

І.Е. Скідін, ст. викл.
О.М. Жбанова, ст. викл.
Л.Н. Світгарєєв, к.т.н, доц.
В.В. Ткач, к.т.н., доц.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

В.Т. Калінін, д.т.н, проф.

«Національна металургійна академія України»

Дослідження впливу металевого наповнювача термітної шихти на якісні показники сплаву, наплавленого методом СВС

Для наплавлення покриття на поверхню металевих виробів зазвичай використовують зварювання. Цей процес є трудомістким, потребує багато часу та не дозволяє одночасно отримувати з'єднання по усій площині виробу. Застосування саморозповсюджуючого високотемпературного синтезу (СВС) для отримання рідкого термітного сплаву може стати економічно доцільною альтернативою виробництва біметалевих виробів. У статті наведено обґрунтування технологічних параметрів процесу наплавлення на металеву основу, шару сталі або чавуну, отриманого у результаті СВС, товщиною понад 5 мм, проведення комплексного дослідження впливу складу екзотермічної шихти і її початкової температури, вивчити яка кількість теплоти витратиться на плавлення металевого наповнювача, з дозуванням 20, 30 і 40 % у терміт, з подальшим наплавленням отриманого розплаву на металеву основу, з якісними показниками. Вивчається попереднє підігрівання термітної шихти в діапазоні температур 298, 473, 673, 873К, що сприяє збільшенню надлишку тепла, з додаванням в терміт більшої кількості металевого наповнювача, підвищити вихід годного сплаву, та попередити в наплавці виникнення дефекту «Газова раковина».

Ключові слова: високотемпературний синтез; терміт; наплавка; біметал; шихта; технологія; зварювання.

Постановка проблеми. Екзотермічне наплавлення представляє собою процес нанесення на поверхню металевої деталі рідкого розплаву заданого хімічного складу та температури, одержуваних в результаті екзотермічної реакції металу-відновника з оксидом заліза. В якості компонентів термітної шихти використовується окалина прокатного виробництва, порошки алюмінію та металевий наповнювач з порошків заліза заданого хімічного складу.

Знання температури реакції дозволяє визначити в якій фазі знаходяться продукти реакції: тверда, рідка, газоподібна. Особливе негативне значення має наявність газової фази, оскільки вона виникає від надлишку теплоти в системі, що виділилась при протіканні реакції. Щоб уникнути дефектів і втрат заліза при кипінні сплаву, можна додавати різні металеві добавки, що знижують температуру системи, за рахунок надлишку теплоти розплавляється і перейдуть в сплав. Це дозволить збільшити вихід придатного сплаву, отримувати його із заданою температурою і додати певні властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті досліджень [1] була встановлена теплотворна здатність термітної суміші на основі Fe_2O_3 і FeO , що притікала за реакцією (1,2). Аналіз літератури показує що температура горіння термітних сумішей залежить від кисню, який знаходиться в окисі заліза. Якщо застосовувати Fe_3O_4 , Fe_2O_3 і FeO , то згідно [2,3], температура горіння суміші з Fe_3O_4 вища, ніж з Fe_2O_3 і FeO . Адіабатична температура реакції згідно [3,4,5,6] у термітній суміші враховує наявність лише двох оксидів FeO і Fe_2O_3 .



Тепло від реакцій можна використовувати для плавлення металевих порошків.

Мета дослідження. Актуальним завданням є обґрунтування технологічних параметрів процесу наплавлення на металеву основу, шару сталі або чавуну, отриманого у результаті СВС, товщиною понад 5 мм. Проведення комплексного дослідження впливу складу екзотермічної шихти і її початкової температури, вивчити яка кількість теплоти витратиться на плавлення металевого наповнювача, з дозуванням 20, 30 і 40 % у терміті, з подальшим наплавленням отриманого розплаву на металеву основу, з якісними показниками. Також при виконанні робіт вивчається попереднє підігрівання термітної шихти в діапазоні температур 298, 473, 673, 873К для здобуття надлишку теплоти.

