

Electron microscopy of reaction layers between SiC and Ti-6Al-4V after laser embedding // Acta mater. – 1998. – Vol. 46. – No.17. – P. 6205-6217. 6. Olesinski R.W., Abbaschian G.J. C–Si (Carbon–Silicon) // Binary Alloy Phase Diagrams. 2nd ed. Metals Park : ASM International. – 1990. – Vol. 1. – P. 882–883. 7. Murray J.L. The C–Ti (Carbon–Titanium) System // Phase diagrams of binary titanium alloys. – Metals Park, Ohio. – 1987. – P. 47-51. 8. Goretzki H. Neutron diffraction studies on titanium–carbon and zirconium–carbon alloys // Phys. Status Solidi. – 1967. – Vol. 20. – K141–K143. 9. Touanen M., Teyssandier F., Ducarroir M. Theoretical approach to chemical vapour deposition in the atomic system Ti–Si–C–Cl–H // Journal of materials science letters. – 1989. – №8. – P. 98-101. 10. Brukl C.E. Ternary phase equilibria in transition metal–boron–carbon–silicon systems (VII). – Springfield, IL. – 1998.

УДК 621.74.04:669.112.22

Ю.Ю. Жигуц

Ужгородський національний університет,
кафедра технології машинобудування,

СІРІ І БІЛІ СПЕЦІАЛЬНІ ТЕРМІТНІ ЧАВУНИ

© Жигуц Ю.Ю., 2003

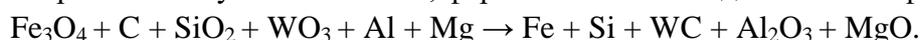
Розглянуто проблеми, пов'язані із синтезом чавунів металотермією. На основі дослідної методики розраховується певний склад шихти термітних чавунів. Особливості металотермічного плавлення призводять до необхідності дослідження механічних властивостей і структур отриманих чавунів, досліджено також вплив легуючих домішок на термітний чавун.

The given paper deals with the problems of the synthesis of cast iron by metallothermy synthesis. On the basis of investigated method of calculations structures of charges have been arranged and cast iron have been synthesized further. Peculiarities metallothermic smelting was found, mechanical properties and structure of received cast iron were investigated, and assimilation alloying elements for cast iron.

При вирішенні проблеми створення нових та поліпшення властивостей традиційних матеріалів успішно можна застосовувати сплави, отримані способом спалювання екзотермічних порошкових сумішей. Саме тому їх синтез і дослідження впливу способу отримання на мікроструктуру, хімічний склад, механічні властивості виготовлених виливків набувають великого практичного значення. Це передусім стосується синтезу сплавів на базі комбінованих процесів, які поєднують у собі стадію саморозповсюджувального високо-температурного синтезу і металотермічну.

Метою роботи було встановлення можливості отримувати якісні машинобудівні матеріали (сірі та білі спеціальні чавуни) металотермічними способами, а також встановлення властивостей і структури, особливостей хімічного складу синтезованих сплавів.

При організації процесу синтезу сталей і чавунів алюмінотермією використовуються класичні термітні реакції, засновані на окисленні алюмінію і відновленні заліза [1]. Схема для отримання досліджених чавунів комбінованими процесами при використанні інгредієнтів – порошкових сумішей металів, феросплавів та оксидів показана формулою



Задача полягала у тому, щоб розробити методику розрахунку складу шихти на основі стехіометричного співвідношення компонентів реакції із коригуванням їх за рахунок відповідних коефіцієнтів, що враховують засвоєння легуючих елементів металом.

Ця методика дозволяє встановити склад металотермічних шихт і розрахувати адіабатичну температуру її горіння. Головною умовою процесу є необхідність мати реальну температуру горіння шихти вище температури плавлення шлаку [2 – 4] (для Al_2O_3 – 2400 К).

Матеріали і методика проведення експерименту. Для визначення маси металевого зливка і виходу металу з шихти були проведені мікроплавки при масі шихти 200 – 300 г у металевому тиглі діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання горіння проводилося спеціальним титановим запалом, виготовленим з порошку титанового хімічного ПХ-2 ТУ 48-10-78-83. Випробовування на розтяг виконувалося за ГОСТ 1215-59 на машині УМ-20 на взірцях, виготовлених з нижньої центральної частини отриманих виливків. Твердість досліджували на приладі Бріннеля та Роквела за ГОСТ 9012-59.

