

УДК 669.2.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ СВС

СЕРЕДА Б. П. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
БЕЛОКОНЬ Ю. А. <sup>2</sup>, *к.т.н, докторант*,  
БЕЛОКОНЬ К. В. <sup>3</sup>, *к.т.н, доц.*,  
СЕРЕДА Д. Б. <sup>4</sup>, *аспирант*

<sup>1\*</sup>Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (063) 5525231, e-mail: [seredabp@rambler.ru](mailto:seredabp@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

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

<sup>3</sup>Кафедра прикладной экологии и охраны труда, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (097) 7357141, e-mail: [savela\\_karina@mail.ru](mailto:savela_karina@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-2000-4052

<sup>4</sup>Кафедра металлургии черных металлов, Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, 69006, Запорожье, Украина, тел. +38 (063) 2260817, e-mail: [seredadb@rambler.ru](mailto:seredadb@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

**Аннотация.** *Цель.* Для получения алюминидов никеля наряду с традиционными методами литья и порошковой металлургии, в последнее время, стали использовать технологию самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Необходимо установить закономерности формирования пористости и прочности интерметаллидных катализаторов при изменении режима СВС-процесса и степени легирования. *Методика.* В качестве исходных компонентов использовали чистые порошки никеля, алюминия, кобальта, меди, оксида марганца. Дисперсность порошков составляла 100-150 мкм. Схема приготовления шихты включала дозировку, смешивание, заполнение формы, СВС-прессование и термическую обработку. Механическую прочность образцов с покрытием определяли с помощью машины УГ-20. Испытания на сжатие проводили согласно ГОСТ 25.503-97. Термический анализ исследуемого образца проводили на приборе марки *Derivatograph Q 1050*. Микроструктуру полученных катализаторов исследовали на световом микроскопе «Neophot-21» и растровом электронном микроскопе «РЭМ-100». *Результаты.* Анализ результатов исследования физико-механических свойств интерметаллидных катализаторов, показал, что они отличаются в зависимости от состава смеси и технологического режима их обработки. Различие в физико-механических свойствах катализаторов объясняется отличиями в структуре, фазовом составе, величине пористости и размера пор. С введением добавки марганца пористость катализатора увеличивается в результате увеличения объема крупных пор, а структура мелких капилляров при этом совсем не изменяется, что объясняется локализацией оксида марганца в порах катализатора. Однако, с введением добавок марганца резко снижается механическая прочность заготовок, которая может быть увеличена, если Ni-Co-Mn катализатор дополнительно пролегируют медью. Важным преимуществом режима СВС, является то, что прочность катализатора в 1,5 раза выше, чем у спеченных материалов при той же пористости. Высокие температуры процесса и низкое содержание примесей на границе зерен (из-за самоочистки) приводят к образованию сильных связей между зернами в поликристалле. Среднее значение удельной поверхности для всех исследованных проб катализатора равно 112 м<sup>2</sup>/г. Анализ дериватограммы исходного образца Ni-Co-Mn-Cu зафиксировал прирост массы образца в диапазоне температур от 200-300°С на 2% мас. *Научная новизна.* Получены новые научные данные о влиянии режима СВС-процесса и степени легирования на пористость и прочность интерметаллидных катализаторов. Установлены параметры термической устойчивости интерметаллидных катализаторов. *Практическая значимость.* Установлены параметры СВС-прессования и уровни легирования на повышение пористости и пластичности интерметаллидных катализаторов.

**Ключевые слова:** СВС, интерметаллиды, катализаторы, пористость, прочность, термическая устойчивость

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ИНТЕРМЕТАЛІДНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ОТРИМАНИХ В УМОВАХ СВС

СЕРЕДА Б. П. <sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
БЕЛОКОНЬ Ю. О. <sup>2</sup>, *к.т.н, докторант*,  
БЕЛОКОНЬ К. В. <sup>3</sup>, *к.т.н, доц.*,  
СЕРЕДА Д. Б. <sup>4</sup>, *аспирант*

<sup>1\*</sup>Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (063) 5525231, e-mail: [seredabp@rambler.ru](mailto:seredabp@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

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

<sup>3</sup>Кафедра прикладної екології та охорони праці, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (097) 7357141, e-mail: [savela\\_karina@mail.ru](mailto:savela_karina@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-2000-4052

