УДК: 620.22: 669.017

Ю.Ю. Жигуц, В.Ю. Талабірчук
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМІТНИХ МІДНИХ СПЛАВІВ

В роботі розглядаються можливості синтезу матеріалів "нетрадиційними" технологіями, які засновані на металотермічних процесах. Особлива увага звернута на термітні суміші для отримання мідних сплавів – бронз і їх практичного використання в промисловості. В роботі досліджені особливості синтезу, структура і механічні властивості термітних латуней і бронз.

Ключові слова: *металотермія, синтез, терміт, латунь, бронза, властивості, мікроструктура.*

Ю.Ю. Жигуц, В.Ю. Талабірчук

ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗА И СВОЙСТВА ТЕРМИТНЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

В раюоте рассматриваются возможности синтеза материалов "нетрадиционными" технологиями, которые основаны на металлотермических процессах. Особенное внимание обращено на термитные смеси для получения медных сплавов – бронз и их практического использования в промышленности. В работе исследованы особенности синтеза, структура и механические свойства термитных латуней и бронз.

Ключевые слова: *металлотермия, синтез, термит, латунь, бронза, свойства, микроструктура.*

Yu. Zhiguts, V. Talabyrchuk

THE TECHNOLOGY OF SYNTHESIS TERMITE COPER ALLOYS

The article under consideration deals with the possibilities of creating materials at the expense of "non-traditionally" technology, which basic, metallotermy synthesis. A special attention is being paid to termite mixtures in order to get copper alloys – bronzes and their practical application in production. In this papers investigated of the specific of synthesis, microstructure and mechanical properties of termite brass and bronzes. The essence of this technology is rather simple: powder–like ingredients of slag are being charged into a metallothermic reactor and are being using a special kind of ignition. When combustion is over an ingot is being formed on the lover part of the reactor. Slag is collected in the higher part (because of the considerable different in density). The scheme of this process has suggested a new technology under which we were able to overlag an instrumental plate directly on the base of metal – chamber from of the metallothermic reactor with a plate – gasket made of aluminium. The calculated composition of metallothermic charge for copper alloys took into consideration activity coefficients of separate components of the reaction. On the basis of this we have stated adiabatic burning temperature of the mixture and have corrected chemical composition of the charge. In order to get metallothermic samples microstructure, grain member and mechanical properties (hardness, strength) and porosity have been investigated. The technology of exothermic additions will high temperature gradient for bronze melting was successfully used in experimental–industrial conditions at the Bar machine–building plant. While using this type of mixture in the result of its high-temperature burning heating up of neighboring to exothermic charge bronze formations takes place. In general it should be noted that, in spite of the increased price of mixture components, the above–described technology has considerable advantages: the absence of complex and expensive equipment (melting furnaces, powerful sources and generators of electricity), full autonomy, high productivity and speed of response (it takes only some minute to get alloy at mixture combustion). These advantages make it possible to widely use this technology in the conditions of no specialized production.

Keywords: *metallothermy, synthesis, thermite, brass, bronze, properties, microstructure.*

У 30-х роках минулого століття вперше був запропонований промисловий спосіб отримання термітних сплавів. Для синтезу мідних сплавів та для їх зварювання найбільш доцільним може бути алюмінотермічний спосіб, який полягає у послідовному відновленні порошковим алюмінієм міді з її оксиду. Незважаючи на підвищену вартість синтезованого мідного сплаву висока продуктивність методу, можливість проведення реакції синтезу за лічені хвилини, а також перспективи суттєвого підвищення економічності технології в результаті використання вторинних відходів металургійного та металорізального виробництв, дозволяють використовувати термітні сплави при екстреному виготовленні виливків, ремонті або й зварюванні. Безапеляційною перевагою вказаних методів і технологій синтезу є енергетична автономність (відсутність потреби у промислових джерелах електроенергії) і простота обладнання для проведення синтезу. Все вказане призвело до необхідності встановлення можливостей синтезу мідних сплавів – латуней та бронз та синтезі вказаних сплавів з необхідною мікроструктурою та потрібним комплексом фізико-механічних властивостей.

