–260	–	–
ВЧ60	600	–	3	192–277	–	–
ВЧ70	700	–	2	228–302	–	–
ВЧ80	800	–	2	248–351	–	–
ВЧ 900-2 ДСТУ 3925-99	900	–	2	280-360	–	–
ВЧ100	1000	–	2	270–360	–	–
Изосимов В. А. [5]		25-35	–	–	–	–

Якщо додатково проводити технологічний контроль чавуну за ГОСТ 1412-85, тобто, за теплопровідністю, теплоємністю та питомою щільністю, комбінованою характеристикою (комплексом) є коефіцієнт теплової активності $\alpha = \lambda \cdot c \cdot \rho$; λ – коефіцієнт теплопровідності,

$\frac{Вт}{м \cdot К}$; c – питома теплоємність, $\frac{Дж}{кг \cdot град}$; ρ – щільність матеріалу, $\frac{кг}{м^3}$. Якщо контролювати чавун за температуропровідністю, розрізнити марки не можливо, тому що з ростом марки

щільність зростає, теплоємність зростає, а теплопровідність падає. А якщо контролювати за тепловою активністю, зростають три характеристики: λ , c і ρ . Контроль матиме більш розрізнявальну здатність. Актуальним може бути розробка математичних та фізичних моделей тверднення злитків з урахуванням всіх теплофізичних, механічних та метрологічних характеристик ГОСТ 24648-90 та ГОСТ 1497-84.

У роботі [6] аналізується комплексний зв'язок вуглецевого еквіваленту з якістю та пористістю чавуну. Цей приклад може бути використано при виявленні та створенні комплексних технологічних та метрологічних характеристик, які описують найбільш суттєві показники якості виробу. Теплофізичні та механічні характеристики та їх комбінації суттєво впливають на механізм тверднення литого металу. Ці механізми різні і залежать від товщини стінок виробу.

У роботі [1] відмічається, що теплота, яка виникає у зоні різання і тертя у станках, викликає температурні деформації заготовки та інструмента. При цьому від 60 до 90 відсотків теплоти переходить у заготовку, що викликає її нагрівання та деформацію. Це призводить до порушення технологічного режиму обробки та додаткових похибок у розмірах і деформації фізико-механічних властивостей поверхні виробу. У роботі [1] відмічається важливість вивчення поверхневого шару деталі та вплив методів підготовки поверхні на тертя, зношеність, довговічність та надійність, корозійну стійкість. У роботі [7] зазначається про тісний взаємозв'язок товщини покриття хрому на чавуні та механічними напруженнями у покритті.

Хром. Випробування жаростійких виробів із хрому відбувається в основному за тими ж методами, що і для чавуну. Ультразвук використовується переважно з метою визначення наявності пор, раковин, розшарувань, неметалічних включень. Оскільки хром дуже крихкий матеріал, то ультразвук найбільш чутливий до виявлення тріщин та внутрішніх дефектів.

На основі вищесказаного можна запропонувати роботи з покращення МЗ: розробка та прийняття «Класифікатора дефектів металоконструкцій», розробка марочника сучасних чавунів, розробка СДД та СЗ на вищесказану продукцію; прийняття стандартів на комплекс технологічних, теплофізичних, механічних та експлуатаційних характеристик чавуну, хрому та покриттів на них.

Висновки

1. Наведено аналіз метрологічного забезпечення наукоємної продукції машинобудування, зокрема виробів з чавуна, хрому та покриттів на основі цих металів.
2. Показана важливість вивчення теплофізичних характеристик під час лиття чавуну, хрому та наступних технологічних процесах обробки виробів.
3. Запропоновано шляхи покращення надійності: визначення комплексних технічних та технологічних характеристик виробів (комплексів), які найбільш чутливі до якості цих виробів.
4. Показано важливість створення СЗ, СДД, класифікаторів дефектів, стандартів із зазначенням комплексів механічних, теплофізичних та експлуатаційних характеристик та вимог до якості для виробів. Відмічено недостатність вивчення похідних одиниць які використовуються у виробництві та технології.

Список літературних джерел

1. Суслов А. Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительной специальности вузов / А.Г.Суслов // – 2 изд. Перераб и доп. М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.
2. Цуркин В. Н. Концепция управления качеством литого металла / В.Н. Цуркин Металл и литье Украины. – 2008, № 9. – С. 20–22.
3. Инженерный справочник. Таблицы DPVA.info. <http://www.dpva.info/search/>.
4. Чудаков Е.А. Справочник машиностроителя. Т. 2. Машиностроение. М.: 1952. – 1096 с. <http://www.menc.ru>.
5. Изосимов В.А., Суркин В. И., Изосимов А.В. Высокопрочный чугун с вермикулярным графитом – перспективный материал для изготовления поршней двигателя Д-180. "Вестник ЧГАУ", том 35, 2001. http://www.rsl.npp.ru/articles/cast-iron/article_103.html.
6. Соляков Д.А. Болдин А.Н. Углеродный эквивалент – универсальный показатель технологических свойств чугуна / Д. А. Соляков, А. Н. Болдин.// Литейное производство. – 2008.– № 2. – С.12.
7. Черкез М. Б. Хромирование и железнение. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, М.- Л –1958. – 86 с.