<sup>4</sup>Кафедра металургії чорних металів, Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (063) 2260817, e-mail: [seredadb@rambler.ru](mailto:seredadb@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

**Анотація. Мета.** Для отримання алюмінідів нікелю поряд з традиційними методами лиття та порошкової металургії, останнім часом, стали використовувати технологію саморозповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС). Необхідно встановити закономірності формування пористості і міцності інтерметалічних катализаторів при зміні режиму СВС-процесу і ступеня легування. **Методика.** В якості вихідних компонентів використовували чисті порошки нікелю, алюмінію, кобальту, міді, оксиду марганцю. Дисперсність порошоків становила 100-150 мкм. Схема приготування шихти включала дозування, змішування, заповнення форми, СВС-пресування і термічну обробку. Механічну міцність зразків визначали за допомогою машини УГ-20. Випробування на стиск проводили згідно ГОСТ 25.503-97. Термічний аналіз досліджуваного зразка проводили на приладі марки Derivatograph Q1050. Мікроструктуру отриманих катализаторів досліджували на світловому мікроскопі «Neophot-21» і растровому електронному мікроскопі «РЕМ-100». **Результати.** Аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей інтерметалічних катализаторів, показав, що вони відрізняються в залежності від складу суміші і технологічного режиму їх обробки. Різниця у фізико-механічних властивостях катализаторів пояснюється відмінностями в структурі, фазовому складі, величині пористості та розміру пор. С введенням добавки марганцю пористість катализатора збільшується в результаті збільшення обсягу великих пор, а структура дрібних капілярів при цьому зовсім не змінюється, що пояснюється локалізацією оксиду марганцю в порах катализатора. Однак, з введенням добавок марганцю різко знижується механічна міцність заготовок, яка може бути збільшена, якщо Ni-Co-Mn катализатор додатково пролегувати міддю. Важливою перевагою режиму СВС, є те, що міцність катализатора в 1,5 рази вище, ніж у спечених матеріалів при тій же пористості. Високі температури процесу і низький вміст домішок на границі зерен (через самоочищення) призводять до утворення сильних зв'язків між зернами в полікристалі. Середнє значення питомої поверхні для всіх досліджених проб катализатора складає 112 м<sup>2</sup>/г. Аналіз дериватограми вихідного зразка Ni-Co-Mn-Cu зафіксував приріст маси зразка в діапазоні температур від 200-300 °С на 2% мас. **Наукова новизна.** Отримані нові наукові дані про вплив режиму СВС-процесу і ступеня легування на пористість і міцність інтерметалічних катализаторів. Встановлено параметри термічної стійкості інтерметалічних катализаторів. **Практична значимість.** Встановлено параметри СВС-пресування і рівні легування для підвищення пористості і пластичності інтерметалічних катализаторів.

**Ключові слова:** СВС, інтерметаліди, катализатори, пористість, міцність, термічна стабільність

## THE RESEARCHING OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF INTERMETALLIC CATALYSTS OBTAINED IN SHS CONDITIONS

SEREDA B. P. <sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

BELOKON' Y. A. <sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Doctoral student*

BELOKON' K. V. <sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

SEREDA D. B. <sup>4</sup>, *Graduate student*

<sup>1\*</sup>Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozhye State Engineering Academy, Lenina ave., 226, 69006, Zaporozhe, Ukraine, tel. +38 (063) 5525231, e-mail: [seredabp@rambler.ru](mailto:seredabp@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0001-6100-5874

<sup>2</sup>Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozhye State Engineering Academy, Lenina ave., 226, 69006, Zaporozhe, Ukraine, tel. +38 (096) 1129554, e-mail: [belokonura@rambler.ru](mailto:belokonura@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0002-9327-5219

<sup>3</sup>Department of Applied Ecology, Zaporozhye State Engineering Academy, Lenina ave., 226, 69006, Zaporozhe, Ukraine, tel. +38 (097) 7357141, e-mail: [savela\\_karina@mail.ru](mailto:savela_karina@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-2000-4052

<sup>4</sup>Department of Ferrous Metallurgy, Zaporozhye State Engineering Academy, Lenina ave., 226, 69006, Zaporozhe, Ukraine, tel. +38 (063) 2260817, e-mail: [seredadb@rambler.ru](mailto:seredadb@rambler.ru), ORCID ID: 0000-0003-4353-1365