Мета роботи. Встановити можливість синтезу латуней і бронз металотермічним відновленням міді та легуючих елементів з їх оксидів із заданою мікроструктурою та комплексом фізико-механічних властивостей.

Постановка завдання роботи: 1. Встановити можливість синтезу латуней і бронз металотермічним способом. 2. Дослідити структуру та властивості вказаних сплавів. 3. Отримати

© Ю.Ю. Жигуц. В.Ю. Талабірчук

експериментальною технологією зразки виливків та встановити їх умови промислового використання.

Матеріали та методика встановлення складу металотермічної шихти. При компонуванні металотермічної шихти використані матеріали: хром металічний ГОСТ5905-79; ферохром ФХ65-7А ГОСТ 4757079; силікокальцій С40Л10 ГОСТ 4762-71; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-6 ГОСТ 6058-73; феромарганець ФМн70 ГОСТ4761-80; феротитан ФТи30А ГОСТ4761-80; порошки хімічно чисті олова, цинку, свинцю; залізна окалина ковальського виробництва з середнім хімічним складом (% за мас.): 0,05 *C*; 0,10–0,35 *Si*; 0,10–0,35 *Mn*; 0,01–0,03 *S*; 0,01–0,03 *P*; 40–50 Fe_2O_3; 50–60 *FeO*.

При організації процесу синтезу мідних сплавів використовують класичні термітні реакції [1-5], засновані на окисленні алюмінію і відновленні міді. Для встановлення складу шихти розроблено методику розрахунку на основі стехіометричного співвідношення компонентів реакції із введенням відповідних коефіцієнтів, що враховують їх засвоєння сплавом. Методика встановлення складу шихти для синтезу мідних сплавів складається з трьох послідовних етапів. На першому етапі визначають стехіометричне співвідношення компонентів у реакціях. Реакція взаємодії описується формулами:

$$3CuO + 2Al = Al_2O_3 + 3Cu\,, \tag{1}$$

$$2Zn+O_2=2ZnO, \tag{2}$$

$$3Pb_3O_4 + 8Al = 4Al_2O_3 + 9Pb\,. \tag{3}$$

На другому етапі встановлюють адіабатичну температуру горіння шихти та виокремлюють ті реакції синтезу, що дозволяють синтезувати матеріал з рідкого стану. На третьому етапі після експериментальних мікроплавлень встановлюють коефіцієнти засвоєння окремих компонентів шихти та коригують її склад.

Ця методика дозволяє не тільки встановити склад металотермічних шихт, але і розрахувати адіабатичну температуру їх горіння [2,6]. Теоретичні роботи виконані авторами виявили клас реакцій найбільш придатних для синтезу латуней марок Л60, Л70, ЛК80 та бронз Бр ОЦС5-5-5, Бр АЖ10-4 та ін.

Порошкову шихту просушували при температурі 150–180^{o}С, змішували і ущільнювали. При проведенні досліджень використовували порошкові інгредієнти металотермічної шихти, частку з яких виготовляли з відходів ливарного, ковальського та металорізального виробництв (залізна окалина, просіяне мливо графітових електродів, мливо алюмінієвої, латунної та бронзової стружок та ін.) [2,4,6,7]. Крім цього у роботі використані методи металографічного кількісного аналізу, застосовані стандартні методи визначення основних технологічних характеристик вихідних порошків та фізико-механічних властивостей матеріалів.

Результати теоретичних та експериментальних дослідження. Після встановлення реакцій синтезу, апробації розрахованих складів шихт мікроплавленнями та корекції складів шихт, були проведені плавлення відповідних термітних мідних сплавів із подальшим отриманням виливків у моделях промислових заготовок масою 350 г. Випробування виконані на промислових зразках, що дозволило встановили хімічний склад термітних латуней, показаний у табл. 1 та їх властивості, зведені у табл. 2.

Таблиця 1.

