

**СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ CuO И NiO
В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ Cu-Ni**

Л. С. АБОВЯН^а, А. С. ХАРАТЯН^а, Д. С. ЭЛИАЗЯН^б и С. Л. ХАРАТЯН^{а,б}

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

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

Поступило 30 III 2017

Исследована возможность получения сплавов Cu-Ni в режиме горения при совместном восстановлении оксидов соответствующих металлов с использованием в качестве восстановителя полистирол (PS). Изучены закономерности горения систем $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO-PS}$ и $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO-PS-NH}_4\text{NO}_3$, 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 Cu-Ni можно контролировать изменением соотношения компонентов и количества высококалорийной добавки $\text{PS-NH}_4\text{NO}_3$ в исходной смеси. Определены оптимальные условия получения Cu-Ni сплавов различного состава.

Рис. 8, библиограф. ссылок 19.

Сплавы на основе меди и никеля отличаются хорошими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, технологичностью и особыми электрическими свойствами, что обуславливает их широкое применение в технике. Медно-никелевые сплавы применяются в электротехнике, судостроении, авиационной и космической промышленности, производстве ядерных реакторов, медицинской аппаратуры, посуды, приспособлений, обладающих памятью формы, для получения специальных покрытий, а также в качестве катализаторов при гидрировании различных органических соединений, для глубокого окисления CO и различных углеводородов, углекислой конверсии метана [1-5].

Методы получения металлов можно применить для сплавов при обеспечении определенных условий проведения процесса. Сплавы Cu-Ni получают путем совместного плавления или спекания металлов, осаждения из электролитов, пирометаллургическим путем, механическим сплавлением (механохимическая активация) [6,7]. Основными недостатками традиционных технологий являются продолжительность, многостадийность и энергоемкость процесса. За последние десятилетия самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) или синтез в режиме горения признан одним из самых перспективных методов получения различных неорганических соединений, металлов и сплавов [8,9]. По сравнению с традиционными методами СВС имеет очевидные преимущества: высокие температуры и малые времена синтеза, высокая производительность, простота аппаратного оформления процесса, отсутствие энергозатрат и т.д.

В работах [10-13] показана возможность восстановления ряда металлов из их оксидов (CuO, NiO, CoO и Co₃O₄) в режиме горения с применением в качестве восстановителей твердых органических соединений (полистирол, полиэтилен, меламин и др.). Из них наиболее предпочтительным является полистирол (PS), использование которого обеспечивает полноту восстановления оксидов в режиме горения при "мягких" условиях. Однако в случае слабозэкзотермической или эндотермической реакции $\text{MeO} + \text{PS}$ возникает необходимость использования высококалорийной добавки, содержащей полистирол и сильный окислитель — нитрат аммония [14]. В работах [15-17] исследована возможность совместного восстановления металлов из смеси соответствующих оксидов (CuO и Cu₂O, NiO и CuO, CuO и Co_xO_y) [15-16], а также получения порошка кобальта из сульфатного сырья (CoSO₄·7H₂O) в режиме двухстадийного горения [17] с использованием в качестве восстановителя полистирола и высококалорийной добавки.

Цель данной работы — исследование возможности получения сплавов Cu-Ni в режиме горения при совместном восстановлении полистиролом оксидов соответствующих металлов. Для решения поставленной задачи нами был применен метод теплового сопряжения химических реакций в волне СВС [18]. В качестве подобных реакций рассмотрены практически теплонейтральная реакция $\text{NiO} + \text{PS}$, слабозэкзотермическая реакция $\text{CuO} + \text{PS}$ и сильноэкзотермическая реакция $\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{PS}$ [14]. В этом случае ответственным за распространение волны горения является сильноэкзотермическое взаимодействие $\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{PS}$ (высококалорийная смесь — ВС), за счет выделенного тепла которого протекают реакции $\text{NiO} + \text{PS}$ и $\text{CuO} + \text{PS}$. Согласно результатам термодинамического анализа, оптимальным является интервал изменения соотношения $\text{PS}/\text{NH}_4\text{NO}_3$ от 0.04 до 0.06. При таком соотношении реагентов достигается максимальная адиабатическая температура горения смеси