Металографічні дослідження проводили на мікроскопі МИМ-8М із збільшенням 100 – 1350 разів. Заготовки для шліфів виготовляли з головок взірців, вилитих для механічних випробовувань.

При виконанні роботи були використані матеріали: сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14-7-24-80), порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-4 ГОСТ6058-73, просіяне мливо алюмінієвої стружки, лігатури феросиліцію ФС75, феромарганцю ФМн75, ферохрому ФХ100А; феромолібдену ФМО55А, порошкового Ні та ін.

Порошкову шихту просушували, перемішували, ущільнювали і після цього розміщували у металотермічному тиглі.

Таким чином було синтезовано термітні чавуни: сірі, білі, зокрема нелеговані і низьколеговані.

Сірий спеціальний термітний чавун. Сірі чавуни отримувати металотермічними способами достатньо просто. Необхідно при цьому враховувати, що у зв'язку з високим перегріванням сплаву в умовах мікроплавлень виникає швидке охолодження, і, як наслідок, приводить до мартенситної або голчастої структури. Саме ці структури виявляють найвищу зносостійкість.

Сірий термітний чавун добре обробляється різанням, незрівнянно краще ніж відбілений і білий чавуни. Склад шихти для синтезу, хімічний склад синтезованих чавунів та механічні властивості показано у табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Хімічний склад шихти для синтезу сірого термітного чавуну

№ з/п	Електродний порошок, %	Феросиліцій ФС75	Феромарганець ФМн75	Порошковий Ні	Ферохром ФХ100А; феромолібден ФМО55А*	Залізоалюмінієвий терміт
1	4,0 – 4,2	1,6 – 2,0	1,3 – 1,6	4,2 – 4,8	0,4 – 1,1	решта
2	4,0 – 4,2	3,3 – 3,8	1,0 – 1,5	4,0 – 4,5	0,7 – 1,4	решта
3	4,0 – 4,2	1,6 – 2,0	3,8 – 4,3	4,8 – 5,3	0,9 – 1,6	решта
4	4,0 – 4,2	1,6 – 6,0	4,0 – 4,3	5,5 – 6,1	–	решта
5	4,0 – 4,2	2,0 – 2,7	4,3 – 5,1	5,5 – 6,0	0,7 – 1,4*	решта

*Позначено лігатуру, яку вводили в шихту окремо.

У чавунах 1, 2 мартенситна структура утворюється одразу при металотермічній плавці без відповідної термообробки, що найшвидше пов'язано із зміщенням критичних точок за рахунок легування Ні. Чавун 3 отримується із значним відбіленим шаром матеріалу. Чавуни 4, 5 (табл. 2) вміщують значну кількість аустеніту, але після відпуску для структури мартенситу встановлена твердість знаходилася у межах 280 – 310 НВ.

Хімічний склад і твердість мартенситного сірого чавуну

№ з/п	Вміст елементів, %							Твердість, НВ	
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr і Mo	у литому стані	після відпуску*
1	3,0 – 3,2	1,2 – 1,5	1,0 – 1,2	<0,05	<0,1	4,2 – 4,8	0,3 – 0,8 Cr	390 – 430	–
2	3,0 – 3,3	2,5 – 2,8	0,7 – 1,1	<0,05	<0,1	4,0 – 4,5	0,5 – 1,0 Cr	370 – 440	–
3	3,0 – 3,2	1,2 – 1,5	2,7 – 3,2	<0,1	<0,1	4,8 – 5,3	0,7 – 1,2 Cr	270	390 – 400
4	3,0 – 3,2	1,2 – 1,5	3,0 – 3,2	<0,1	<0,1	5,5 – 6,1	–	280 – 292	–
5	3,0 – 3,3	1,5 – 2,0	3,2 – 3,8	<0,05	<0,1	5,5 – 6,0	0,5 – 1,0 Mo	290 – 310	–

*Відпуск проводився при 550°C протягом 12 год.

Мартенсит у сірому термітному чавуні отримується без додаткової термообробки (гартування) і цей ефект зменшується при збільшенні маси шихти [5]. Фактично це дає змогу для термітних мікроплавок суттєво зменшувати вміст легуючих елементів (Mn і Mo), не викликаючи при цьому тріщин при гартуванні.

Чавун, отриманий термітним способом, можна умовно віднести до марок сірого чавуну не нижче СЧ30, а після гартування в чавунах 4 і 5 границя міцності на розтяг знаходилася на рівні не менше 510 МПа.