Викладення основного матеріалу. Термодинамічні розрахунки для термітної суміші з FeO і Fe_2O_3 були проведені з використанням програми АСТРА 4, за допомогою якої були отримані: ентальпія системи, теплоємність, кількість теплоти що виділилась. Вивчено вплив температури нагріву

екзотермічної суміші на виділення надлишкової теплової енергії. При розрахунку надлишкової теплової енергії нагрітої термітної шихти на основі Al і Fe₂O₃ до 473К, 673К і 873К, в розрахунках використовували формулу:

$$Q_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = C_{\text{Fe}} \cdot m \cdot \Delta T \cdot \% \quad (3)$$

$$Q_{\text{Al}}(\text{Al}) = C_{\text{Al}} \cdot m \cdot \Delta T \cdot \% \quad (4)$$

де $Q_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ і $Q_{\text{Al}}(\text{Al})$ – кількість додаткової теплоти, C_{Fe} – теплоємність речовини, m – маса речовини, $\Delta T = T - 298\text{K}$ – температура нагріву речовини, % – відсоткове співвідношення речовини в реакції. Для температури підігріву термітної шихти до 498К кількість додаткової теплоти складає:

$$Q_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,689 \cdot 0,1597 \cdot (473 - 298) \cdot 0,7475 = 89,96 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\text{Al}}(\text{Al}) = 0,903 \cdot 0,05394 \cdot (473 - 298) \cdot 0,2525 = 21,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Для температури 673К:

$$Q_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,689 \cdot 0,1597 \cdot (673 - 298) \cdot 0,7475 = 192,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\text{Al}}(\text{Al}) = 0,903 \cdot 0,05394 \cdot (673 - 298) \cdot 0,2525 = 45,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Для температури 873К:

$$Q_{\text{Fe}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,689 \cdot 0,1597 \cdot (873 - 298) \cdot 0,7475 = 295,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\text{Al}}(\text{Al}) = 0,903 \cdot 0,05394 \cdot (873 - 298) \cdot 0,2525 = 69,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

У реакції з оксидом Fe₂O₃ температура термітної реакції перевищує температуру кипіння продуктів реакції, то за адиабатичну температуру реакції слід прийняти найменшу з температур кипіння продуктів, тобто температуру кипіння заліза 3134К. У такому випадку теплота, що виділилась в результаті реакції, буде витрачена на нагрівання продуктів реакції до температури кипіння заліза (3134К) і на випаровування деякої кількості заліза. Кількість теплоти, витраченої на нагрівання суміші до температури кипіння дорівнює 3548 кДж / кг. При термітній реакції з Fe₂O₃ тепловий ефект складає 3996 кДж / кг, а кількість теплоти, що витрачається на випаровування заліза, дорівнює 3996 - 3548 = 448 кДж / на 1 кілограм терміту. Якщо вважати, що все це тепло витрачається тільки на випаровування заліза, якого в продуктах реакції з окалини міститься 52,28%, то в перерахунку на 1 кг заліза, і урахуванням нагрівання суміші на 473К, кількість надлишкової теплоти дорівнює (448 + 89,96 + 21,1) / 0,5228 = 1069,39 кДж / кг заліза в окаліні. Враховуючи наявність у термітному сплаві продукту реакції оксиду алюмінію якій має значно вищу температуру плавлення, то теплота реакції використовується і на плавлення корунду. При початковій температурі 298К на доведення температури шихти до температури плавлення з оксидом алюмінію (2317К температура плавлення), витрачається кількість теплоти, рівне 1648,5 кДж/кг. На подальше нагрівання залізного сплаву до температури його кипіння витрачається кількість теплоти за формулою:

$$\frac{Q_{2317-T}}{m} = C_{\text{Fe}}^p \cdot (T - 2317), \quad (3)$$

де $T = 3134\text{K}$

$$\frac{Q_{2317-T}}{m} = 0,820 \cdot (3134 - 2317) = 669,94 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Таким чином, на нагрівання залізного сплаву від температури 298,15К до температури кипіння (3134К) витрачається 1648,5 + 669,94 = 2318,44 кДж/кг.

Для збільшення виходу придатного сплаву в шихту необхідно внести максимально можливу кількість металевого наповнювача, але витримувати таку температури рідкого термітного сплаву щоб продукти реакції (шлак), газові включення виділились на поверхню, а також проплавилась поверхня основи і відбулось з'єднання обох шарів металу. Підігрів шихтових матеріалів підвищує кількість надлишкової теплоти, і дозволяє збільшити вміст металевого наповнювача в шихті.

Згідно розрахунків додаткове тепло від попереднього нагріву та вмісту додаткового заліза металевого наповнювача у терміт може бути збільшений, але при цьому температура сплаву не має перевищувати температуру кипіння, таблиця 1.