$\text{NH}_4\text{NO}_3 + x\text{PS}$ ($T_{\text{ад}} = 2000^\circ\text{C}$), причем продуктами сгорания являются исключительно газы (преимущественно N_2 , CO_2/CO , H_2O , H_2). Исходя из вышесказанного в работе ставились следующие задачи: а) исследование закономерностей горения в системах $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ и $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ в зависимости от состава исходной шихты (количества высококалорийной добавки — y , и соотношения оксидов металлов — x); б) выявление состава конечных продуктов и характерных особенностей горения в исследуемых системах, а также пределов горения по количеству высококалорийной добавки и количества оксида никеля в исходной смеси; в) определение оптимальных условий получения сплавов Cu-Ni в режиме горения с различным содержанием никеля.

Выбор оптимальных режимов реализации процесса проводился на основе предварительного термодинамического анализа исследуемых систем. 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 меди (CuO) марки "ч.д.а." с размером частиц менее 100 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 (NH_4NO_3). 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 60-70 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 они некоторое время выдерживались в реакторе для остывания, затем полученный продукт извлекался для дальнейшего изучения рентгенофазовым и электронно-микроскопическими 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 расстоя-

нии 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 (CuK_{α} , длина волны 1.54056 Å). Микроструктуры образцов изучались с помощью растрового электронного микроскопа "BS-300". Одновременно определялась потеря массы сгоревших образцов (Δm), обусловленная удалением газообразных продуктов горения (CO , CO_2 , H_2O , N_2 и др.). Проверялось также наличие магнитных свойств продукта, обусловленное наличием никеля.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Термодинамический анализ систем $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ и $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$. Предварительный термодинамический анализ исследуемых систем осуществлялся с применением компьютерной программы "THERMO", разработанной в ИСМАН РФ [19]. Она позволяет рассчитать адиабатическую температуру горения системы и равновесный состав конечных продуктов (конденсированных и газообразных).

Сначала расчеты проводились для тройной смеси $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ без высококалорийной добавки, для которой относительные содержания оксидов изменялись от $x=0$ до $x=1$. Результаты расчетов представлены на рис. 1. Как видно, адиабатическая температура ($T_{\text{ад}}$) горения и равновесный состав продуктов существенным образом зависят от относительного количества оксида никеля (x) в исходной смеси: увеличение значения параметра x приводит к резкому уменьшению адиабатической температуры горения и уменьшению суммарного количества газообразных продуктов. Полное совместное восстановление металлов наблюдается только при $x \leq 0.4$, причем при $x \geq 0.05$ конденсированные продукты, кроме восстановленных металлов, содержат свободный углерод. В области $x > 0.4$ происходит полное восстановление только меди, и конденсированные продукты содержат также невосстановленный оксид никеля. Результаты термодинамического анализа показывают, что в данном случае определенный интерес представляет изменение параметра x в области $x \leq 0.15$, вне этого интервала ($x > 0.15$) наблюдается тенденция к быстрому снижению $T_{\text{ад}}$, что может привести к срыву горения и возникновению концентрационного предела горения (верхнего) по содержанию оксида никеля. Следовательно, для увеличения адиабатической температуры горения и степени совместного восстановления оксидов металлов при различных соотношениях возникает необходимость применения высококалорийной смеси (BC), т. е. дополнительного источника тепла.

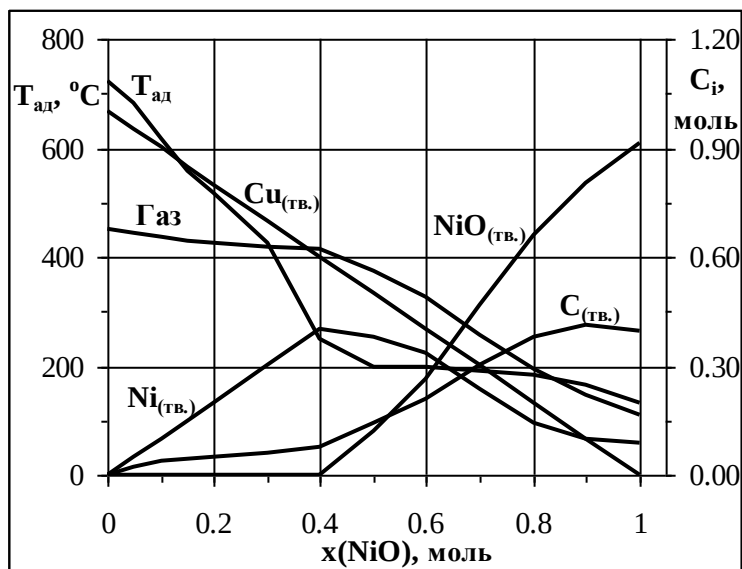


Рис. 1. Зависимости адиабатической температуры горения ($T_{ад}$) и равновесных концентраций конечных продуктов (C_i) от относительного содержания NiO в исходной смеси (x) для системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$, $P_{газ}=5 \text{ атм}$.