**Abstract. Purpose.** For nickel aluminides along with traditional methods of casting and powder metallurgy, recently began to use the technology self-propagating high-temperature synthesis (SHS). You must install the regularities of formation porosity and strength intermetallic catalysts when changing the SHS process and the degree of doping. **Methodology.** As starting components used pure powders of nickel, aluminum, cobalt, copper, and manganese oxide. Dispersible powders was 100-150 m. Scheme batch cooking involved dosing, mixing, mold filling, SHS compaction and heat treatment. The mechanical strength of samples was determined via UG-20 machine. Compression testing was performed according to GOST 25.503-97. Thermal analysis of the test sample was performed on the brand Derivatograph Q1050. The microstructure of the obtained catalysts were tested for light microscope «Neophot-21» and a scanning electron microscope «SEM-100». **Findings.** Analysis of the results of physical and mechanical properties of intermetallic catalysts showed that they differ depending on the mixture composition and process mode processing. The difference in the physical and mechanical properties of the catalyst is due to differences in the structure, phase composition, the porosity and pore size. The introducing additives porosity manganese catalyst is increased by increasing the volume of large pores and the structure with small capillaries not change due to the localization of manganese oxide in the catalyst pores. However, with the introduction of additives manganese sharply reduced mechanical strength blanks which may be increased if the

Ni-Co-Mn catalyst additionally prolegirovat copper. An important advantage of SHS mode, is that the strength of the catalyst is 1,5 times higher than that of the sintered materials at the same porosity. High process temperatures and low content of impurities at the grain boundary (due to self-cleaning) lead to the formation of strong bonds between the grains in the polycrystal. The average value for all of the specific surface of the catalyst is tested samples 112 m<sup>2</sup>/g. Analysis of the initial sample derivatograms Ni-Co-Mn-Cu gave weight gain of the sample at temperatures ranging from 200-300 °C 2% by weight. **Originality.** New scientific evidence on the effect of mode of SHS process and the degree of doping on the porosity and strength of the intermetallic catalysts. The parameters of the thermal stability of intermetallic catalysts. **Practical value.** The parameters of SHS pressing and doping levels to increase the porosity and plasticity of intermetallic catalysts.

**Keywords:** SHS, intermetallic, catalysts, porosity, durability, thermal stability

## Введение

Для нового поколения современных катализаторов необходимы материалы, которые сочетают высокую каталитическую активность с низкой плотностью и высокими механическими свойствами. Большой интерес представляют интерметаллидные сплавы на основе алюминидов никеля [1-4]. Для получения алюминидов никеля наряду с традиционными методами литья и порошковой металлургии, в последнее время, стали использовать технологию самороспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [5-8]. СВС является эффективным методом получения широкого класса материалов и представляет собой сильно экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, протекающее в режиме горения. Естественно, что способ получения материала может во многом определять его структуру и свойства, поэтому возникает необходимость подробного изучения этих характеристик.

## Цель

Целью данной работы установление закономерностей формирования пористости и прочности интерметаллидных катализаторов при изменении режима СВС-процесса и степени легирования.

## Методика

В качестве исходных компонентов использовали чистые порошки никеля, алюминия, кобальта, меди, оксида марганца. Дисперсность порошков составляла 100–150 мкм. Схема приготовления шихты включала дозировку, смешивание, заполнение формы, СВС-прессование и термическую обработку.

Механическую прочность образцов определяли с помощью машины УГ-20. Испытания на сжатие проводили согласно ГОСТ 25.503-97. Образцы для испытания на сжатие имели диаметр 20 мм и высоту 20 мм. Термический анализ исследуемого образца проводили на приборе марки *Derivatograph Q 1050*, нагревая образец в атмосфере воздуха со скоростью 10 град/мин. Микроструктуру полученных катализаторов исследовали на световом микроскопе «Neophot-21» и растровом электронном микроскопе «РЭМ-100».

## Результаты

В результате исследования установлено, что общая пористость катализатора уменьшается с повышением давления прессования, обусловленное уменьшением объема крупных пор. Объем мелких пор при этом даже несколько увеличивается. Радиус максимального объема пор образцов катализатора, равный примерно 450 Å, с изменением давления прессования не изменяется. Удельная поверхность катализатора в расчете на единицу веса остается постоянной, а механическая прочность заготовок с увеличением давления прессования повышается.

