

УДК 620.22: 661.66

ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМОАЛИТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ В УСЛОВИЯХ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

СЕРЕДА Б. П. ^{1*}, *д.т.н, проф.*,
БЕЛОКОНЬ Ю. А. ², *к.т.н, докторант*,
СЕРЕДА Д. Б. ³, *аспирант.*,
КРУГЛЯК И. В. ⁴, *к.т.н, доц*

^{1*}Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (063) 5525231, e-mail: seredabp@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

²Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (096) 1129554, e-mail: belokonura@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-9327-5219

³Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (063) 2260817, e-mail: seredadb@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

⁴Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (066) 1031727, e-mail: irinakrugljak@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-9319-4198

Аннотация. *Цель.* К недостаткам материалов работающих в условиях высоких температур, износа и коррозии при использовании их в авиа-космической промышленности относятся недостаточная эрозионная и низкая окислительная стойкость. Во многих случаях причиной неудовлетворительной стойкости материалов является остаточная пористость, неизбежная при их получении и производстве, и тонкое жаростойкое покрытие. *Методика.* Предложен перспективный метод нанесения защитных жаростойких покрытий – технология получения покрытий в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Данный технологический процесс является наиболее перспективным и менее дорогостоящим, так как не требуются изменения в технологии производства углеродистых материалов, а также защитный слой образует тонкую пленку, которая при взаимодействии с углеродистыми материалами не изменяет их механические характеристики в целом. *Результаты.* Испытание образцов на жаростойкость осуществляли на воздухе в интервале температур 1000 – 1200 °С. Установлено, что покрытия из CrAlTi и CrAlSi, успешно защищают углеродистые материалы от окисления до температур 1050 – 1100 °С. Так, после испытаний при температуре 1200 °С в течение 20 ч не было обнаружено заметных признаков разрушения (покрытие оставалось плотным, увеличение веса образцов было не значительным). *Научная новизна.* В работе исследована возможность получения на углеродистых материалах защитных хромоалюмотитанированных и хромоалюмосилицированных покрытий в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, для ответственных узлов летательных аппаратов, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред, были проведены металлографические исследования, а также испытаны свойства покрытий. *Практическая значимость.* Газотранспортный метод нанесения покрытий с помощью СВС позволяет получить УУКМ с совершенно новыми технологическими свойствами, не требуя высоких энергозатрат и времени.

Ключевые слова: сталь, диффузия, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, алюминий, хром, титан, жаростойкость.

ОТРИМАННЯ ХРОМОАЛІТІРОВАННИХ ПОКРИТТІВ НА ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

СЕРЕДА Б. П. ^{1*}, *д.т.н, проф.*,
БІЛОКІНЬ Ю. О. ², *к.т.н, докторант*,
СЕРЕДА Д. Б. ³, *аспірант.*,
КРУГЛЯК І. В. ⁴, *к.т.н, доц*

^{1*}Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (063) 5525231, e-mail: seredabp@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

²Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (096) 1129554, e-mail: belokonura@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-9327-5219

³Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (063) 2260817, e-mail: seredadb@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

⁴Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 1031727, e-mail: irinakrugljak@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-9319-4198

Анотація. Мета. До недоліків матеріалів працюють в умовах високих температур, зносу і корозії при використанні їх у авіа-космічної промисловості відносяться недостатня ерозійна і низька окислювальна стійкість. У багатьох випадках причиною незадовільної стійкості матеріалів є залишкова пористість, немінуча при їх отриманні та виробництві, і тонке жаростійкое покриття. **Методика.** Запропоновано перспективний метод нанесення захисних жаростійких покриттів - технологія отримання покриттів в умовах самораспространяючогося високотемпературного синтезу (СВС). Даний технологічний процес є найбільш перспективним і менш дорогим, так як не потрібні зміни в технології виробництва вуглецевих матеріалів, а також захисний шар утворює тонку плівку, яка при взаємодії з вуглецевими матеріалами не змінює їх механічні характеристики в цілому. **Результати.** Випробування зразків на жаростійкість здійснювали на повітрі в інтервалі температур 800 - 1200 °С. Встановлено, що покриття з CrAlTi і CrAlSi, успішно захищають углеродесте матеріали від окислення до температур 1050 - 1100 °С. Так, після випробувань при температурі 1200 °С протягом 20 год не було виявлено помітних ознак руйнування (покриття залишалось щільним, збільшення ваги зразків була не значним). **Наукова новизна.** У роботі досліджена можливість отримання на вуглецевих матеріалах захисних хромоалюмотитанірованих і хромоалюмосіліційованих покриттів в умовах високотемпературного синтезу, для відповідальних вузлів літальних апаратів, що працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ, були проведені металографічні дослідження, а також випробувані властивості покриттів. **Практична значимість.** Газотранспортний метод нанесення покриттів за допомогою СВС дозволяє отримати ВВКМ з абсолютно новими технологічними властивостями, не вимагаючи високих енерговитрат і часу.

