

**СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ НИКЕЛЯ И  
КОБАЛЬТА В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ Ni-Co**

**Л. С. АБОВЯН<sup>а</sup>, А. В. КИРАКОСЯН<sup>а</sup>, А. Г. ЗАРГАРЯН<sup>а</sup> и С. Л. ХАРАТЯН<sup>а,б</sup>**

<sup>а</sup> Институт химической физики им. А.Б. Налбандяна НАН Республики Армения  
Армения, 0014, Ереван, ул. П. Севака, 5/2

<sup>б</sup> Ереванский государственный университет  
Армения, 0025, Ереван, ул. А. Манукяна, 1  
E-mail: larisa@ichph.sci.am

Поступило 16 V 2018

Исследована возможность получения сплавов Ni-Co в режиме горения при совместном восстановлении оксидов соответствующих металлов с использованием полистирола (ПС) в качестве восстановителя. Изучены закономерности горения системы  $x\text{NiO-Co}_3\text{O}_4\text{-ПС-NH}_4\text{NO}_3$ , определены химический и фазовый составы, а также микроструктуры конечных продуктов. Выявлены основные факторы, влияющие на закономерности горения и фазообразования. Определены пределы горения по содержанию различных компонентов в исходной смеси. Показано, что состав конечных продуктов и сплавов Ni-Co можно контролировать изменением соотношения компонентов и количества высококалорийной добавки ПС-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> в исходной смеси. Определены оптимальные условия полного совместного восстановления оксидов и получения Ni-Co сплавов различного состава. Показано, что в зависимости от температуры горения металлы в конечных продуктах могут находиться в виде механической смеси или твердого раствора.

Рис. 6, библиографических ссылок 18.

Магнитные сплавы на основе никеля и кобальта отличаются превосходными механическими и магнитными свойствами, коррозионной стойкостью, устойчивостью при высоких температурах, что обуславливает их широкое применение в технике. Кобальт-никелевые сплавы применяются в электротехнике, авиационной и космической промышленности, а также в качестве эффективных катализаторов при гидрировании различных органических соединений, для глубокого окисления СО и различных углеводородов, углекислотной конверсии метана [1-5]. Методы получения металлов можно применить для сплавов при обес-

печении определенных условий проведения процесса. Сплавы Ni-Co получают путем совместного плавления или спекания металлов, осаждения из электролитов, сонохимическим синтезом (облучение ультразвуком высокой интенсивности), гидротермальным способом [5-8]. Основными недостатками традиционных технологий являются продолжительность, многостадийность и энергоемкость процесса. Этим недостатком лишен самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) или синтез в режиме горения [9,10], который за последние десятилетия признан одним из самых передовых методов получения различных неорганических соединений, металлов и сплавов.

В работе [11] впервые в качестве восстановителя в процессах СВС был применен полистирол (ПС) на примере восстановления оксида меди (II). В случае оксидов никеля и кобальта, для которых восстановление полистиролом является слабозкотермической реакцией, для повышения температуры и осуществления процесса в режиме горения в работе [12] была использована высококалорийная добавка, содержащая полистирол и сильный окислитель –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Nt). В работах [13-16] исследована возможность совместного восстановления металлов из смеси соответствующих оксидов ( $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{NiO}$  и  $\text{CuO}$ ,  $\text{CuO}$  и  $\text{Co}_x\text{O}_y$ ) [13-15], а также получения порошка кобальта из сульфатного сырья ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) в режиме двухстадийного горения [16] при использовании в качестве восстановителя полистирола, а также высококалорийной добавки.

Цель данной работы – исследование возможности получения сплавов Ni-Co в режиме горения при совместном восстановлении оксидов соответствующих металлов полистиролом.