Кількість додаткового заліза може бути збільшено, але буде знижатись температура сплаву, що значно впливає на якість наплавки. На практиці було проведено досліді по замірянню температури сплаву вольфрам ренієвими термопарами, з додаванням 40 % наповнювача і нагрівом форми з шихтою до 873К, температура середовища у формі при горінні становила 2550К. Враховуючи що металева основа є холодильником для сплаву, то температуру знижувати не доцільно.

Показники надлишку тепла та кількість додаткового заліза від нагріву шихти

Нагрів форми Т, К	Надлишок тепла, кДж/кг	Кількість додаткового заліза від терміту %
298	448	19,3
473	559,0	24,4
673	686	29,6
873	813	35,1

Для проведення дослідів фізичних параметрів та якісних показників наплавки розроблена форма з металевою основою, на прикладі пластинки, яку треба сплавити з термітним металом отриманого високотемпературним синтезом. Форма футерується пісчаноглиняною сумішшю, в отриману форму засипаються шари із чистого терміту і шихти. Шихта ущільнюється на вібраційному столі і подається у нагрівальну піч, для отримання додаткового тепла. Схема форми представлена на рисунку 1.

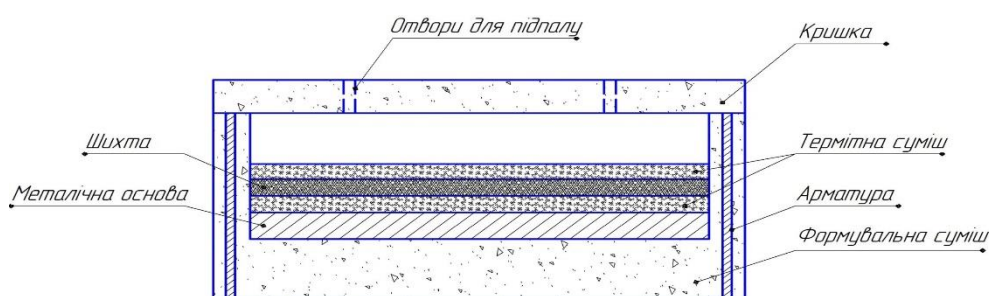


Рис. 1. Схема форми для наплавлення методом СВС

В результаті підпалу термічної суміші відбувається процес горіння з високою температурою (3135К) [2], що призводить до плавлення металевих порошків і проплавлення поверхні основи. Процес горіння і наплавлення відбувається дуже швидко, за декілька секунд, в результаті чого отримується наплавлення сплаву із заданим хімічним складом. Обґрунтована необхідність збільшення металевого наповнювача у термітній суміші та прогрівання матеріалів. Слід зазначити, що горіння екзотермічної суміші відбувається у декілька етапів, початкова стадія починається з моменту її займання, це дуже бурхлива стадія горіння, яка супроводжується піроефектом, у вигляді інтенсивного розбризкування. У середній стадії процес стає більш стабільним, кількість бризок зменшується, утворений розплав осаджується на основу. Кінцева стадія є найбільш стабільною і характеризується виходом газів, та шлакових включень на поверхню термітного розплаву, а також формується більш глибока перехідна зона сплавлення.

Отримані злитки термітного біметалу досліджували на якісні показники, густину та пористість, відповідно до ГОСТ 20018-74. На рисунках 2–4 наведені показники результатів температури нагріву матеріалів та кількості залізного наповнювача у термітну шихту на якість отриманого сплаву.

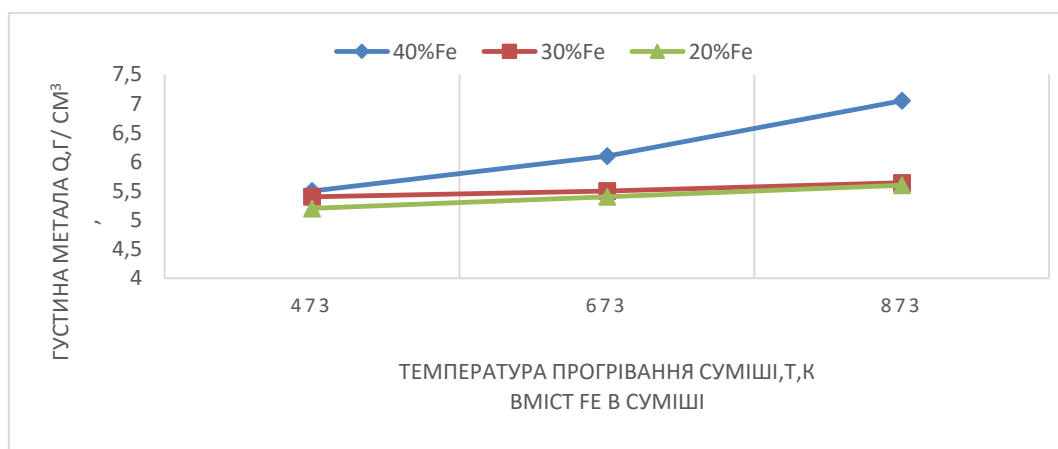


Рис. 2. Відношення густини металу від температури і вмісту металевого наповнювача в суміші