Хімічний склад термітних ливарних латуней

Марка латуні	Хімічний склад							Механічні властивості	
	Cu	*Zn*	*Fe*	*P*	*Pb*	*Sb*	*Bi*	$\sigma_в$, МПа	δ, %
Л60	57-61	Решта	0,3	0,02	0,8-1,9	0,01	0,003	200	-
Л70	68-72		0,1	0,001	0,07	0,005	0,002	300-400	12-15
Л80	79-81		0,1	0,1	0,03	0,005	0,002	250-300	10-15

© Ю.Ю. Жигуц. В.Ю. Талабірчук

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що властивості синтезованих сплавів не гірші, ніж промислових. Насамперед це стосується томпаків (аналогів Л80 та Л70), відносна пластичність та ударна в'язкість яких на 12% більша ніж у ординарних матеріалів.

Таблиця 2.

Фізико-механічні властивості ливарних латуней при 20°С

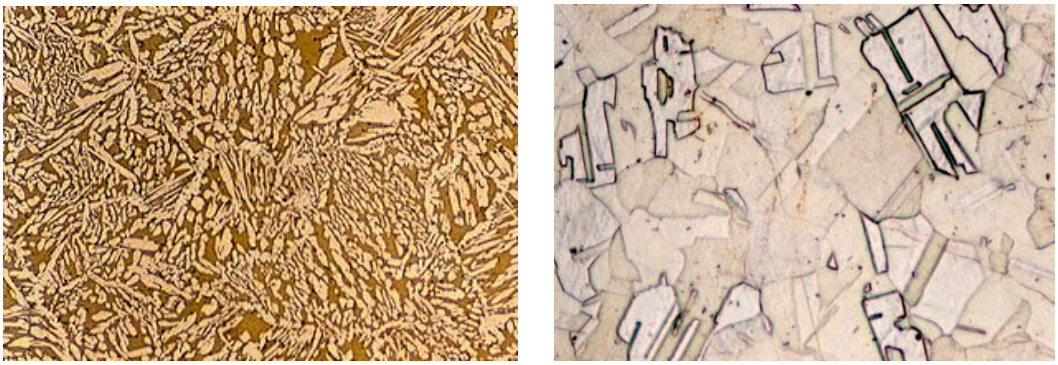
Основні властивості	Марка латуні		
	Л60	Л70	Л80
Температура ліквідусу, °С	885	995	900
Модуль Юнга, $E \cdot 10^{-5}$	1,05	1,16	1,14
устина, $x10^3$, кг/м^3	20	8,5	8,5
Коефіцієнт лінійного розширення, $x10^{-6}$, 1/°С	20,1	-	17
Питомий електричний опір, $\rho \cdot 10^9$, Ом·м	66	74	43
$\sigma_в$, МПа при:			
20°С	350	350	400
200°С	370	-	400
300°С	260	-	40
400°С	230	-	300
δ_{10}, % при:			
20°С	40	15	20
200°С	43	-	22
300°С	-	-	17
400°С	28	-	17
$\sigma_Т$, МПа	150	-	160
$\alpha_н$, МПа	4,6	-	12,3
Твердість (*НВ*)	85	90	105
Лінійна усадка, %	2,23	-	1,7
Коефіцієнт тертя у парі зі сталлю:			
з оливою	0,013	-	0,01
без оливи	0,17	-	0,19

Мікроструктурний аналіз синтезованих сплавів встановив присутність невеликих роздрібнених різнонапрямлених за первинними дендритами евтектичні структури (рис. 1, а). Це свідчить про порівняно повільні швидкості охолодження та незначний градієнт температур при синтезі сплавів. Очевидно, що домішки та додаткова присадка (до 50%) порошку відповідної латуні «охолоджують» розплав до температур близьких до лінії ліквідусу і призводять до незначного перегріву сплаву. Слід також врахувати і технологію отримання сплаву, пов'язану із використанням порошкового алюмінію, який мікролегує розплав, надаючи йому дрібнозернисту структуру. Мікроструктури синтезованих термітних мідних сплавів показано на рис. 1, а механічні властивості зведені у табл. 2.