Синтезовані чавуни мають твердість НВ280 – 340 і непогано оброблюються різанням.

Для встановлення впливу вуглецю на механічні властивості термітного легованого чавуну проведено мікроплавки, у яких змінювався вміст вуглецю у шихті, що з урахуванням засвоєності графіту термітним сплавом дало залежність, показану на рис. 1. Контрольні проби вміщували 2,1 – 2,3 % Si, 14 – 17 % Cr.

При вмісті вуглецю 1,6 – 1,8 % спостерігалось збільшення міцності термітного чавуну, у той час як твердість для діапазону концентрацій 1,8 – 3,8 % С послідовно зростала.

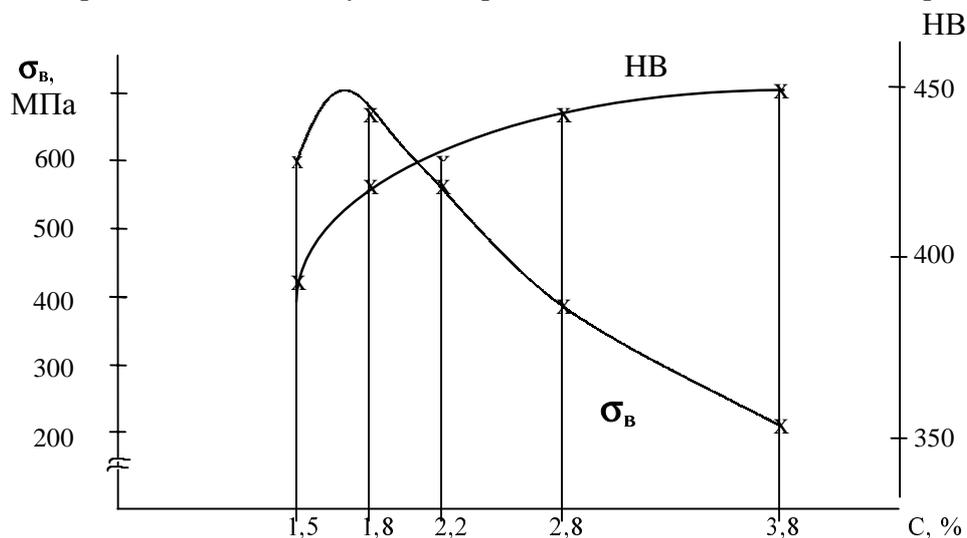


Рис. 1. Залежність твердості і міцності термітних жароміцних чавунів від вмісту С у сплаві

Введення хрому суттєво змінює властивості спеціальних чавунів. Наприклад, для низькохромованого термітного чавуну збільшення Cr до 1% у сплаві призводить до зміни σ_B на ~50 МПа, а твердості на 54 НВ, що показано на рис. 2. Контрольна плавка мала такий хімічний склад (в %): 3,1 C, 1,5 Si, 1,0 Mn, 0,5 P, 0,06 S.