Для решения поставленной задачи нами был применен метод теплового сопряжения химических реакций в волне СВС [17]. Этими реакциями являются практически теплонейтральные или слабозкотермические реакции  $\text{NiO} + \text{ПС}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4 + \text{ПС}$  и сильноэкотермическая реакция  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{ПС}$  [12]. В этом случае ответственным за распространение волны горения является сильноэкотермическое взаимодействие  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{ПС}$  (высококалорийная смесь – ВС), за счет выделенного тепла которого протекают реакции  $\text{NiO} + \text{ПС}$  и  $\text{Co}_3\text{O}_4 + \text{ПС}$ . Согласно результатам термодинамического анализа, оптимальным является интервал изменения соотношения  $\text{ПС}/\text{NH}_4\text{NO}_3$  от 0.04 до 0.06. При таком соотношении реагентов достигается максимальная адиабатическая температура горения смеси  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{ПС}$  ( $T_{\text{ад}} = 2000^\circ\text{C}$ ), причем продуктами сгорания являются исключительно газы (преимущественно  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2/\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ).

Исходя из вышесказанного в работе ставились следующие задачи:  
а) исследование закономерностей горения в системе  $x\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.06(4+x)\text{ПС}-y(\text{BC})$  в зависимости от состава исходной шихты (количе-

ства высококалорийной добавки —  $y$ , и относительного содержания оксида никеля —  $x$ ); б) выявление состава конечных продуктов, а также пределов горения по количеству высококалорийной добавки в исходной смеси; в) определение оптимальных условий полного совместного восстановления оксидов и получения сплавов Ni-Co с различным содержанием никеля.

Выбор оптимальных режимов процесса проводился на основе предварительного термодинамического анализа исследуемой системы. Были рассчитаны адиабатические температуры горения и равновесные составы продуктов при вариации параметров исходной смеси ( $x$  и  $y$ ).

## Методика эксперимента

Эксперименты проводились в реакторе постоянного давления в среде азота (чистота 99.97%) при давлении 5 *атм*. Для приготовления исходных смесей использовались: порошок оксида кобальта ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) марки "ч.д.а." с размером частиц менее 50 *мкм*, порошок оксида никеля (NiO) марки "ч." с размером частиц менее 50 *мкм*, порошок полистирола марки ПСЭ-1 с размером частиц менее 10 *мкм* и гранулированный нитрат аммония ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) с содержанием азота 35 масс.%. Порошки исходных компонентов тщательно перемешивались в фарфоровой ступке в течение 10-15 *мин* до получения однородной смеси. Из исходных смесей изготавливались цилиндрические образцы диаметром 20 и высотой 50-60 *мм* (свободная засыпка в бумажном стакане) и помещались в реактор. Реактор предварительно вакуумировался до остаточного давления  $10^{-1}$  *мм рт ст*, продувался азотом, снова вакуумировался и затем заполнялся азотом до требуемого давления.

Инициирование горения смесей осуществлялось нагретой электрическим током нихромовой спиралью с верхнего торца образца. В качестве поджигающей использовалась смесь состава 15%  $\text{KNO}_3 + 85\%$  Si. После полного сгорания образцов и остывания полученный продукт извлекался из реактора и изучался рентгенофазовым и электронно-микроскопическим методами анализа. Максимальные температуры горения ( $T_r$ ) измерялись хромель-алюмелевой термопарой диаметром 0.2 *мм*. Среднее значение линейной скорости горения ( $U_r$ ) определялось по сигналам нескольких термопар, заделанных в образец на определенном расстоянии друг от друга. Управление экспериментом и запись сигналов термопар осуществлялись с помощью подключенного к установке персонального компьютера.

Рентгенофазовый анализ сгоревших образцов проводился на дифрактометре "ДРОН-3.0", в котором источником излучения служила рентгеновская трубка с медным анодом ( $\text{CuK}_\alpha$ , длина волны 1.54056 Å) при  $U = 25$  *кВ* и  $I = 10$  *мА*. Микроструктуры образцов изучались с по-

мощью растрового электронного микроскопа "BS-300". Одновременно определялась потеря массы сгоревших образцов ( $\Delta m$ ), обусловленная удалением газообразных продуктов горения ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  и др.). Проверялось также наличие магнитных свойств продукта.

