

УДК 621.793.6: 621.785.5

**Б. П. СЕРЕДА, И. В. ПАЛЕХОВА**

## УПРОЧНЕНИЕ ВАЛКОВ ПРОКАТНОГО СТАНА ТИТАНОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В УСЛОВИЯХ СВС

Розглянуті результати досліджень процесів нанесення багатокомпонентних титанових покриттів в режимі теплового самозапалення на вуглецевих сталях.

За допомогою методів математичного моделювання розроблені оптимальні склади СВС-сумішей для нанесення комплексних покриттів. Вивчений вплив складів реакційних сумішей на властивості отриманих покриттів. Приведена схема формування захисних покриттів. Встановлені кінетичні і теплофізичні закономірності зростання шарів.

Представлені результати мікроскопічного і рентгеноструктурного аналізів фазового складу отриманих покриттів, виконаний аналіз їх якісних характеристик/

**Ключові слова:** хімічні газотранспортні реакції, високотемпературний самопоширений синтез, титанові покриття, теплове самозапалення, дифузія, щільність, мікротвердість.

Рассмотрены результаты исследований процессов нанесения многокомпонентных титановых покрытий в режиме теплового самовоспламенения на углеродистых сталях.

С помощью методов математического моделирования разработаны оптимальные составы СВС-смесей для нанесения комплексных покрытий. Изучено влияние составов реакционных смесей на свойства полученных покрытий. Приведена схема формирования защитных покрытий. Установлены кинетические и теплофизические закономерности роста слоев.

Представлены результаты микроскопического и рентгеноструктурного анализов фазового состава полученных покрытий, выполнен анализ их качественных характеристик

**Ключевые слова:** химические газотранспортные реакции, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, титановые покрытия, тепловое самовоспламенение, диффузия, плотность, микротвердость.

The results of researches of processes of causing of multicomponent titanic coverings are considered in the mode of thermal spontaneous combustion of self-propagating high temperature synthesis on carbon steels. A chart over of forming of coverings is brought with the use of chemical gas-transport reactions.

By means of methods of mathematical design optimal compositions of SHS-mixture are worked out for causing of complex coverages. The analysis of meaningful parameters influencing on a structure and operating properties of coverages is presented.

Kinetic and thermophysical conformities to law of height of protective layers are set. Results are presented microscopic and X-ray diffraction analyses of phase composition of the got coverings, the analysis of their quality descriptions is executed. On the basis of the got conformities to law of forming of layers and their operating descriptions powder-like compositions of reactionary SHS- mixture are worked out for work-hardening of steelworks. The offered compositions of mixtures were tested for the superficial work-hardening of rollers of flattening mills. The conducted tests on a microhardness and inoxidizability showed the improvement of descriptions of superficial layer.

**Keywords:** chemical gas-transport reactions, self-propagating high temperature synthesis, titanic coverings, thermal spontaneous combustion, diffusion, closeness, microhardness.

**Введение.** С целью повышения надежности техники, снижения себестоимости ее обслуживания, увеличения ресурса эксплуатации широкое применение получили покрытия на основе титана. Поскольку в сложных условиях эксплуатации однокомпонентные титановые покрытия не способны обеспечить необходимые рабочие свойства изделий, то целесообразно насыщение поверхности металлов несколькими элементами. Совместное насыщение сталей Ti, Al и Si позволяет не только повышать твердость поверхностного слоя, жаростойкость и коррозионную стойкость изделий, но и увеличить толщину наносимых покрытий и ускорить процесс их формирования [1–6].

В данной работе рассмотрена технология химико-термической обработки сталей в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), совмещенная с химическими газотранспортными реакциями [6–11]. СВС представляет собой высокоинтенсивное экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, способное к самопроизвольному распространению в виде волны горения. Процессы обработки могут осуществляться в режиме горения или теплового самовоспламенения

и характеризуются интенсивным нанесением покрытий благодаря наличию градиента температур в системе изделие – порошок среда.

**Целью работы** являлась разработка составов порошковых СВС-смесей для нанесения многокомпонентных покрытий на основе титана в режиме теплового самовоспламенения, исследование физико-химических процессов формирования покрытий, определение оптимальных технологических параметров СВС-процесса при комплексном насыщении, изучение их влияния на кинетику роста слоев и оценка их качества.