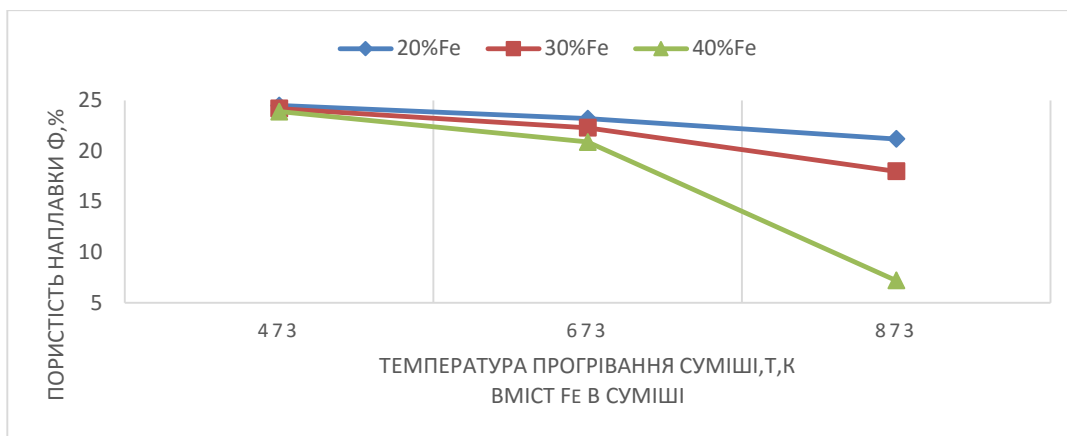


Рис. 3. Відношення пористості від температури і вмісту металевго наповнювача в суміші

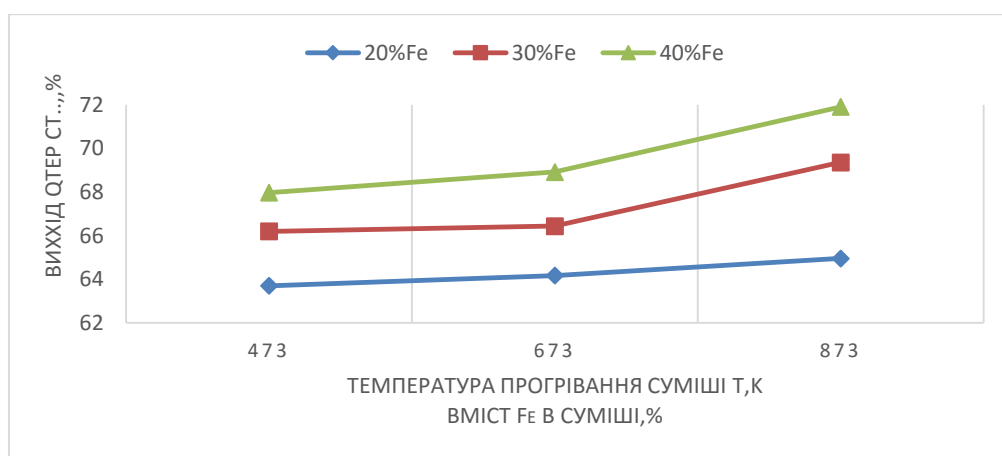


Рис. 4. Відношення виходу термітної сталі від температури і вмісту

Збільшення кількості металевго наповнювача з 20 % до 40 % при підігріві екзотермічної суміші до 873 К сприяє збільшенню виходу термітної сталі до 71,9 % від маси термітної шихти і одночасно покращується якість, густина збільшується до $7,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

На фотографії 5 а, б зображені зразки при нагріванні форми до 873К і з додаванням в термітну шихту 20% металевго наповнювача (5 а) і 30 % (5 б). На поверхні металу в шлаковій фазі виділяється вкраплення металу, в окрему кулясту форму, це пов'язано з протіканням бурхливої стадія горіння, і супроводжується інтенсивним розбризуванням синтезованого металу.