Ключові слова: сталь, дифузія, високотемпературний синтез, алюміній, хром, титан, жаростійкість.

GETTING CHROMOALUMINUM COATINGS ON CARBON MATERIALS IN SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

SEREDA B. P. ^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

BELOKON' Y. A. ², *Cand. Sc. (Tech.), Doctoral student*

SEREDA D. B. ³, *Graduate student*

KRUGLYAK I. V. ⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

^{1*}Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozh'ye State Engineering Academy, Lenin ave., 226, 69006, Zaporozh'ye, Ukraine, tel. +38 (063) 5525231, e-mail: seredabp@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

²Department of ferrous metallurgy, Zaporozh'ye State Engineering Academy, Lenin ave., 226, 69006, Zaporozh'ye, Ukraine, tel. +38 (096) 1129554, e-mail: belokonura@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-9327-5219

³Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozh'ye State Engineering Academy, Lenin ave., 226, 69006, Zaporozh'ye, Ukraine, tel. +38 (063) 2260817, e-mail: seredadb@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

⁴Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozh'ye State Engineering Academy, Lenin ave., 226, 69006, Zaporozh'ye, Ukraine, tel. +38 (066) 1031727, e-mail: irinakrugljak@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-9319-4198

Abstract. Purpose. The disadvantages of materials operating at high temperatures, wear and corrosion when used in the aerospace industry are inadequate erosion and low oxidation resistance. In many cases, the cause of poor durability of materials is the residual porosity, inevitable in their preparation and production, and a thin reflective coating. **Methods.** Proposed a promising method for the application of protective heat-resistant coatings - technology for producing coatings under samorasprastnyayuschegosya high-temperature synthesis (SHS). This process is the most promising and less costly, since it does not require changes in the technology of carbon materials, and the protective layer forms a thin film that is by reacting carbonaceous materials with no change in its mechanical properties as a whole. **The Results.** The test samples were performed on heat resistance in air in the temperature range 800 - 1200 °C. It was found that the coating CrAlTi and CrAlSi, successfully defending ugleodereste materials from oxidation at temperatures 1050 - 1100 °C. Thus, after testing at 1200 °C for 20 hours was no significant signs of damage (the coating was dense, the weight gain of the samples was not significant). **Scientific novelty.** We have studied the possibility of obtaining carbon materials for protective coatings chromoaluminum and chromoaluminum silicium in a self-propagating high-temperature synthesis, for critical parts of aircraft operating at high temperatures and corrosive media, metallographic examinations were carried out and tested the properties of coatings. **The practical significance.** Transport method of coating using SHS provides a CCC with completely new technological properties without requiring high energy and time.

Keywords: steel, diffusion, self-propagating high-temperature synthesis, aluminum, chromium, titanium, heat resistance.

Введение

В связи с ускоренным развитием техники крайне актуальным стали вопросы повышения надежности и долговечности деталей машин, приборов, установок, улучшения их качества и эффективности работы, а следовательно, вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом деталей машин.

Практическое использование углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) в высокотемпературных процессах весьма ограничено из-за сильного окисления, а также эрозии и выгорания в газовых потоках. В связи с этим защита УУКМ от окисления и выгорания является важной научно-технической задачей. Перспективными материалами для нанесения защитных покрытий могут быть тугоплавкие соединения, прежде всего карбиды, бориды, нитриды и силициды, а также сплавы на их основе. Помимо защиты от окисления покрытия из тугоплавких соединений обладают высокой твердостью и износостойкостью.