Химико-термическая обработка углеродистых сталей проводилась в реакторе открытого типа в рабочем интервале температур 950–1100°C при продолжительности изотермической выдержки 30–60 мин. В качестве насыщающих сред применяли смеси порошков оксидов хрома и алюминия, титана, кремния, алюминия и металлического йода (газотранспортного агента) дисперсностью 250–350 мкм.

Подготовка поверхности образцов включала последовательные стадии шлифовки, полировки и обезжиривания в ацетоне. Инициирование процесса насыщения осуществляли путем предварительного

нагрева в печі сопро­тив­ле­ння до тем­пе­ра­ту­ри на­ча­ла са­мо­вос­пла­ме­не­ня (ско­ро­сть на­гре­ва – 0,5°C/с). Тем­пе­ра­ту­ри СВС-смеси кон­тро­лю­ва­ли хро­мел-а­лю­ме­ле­во­ю тер­мо­па­ро­ю в за­щи­т­но­му че­х­ле, вве­де­но­ю не­по­с­ре­д­ст­ве­но в об­'єм ших­ти, і під­клю­че­но­ю к по­тен­ці­ометру се­рії КСП.

Тол­щи­ну упр­оч­не­них сло­ев ис­сле­до­ва­ли на се­ве­то­во­му мі­к­ро­ско­пе "Neophot-21" при уве­ли­че­н­ні ×150, × 250. Мі­к­ро­ст­рук­ту­ру ви­яв­ля­ли ме­то­дом тра­в­ле­ня в 3% спи­р­то­во­му ра­ств­о­ре пі­кри­но­во­ї ки­сло­ти (ТУ 6-09-08-317-80). Для ви­яв­ле­ня гра­ниць зе­рен фер­ри­та ис­поль­зо­ва­ли 4% спи­р­то­вий ра­ств­о­р азо­т­ної ки­сло­ти [12].

Іс­сле­до­ва­н­ня е­ле­мен­т­но­го со­ста­ва про­во­ди­ли ме­то­дом мі­к­ро­рен­т­ге­но­спек­тр­аль­но­го ана­ли­за з при­ме­не­н­ням мі­к­ро­ана­лі­за­то­ра JEOL "Superprob-733". Ло­каль­но­сть ана­лі­за 1 мкм<sup>2</sup>, г­ли­би­на ана­лі­за ~ 1 мкм. Мі­к­рот­вер­д­ість по­к­ри­т­тів оп­ре­де­ля­ли на при­бо­ре ПМТ-3. Кор­ро­зій­ну стій­кість об­раз­ців з по­к­ри­т­тя­ми оці­ню­ва­ли в 10-% ра­ств­о­ре H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при тем­пе­ра­ту­ре 20°C. Для ра­ху­н­ку ра­в­но­ва­ж­но­го со­ста­ва про­дук­тів се­сте­ми бу­ло ис­поль­зо­ва­но при­клад­ні па­ке­ти про­грам "АСТРА.4" і Recalc [13].

При ра­зо­роб­ці со­ста­вів по­ро­ш­ко­вих ре­ак­цій­них СВС-смесей, об­ес­пе­чу­ю­чих ви­со­ку­ю кор­ро­зій­ну стій­кість, ис­поль­зо­ва­ли ме­то­ди ма­те­ма­ти­че­ско­го пла­ну­ван­ня ек­сп­е­ри­мен­та з ре­алі­за­цією по­л­но­го фак­тор­но­го ана­лі­за по пла­ну 2<sup>3</sup> і д­ро­б­но­го фак­тор­но­го ек­сп­е­ри­мен­та 2<sup>4-1</sup>.

Ви­бір оп­ти­маль­но­го со­ста­ва се­ми­ для про­ве­де­ня СВС-про­цес­сів в ус­ло­ві­ях те­п­ло­во­го са­мо­вос­пла­ме­не­ня про­во­ди­ли на ос­но­ван­ні ре­зу­ль­та­тів ис­сле­до­ва­н­ня те­п­ло­вої кар­ти­ни СВС-про­цес­са і фі­зи­ко-ме­хані­че­ских сво­їх за­щи­т­них по­к­ри­т­тів (в ка­че­стві функ­цій от­ки­ка бу­ла ви­б­ра­на кор­ро­зій­на стій­кість по­к­ри­т­тів).