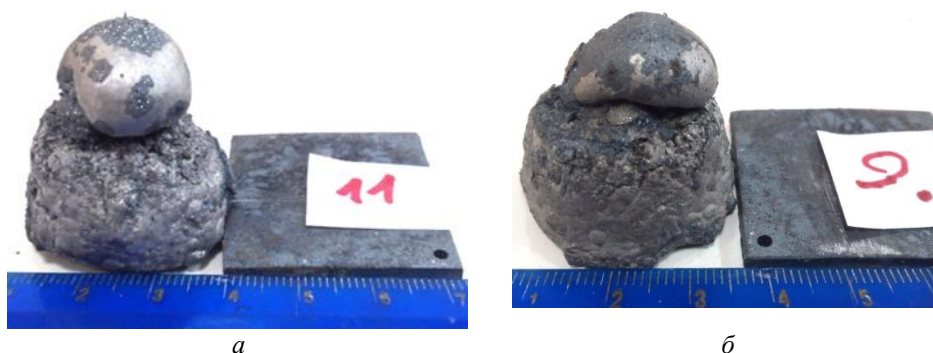


Рис. 5. Зразки отримані в нагрітій формі до 873К і додано в термітну шихту металевго наповнювача 20 % (а) і 30 % (б)

На рисунку 6 зображено зразки з додаванням в в термітну шихту металевго наповнювача 40 % і температурою форми: без нагріву (а), 473К (б), 673К (в), 873К (г).

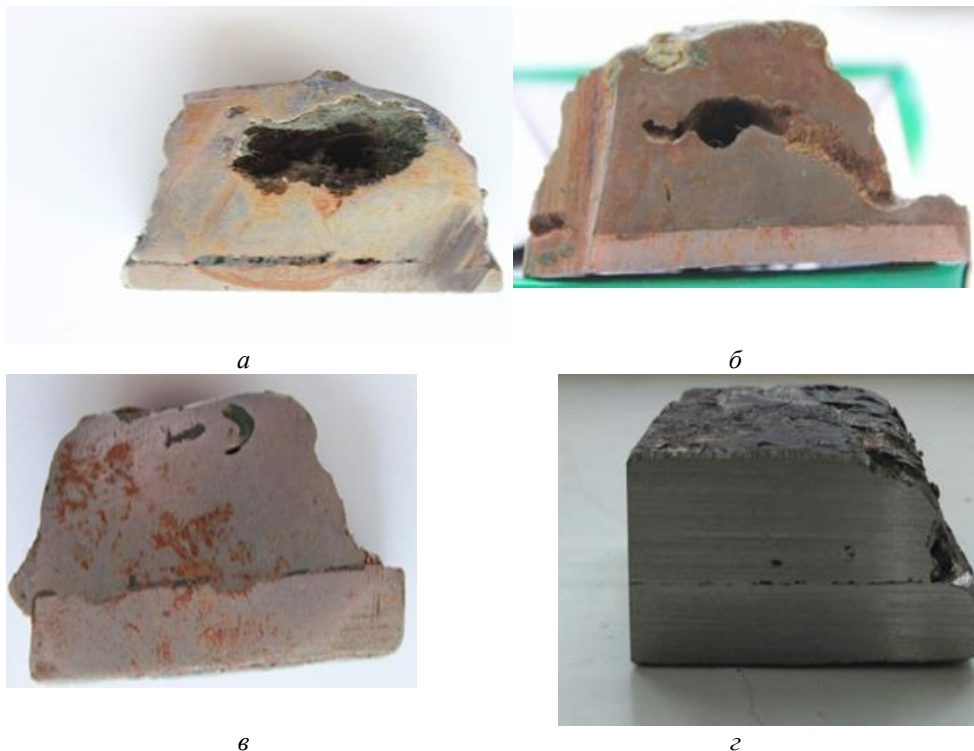


Рис. 6. Зразки з додаванням в термітну шихту металевого наповнювача 40 % і температурою форми: без нагріву (а), 473К (б), 673К (в), 873К (з)

Висновки. Попереднє підігрівання шихти сприяє збільшити надлишок тепла, з додаванням в терміт більшої кількості металевого наповнювача, підвищити вихід годного сплаву, та попередити в наплавці виникнення дефекту «Газова раковина». Результати досліджень показали, що зниження температури підігріву різко знижує сплавлення наплавленого металу з металевією основою, погіршуються умови утворення чистої термітної сталі, термітний метал не розділяється зі шлаком. Оптимальними умовами процесу екзотермічної наплавки СВС являється: кількість металевого наповнювача в алюмотерміті 40 %, температура підігрівання форми з шихтою не менш 873К. При цьому вихід термітної сталі збільшується до 71,9 % та покращуються її якісні показники: густина збільшується на 33 %, до $7,05 \cdot 10^3$ кг/м³, пористість зменшується на 17,3 %.