Как высокотемпературные материалы УУКМ обладают рядом уникальных свойств: повышенной прочностью при высоких температурах, низким удельным весом, легкой механической обработкой и т.д. Соответственно УУКМ относятся к сверхчистым материалам и различаются по видам и маркам, что выражается в плотности материалов, которая может колебаться в пределах $1,45 \dots 2,23 \text{ т/м}^3$, а также выраженной анизотропией механических свойств в зависимости направления армирования материала. [1]

К недостаткам УУКМ при использовании его в авиа-космической промышленности относятся недостаточная эрозионная и низкая окислительная стойкость. Во многих случаях причиной неудовлетворительной стойкости углеграфитовых материалов является остаточная пористость, неизбежная при их получении и производстве, и достаточно тонкие жаростойкие покрытия для резкого улучшения работоспособности деталей.

Одним из наиболее перспективных методов нанесения защитных жаростойких покрытий является технология получения покрытий методом порошков в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [2-8]. СВС, совмещенный с химическими транспортными реакциями, обеспечивает высокое качество и простоту нанесения защитных покрытий.

Работоспособность и долговечность покрытия в значительной степени зависит от защитного действия образующегося оксидного слоя, который препятствует диффузионному рассасыванию покрытия. Поскольку при высокотемпературном взаимодействии с кислородом преимущественно образуются оксиды легкоокисляющихся компонентов покрытия (т.е. имеющих высокое сродство к кислороду), то наиболее часто в состав жаростойких покрытий вводят такие элементы как

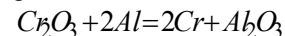
Cr, Ti, Al, Si, Zr и др., имеющие высокое сродство к кислороду и образующие на поверхности тугоплавкие оксиды этого элемента (Al_2O_3, SiO_2 и др.) [9].

Цель

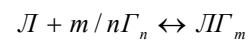
В настоящей работе исследовали возможность нанесения покрытий в неизотермических условиях. В качестве материалов, на которые наносили жаростойкие покрытия, были выбраны: углерод-углеродный композиционный материал с послойным армированием углеродной тканью на основе вискозы УРАЛ-Т22Р; дисперсно-упрочненный углерод-углеродный композиционный материал, в состав которого входят: 10-12% натурального графита, 60% графит ЭГ, остальное фенолоформальдегидная смола ЕФС-342; стали У8А и 50.

Методика

Состав насыщающей среды выбирали исходя из требований к жаростойким покрытиям и особенностям формирования защитных покрытий на углеграфитовых материалах. Для постановки экспериментов применяли порошки: использовали Cr_2O_3 – оксид хрома (III), Al – алюминий марки АПВ, Si – кремний марки Кр1, Al_2O_3 – оксид алюминия (III), SiO_2 – оксид кремния, Ti — титан марки ПТХ5-1, I_2 – металлический йод дисперсностью 200-350 мкм. Высокая температура процесса, необходимая для быстрого протекания реакций, создаётся в результате освобождения химической энергии восстановления оксида хрома алюминием по реакции



Возможность осуществления химических транспортных реакций в волне горения основана на том, что в процессе горения происходит последовательная смена температурных режимов, и температура в каждой точке смеси возрастает непрерывно от T_0 до T_{max} . В этих условиях, при очень малой длине диффузионного пути, резко возрастает интенсивность диффузионного переноса газообразных компонентов, которые участвуют в химических транспортных реакциях, которые протекают по реакции типа



где L – легирующий компонент покрытия; Γ_n – галоген (активатор процесса); $L\Gamma_n$ – летучий галогенид.

Для переноса и осаждения элемента L необходимо наличие сдвига равновесия реакции в соответствующую сторону, при этом элемент и изделие должны находиться в неодинаковых температурных условиях. Если скорости химических реакций не лимитируют процесс, то концентрация активных газов-переносчиков может оказывать влияние на интенсивность роста диффузионного

слоя. Для оценки роли субгалогенидов при поверхностном насыщении УУКМ и факторов, влияющих на равновесную концентрацию субгалогенидов, необходимо термодинамически проанализировать химические реакции, возможные в реакционном пространстве [10-11].

Исследования показывают, что максимальная скорость роста покрытий наблюдается на начальных этапах СВС-процесса. Это может объясняться тем, что аустенит, образующийся при резком повышении температуры на стадии теплового самовоспламенения характеризуется высокой плотностью дислокаций. В связи с чем его диффузионная восприимчивость увеличивается.