## Результаты и их обсуждение

### *Термодинамический анализ системы $x\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.06(4+x)\text{ПС}-y(\text{BC})$ .*

Предварительный термодинамический анализ исследуемой системы осуществлялся с применением компьютерной программы "THERMO", разработанной в ИСМАН РФ [18]. Она позволяет рассчитать адиабатическую температуру горения системы и равновесный состав конечных продуктов (конденсированных и газообразных).

Термодинамический анализ системы  $x\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.06(4+x)\text{ПС}-y(\text{BC})$  проводился в широком интервале изменений параметров  $x$  ( $0 \leq x \leq 15$ ) и  $y$  ( $0 \leq y \leq 10$ ).

На рис. 1 представлены результаты расчетов, полученные для системы  $3\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.42\text{ПС}-y(\text{BC})$  в интервале изменения относительного количества высококалорийной добавки ( $y$ ) от  $y = 0$  до  $y = 4$ .

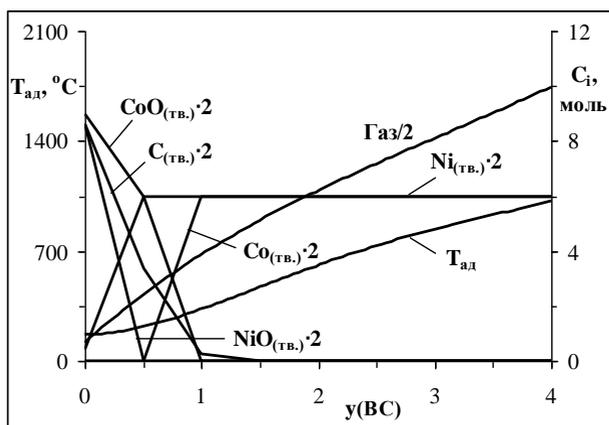


Рис. 1. Зависимости адиабатической температуры горения ( $T_{\text{ад}}$ ) и равновесных концентраций конечных продуктов ( $C_i$ ) от относительного содержания (BC) в исходной смеси ( $y$ ) для системы  $3\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.42\text{ПС}-y(\text{BC})$ ,  $P_{\text{газ}}=5$  атм.

Как видно из рисунка, адиабатическая температура ( $T_{\text{ад}}$ ) горения и равновесный состав продуктов существенным образом зависят от относительного количества высококалорийной добавки ( $y$ ) в исходной смеси: увеличение значения параметра  $y$  приводит к значительному увеличению адиабатической температуры горения. Установлено, что полное совместное восстановление металлов наблюдается только при  $y \geq 1$ . При  $y < 1$  среди конденсированных продуктов, кроме восстановленных металлов, содержатся также свободный углерод, оксиды никеля ( $\text{NiO}$ ) и кобальта ( $\text{CoO}$ ). Увеличение величины параметра  $y$  приводит также к значительному увеличению суммарного количества газообразных продуктов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$ ). Термодинамически оптимальные

условия полного совместного восстановления оксидов в системе  $3\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.42\text{ПС}-y(\text{BC})$  с целью получения сплава  $3\text{Ni}-3\text{Co}$  в режиме горения лежат в интервале изменения параметра  $2 \leq y \leq 4$ , когда  $T_{\text{ад}} > 700^\circ\text{C}$ . При  $y < 2$  наблюдается тенденция к быстрому снижению  $T_{\text{ад}}$ , что может привести к срыву горения и возникновению концентрационного предела горения (нижнего) по содержанию BC.

Аналогичные расчеты были проведены также для других соотношений оксидов в исходной смеси ( $x = 1$  и  $9$  молей). На основании полученных результатов можно заключить, что в системе  $x\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.06(4+x)\text{ПС}-y(\text{BC})$  для обеспечения высоких значений адиабатической температуры горения и полного восстановления металлов с увеличением значения параметра  $x$  наблюдается перемещение области значений параметра  $y$  в сторону высоких значений. Например, при  $x = 1, 3, 9$  полное восстановление металлов наблюдается при  $y > 0.67, 1, 2$ , соответственно.