На рис. 1, *а* показана структура термітного аналога латуні Л60 з геометрично правильним розташуванням окремих структурних складових у вигляді пластин або голок, що становлять кристалічні зерна. Така структура утворюється при повільному охолодженні сплаву термітної латуні. Для термітного аналога сплаву Л70 можна відмітити блокову структуру (рис. 1, б). На рис. 1, в показано мікроструктуру отриману для термітної латуні (аналога промислової марки Л70) при гартуванні водою з температури 500°С. В ній чітко проявляється відманштеттова стрічкова структура характерна для високих швидкостей охолодження або перегріву сплаву.

Врівноважена структура латуні Л90 (рис. 1, г) характеризується кластерами з чітким виокремленням границь зерен. При збільшенні у сплаві вмісту свинцю збільшується і кількість темних вкраплень.

© Ю.Ю. Жигуц. В.Ю. Талабірчук



а **б**

Рис. 1. **Мікроструктура термітної латуні: а) аналог Л60 (х200), б) аналог Л90 (х300). Для виявлення мікроструктури використаний метод Клемма**

Аналіз структури латуней та встановлені механічні властивості дозволяють зробити висновок, що синтезовані відповідні марки термітного сплаву не поступаються за своїми властивостями промисловим маркам.

На другому етапі дослідження виконані авторами для двох марок бронз Бр ОЦС5-5-5 і Бр АЖ 10-4 [4,7-10]. Розроблений склад екзотермічної суміші відносився до композитів, горіння яких генерує рідкий розплав. Склад металотермічної шихти для бронзи БрОЦС 5-5-5 визначався з термохімічного розрахунку: *Sn* – 4,19%; *Zn* – 4,19% (у вигляді гранул), а також *Al* – 16,52%, Pb_3O_4 – 4,5%, *CuO* – 70,54% (у вигляді порошку). Теоретично розрахована адіабатична температура горіння екзотермічної суміші склала 3300 К. У результаті металотермічної реакції відновлення свинцю, міді та окислення алюмінію виділялась значна кількість тепла, яка дозволяла отримати мідний сплав із значним перегрівом. Для зменшення температури горіння шихти у її склад вводилася стружка бронзи Бр ОЦС5-5-5 (у кількості 100% від маси), що при зменшенні температури синтезованого сплаву "штучно" збільшувало вихід його з шихти. Таким чином вдалося запобігти і надлишкового випалювання дорогих компонентів екзотермічної шихти мідного сплаву і використати відходи металообробного виробництва [4,11,12]. В результаті горіння спеціальної металотермічної шихти в реакторі утворювався рідкий високоперегрітий мідний сплав, який надалі, після вловлювання шлаку, зливався у форму виливка.

Аналогічні розрахунки здійснені і для отримання термітного сплаву Бр АЖ9-4. Шихта складалася з *CuO, Al,* Fe_2O_3. Визначено співвідношення між кінцевими продуктами реакції і компонентами суміші (у % за масою): *CuO* – 12,5, Fe_2O_3 – 3,81, *Al* – 23,7. Загальний тепловий ефект реакції складає 400,34 ккал або 1668,1 кДж.

Механічні властивості синтезованих марок бронз зведено у табл. 3.

Таблиця 3.

Механічні властивості синтезованої термітної бронзи

Марка сплаву	σ_b, МПа	Твердість, *HRC*	δ, %
Бр ОЦС 5-5-5	240	27	19,3
Бр АЖ 10-4	310	34	12,1

Мікроструктурний аналіз експериментальних сплавів показав рівномірно розподілені вкраплення свинцю у виливку термітного аналога бронзи БрОЦС5-5-5. Після травлення бронзи проявилася дендритна структурна мікросегрегація у центральній частині виливка де можна побачити ядро мідної фази, яке є центром зростання дендритних стовбурів. Результат дослідження механічних властивостей синтезованих термітних бронз показано в табл. 3.

Як відомо, особливістю метало термічних технологій є простота переходу від лабораторних експериментів до промислового виробництва, при цьому у великих об'ємах значно покращуються показники процесу протікання металотермічної реакції. Тому, можна зробити висновок, що 68,6% виходу металу металотермічного виливка від теоретично розрахованого, може бути доведено до більш значного показника при проведенні плавлень у металотермічних реакторах з більшим об`ємом завантаженої шихти.