Термодинамический анализ химико-термической обработки углерод-углеродных материалов в условиях СВС, с варьированием количественного состава легирующих компонентов, а также количества газотранспортного агента, был проведен при помощи комплекса прикладных программ «АСТРА» и «Тетра». Расчеты производили в интервале температур от 100 до 1600 °С с шагом через каждые 100 °С, давление было установлено 0.1 МПа. Расчет вели для системы $Cr_2O_3-Al-Ti-Si-NH_4Cl-Al_2O_3-C$, исследуя термодинамическую возможность обмена легирующих компонентов с углеродной подложкой.

Для процесса химико-термической обработки в условиях СВС, использовали реактивы классификации «ч» и «чда». Порошки просушивали при температурах 100...200 °С на протяжении 1...2 часов в печах лабораторного типа, затем перемешивали порошки в процентном соотношении, перемешивание длилось в течение одного часа. Насыщение поверхности УУКМ и углеродистых сталей проводили в СВС-реакторах в условиях теплового самовоспламенения в интервале температур 1000...1200 °С в течении от 30 до 60 минут. Температура процесса контролировалась вольфрам-рениевой термопарой, которая была расположена в кварцевой трубке и введена в СВС-смесь. Термопара подключалась к регистратору серии КСП-4.

Структуру покрытия исследовали на металлографическом микроскопе Neophot-2 и подвергали рентгенографическому анализу. Микроструктуру выявляли методом травления в 3% спиртовом растворе пикриновой кислоты (ТУ 6-09-08-317-80).

Результаты

Покрытия, полученные в условиях СВС, состоят внешней и внутренних зон. Металлографический и фазовый анализ показал, что во всем интервале температур свыше 1000 К диффузионный слой состоит из фаз: внешней состава $TiAl$, $TiSi_2$, $CrSi_2$, и внутренней – фазы SiC , которая обеспечивает прочное сцепление с подложкой (рис.1, а,б).

Анализ полученных данных показывает, что в идентичных условиях на различных углеродистых материалах толщина защитного слоя различна.

При хромоалюмотитанировании стали У8А покрытие состоит из твердых растворов $FeAl$, Fe_3Al , легированных титаном и зоны твердого раствора Ti и Al в $\alpha-Fe$ (рис.1, в).

При нанесении хромоалюмосилицированных слоев на сталь 50, на поверхности образуется слой $(FeCrAl)_3C$ (рис.1, г) на материалах с высоким содержанием углерода, образуются карбиды $(FeCr)_{23}C_6$

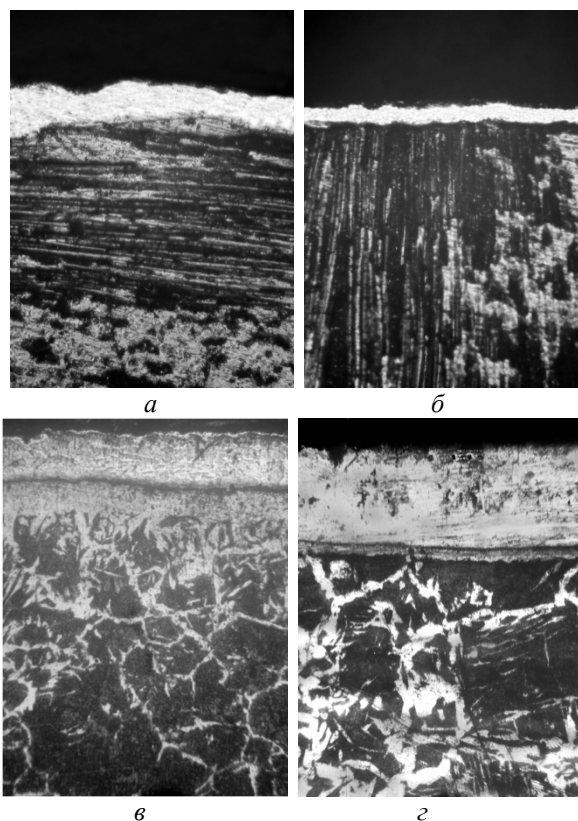


Рис. 1. – Микроструктуры покрытий: а- УУКМ в продольном направлении $\times 150$; б – УУКМ в поперечном направлении $\times 100$; в – сталь У8А $\times 150$; г – сталь 50 $\times 150$.