Термодинамические расчеты по влиянию изменения соотношения оксидов на  $T_{\text{ад}}$  и равновесный состав конечных продуктов системы  $x\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.06(4+x)\text{ПС}-y(\text{BC})$  были проведены при  $y = 3$  (рис. 2). При выборе значения параметра  $y$  учитывались два обстоятельства: обеспечение сравнительно высокой адиабатической температуры горения и образование целевых конечных продуктов. Согласно результатам расчетов, в широком интервале изменения параметра  $x$  ( $0 \leq x \leq 5$ ) наблюдается полное совместное восстановление обоих металлов: среди конденсированных продуктов присутствуют только никель и кобальт. Как видно из рис. 2, увеличение значения параметра  $x$  приводит к значительному уменьшению адиабатической температуры горения (с  $1230$  до  $670^\circ\text{C}$ ) и значительному увеличению суммарного количества газообразных продуктов. Наблюдаемая сильная зависимость  $T_{\text{ад}}$  от параметра  $x$  связана с тем, что экзотермический эффект процесса обусловлен в основном величиной доли сильноэкзотермической реакции в суммарном процессе, которая в данном случае уменьшается.

Таким образом, результаты термодинамического анализа по влиянию параметров  $x$  и  $y$  подтверждают возможность полного совместного восстановления оксидов никеля и кобальта полистиролом в режиме горения при любом соотношении оксидов металлов при наличии высококалорийной добавки в исходной смеси и позволяют выбирать термодинамически оптимальные условия для получения сплавов  $\text{Ni}-\text{Co}$  с различным соотношением металлов.

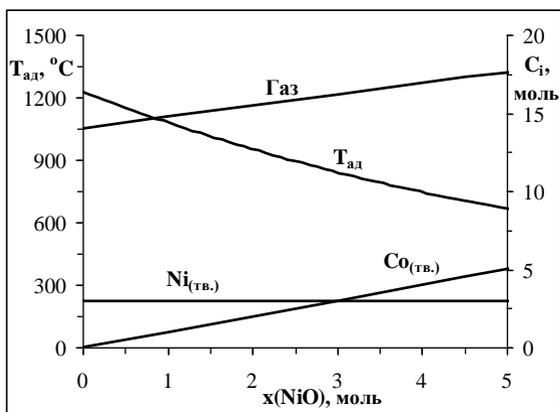


Рис. 2. Зависимости адиабатической температуры горения ( $T_{ад}$ ) и равновесных концентраций конечных продуктов ( $C_i$ ) от относительного количества оксида никеля ( $x$ ) в исходной смеси для системы  $xNiO-Co_3O_4-0.06(4+x)ПС-3(BC)$ ,  $P_{газ}=5$  атм.

**Закономерности горения системы  $xNiO-Co_3O_4-0.06(4+x)ПС-y(BC)$ .** Для совместного восстановления металлов и получения сплавов Ni-Co с различным содержанием металлов экспериментально исследовались закономерности горения системы  $xNiO-Co_3O_4-0.06(4+x)ПС-y(BC)$  в зависимости от соотношения оксидов металлов ( $x$ ) и количества высококалорийной добавки ( $y$ ) в исходной смеси. Получены зависимости температуры и скорости горения, а также потери массы образца от параметра  $x$  и  $y$ , определены химический и фазовый составы продуктов сгорания, исследованы микроструктуры конечных продуктов. Степень совместного восстановления металлов количественно оценивался по величине значений потери массы образца. Качественно о восстановлении металлов в процессе горения можно было судить также по обнаружению магнитных свойств. Окончательное подтверждение оценки степени совместного восстановления металлов проводилось определением фазового состава конечных продуктов.

Согласно экспериментальным данным (рис. 3), полученным для системы  $3NiO-Co_3O_4-0.42ПС-y(BC)$ , совместное восстановление оксидов никеля и кобальта в режиме горения можно осуществить при значениях параметра  $y > 1$ . Из рис. 3 видно, что с увеличением параметра  $y$  наблюдается значительный рост температуры и скорости горения, а также потери массы образцов ( $\Delta m$ ). В области  $y \geq 2$  наблюдается полное восстановление обоих металлов и образование механической смеси никеля и кобальта или твердого раствора — сплава Ni-Co, содержащего ~50 масс.% никеля. В интервале изменения параметра  $1 < y < 2$  имеет место неполное восстановление металлов.