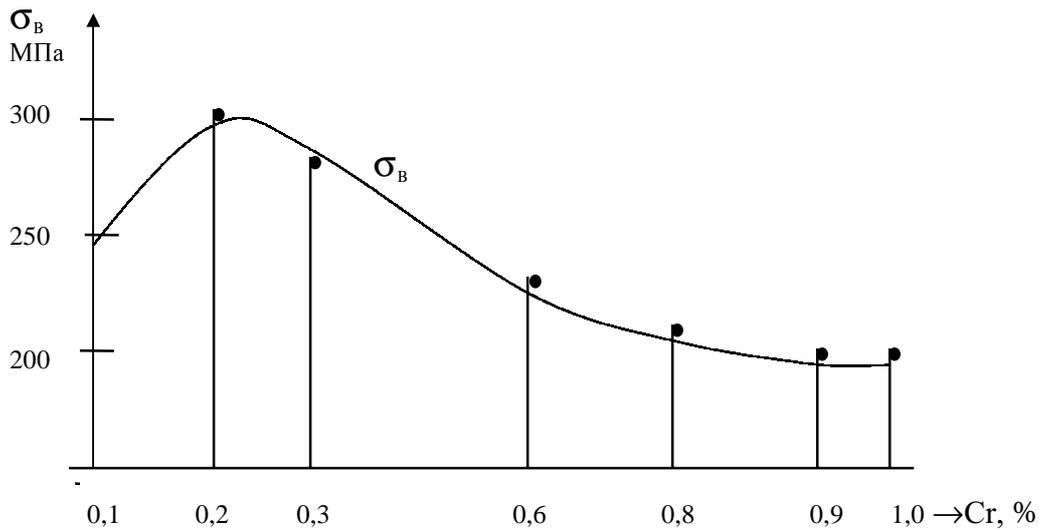


Рис. 2. Залежність міцності термітних низькохромових чавунів від вмісту Cr

Окалиностійкість термітних низьколегованих чавунів залежно від вмісту Cr при 400 °С характеризується (рис. 3) її зростанням із збільшенням вмісту Cr до 1,45 у сплаві, при зростанні твердості на 85 НВ (рис. 4). Контрольна плавка вміщувала (в %): 2,9 – 3,0 % С; 2,03 % Si. Дослідження окалини хромистих чавунів, показало в ній значний вміст Fe₂O₃ (при співвідношенні до оксиду FeO – 80:20).

Збільшення вмісту хрому понад 1 % призводить до погіршення ливарних властивостей термітних чавунів, хоча при цьому рідкотекучість все одно достатньо висока (табл. 3).

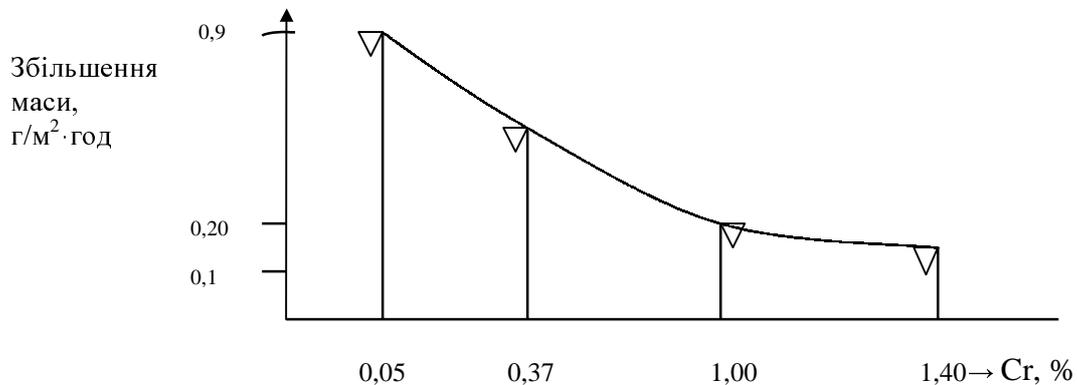


Рис. 3. Окалиностійкість термітного низькохромованого чавуну

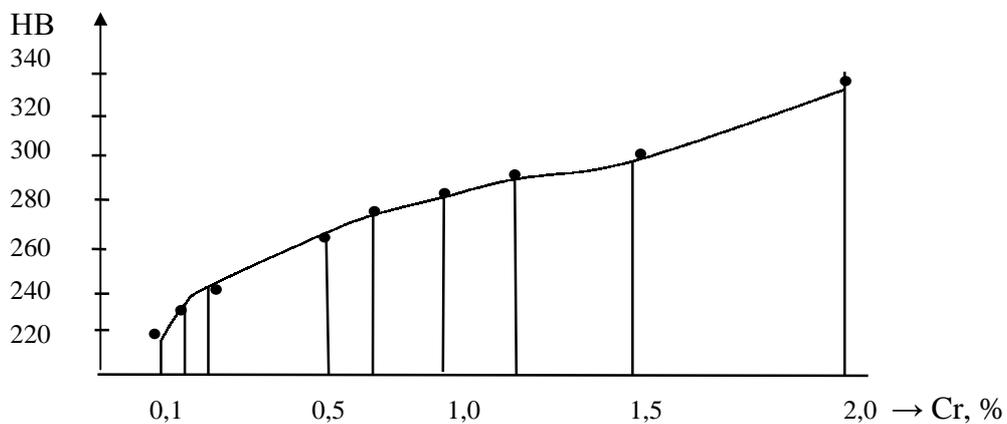


Рис. 4. Залежність твердості (НВ) термітних чавунів від вмісту в них хрому

Одночасно із погіршенням рідкотекучості для хромованих чавунів зростає лінійна усадка (див. табл. 3).