Па­ра­мет­ри оп­ти­мі­за­ції:

Y<sub>1</sub> – по­ка­зат­ель кор­ро­зій­но­ї стій­ко­сті,

t<sub>исп.</sub> – 75 ч, для се­сте­ми Ti-Al-Si;

В ка­че­стві не­за­ви­с­им­их пе­ре­мін­них бу­ли ви­б­ра­ні: со­дер­жа­н­ня в СВС-се­ми­ хро­мі­сто­ї со­ста­в­ля­ю­чої, ти­та­на, а­лю­мі­ні­я, крем­ні­я. В ка­че­стві ис­ход­но­го ма­те­ри­а­ла бу­ла ви­б­ра­на сталь 45. Ак­ти­ва­то­ром про­цес­са яв­ля­є­ся J<sub>2</sub> для всіх се­сте­м.

Ра­ху­н­ку рів­ні ін­тер­ва­лів ва­р­ю­ван­ня, ха­рак­тер їх з­мі­не­н­ня і се­ма ко­ди­ро­ван­ня пред­став­ле­ні в та­б­лиці 1. Вве­де­н­ня в се­міть бо­ль­ше 5% га­зо­тран­спор­т­но­го а­ген­та при­во­ди­ть к силь­но­му ра­ст­ра­в­ли­ван­ню по­верх­но­сті об­раз­ца, ме­н­ше 1% не ак­ти­ві­зу­є пр­о­те­ка­н­ня всіх га­зо­тран­спор­т­них ре­ак­цій.

Для по­лу­че­н­ня сто­про­цент­но­го со­ста­ва по­ро­ш­ко­вих СВС-се­ми­ в ка­че­стві ко­неч­но­го про­дук­та ис­поль­зо­ва­ли Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Ре­зу­ль­та­том ек­сп­е­ри­мен­та до­л­жна ста­ти ма­те­ма­ти­че­ська за­ви­с­им­ість між­ду ис­сле­до­ва­н­ми ха­рак­те­ри­сти­ка­ми в ви­де функ­ці­о­наль­ної зв'язі y=f(x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>, ..., x<sub>m</sub>).

В ре­зу­ль­та­те ре­грес­сив­но­го ана­лі­за, бу­ли по­лу­че­ні ряд у­рав­не­н­ня, по­ка­зу­ю­чі за­ви­с­им­ість кор­ро­зій­но­ї стій­ко­сті за­щи­т­них по­к­ри­т­тів от

ре­жи­ма те­п­ло­во­го са­мо­вос­пла­ме­не­ня і со­дер­жа­н­ня ле­ги­ру­ю­чих е­ле­мен­тів.

Чис­лен­ні зна­ч­ен­ня ко­е­фі­ці­є­н­тів ре­грес­сії і їх зна­ч­им­ість, оп­ре­де­лен­ні з у­че­том різ­ни­ч­я дис­пер­сій для ко­ж­до­ї функ­ції от­ки­ка, а та­ко­же про­ве­р­ка зна­ч­им­ості по кри­те­рі­ю Ст­ю­де­нта і оці­нка а­де­к­ват­но­сті мо­де­лі по кри­те­рі­ю Фі­ше­ра.

Для оці­нки а­де­к­ват­но­сті у­рав­не­н­ня бу­ло про­ве­де­но ра­ху­н­ку по по­лу­че­н­ним у­рав­не­н­ням ре­грес­сії для оп­ти­маль­но­го ре­жи­ма те­п­ло­во­го са­мо­вос­пла­ме­не­ня. Ре­зу­ль­та­ти ра­ху­н­ку бу­ли со­по­ста­в­ле­ні з ек­сп­е­ри­мен­т­аль­ні­ми ис­сле­до­ва­н­ня­ми.

Е­ф­фек­тив­ність об­ра­бот­ки оп­ре­де­ля­є­ся вре­мін­ні­ми па­ра­мет­ра­ми про­цес­са об­ра­бот­ки і те­п­ло­фі­зи­че­ских ха­рак­те­ри­сти­ка­ми ших­ти.