© Ю.Ю. Жигуц. В.Ю. Талабірчук

Таблиця 3.

Фізико-механічні властивості термітних бронз

Марка бронзи	Бр ОЦС5-5-5	Бр АЖ10-4
Модуль пружності *E, МПа*	9300	11600
Густина, кг/м^3	8800	7500
Температура початку плавлення, °С	1020	1040
Відносний опір, ρ, (Ом·мм^2)/м	-	0,12
Теплопровідність, кал/(см·с·°С)	0,12	0,14
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°С	19,2	16,2
Границя пружності $\sigma_{0.005}$, МПа	300-450	
Границя текучості $\sigma_{0.2}$, МПа	520-680	
Границя міцності $\sigma_в$, МПа	240	310
Відносне видовження, δ, %	19,3	12,1
Твердість *HRC*	27	34
Ударна в'язкість, *KCU*	26	

Дослідно-промислова апробація синтезованих термітних бронз. Об'єктом дослідження при промисловій апробації синтезованих термітних сплавів були ливарні бронзи, що використовувалися для виготовлення корпусу крана Р-6 [4]. Теоретичною основою розв'язання задачі підвищення гідрогустини виливків корпусу крана Р-6 служать розробки екзотермічних порошкових сумішей для підігріву сплаву додаткової частини виливків шляхом ініціювання в них процесу горіння і підтримання процесу такого горіння.

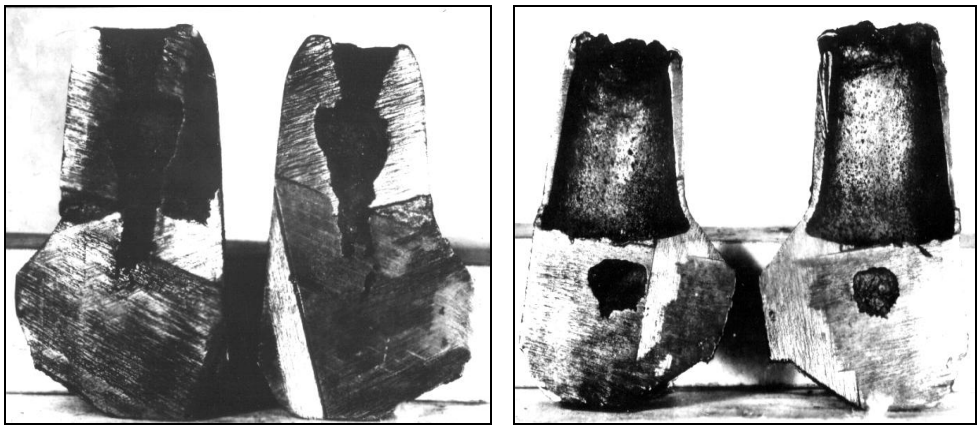
Експериментальні дослідження проводилися на Барському машинобудівному заводі. Вони складалися з експериментальних плавлень, хімічного, спектрального, металографічного аналізів, механічних випробувань, випробувань на гідрогустину [11, 12]. У зв'язку із малою температурою кипіння цинку і шкідливістю парів олова, для промислового використання була створена видозмінена екзотермічна суміш, у якій окиснювачами служили тільки оксид міді і свинцевий сурик. Цинк і олово додавалися у вигляді порошкового металу. Екзотермічна суміш при горінні якої, синтезувався термітний сплав, тотожний за хімічним складом залитому у форму, додатково розігрівав суміш для екзотермічних додатків виливків "корпусу крана" Р6 010401-Б масою 2,55 кг із Бр ОЦС5-5-5 ГОСТ 613-79. Маса додатку виливка 0,4 кг.