Термодинамический анализ системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ проводился в широком интервале изменения параметра y ($0 \leq y \leq 1$), для значений $x=0.15, 0.25, 0.5, 0.8 \text{ моля}$.

Согласно результатам (рис. 2), полученным для системы $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$, при $y > 0.2$ среди конденсированных продуктов присутствуют только медь и никель, причем, начиная с $y > 0.45$, медь образуется в плавленном состоянии. На рис. 2 количества отдельных газообразных продуктов (CO , CO_2 , H_2 , H_2O и N_2) не показаны, чтобы не усложнять картину. Как видно из рисунка, увеличение величины параметра y приводит к значительному увеличению суммарного количества газообразных продуктов. Термодинамически оптимальные условия полного совместного восстановления оксидов в системе $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ с точки зрения получения сплавов лежат в интервале изменения параметра $0.3 \leq y \leq 0.75$. В интервале ($y < 0.2$) с уменьшением относительного количества BC наблюдается тенденция к быстрому снижению $T_{ад}$, что может привести к срыву горения и возникновению концентрационного предела горения (нижнего) по содержанию высококалорийной добавки.

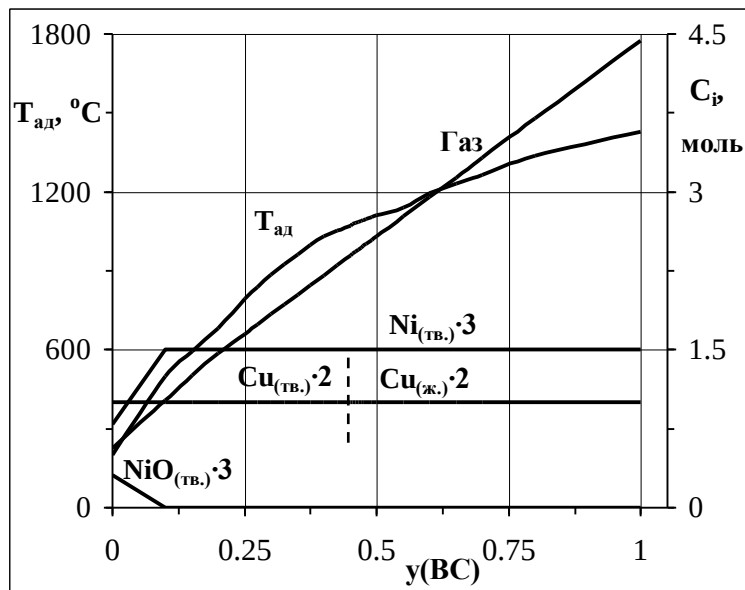


Рис. 2. Зависимости адиабатической температуры горения ($T_{ад}$) и равновесных концентраций конечных продуктов (C_i) от относительного содержания (BC) в исходной смеси (y) для системы 0.5CuO-0.5NiO-0.06PS- y (BC), $P_{газ}=5 \text{ атм}$.

Аналогичные расчеты были проведены также для других соотношений оксидов в исходной смеси ($x=0.15, 0.25, 0.8 \text{ моля}$). На основании полученных результатов можно заключить, что в системе $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ для полного восстановления металлов и обеспечения высоких значений адиабатической температуры горения наиболее оптимальны большие значения параметров x и y .

Таким образом, полученные результаты термодинамического анализа по влиянию параметров x и y подтверждают возможность совместного восстановления оксидов меди и никеля полистиролом в режиме горения при любом соотношении (количества) оксидов металлов и при наличии высококалорийной добавки в исходной смеси. Они позволяют также выбирать термодинамически оптимальные условия для полного совместного восстановления оксидов металлов с целью получения сплавов на основе меди и никеля с различным соотношением металлов.