С введением добавки марганца пористость катализатора увеличивается в результате увеличения объема крупных пор, а структура мелких капилляров при этом совсем не изменяется, что объясняется локализацией оксида марганца в порах катализатора. Максимум распределения объема пор по величине их радиусов с увеличением количества добавки смещается в сторону крупных пор. Пористость исследованных образцов катализатора определяется главным образом объемом крупных пор, а величина внутренней поверхности – развитием мелких капилляров.

Однако, с введением добавок марганца резко снижается механическая прочность заготовок, которая может быть увеличена, если Ni-Co-Mn катализатор дополнительно пролегируют медью. Медь сдвигает равновесие в Ni-Al системе в никелевый угол, образуя твердый раствор на основе Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>, двойные и тройные интерметаллиды, что способствует повышению механической прочности заготовки [9]. Так, при изготовлении повторных проб катализаторов с добавками 10 и 15% марганца, когда дополнительно в сплав вводили 2% меди, отмечалось изменение механической прочности заготовки: для пробы с 10% марганца прочность увеличилась с 12,2 до 15,8 МПа, а для образца с 15% марганца – с 12,1 до 14,5 МПа.

Пористая структура катализатора зависит также от способа его получения. Катализаторы синтезированные в условиях горения и теплового самовоспламенения обладают рядом преимуществ по сравнению с такими же катализаторами, полученными обычными методами порошковой металлургии [10]. Прежде всего, следует отметить их очень высокую конечную пористость, которая может быть выше на 5-10% объемн. Это объясняется рядом факторов. Во-первых, отрицательным объемным

эффектом реакции горения, связанным с тем, что молярный объем продуктов горения обычно меньше молярного объема реагентов. Во-вторых, выделением примесных газов при превращении шихты в конечный продукт. При обычном спекании катализаторов таких эффектов не наблюдается.

Другим, еще более важным преимуществом режима СВС, является то, что прочность катализатора в 1,5 раза выше, чем у спеченных материалов при той же пористости. Высокие температуры процесса и низкое содержание примесей на границе зерен (из-за самоочистки) приводят к образованию сильных связей между зернами в поликристалле. Это похоже на «сварку» зерен с образованием каркаса, что также является причиной высокой прочности [11]. На рис. 1. показаны зависимости прочности катализатора от пористости для Ni-Co-Mn-Cu сплава, полученного в режиме теплового самовоспламенения и традиционным спеканием.

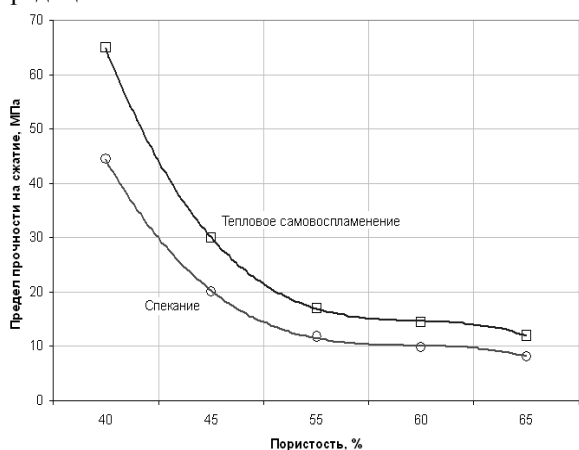
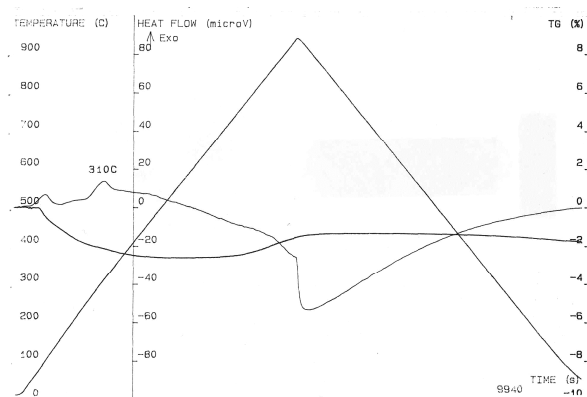


Рис. 1. Прочность пористого Ni-Co-Mn-Cu катализатора / The strength of porous Ni-Co-Mn-Cu catalyst