При використанні розробленого складу екзотермічної суміші в результаті високої температури її горіння відбувається розігрівання сусідніх до екзотермічної шихти шарів бронзи і заповнення перегрітим рідким розплавом усадкової раковини. Небезпеки надлишкового перегріву сплаву під додатком виливка та зміну за рахунок цього його хімічного складу і фізико-механічних властивостей вдалося запобігти завдяки пізнішому спрацьовуванню металотермічного заряду (приблизно через 1–1,5 хвилини після закінчення заливки сплаву у форму), що призвело до розігрівання верхньої частини додатка виливка після початку кристалізаційних процесів у зоні під додатком. В результаті суттєво зменшилася ефективна маса бронзового сплаву, що використовувалася для додатку (на 70% від маси стандартного додатку – рис. 2). Встановлені на трефах механічні властивості отриманих бронзових кранів за дослідною технологією показані у табл. 4.

Запропоновані заходи дали позитивний ефект не тільки з точки зору економії рідкої бронзи за рахунок зменшення маси ливарних додатків, але і для підвищення гідрогустини крану. Також при використанні розроблених складів шихти для синтезу термітної залізоалюмінієвої бронзи була випробувана технологія термітних ливарних додатків високого температурного градієнта в умовах Барського машинобудівного заводу для виливка "корпус насоса" з БрАЖ10-4 масою 7,2 кг (маса ливарного додатку 0,7 кг). Результати апробації технології використання екзотермічної суміші показані в табл. 5.

Таким чином, застосування технології екзотермічних ливарних додатків для бронзових виливків підвищило щільність виливка "корпус крану Р6", виготовленого за експериментальною технологією, знизило не менше ніж на 60% масу додатку виливків, зменшило брак за усадковими дефектами, що дало зростання виходу сплаву на 15% і суттєвий економічний. Як відомо, особливістю металотермічної реакції є простота переходу від лабораторних експериментів до

промислового виробництва, при цьому у великих об'ємах значно покращуються показники протікання процесу горіння шихти.



а б

Рис. 2. **Форма ливарного додатку корпуса крана Р6 виготовленого традиційною технологію (а) і за допомогою металотермічного додатка високого температурного градієнту (б)**

Таблиця 4.

Механічні властивості зразків вирізаних з корпусів кранів, виготовлених за дослідною технологією

Марка сплаву	Міцність ($\sigma_в$), МПа	Твердість, (*HRC*)	Пластичність (δ), %
Бр ОЦС 5-5-5	275	30	17,1
Бр АЖ 10-4	315	39	10,3

Таблиця 5.

Результати використання екзотермічних сумішей для ливарних додатків бронзових виливків "корпус крану Р6 010401–Б" і "корпус насосу"

Склад екзотермічної суміші	Маса екзотермічної суміші, кг	Маса "звичайного" ливарного додатку, кг	Маса термітного додатку[1], кг	Результати перевірки партії виливків ВТК
Екзотермічна суміш, виготовлена з порошкових Fe_2O_3, CuO і Al	0,120	0,7	0,3	без браку
Екзотермічна суміш, виготовлена з порошкових Sn, Pb_3O_4 CuO, Al і Zn	0,080	0,4	0,2	без браку

[1]Середня маса додатку в партії з 4 виливків.

Третім напрямом застосування розроблених складів шихт та розплавів є розроблена автором технологія метало термічного зварювання мідних сплавів за допомогою спеціального двокамерного металотермічного реактора з економною системою використання легуючих елементів. Верхня камера реактора служить для синтезу мідного розплаву, а нижня – для його легування та модифікування. Після проплавляння мідної пластинки товщиною 0,5 мм розплав зливається у нижню камеру, модифікується і легується, а після проплавляння алюмінієвої сітки, попадає в порожнину зварювання заготовок з мідного сплаву. Незначний надлишок алюмінію у вигляді слідів до 0,002 % виявлений у зварюваному шві, грає позитивну роль, сприяючи відновленню оксидної мідної плівки на поверхнях, що підлягають зварюванню. Заготовки перед зварюванням додатково прогріваються до 250-300°С для видалення вологи та зменшення градієнта температур між розплавом і заготовками. Все це суттєво впливає на однорідність основного матеріалу заготовок, зони термічного впливу та зварюваного шва. Про це свідчать дані

механічного випробування отриманих швів та результати ультразвукового дослідження на пристрої УЗУ-2М. Внутрішні пори, тріщини, розриви – відсутні.