Список використаної літератури:

1. Яценко В.В. Горение гранулированной железоалюминиевой термитной смеси при получении железа и его композита с карбидом титана / В.В. Яценко.
2. Рязанов С.А. Основы технологии производства алюмотермитных огнеупоров / С.А. Рязанов. – Самара : СамГТУ, 2007. – 178 с.
3. Shrivatava R. Thermit (Aluminothermic) welding method for rail joints / R.Shrivatava // IRFCA: The Indian railways fan club. – 2004.
4. Новиков Н.П. Термодинамический анализ реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Н.П. Новиков, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов // Процессы горения в химической технологии и металлургии : сборник. – Черноголовка : ИСМАН, 1975. – С. 174–188.
5. In situ TiC-reinforced austenitic steel composite by self-propagating high temperature synthesis / D.S. Gowtam, M.Ziyauddin, M.Mohape, S.S. Sontakke, V.P. Deshmukh, A.K. Shah // Int. J. SHS. – 2007. – Vol. 16, No. 2. – Pp. 70–78.
6. Synthesis and characterization of in-situ reinforced Fe-TiC steel FGMs / D.S. Gowtam, A.G. Rao, M.Mohape, V.Khatkar, V.P. Deshmukh, A.K. Shah // Int. J. SHS. – 2008. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 227–232.

References:

1. Jacenko, V.V., *Gorenie granulirovannoj zhelezoaljuminiеvoј termitnoj smesi pri poluchenii zheleza i ego kompozita s karbidom titana.*
2. Rjazanov, S.A. (2007), *Osnovy tehnologii proizvodstva aljumotermitnyh огнеупоров*, SamGTU, Samara, 178 p.

3. Shrivatava, R. (2004), «Thermit (Aluminothermic) welding method for rail joints», *IRFCA: The Indian railways fan club*.
4. Novikov, N.P., Borovinskaja, I.P. and Merzhanov, A.G. (1975), «Termodinamicheskij analiz reakcij samorasprostranjajushhegosja vysokotemperaturnogo sinteza», *Processy gorenija v himicheskoj tehnologii i metallurgii*, sbornik, ISMAN, Chernogolovka, pp. 174–188.
5. Gowtam, D.S., Ziyauddin, M., Mohape, M., Sontakke, S.S., Deshmukh, V.P. and Shah, A.K. (2007), «In situ TiC-reinforced austenitic steel composite by self-propagating high temperature synthesis», *Int. J. SHS*, Vol. 16, No. 2, pp. 70–78.
6. Gowtam, D.S., Rao, A.G., Mohape, M., Khatkar, V., Deshmukh, V.P. and Shah, A.K. (2008), «Synthesis and characterization of in-situ reinforced Fe-TiC steel FGMs», *Int. J. SHS*, Vol. 17, No. 4, pp. 227–232.

Скідін Ігор Едуардович – старший викладач кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- дослідження впливу металевого наповнювача термітної шихти;
- позапічна обробка розплавів.

E-mail: skidin_igor@mail.ru.

Жбанова Олена Миколаївна – асистент кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, факультету рудопідготовки та обробки металів, ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- модифікування металів;
- обробка розплавів електричним струмом.

E-mail: zhbanova.olena@gmail.com

Сайтгарєєв Леван Наїльєвич – кандидат технічних наук, доцент кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, заступник декана факультету рудопідготовки та обробки металів, ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- художнє та ювелірне литво;
- моделювання технологічних процесів.

E-mail: slevann@rambler.ru

Ткач Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- вакуумне травлення для дослідження мікроструктур;
- модифікування магнієвих сплавів.

E-mail: tkach_v-v@mail.ru.

Калінін Василій Тимофійович – доктор технічних наук, професор кафедри ливарного виробництва, «Національна металургійна академія України».

Наукові інтереси:

- розробка та впровадження ресурсозберігаючих технологічних процесів в ливарному виробництві;
- створення високоефективних нанодисперсних модифікаторів і способів їх введення в розплав;
- теоретичні та експериментальні дослідження в області кристалізації ливарних сплавів.

E-mail: kalininlitvo@gmail.com.

Дата надходження статті до редакції 07.11.2017.