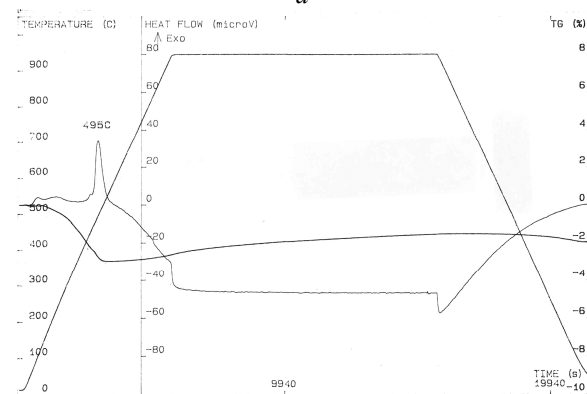
Величина внутренней поверхности единицы веса катализатора при изменении давления прессования, практически не изменяется. Среднее значение удельной поверхности для всех исследованных проб катализатора равно 112 м<sup>2</sup>/г.

Также одной из важных характеристик катализатора является термическая устойчивость. Термическая устойчивость катализаторов может изменяться в зависимости от свойств газовой фазы, в которой находится катализатор [12]. Учитывая, что никель-кобальтовый катализатор применяется главным образом в процессах окисления оксида углерода и углеводородов, для характеристики этого катализатора значительный интерес представляют данные о термической устойчивости его в среде углеродсодержащих газов.

Для того чтобы изучить процесс выгорания продуктов уплотнения, а следовательно, и возможности регенерации катализаторов на основе системы Ni-Al, легированной кобальтом, марганцем и медью, были проведены дериватографические исследования (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Термогравиметрический анализ Ni-Co-Mn-Cu катализатора: а – до каталитических исследований, б – после каталитических исследований / Thermogravimetric analysis of the Ni-Co-Mn-Cu catalyst: a - before the catalytic studies, b - after catalytic studies

Анализ дериватограммы исходного образца Ni-Co-Mn-Cu зафиксировал прирост массы образца в диапазоне температур от 200-300°C на 2% мас. Увеличение массы можно объяснить образованием оксида никеля (NiO), тем более, что на кривых ТГ проявляется диффузионный пик с невыраженным максимумом в диапазоне температур 310°C (рис. 2, а).

После каталитических испытаний в процессе окисления оксида углерода катализаторы подвергались закоксовыванию [13]. Закономерности выгорания образовавшихся продуктов уплотнения представлены на дериватограмме (рис. 2, б). В системе наблюдается максимум экзотермического эффекта при температуре 495°C. При этом потеря веса составляет до 6% мас. Таким образом, наблюдается закономерное уменьшение массы образца катализатора, что соответствует выгоранию продуктов уплотнения до температуры около 790°C (при которой, вероятно, происходит сублимация NiO). Далее происходит приращение массы, связанное с окислением металлического никеля, что подтверждается данными рентгеновской дифракции.

## Научная новизна и практическая значимость

Получены новые научные данные о влиянии режима СВС-процесса и степени легирования на пористость и прочность интерметаллидных катализаторов.

Установлены параметры термической устойчивости интерметаллидных катализаторов.

## Выводы

Анализ результатов исследования физико-механических свойств интерметаллидных катализаторов, показал, что они отличаются в зависимости от состава смеси и технологического режима их обработки. Различие в физико-механических свойствах катализаторов объясняется отличиями в структуре, фазовом составе, величине пористости и размера пор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
/ REFERENCES

1. Колесников М.И. Катализ и производство катализаторов / М.И. Колесников. – М.: Техника, 2004. – 400 с.

Kolesnikov M. I. Kataliz i proizvodstvo katalizatorov / M. I. Kolesnikov. – М.: Tekhnika, 2004. – 400 p.

<http://www.twirpx.com/file/565961/>

2. Григорян Э. А., Мержанов А. Г. Катализаторы XXI века / Э. А. Григорян, А. Г. Мержанов // Наука производству. – 1998. – №3 (5). – С. 30-41.

Grigoryan E. A., Merzhanov A. G. Katalizatory XXI / E. A. Grigoryan, A. G. Merzhanov // Nauka proizvodstvu. – 1998. – №3 (5). – P. 30-41.