Ана­лі­з ре­ак­цій, про­ис­хо­дя­чих при те­п­ло­во­му са­мо­вос­пла­ме­н­ню СВС-ших­т, ре­зу­ль­та­тів ме­тал­ло­графі­че­ских ис­сле­до­ва­н­ня фазо­во­го со­ста­ва сло­ев по­зво­ли­ло оп­ре­де­ли­ти се­му об­ра­зо­ван­ня по­к­ри­т­тів. Про­цес ус­ло­вно мож­но роз­ді­ли­ти на не­ско­ль­ко ста­дій [14]:

– інерт­ний про­гре­в ре­ак­цій­но­ї се­ми­ до тем­пе­ра­ту­ри вос­пла­ме­н­ня со­про­во­джу­є­ся іс­пар­ен­ням і ра­спа­дом га­зо­тран­спор­т­них но­си­те­лів до а­то­мар­но­го со­ста­но­в­ля­ю­чо­го по ре­ак­ції

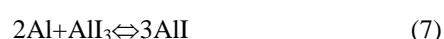
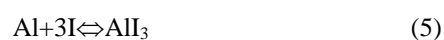
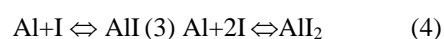


– те­п­ло­ве са­мо­вос­пла­ме­н­ня, на цій ста­дії пр­о­те­ка­єт ек­зо­тер­мі­че­ська ре­ак­ція вос­та­но­в­ле­н­ня ок­си­да хро­ма



Тем­пе­ра­ту­ра в ре­ак­то­ре різ­ко по­ви­ща­є­ся до ма­кс­им­аль­но­ї тем­пе­ра­ту­ри про­цес­са t<sub>m</sub>. Про­ис­хо­ди­ть об­ра­зо­ван­ня га­зо­об­раз­них со­еди­не­н­ня і пе­ре­нос ос­но­в­них на­сы­ща­ю­чих е­ле­мен­тів к під­лож­ці по ре­ак­ції M+m/n Γn ⇌ MΓm, де M – на­но­си­м­ий е­ле­мент, Γn – га­ло­ген, MΓm – ле­ту­чий га­ло­ге­ні­д.

При е­то­му не­об­хо­ди­мо, чо­би­мь тран­спор­ту­є­му­ю е­ле­мент і під­лож­ка на­хо­ди­ли­ся в різ­них тем­пе­ра­тур­них зо­нах. На ста­дії те­п­ло­во­го са­мо­вос­пла­ме­н­ня про­ис­хо­ди­ть об­ра­зо­ван­ня га­зо­об­раз­них йо­ди­дів Ti, Al, Si і їх хі­мі­че­ський транспорт к по­верх­но­сті із­де­лій. Тер­мо­ди­на­мі­че­ський ана­лі­з ра­в­но­ва­ж­но­го со­ста­ва про­дук­тів се­сте­ми сви­де­тель­с­ту­є, чо­ в ис­сле­до­ва­но­му діа­па­зо­ні тем­пе­ра­тур на­сы­ща­ю­чі е­ле­мен­ти ре­ак­цій­но­ї се­ми­ вза­мо­дей­с­ту­ють з йо­дом як в а­то­мар­но­му, так і в мо­ле­ку­ляр­но­му со­ста­но­в­ля­ю­чо­му, од­на­ко бо­ль­ше ве­ро­ят­ні ре­ак­ції вза­мо­дей­с­ту­ван­ня е­ле­мен­тів з а­то­мар­ним йо­дом:





– на стадии прогрева изделий происходит выравнивание температуры по объему реактора и формирование диффузионно-активных атомов элементов. При внесении в порошковую систему стальных изделий на их поверхности возможно протекание гетерогенных реакций обмена с железом подложки;

– на стадии изотермической выдержки происходит диффузионный рост покрытия, температура в реакторе не изменяется;

– на стадии охлаждения формирование слоев происходит менее интенсивно, что связано с уменьшением коэффициентов диффузии насыщающих элементов. При этом большое влияние на качество покрытия имеет скорость охлаждения.