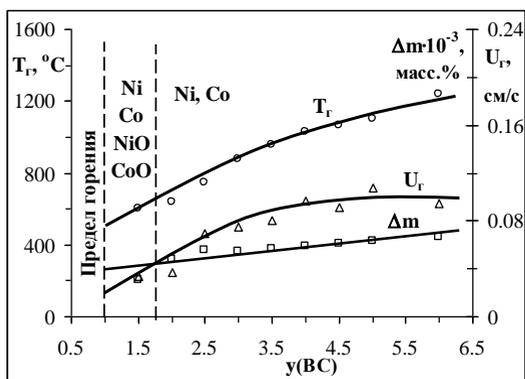


Рис. 3. Зависимости температуры ( $T_f$ ) и скорости ( $U_f$ ) горения, потери массы образца ( $\Delta m$ ) от относительного количества ( $y$ ) ВС в исходной смеси для системы  $3NiO-Co_3O_4-0.42PC-y(VC)$ .

Аналогичные результаты получены и для других исследованных систем:  $NiO-Co_3O_4-0.3PC-y(VC)$  и  $9NiO-Co_3O_4-0.78PC-y(VC)$ . В этих случаях при полном совместном восстановлении металлов образуются механические смеси Ni и Co или сплавы состава Ni-3Co и 3Ni-Co, содержащие ~25 и ~75 масс.% никеля, соответственно. Для первой системы нижний концентрационный предел горения наблюдается при  $y=0.67$ , а для второй – при  $y=2$ . Полное совместное восстановление оксидов имеет место в области  $y \geq 1.5$  (при  $x=1$ ) и  $y \geq 4$  (при  $x=9$ ). В интервале изменения параметра  $0.67 < y < 1.5$  (при  $x=1$ ) и  $2 < y < 4$  (при  $x=9$ ) имеет место неполное восстановление металлов: конечные продукты содержат также оксиды никеля и кобальта.

На рис. 4 представлены экспериментальные результаты, полученные при горении смесей с различным соотношением оксидов в исходной смеси и постоянном количестве высококалорийной добавки ( $y=3$ ). Увеличение количества оксида никеля ( $x$ ) приводит к уменьшению температуры и скорости горения, потери массы образца. Наблюдаемая сильная зависимость  $T_f$  от параметра  $x$ , как уже отмечалось выше, связана с уменьшением доли сильноэкзотермической реакции в суммарном процессе. При этом полное совместное восстановление металлов наблюдается только в интервале  $x \leq 4.5$ . В интервале  $x > 4.5$  из-за низких значений температур горения имеет место неполное восстановление одного или обоих металлов.

При относительно высоких значениях параметра  $y$  (высокие температуры горения) имеет место полное восстановление металлов и получаются трехфазные продукты, состоящие из металлов (Ni и Co) и их твердых растворов (Ni-Co), или однофазные продукты, представляющие собой твердые растворы металлов (рис. 5а, б).

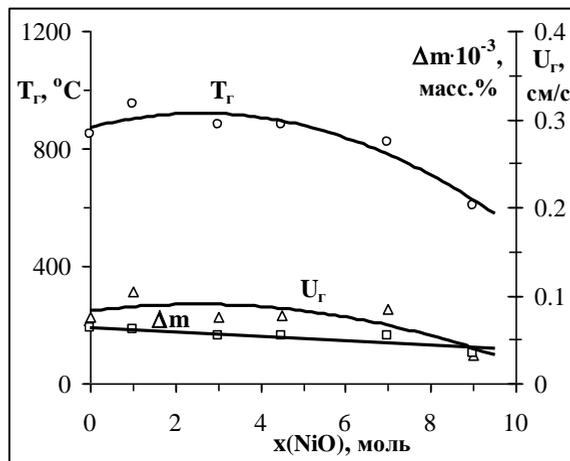


Рис. 4. Зависимости температуры ( $T_g$ ) и скорости ( $U_g$ ) горения, потери массы ( $\Delta m$ ) от относительного количества количества оксида никеля ( $x$ ) в исходной смеси для системы  $xNiO-Co_3O_4-(4+x)0.06PC-3(BC)$ .