Закономерности горения систем $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ и $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$. Для совместного восстановления металлов и получения сплавов Cu-Ni с различным содержанием никеля сначала были экспериментально исследованы закономерности горения системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ в зависимости от состава исходной шихты (соотношения оксидов металлов, x). Получены зависимости температуры и скорости горения, а также потери массы образца от параметра x , определены химический и фазовый составы продуктов сгорания, исследованы микроструктуры конечных продуктов. Степень совместного восстановления

металлов количественно оценивалась по величине потери массы образца. Качественно о восстановлении металлов в процессе горения можно судить также по обнаружению магнитных свойств (связанно с наличием никеля). Окончательное подтверждение оценки степени совместного восстановления металлов проводилось определением фазового состава конечных продуктов.

На рис. 3 представлены результаты по влиянию относительного количества NiO в исходной смеси (x) на параметры горения системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$.

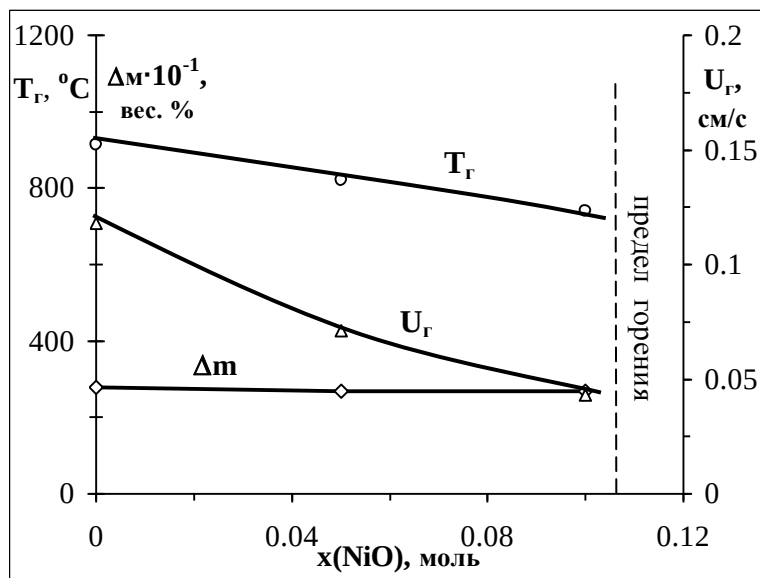


Рис. 3. Зависимости температуры ($T_{\text{г}}$) и скорости ($U_{\text{г}}$) горения, потери массы (Δm) от относительного содержания NiO в исходной смеси (x) для системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$, $P_{\text{N}_2}=5 \text{ атм}$.

Для этой системы, как это следовало из термодинамических расчетов, характерно наличие верхнего концентрационного предела горения по параметру x и осуществление процесса горения только в узкой области изменения соотношения оксидов металлов в исходной смеси ($x < 0.1$). Наличие предела горения фактически ограничивает возможность совместного восстановления и получения сплавов Cu-Ni при горении смесей, богатых NiO. Так, увеличение параметра x до значения 0.1 приводит к плавному уменьшению $T_{\text{г}}$, $U_{\text{г}}$, Δm и получению двухфазного конечного продукта: Cu, Ni (механическая смесь металлов).

Как уже отмечалось выше, для расширения области горения в системе $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}$ необходимо наличие ВС в исходной смеси.

Экспериментальные исследования горения системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ проводились при варьировании параметров x и y в интер-

вале $0 \div 1$, включающем также системы, содержащие только отдельные оксиды металлов. Влияние величины параметра y рассматривалось при четырех выбранных значениях параметра x (0.15, 0.25, 0.5, 0.8 моля). Согласно экспериментальным данным (рис. 4), полученным для системы $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$, совместное восстановление оксидов меди и никеля в режиме горения можно осуществить при значениях параметра $y > 0.15$. Из рис. 4 видно, что в данном случае увеличение параметра y приводит к росту как температуры, так и скорости горения, а также потери массы образцов (Δm), что связано с увеличением доли сильноэкзотермической реакции в суммарном процессе. Отметим, что в области $y > 0.5$ значения T_r превышают температуру плавления меди и наблюдается полное восстановление обоих металлов с образованием сплава Cu-Ni , содержащего 48 вес.% никеля. При этом в результате горения получают образцы с однородной структурой.