Таблица 1 – Исследуемые факторы для системы титан-алюминий-кремний-хромистая составляющая

Характеристика	Факторы			
	В составе Al %, мас.	В составе Ti %, мас.	В составе Si %, мас.	В составе XС %, мас.
Код	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>
Основной уровень	10	15	10	20
Интервал варьирования	5	5	5	5
Нижний уровень	5	10	5	15
Верхний уровень	15	20	15	25

Экспериментально установлено, что при повышении температуры насыщения и увеличении длительности изотермической выдержки происходит рост толщины диффузионного слоя (рис.1,2).

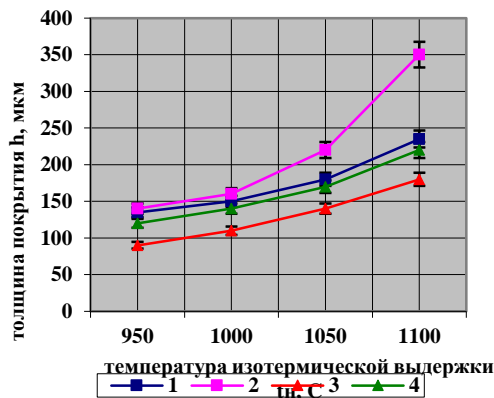


Рис. 1 – Влияние температуры изотермической выдержки на толщину титано-алюмо-силицированных слоев, полученных на технически чистом железе (2), стали 20 (1), стали 45 (4), У8 (3) в режиме теплового самовоспламенения Продолжительность изотермической выдержки  $\tau_b=60$  мин.

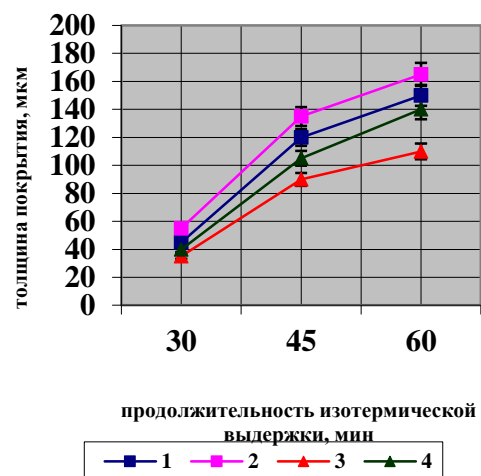


Рис. 2 – Влияние продолжительности изотермической выдержки на толщину титано-алюмо-силицированных слоев, полученных на технически чистом железе (2), стали 20 (1), стали 45 (4), У8 (3) в режиме теплового самовоспламенения при температуре насыщения  $t_n=1000$  °C

Покрyтия, получаемые в СВС-процессах состоят из пленки наносимого продукта и широкой градиентной диффузионной зоны, вследствие чего обладают улучшенными характеристиками по сравнению с диффузионными аналогами, а также характеризуются высокой адгезионной прочностью. Установлено, что на поверхности сталей формируется зона сложного силицида (Ti, Fe)<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, ниже расположены зоны алюминидов Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, FeAl, Fe<sub>3</sub>Al,

легированных Ti и Si, под ней расположена зона  $\alpha$ -твердого раствора титана, кремния, алюминия в железе с включением избыточной фазы  $Ti_5Si_3$  (рис.3).

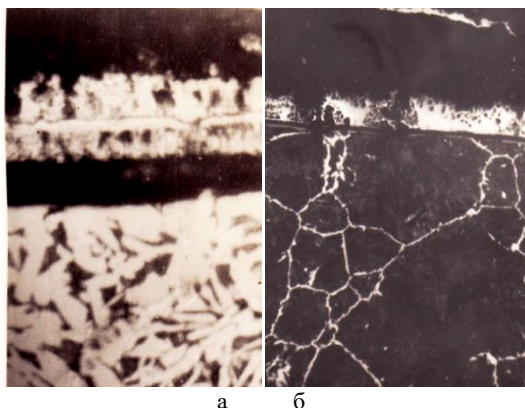


Рис. 3 – Микроструктуры многокомпонентных титано-алюмо-силицированных покрытий, полученных в режиме теплового самовоспламенения СВС – систем: а – на стали 45; б – на стали У8,  $\times 250$