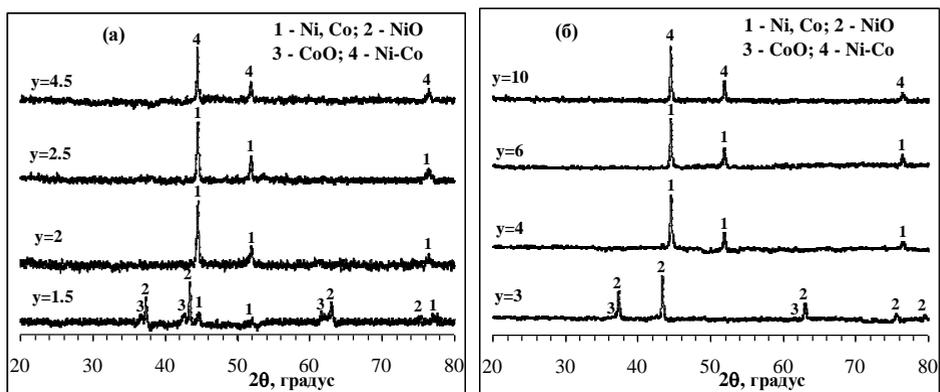
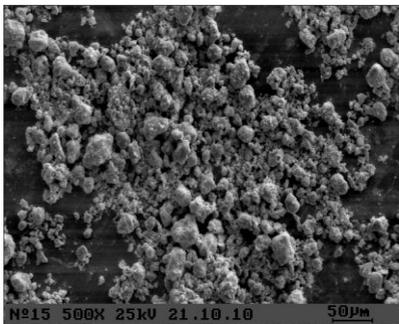


Рис. 5. Дифрактограммы конечных продуктов, полученных при горении смесей: а –  $3NiO-Co_3O_4-0.42PC-y(BC)$ , б –  $9NiO-Co_3O_4-0.78PC-y(BC)$  при различных значениях  $y$ .

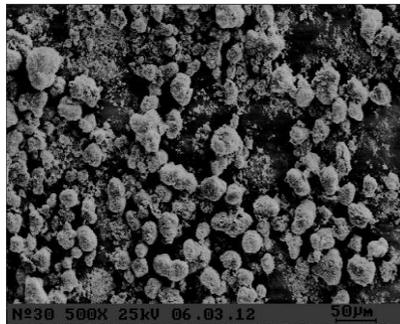
**Фазообразование в системе  $xNiO-Co_3O_4-(4+x)0.06PC-y(BC)$  и микроструктура конечных продуктов.** Никель образует с кобальтом непрерывные растворы в жидком и твердом состоянии. Сплавы Ni-Co, согласно диаграмме состояния Ni-Co [2], представляют собой твердые растворы никеля с кобальтом различного состава.

В зависимости от температуры горения металлы в конечных продуктах могут находиться в виде механической смеси или твердого раствора.

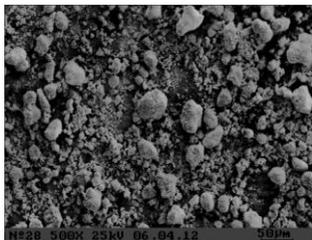
На рис. 6 представлены микроструктуры исходных оксидов (рис. 6а, б) и конечных продуктов (рис. 6в-д), полученных при горении системы  $3NiO-Co_3O_4-0.42PC-y(BC)$  при различных значениях параметра  $y$ . Из рисунка видно, что при горении смесей оксидов получают практически монодисперсные конечные продукты.