<http://www.ism.ac.ru/news/journals/index.htm>

3. Токабе К. Катализаторы и каталитические процессы / К. Токабе. – М.: Техника, 1993. – 350 с.

Tokabe K. Katalizatory i kataliticheskie protsessy / K. Tokabe. – М.: Tekhnika, 1993. – 350 p.

<http://www.twirpx.com/file/286474/>

4. Попова Н. М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств / Н. М. Попова. – М.: Химия, 1991. – 176 с.

Popova N. M. Katalizatory ochistki gazovykh vybrosov promyshlennykh proizvodstv / N.M. Popova. – М.: Khimiya, 1991. – 176 p.

[http://books.google.com.ua/books/about/Катализаторы\\_очистки.html?id=ZeFdAAAAAAAJ&redir\\_esc=y](http://books.google.com.ua/books/about/Катализаторы_очистки.html?id=ZeFdAAAAAAAJ&redir_esc=y)

5. Мержанов А. Г. Процессы горения и синтеза материалов / А. Г. Мержанов. – Черноголовка: ИСМАН, 1998. – 512 с.

Merzhanov A. G. Protsessy goreniya i sinteza materialov / A. G. Merzhanov. – Chernogolovka: ISMAN, 1998. – 512 p.

[http://www.ism.ac.ru/n\\_internal/archive](http://www.ism.ac.ru/n_internal/archive)

6. Амосов А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – 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/>

7. 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>

8. Середя Б.П. Нові матеріали в металургії [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Б.П.Середя. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 392 с.

Sereda B.P. Novi materiali v metalurgii [navch. posib. dlya stud. vishch. navch. zakl.] / B.P.Sereda. – Zaporizhzhya: ZDIA, 2009. – 392 p.

<http://www.library.zgia.zp.ua/ukr/index.php?text=Polnotext&bookid=36003>

9. Середя Б.П. Влияние состава никель-алюминиевого сплава с добавками Co, Mn и Cu на структуру и удельную активность катализатора на их основе / Б.П. Середя, Г.Б. Кожемякин, В.Г. Рыжков [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Дн-вск: ПГАСА, 2009. – Вып. 48. – С. 101-104.

Sereda B.P. Vliyanie sostava nikel'-alyuminievogo splava s dobavkami Co, Mn i Cu na strukturu i udel'nuyu aktivnost' katalizatora na ikh osnove / B.P. Sereda, G.B. Kozhemyakin, V.G. Ryzhkov [i dr.] // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauch. trudov. – Dn-vsk: PGASA, 2009. – Vyp. 48. – P. 101-104.

<http://pgasa.dp.ua/labconcrete/publicat.html>

10. Raney-nickel catalysts produced by mechanical alloying / B. Zeifert, J.S. Blasquez, J.G.C. Moreno, H.A. Calderon // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2008. – №18. – P. 632-638.

[http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no\\_71808/zeifert.pdf](http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_71808/zeifert.pdf)

11. The Researching and Modeling of Physical-Chemical Properties of Ni-base Alloys in SHS Conditions / B. Sereda, Y. Belokon', A. Zherebtsov, D. Sereda // Materials Science and Technology. – Pittsburgh: MS&T, 2012. – P. 494-498.

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

12. The Retrieving of Heat-resistant Alloys on Intermetallic Base for Details of Gas Turbine Engine Hot Track in SHS Conditions / B. Sereda, Y. Belokon', A. Zherebtsov, K. Belokon' // Materials Science and Technology. – Houston: MS&T, 2010. – P. 2097-2102.

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

13. Аркатова Л. А. Углекислотная конверсия метана на алюминиды никеля / Л.А. Аркатова, Т.С. Харламова, Л.В. Галактионова [и др.] // Журнал физической химии. – 2006. – Т.80. – № 8. – С. 1403-1406.

Arkatoval L. A. Uglekislotnaya konversiya metana na alyuminidakh nikelya / L.A. Arkatova, T.S. Kharlamova, L.V. Galaktionova [i dr.] // Zhurnal fizicheskoy khimii. – 2006. – T.80. – № 8. – P. 1403-1406.

<http://ntb.misis.ru:591/OpacUnicode/index.php?url=/auteur/s/view/id:111777/source:default>

*Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. С. А. Воденниковым (Украина); д-ром.техн.наук, проф. Т. В. Критской (Украина)*

Поступила в редколлегия 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015