Испытание образцов на жаростойкость осуществляли на воздухе в интервале температур 800 – 1200 °С. Установлено, что покрытия из $CrAlTi$ и $CrAlSi$ успешно защищают углеродистые материалы от окисления до температур 1050 – 1100 °С. Так, после испытаний при температуре 1200 °С в течение 20 ч не было обнаружено заметных признаков разрушения (покрытие оставалось плотным, увеличение веса образцов было незначительным).

Результаты исследования жаростойкости на стали 50 показали что максимальный прирост массы при температуре испытания $t_{пр} = 1000$ °С на образце без покрытия составил 310 г/м^2 , с хромоалюмосилицированием покрытием 38 г/м^2 . При температуре испытания $t_{пр} = 1200$ °С на образце из

стали У8А без покрытия составил 389г/м², хромоалюмосилицирования покрытием 51г/м².

Выводы

Из полученных данных термодинамического и рентгеноструктурного анализов установлено, что формирование защитных покрытий в условиях СВС (в изученных системах порошков насыщающих смесей) на всех четырех типах подложек происходит по пути образования начального диффузионного слоя CrAl, с последующим легированием его титаном, и

кремнием и образованием жаростойких фаз TiAl, TiSi₂, CrSi₂. Получение интремаллидных хромоалитированных защитных покрытий легированных кремнием и титаном при нестационарных температурных условиях, обеспечивает высокую жаростойкость деталей. Разработанный технологический процесс характеризуется простотой технологического оформления и малыми временными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Белов А.Ф. Строение и свойства авиационных материалов / А.Ф. Белов, Г.П. Бенедиктова – М.: Металлургия, 1989.- 368 с.

Belov A.F. Stroenie i svoystva aviacionnykh materialov/ A.F. Belov, G.P. Benediktova – М.: Metallurgiya, 1989.- 368 p.

<http://lib-bkm.ru/load/2-1-0-1205>

2. Мерджанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов / А.Г. Мерджанов // Черноголовка. Изд-во ИСМАН, - 1999. – 512 с.

Merzhanov A.G. Processy goreniya i sintez materialov / A.G. Merzhanov // Chernogolovka. Izd-vo ISMAN, - 1999. – 512 p.

http://www.ism.ac.ru/n_internal/archive

3. Коган Я.Д., Серета Б.П., Штессель Э.А. Высокоинтенсивный способ получения покрытий в условиях СВС / Металловедение и термическая обработка металлов, 1991, №6.- с.39-40

Kogan Y.D., Sereda B.P., Shtessel E.A. Vysokointensivnyj sposob polucheniya pokrytij v usloviyax svcs / Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 1991, №6.- 39-40 p.

http://www.twirpx.com/files/metallurgy/periodic/met_allovedenie_i_termicheskaya_obrabotka_metallov/

4. Обработка металлов тиском при нестационарных температурных условиях [монография] / Б.П. Серета, И.В. Кругляк, О.А. Жеребцов, Ю.О. Белоконь // – З.: ЗДИА, 2008. – 250 с.

Obrobka metaliv tiskom pri nestacionarnix temperaturnix umovax [Monografiya] / B.P. Sereda, I.V. Kruglyak, O.A. Zherebcov, Y.O. Belokon // – Z.: ZDIA, 2008. – 250 p.

<http://www.library.zgia.zp.ua/ukr/index.php?text=Polnotext&bookid=36002>

5. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мерджанов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 567 с.

Amosov A.P. Poroshkovaya tekhnologiya samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza materialov / A. P. Amosov, I. P. Borovinskaya, A. G. Merzhanov. – М.: Mashinostroenie-1, 2007. – 567 p.

<http://www.twirpx.com/file/550726/>

6. Левашов Е.А. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Е.А. Левашов, А.С. Рогачев, В.И. Юхвид, И.П. Боровинская. – М.: БИНОМ, 1999. – 176 с.

Levashov E.A. Fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie osnovy samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza / E.A. Levashov, A.S. Rogachev, V.I. Yukhvid, I.P. Borovinskaya. – М.: BINOM, 1999. – 176 p.

<http://www.booka.ru/books/63540#about>

7. Серета Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів / Б.П. Серета, Н.Е. Калініна, І.В. Кругляк // Монографія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – 230с.