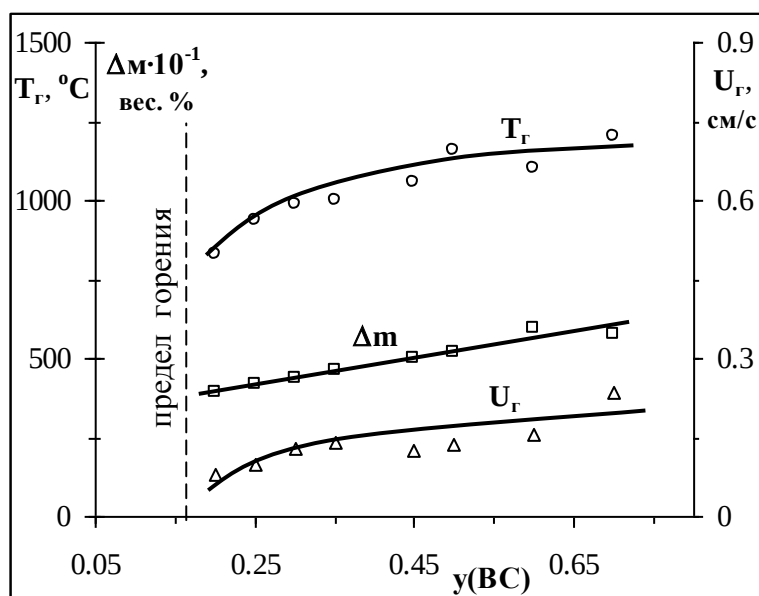


Рис. 4. Зависимости температуры (T_r) и скорости (U_r) горения, потери массы (Δm) от относительного содержания BC в исходной смеси (y) для системы $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$, $P_{\text{N}_2}=5 \text{ атм}$.

Аналогичные зависимости и результаты получены и для остальных исследованных систем ($x=0.15, 0.25, 0.8$ моля). В этих случаях при полном восстановлении металлов образуются сплавы состава $0.85\text{Cu}-0.15\text{Ni}$, $0.75\text{Cu}-0.25\text{Ni}$ и $0.2\text{Cu}-0.8\text{Ni}$, содержащие 14.0, 23.5 и 78.7 вес.% никеля, соответственно. Для этих систем нижний предел горения наблюдается при $y=0.025, 0.05$ и 0.25 , соответственно, а при $y>0.2, 0.3$ и 0.6 восстановленная медь оказывается в жидком состоянии.

На основе вышеприведенных данных построена диаграмма горения системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ в координатах $x-y$ (рис. 5).

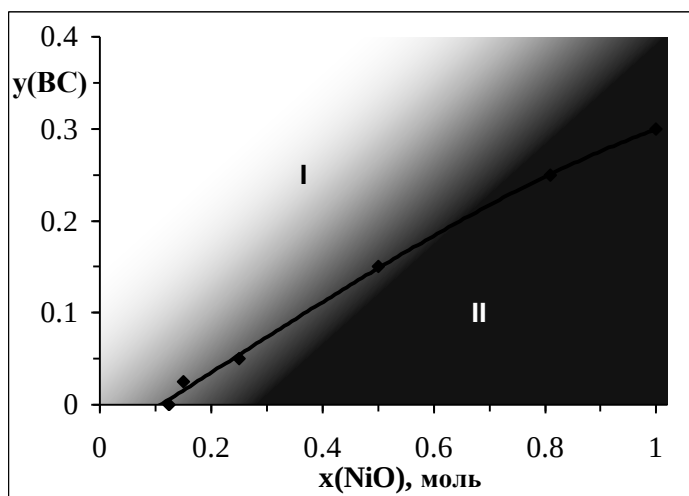


Рис. 5. Диаграмма горения системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$: I – область горения, II – область отсутствия горения.