Таблиця 3

Рідкотекучість і лінійна усадка термітного хромованого чавуну

№ з/п	Марка	Температура заливки, °С	Довжина спіральної проби, мм	Усадка, %
1	Сірий чавун	1350	1450 – 1500	1,1 – 1,25
2	ЖЧХ-08	1350	1200 – 1250	1,32
3	ЖЧХ-1,5	1350	1150 – 1200	1,38
4	ЖЧХ-2,5	1350	1150 – 1200	1,55

При заливанні піщано-глиняних форм термітним хромованим чавуном спостерігалось зростання усадкової раковини, яка збільшувалася пропорційно вмісту хрому.

Особливістю термітних хромованих чавунів була схильність до утворення тріщин, що властиво металотермічному способу отримання сплаву.

Зносостійкість отриманих чавунів можна порівняти за табл. 4. Еталоном для порівняння була вибрана зносостійкість вуглецевої сталі марки У8.

Дані табл. 4 свідчать про зростання умовної стійкості для мартенситного термітного чавуну і значне зростання для термічно обробленого легованого чавунів.

Необхідно відмітити, що механічні властивості термітного чавуна кращі, ніж відповідні властивості промислового хромованого чавуну, очевидно, у зв'язку із додатковим мікролегуванням алюмінієм, який обов'язково входить у склад шихти.

Таблиця 4

Зносостійкість спеціальних термітних чавунів

№ з/п	Термітний матеріал	Умовна величина стійкості
1	Вуглецева сталь (аналог сталі У8)	100
2	Термічно оброблений легований чавун	85
3	Мартенситний чавун	50
4	Легований Cr і Mo мартенситний чавун	40

Аналіз показує, що у поверхневому шарі термітних чавунів вміст цементиту не менше 50 %, що дає мікротвердість від 1000 до 1050 HV. Одночасно із зростанням вмісту легуючих елементів проходять послідовні зміни у структурі, від перлітної до мартенситної, що, в свою чергу, приводить до підвищення як твердості, так і зносостійкості.

Білий термітний чавун. При синтезі білого термітного чавуну враховують необхідність отримати високу температуру у зоні реагування компонентів шихти, тому Cr і Mn вводять не у вигляді феросплавів, а як оксиди Cr_2O_3 , CrO_3 , MnO , MnO_2 .

Перлітна матриця такого чавуну вміщує карбіди Cr і Fe. При значному градієнті температур в умовах термітних мікроплавів білий чавун отримується досить просто, одночасно він є найдешевшим з розглянутих видів чавунів, але зносостійкість його менша, ніж легованого.

Введення додатково в шихту навіть незначної кількості хрому у порошковому вигляді або у вигляді низьковуглецевого ферохрому значно підвищує зносостійкість вказаного чавуну. Методами рентгеноструктурного аналізу в структурі цих чавунів виявлено крім карбідів Fe_3C та $(Fe,Cr)_3C$, карбіди $(Fe,Cr)_7C_3$, які забезпечують твердість ~ 15000 МПа. Властивості деяких марок термітних чавунів показано у табл. 4, а мікроструктури білого чавуну, що затверднув при різних швидкостях охолодження, показано на рис. 5.

Для покращення ливарних властивостей і якості виливків з термітного чавуну форму нагрівали до 150 – 200 °С, а крім цього проводили термообробку отриманих виливків за на-