Sereda B.P. Poverxneve zmichennya materialiv / B.P. Sereda, N.E. Kalinina, I.V. Kruglyak // Monografiya. – Zaporizhzhya: ZDIA, 2004. – 230 p.

<http://www.library.zgia.zp.ua/ukr/index.php?text=Catalog&search=1&HeaderHas=%CF%EE%E2%E5%F0%F5%ED%E5%E2%E5+%E7%EC%B3%F6%ED%E5%ED%ED%FF+%EC%E0%F2%E5%F0%B3%E0%EB%B3%E2+&AuthorIs=&KeywordIs=&UDKBBKHas=&SelZhanr=0>

8. Sereda B., Sereda D. Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. Material science and technology 2011. Conference and Exhibition. Columbus, Ohio USA. 2011-1741p.-P.1667-1671

<http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=26428911900>

9. Sereda B., Sereda D. Aluminized Coating on Steel in SHS Condition. Material science and technology 2014. Conference and Exhibition. Pittsburgh. Pensilvania USA. 2224p. P.482-486

<http://www.programmaster.org/PM/PM.nsf/ApprovedAbstracts/A953D30F73CBFD2985257C850067971F?OpenDocument>

10. Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. Покрытия из тугоплавких соединений. – М.: Металлургия, 1964. – 108с.

G.V. Samsonov, A.P. Epik. Pokrytiya iz tugoplavkix soedinenij. – М.: Metallurgiya, 1964. – 108s.

[http://opac.lib.tpu.ru/catalogue/document/?query=rec.id%3D"RU%5CTPU%5Cbook%5C67727"](http://opac.lib.tpu.ru/catalogue/document/?query=rec.id%3D)

11. Серета Б.П., Белоконь Ю.О., Онищенко А.Н. Серета Д.Б. Влияние выбора подложки из высокоуглеродистых материалов на кинетику роста защитных покрытий в условиях

самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // МЕТАЛУРГИЯ : Збірник наукових праць: - Вип. 25 - Запоріжжя, ЗДІА, 2011, С. 111 – 115

Sereda B.P., Belokon' J.O., Onishhenko A.N. Sereda D.B. Vlijanie vybora podlozhenki iz vysokouglerodistykh materialov na kinetiku rosta zashhitnykh pokrytij v uslovijah samorasprostranjajushhegosja vysokotemperaturnogo sinteza // METALURGIJA : Zbirnik naukovih prac': - Vip. 25 - Zaporizhzhja, ZDIA, 2011, 111 – 115 p.

http://www.zgia.zp.ua/gazeta/METALURG_25_18

12. Середя, Б. П. Термодинамический анализ реакций СВС-систем [Текст] : Б. П. Середя, Н. В. Ошур // Металургия : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2001. – Вип. 5. – С. 37-39

Sereda, B. P. Termodinamicheskij analiz reakcij SVS-sistem [Tekst] : B. P. Sereda, N. V. Oshur //

Metalurgija : Naukovi prac'i Zaporiz'koї derzhavnoї inzhenernoї akademії. – Zaporizhzhja : RVV ZDIA, 2001. – Vip. 5. – 37-39 p.

[http://rntbcat.org.by/opac/pls!search.http_keyword?q uery=a001a="BY-SEK-431756"&lst_siz=20](http://rntbcat.org.by/opac/pls!search.http_keyword?q uery=a001a=)

13. Б.П. Середя Ю.Н. Пышнограев Д.О. Кругляк А.Н. Онищенко // Термодинамический анализ реакций при нанесении защитных покрытий на углеродные материалы в условиях СВС// МЕТАЛУРГИЯ : Збірник наукових праць: - Вип. 27 - Запоріжжя, ЗДІА , 2012. – 184с., С.96-101

B.P. Sereda, J.N. Pyshnograev, D.O. Krugljak, A.N. Onishhenko // Termodinamicheskij analiz reakcij pri nanesenii zashhitnykh pokrytij na uglerodnye materialy v uslovijah SVS// METALURGIJA : Zbirnik naukovih prac': - Vip. 2 (27) - Zaporizhzhja, ZDIA , 2012. – 184s., 96-101 p.

http://www.zgia.zp.ua/gazeta/M_27_16

Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. В. В. Лунев (Украина); д-ром.техн.наук, проф. М. Ю. Пазюк (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015