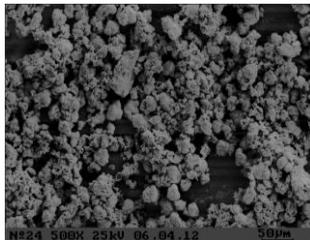
а). NiO



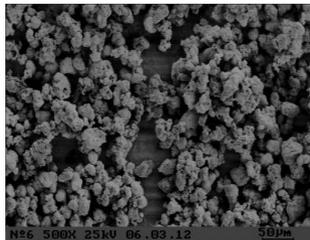
б). Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



в). Ni, Co, NiO, CoO



г). Ni, Co



д). Ni-Co

Рис. 6. Микроструктуры порошков исходных оксидов (а, б) и конечных продуктов, полученных при горении смесей  $3\text{NiO}-\text{Co}_3\text{O}_4-0.42\text{ПС}-y(\text{BC})$  (в-д) при различных значениях  $y$ : в).  $y=1.5$ , г).  $y=2$ , д).  $y=4.5$ .

Таким образом, выявлены характерные особенности совместного восстановления металлов из смеси оксидов в режиме горения и формирования сплавов Ni-Co с различным содержанием металлов. Установлены основные факторы, влияющие на закономерности горения, полноту восстановления металлов, состав конечных продуктов и микроструктуру. Установлено, что сплавы Ni-Co различного состава в режиме горения можно получить при сопряжении реакции восстановления металлов полистиролом с высококалорийной реакцией  $\text{ПС} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ . Для исследованных систем характерно существование предела горения по количеству высококалорийной добавки в исходной смеси. Показано, что состав конечных продуктов можно контролировать изменением не только соотношения оксидов в исходной смеси, но и количеством высококалорийной добавки. Определены оптимальные условия проведения процессов для полного совместного восстановления оксидов и получения сплавов Ni-Co с различным содержанием металлов. Показано, что в конечных продуктах, полученных в оптимальных условиях, металлы могут находиться в виде механической смеси, либо твердого раствора.

# ՆԻԿԵԼԻ ԵՎ ԿՈԲԱԼՏԻ ՕՔՍԻԴՆԵՐԻ ՆԱՄԱՏԵՂ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՈՒՄՆ ԱՅՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԵՎ Ni-Co ՆԱՄԱՉՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ

Լ. Ս. ԱԲՈՎՅԱՆ, Ն. Վ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա. Գ. ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ և Ս. Լ. ԽԱՐԱՏՅԱՆ

*Ուսումնասիրվել է Ni-Co համաձուլվածքների ստացման հնարավորությունն այրման ռեժիմում համապատասխան օքսիդների համատեղ վերականգնմամբ որպես վերականգնիչ օգտագործելով պոլիստիրոլ (ՊՍ): Հետազոտվել են  $x\text{NiO-Co}_3\text{O}_4\text{-ՊՍ-NH}_4\text{NO}_3$  համակարգի այրման օրինաչափությունները, որոշվել են վերջանյութերի քիմիական և ֆազային բաղադրություններն ու միկրոկառուցվածքը: Բացահայտվել են այրման ու ֆազադրոյացման օրինաչափությունների վրա ազդող հիմնական գործոնները: Որոշվել են այրման սահմաններն ըստ ելային խառնուրդի բաղադրիչների պարունակության: Որոշվել են տարբեր բաղադրությամբ Ni-Co համաձուլվածքների ստացման և համապատասխան օքսիդների համատեղ լրիվ վերականգնման օպտիմալ պայմանները: Ցույց է տրվել, որ, կախված այրման ջերմաստիճանից, մետաղները վերջանյութերում կարող են գտնվել մեխանիկական խառնուրդի կամ պինդ լուծույթի տեսքով:*

## PREPARATION OF Ni-Co ALLOYS BY CO-REDUCTION OF NICKEL AND COBALT OXIDES UNDER THE COMBUSTION MODE

L. S. ABOVYAN<sup>a</sup>, H. V. KIRAKOSYAN<sup>a</sup>, A. G. ZARGARYAN<sup>a</sup> and S. L. KHARATYAN<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>A.B. Nalbandyan Institute of Chemical Physics NAS RA  
5/2, P. Sevak Str., Yerevan, 0014, Armenia