При диффузии некарбидообразующих элементов в  $\gamma$ -железе после достижения предела растворимости происходит  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение. В  $\alpha$ -железе растворимость углерода незначительна, поэтому он оттесняется вглубь подложки с формированием зоны с повышенным содержанием углерода под покрытием. При повышении содержания в шихте алюминия и кремния толщина покрытия растет, однако для достижения высоких концентраций всех насыщающих элементов в покрытии, содержание Si и Al в шихте рекомендовано ограничить до 10% мас. Плотность, пористость и шероховатость покрытий зависит от содержания Si в смеси, при содержании Si  $\sim 10\%$  мас. поры имеют преимущественно округлую замкнутую форму. При увеличении концентрации кремния в шихту шероховатость покрытий увеличивается, высота микронеровностей достигает 15-20 мкм. Плотность сформированных покрытий составляет 2,8-3,1 г/см<sup>3</sup>. При увеличении концентрации кремния в смеси от 5 до 10% (масс.) общая пористость покрытия растет, при этом изменяется и конфигурация пор. Разработанные составы СВС-смесей были опробованы для упрочнения валков прокатных станов. При исследовании защитных слоев на приборе ПМТ-3 установлено, что микротвердость  $\alpha$ -твердого раствора составляет 350-200 НВ, микротвердость сложного силицида на поверхности сталей составляет 1100-1000 НВ.

Проведенные испытания СВС-покрытий на коррозионную стойкость показали повышение этого показателя в 1,5-1,8 раз по сравнению с диффузионным аналогом.

**Выводы.** Разработаны составы СВС-шихт для получения многокомпонентных титановых покрытий на углеродистых сталях. Получены данные о влиянии теплотехнических характеристик СВС-шихт на структуру, прочность и пористость покрытий. Титаноалюмосилицированные материалы с СВС-покрытиями обладают улучшенными

эксплуатационными характеристиками по сравнению с диффузионными аналогами.

#### Список литературы

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / под ред. Ляховича Л. С. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
2. Ворошнин Л. Г. Антикоррозионные диффузионные покрытия – Минск: Наука и техника, 1981 – 296 с.
3. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
4. Середя Б. П. Поверхневе зміннення матеріалів: Монографія / Середя Б. П., Калініна Н. Є., Кругляк І. В. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, – 2004. – 230 с.
5. Середя Б. П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів. Підручник. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2008. – 302 с.
6. Филоненко Б. А. Комплексные диффузионные покрытия. М.: Машиностроение. 1981 – 137 с.
7. Мержанов А. Г. Процессы горения и синтез материалов. – Черноголовка: ИСМАН, 1998. – 512 с.
8. Коган Я. Д., Середя Б. П., Штессель Э. А. Высокоинтенсивный способ получения покрытий в условиях СВС / Металловедение и термическая обработка металлов, 1991, №6. – С. 39–40
9. Бейгул О. О. Отримання зносостійких покриттів на автомобільних деталях при нестационарних температурних умовах / Бейгул О. О., Адамчук С. І., Середя Д. Б., Шульга А. С. // Збірник наукових праць ДДТУ, Кам'янське. – 2017. – Випуск 1(30). – С. 77–80.
10. Sereda B., Sereda D. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts. Material science and technology – 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016-1339p. – P.945–948.
11. Sereda B., Sereda D. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy. Material science and technology 2016. Conference and Exhibition. Salt Lake City, Utah USA 2012-1550p.- P. 931–934
12. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.
13. Синярев Г. Б., Ватолин Н. А., Трусов Б. Г., Моисеев Р. К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов – М.: Наука, 1982. – 263с.
14. Середя Б. П., Палехова И. В., Белоконь Ю. А., Середя Д. Б. Получение интерметаллидных соединений и покрытий при нестационарных температурных условиях. Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении: Научный журнал № 2, 2014. ЗНТУ, Запорожье – С.67–71