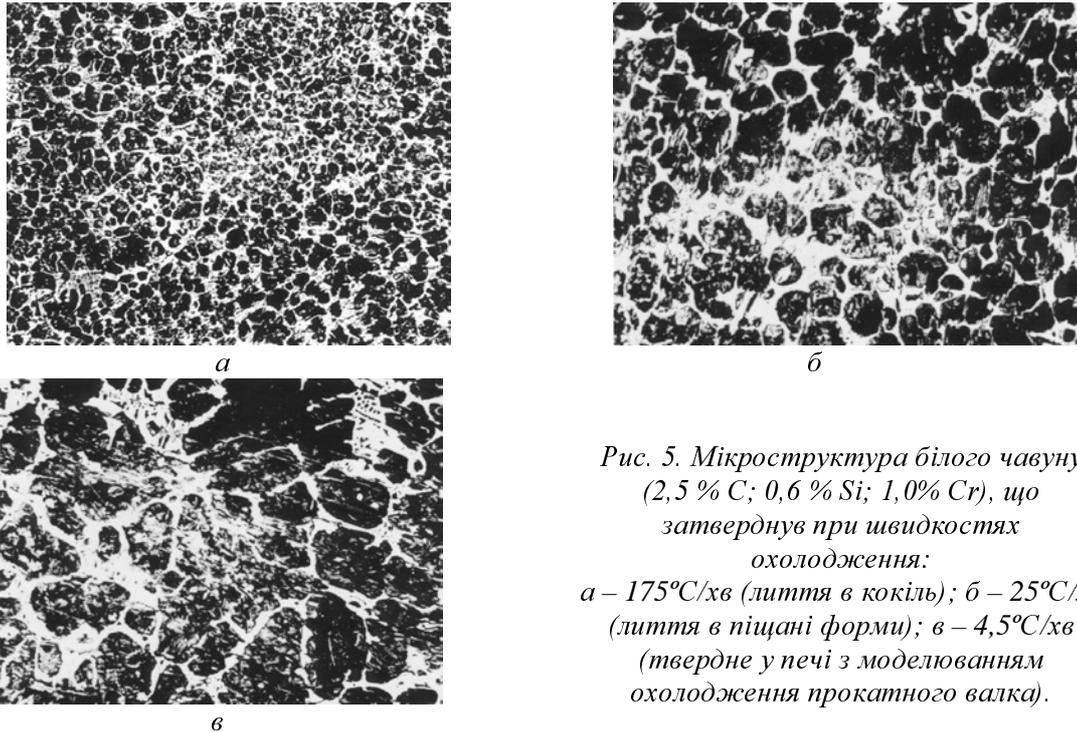


Рис. 5. Мікроструктура білого чавуну (2,5 % С; 0,6 % Si; 1,0% Cr), що затверднув при швидкостях охолодження:
 а – 175°С/хв (лиття в кокіль); б – 25°С/хв (лиття в піщані форми); в – 4,5°С/хв (твердне у печі з моделюванням охолодження прокатного валка).

ступним режимом: завантаження у піч при 250 °С і витримка не менше 2,5 – 3 год при забезпеченні швидкості нагрівання ~100°С/год.

Імовірність графітизації виливків з термітних чавунів при синтезі сплаву алюміно-термічним шляхом значно зменшується у зв'язку із значним градієнтом температур і високими швидкостями тепловідводу.

Особливістю виливків з білого чавуну є низька їх оброблюваність і схильність навіть при обробці шліфуванням до утворення мікротріщин. При литві ці сплави схильні до утворення як гарячих, так і холодних тріщин (саме тому виливки з термітних білих чавунів не бажано піддавати подальшій механічній обробці).

Висновок

Теоретично й експериментально показано принципова можливість термітного виплавляння сірих та білих чавунів, встановлено їх механічні властивості, мікроструктура та деякі технологічні і службові властивості (а саме, рідкотекучість та зносостійкість). Дослідження цих термітних сплавів показало, що мікроструктури їх більш дрібнозернисті порівняно із промисловими сплавами, а механічні властивості відрізняються підвищеною міцністю і пластичністю за рахунок мікролегування алюмінієм з шихти.

Термітні чавуни мають властивості навіть кращі, ніж у чавунів, виготовлених ординарними методами.

Розроблені склади термітних сумішей можна використовувати і в технології термітних ливарних додатків високого температурного градієнта [6].

1. Беляев А.И. Николай Николаевич Бекетов. – М.: Металлургиздат, 1953. – С. 137.
2. Фасонное литье из термитной стали / Золковер М.З., Гридунов А.С., Бильницкий-Бируля С.О. и др. – М.: Дориздат, 1950. – 48 с.
3. Жигуц Ю.Ю., Рибак В.Я. Синтез швидкокорізальних сталей “комбінованими” (СВС+металотермія) методами / Знання України, 1994. – С. 133.
4. Zhiguts Yu.Yu. Thermit Smelting of Cooper Alloys/Acta metallurgica Slovaca / Kosice Rošník 5. – No. 2. – 1999. – P. 419 – 421.
5. Жигуц Ю.Ю. Ресорно-пружинні термітні сталі // Машинознавство, Львів. – 2002. – № 10. – С. 50 – 52.
6. Жуков А.А., Новохацький В.А., Жигуц Ю.Ю., Гольдштейн В.А. Термітні прибули для питання отливок из высокопрочного чугуна / Литейное производство. – М., 1988. – № 7. – С. 32 – 33.