<sup>b</sup>Yerevan State University

1, A. Manoukyan Str., Yerevan, 0025, Armenia

E-mail: larisa@ichph.sci.am

The possibility of obtaining Ni-Co alloys by the co-reduction of nickel and cobalt oxides under the combustion mode using polystyrene (PS) as a reducer is studied. It is established that Ni-Co alloys of different compositions can be obtained in the combustion mode by coupling the metal reduction reaction by polystyrene with the high-caloric reaction of  $\text{PS} + \text{NH}_4\text{NO}_3$ . For this purpose combustion laws in the  $x\text{NiO-Co}_3\text{O}_4\text{-PS-NH}_4\text{NO}_3$  system are investigated. The characteristic features of the joint reduction of metals from a mixture of oxides in the combustion mode and the formation of Ni-Co alloys with different contents of metals are revealed. Main factors influencing the combustion laws, the completeness of the reduction of metals, the composition of final products and the microstructure are established.

It is revealed that for the systems studied the combustion limit is typical depending on the amount of high-caloric  $\text{PS-NH}_4\text{NO}_3$  mixture in the initial charge. It is shown that the composition of final products and Ni-Co alloys can be controlled by changing not only the ratio of oxides, but also amount of the high-caloric mixture. Optimum conditions for the complete joint reduction of oxides and obtaining Ni-Co alloys with different ratios of metals are determined. It was shown that depending on the combustion temperature the metals in the final products can be in the form of a mechanical mixture or a solid solution.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.metotech.ru>. Никель, Кобальт.
- [2] <http://www.himikatus.ru>. Фазовая диаграмма системы Co-Ni.
- [3] *Borshch V.N., Pugacheva E.V., Zhuk S.Ya., Andreev D.E., Sanin V.N., Yukhvid V.I.* // Dokl. phys. chem., 2008, v.419, Part 2, p. 77.
- [4] *Zhang J., Wang H., Dalai A.K.* // Applied Catalysis A: General, 2008, v.339, p. 121.
- [5] *Wang L., Gao Y., Xue Q., Liu H., Xu T.* // Applied Surface Science, 2005, v.242, p. 326.
- [6] *Zhang Y., Or S.W., Zhang Zh.* // АМРС, 2011, v.1, №2, p. 7.
- [7] *Suslick K.S., Fang M.M., Hyeon T., Mdleleni M.M.* Sonochemistry and Sonoluminescence, 1999, Dordrecht, Netherlands, 291 p.
- [8] *Shafi K.V.P.M., Gedanken A., Prozorow R.* // J. Mater. Chem., 1998, v.8, p. 769.
- [9] *Merzhanov A.G.* // Ceramics International, 1995, v.21, p. 371.
- [10] *Merzhanov A.G.* // J. Mater. Chem., 2004, v.14, p. 1779.
- [11] *Yamukyan M.H., Manukyan Kh.V., Kharatyan S.L.* // Chem. Eng. Journal, 2008, v.137, №3, p. 636.
- [12] *Kharatyan S.L.* / X Intern. Symposium on SHS, 2009, Tsakhkadzor, Armenia. Book of Abstracts, p. 62.
- [13] *Киракосян А.В., Элиазян Д.С., Абовян Л.С., Харатян С.Л.* / Труды Международной конференции "Современные проблемы химической физики", 2012, Ереван, Армения, с. 229.
- [14] *Абовян Л.С., Харатян С.Л.* // Хим. ж. Армении, 2010, т.63, №4, с. 431.
- [15] *Абовян Л.С., Харатян А.С., Элиазян Д.С., Харатян С.Л.* // Хим. ж. Армении, 2017, т. 70, №3, с. 310.
- [16] *Киракосян А.В., Абовян Л.С., Харатян С.Л.* // Хим. ж. Армении, 2014, т.67, №4, с. 363.
- [17] *Kharatyan S.L., Merzhanov A.G.* // Int J SHS, 2012, v.21, №1, p. 59.
- [18] *Shiryayev A.* // Int J SHS, 1995, v.4, №4, p. 351.