#### Bibliografy (transliterated)

1. Himiko-termicheskaia obrabotka metallov i splavov: Spravochnik / pod red. Ljahovicha L. S. – Moscow: Metallurgija, 1981. – 424 p.
2. Voroshnin L. G. Antikorrozionnye diffuzionnye pokrytija – Minsk: Nauka i tehnika, 1981 – 296 p.
3. Lahtin Ju. M., Arzamasov B. N. Himiko-termicheskaia obrabotka metallov. Uchebnoe posobie dlja vuzov. – Moscow: Metallurgija, 1985. – 256 p.
4. Sereda B. P. Poverhneve zmicennja materialiv: Monografija / Sereda B. P., Kalinina N. E., Krugljak I. V. – Zaporizhzhja: RVV ZDIA, – 2004. – 230 p.
5. Sereda B. P. Metaloznavstvo ta termichna obrobka chornih ta kol'orovih metaliv. Pidruchnik. – Zaporizhzhja: Vid-vo ZDIA, 2008. – 302 p.
6. Filonenko B. A. Kompleksnye diffuzionnye pokrytija – Moscow: Mashinostroenie. 1981 – 137 p.
7. Merzhanov A. G. Processy gorenija i sintez materialov. – Chernogolovka: ISMAN, 1998. – 512 p.
8. Kogan Ja .D., Sereda B. P., Shtessel' Je. A. Vysokointensivnyj sposob poluchennja pokrytij v uslovijah SVS / Metallovedenie i termicheskaia obrabotka metallov, 1991, No 6. – P. 39–40
9. Bejgul O. O. Otrimannja znosostijkih pokryttiv na avtomobil'nih detalej pri nestacionarnih temperaturnih umovah / Bejgul O. O., Adamchuk S. I., Sereda D. B., Shul'ga A. S. // Zbimik naukovih prac' DDTU, Kam`jans'ke. – 2017. – Vipusk 1(30). – P. 77–80.

10. Sereda B., Sereda D. Obtaining of Boride Coatings under ShS Conditions for Car Parts. *Material science and technology* – 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016-1339p.— P. 945–948.
11. Sereda B., Sereda D. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy. *Material science and technology 2016. Conference and Exhibition. Salt Lake City, Utah USA 2012-1550p.- P. 931–934*
12. Bekkert M., Klemm H. *Spravochnik po metallograficheskomu travleniju.* – Moscow: Metallurgija, 1979. – 336 p.
13. Sinjarev G. B., Vatolin N. A., Trusov B. G., Moiseev R. K. *Primenenie JeVM dlja termodinamicheskikh raschetov metallurgicheskikh processov* – Moscow: Nauka, 1982. – 263 p.
14. Sereda B. P., Palehova I. V., Belokon' Ju. A. , Sereda D. B. *Poluchenie intermetallidnyh soedinenij i pokrytij pri nestacionarnykh temperaturnyh uslovijah. Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii: Nauchnyj zhurnal № 2, 2014. ZNTU, Zaporozh'e, P. 67–71*

Поступила (received) 20.10.2017

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Упрочнение валков прокатного стана титановыми покрытиями в условиях СВС/ Б.П. Середя, И.В. Палехова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 54–58. – Библиогр.: 14 назв.– ISSN 2519-2671.**

**Зміцнення валків прокатного стану титановими покриттями в умовах СВС / Б.П. Середя, И.В. Палехова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 54–58. – Библиогр.: 14 назв.– ISSN 2519-2671.**

**Strengthening rolls of rolling mill with titanium coatings in SHS conditions / B. P. Sereda, I. V. Palehova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for processing materials in engineering and metallurgy. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No43 (1265). – P. 54–58. – Bibl: 14. – ISSN 2519-2671.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Середя Борис Петрович** – доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство», Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com

**Середя Борис Петрович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com

**Sereda Boris Petrovich** – doctor of engineering sciences, professor of department "Cars and motor-car economy", Dnepr state technical university, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com

**Палехова Ирина Владимировна** – Дніпровський державний технічний університет, інженер, м Кам'янське, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com

**Палехова Ирина Владимировна** – Днепропетровский государственный технический университет, инженер, г. Каменское, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com

**Palekhova Irina Vladimirovna** – Dneprovsky State Technical University, engineer, Kamenskoye,, 066 294 89 43, seredabp1@gmail.com