Висновки. Проведені експериментальні і дослідно-промислові роботи дозволили зробити такі висновки: 1. Встановлена можливість синтезу металотермічним способом термітних латуней та бронз. 2. Розроблено склади шихт для синтезу відповідних мідних сплавів. 3. Досліджено мікроструктуру та фізико-механічні властивості синтезованих мідних сплавів. 4. Проведено дослідно-промислову апробацію синтезованих матеріалів на промислових виробах. 5. Запропоновано основні галузі використання складів шихт і синтезованих сплавів. 6. Встановлено, що використання синтезованого сплаву у технологіях термітних ливарних додатків високого температурного градієнту покращує не тільки економічні показники ливарного процесу, піддодаткову зону виливка, але й гідро густину виливків.

Список використаних джерел

1. Боровинская, И.П. Процессы горения в химической технологии и металлургии / И.П. Боровинская, Н.П. Новиков. Черноголовка, 1975. – 141 с.

2. Жигуц, Ю. Ю. Технологія одержання та властивості термітних чавунів легованих міддю [Текст] / Ю.Ю. Жигуц, В.Ю. Талабірчук // Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2015. – № 49. – С. 62 - 65.

3. Zhiguts, Yu. Thermites mixture for feeling of the bronze casting [Текст] / Yu. Zhiguts // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : збірник наук. праць. – 2009. – № 8. – С. 169 - 172.

4. Жигуц, Ю.Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами [Текст] / Ю.Ю. Жигуц, В.Ф. Лазар. – Ужгород: Видавництво «Інвазор», 2014. – 388 с.

5. Жигуц, Ю.Ю. Получение бронзовых отливок с использованием экзотермических реакций [Текст] / Ю.Ю. Жигуц, В.И. Похмурский // Процессы литья. – К.: – 2003. – № 1. – С. 37 - 41.

6. Жигуц, Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48 - 50.

7. Жигуц, Ю.Ю. Матеріали, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] / Ю. Жигуц, В.І. Похмурський // Доп. НАН України. Сер. Математика, природознавство, техн. науки. – 2005. – № 8. – С. 93 - 99.

8. Жигуц, Ю. Ю. Синтез термитных бронз [Текст] / Ю.Ю. Жигуц, В.И. Похмурский // Теория и практика металлургии. К.: 2005. – № 1/2. – С. 118 - 121.

9. Жигуц, Ю.Ю. Технология использования экзотермических смесей для повышения гидроплотности бронзовых деталей [Текст] / Ю.Ю. Жигуц // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2005. – № 29. – С. 80 - 87.

10. Zhiguts, Yu. Yu. Exotermikus keverékek alkalmazása a bronz hidrosűrűségének növelésére [Текст] / Yu.Yu. Zhiguts, V.I. Pohmurszkij, V.V. Fedák, R.Zs. Tárczy // Müszaki szemle. – Budapest. – 2005. – № 29. – O. 38 - 40.

11. Жигуц, Ю.Ю. Особенности использования термитных литейных прибылей высокого температурного градиента для бронзовых оливок [Текст] / Ю.Ю. Жигуц, Я.П. Легета, І.І. Крайняй, Т.Т. Фелдеші // Perspektywiczne opracowania nauki i techniki : 2 miedzynarodowej naukowi-praktycznej konf., 16-30 listopada 2007 r. : materialy konf. – Przemyśl : Nauka i studia, 2007. – T. 10. – S. 5 - 7.

12. Zhiguts, Yu. Špeciálna termitova liatina [Текст] / Yu. Zhiguts // Výrobné inžinierstvo. Košice. – 2007. – R. 6. – № 2. – S. 45 - 48.

Рецензент

Опачко Іван Іванович, зав. кафедри електронних систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет», док. фіз.-мат. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2019

© Ю.Ю. Жигуц, В.Ю. Талабірчук