Согласно результатам рентгенофазового анализа (рис. 6), в области горения образуются конечные продукты различного фазового состава. Основываясь на этих данных, в области I можно выделить три подобласти, отличающиеся по фазовому составу конечных продуктов. В первой подобласти, которая находится вблизи границы раздела (выше кривой на рис. 5), образуются двухфазные продукты, состоящие из металлов (Cu и Ni), во второй подобласти – многофазные продукты, состоящие из металлов и их твердых растворов (Cu-Ni), и в третьей – однофазные продукты, представляющие собой только твердые растворы металлов. Образованию твердых растворов металлов при больших значениях параметра y способствуют высокие температуры горения, необходимые для плавления меди или спекания восстановленных металлов (Cu и Ni).

Фазообразование в системе $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ и микроструктура конечных продуктов. Медь образует с никелем непрерывные растворы в жидком и твердом состоянии. Сплавы Cu-Ni, согласно диаграмме состояния Cu-Ni [1], представляют собой твердые растворы меди с никелем различного состава. При температуре ниже $\sim 360^\circ\text{C}$ и содержании никеля >65 вес.% они обладают ферромагнитными свойствами. Из приведенных на рис. 6 данных следует, что независимо от значения параметра x , при изменении T_r в интервале $950-1050^\circ\text{C}$ (относительно невысокие значения параметра y , образование многофазных продуктов) формирование сплавов Cu-Ni осуществляется по механизму тв. + тв., а

при значениях $T_r > 1100^\circ\text{C}$ (более высокие значения параметра y и образование однофазного продукта) – по механизму тв. + жидк.

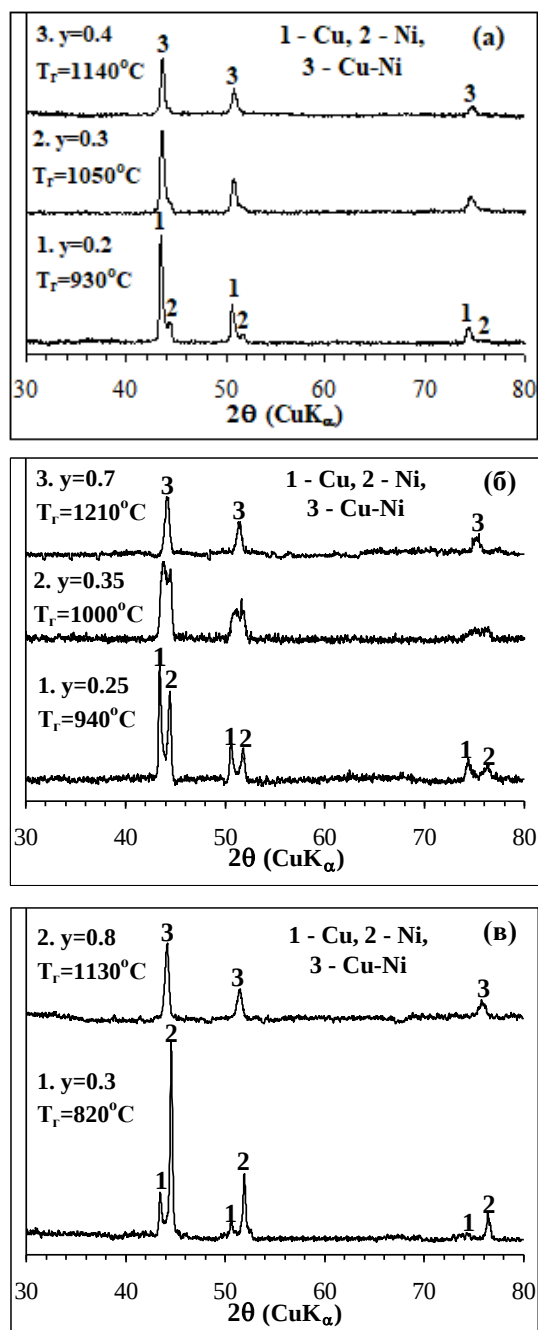


Рис. 6. Дифрактограммы конечных продуктов, полученных при горении смесей при различных значениях x и y (а-в) для системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$, $P_{\text{N}_2}=5 \text{ атм}$: а – $0.75\text{CuO}-0.25\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$, б – $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ и в – $0.2\text{CuO}-0.8\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$.

На рис. 7 и 8 представлены микроструктуры исходных оксидов (рис. 7а, б) и конечных продуктов (рис. 7в, г и рис. 8а-в), полученных при горении системы $(1-x)\text{CuO}-x\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ при различных значениях параметров x и y .

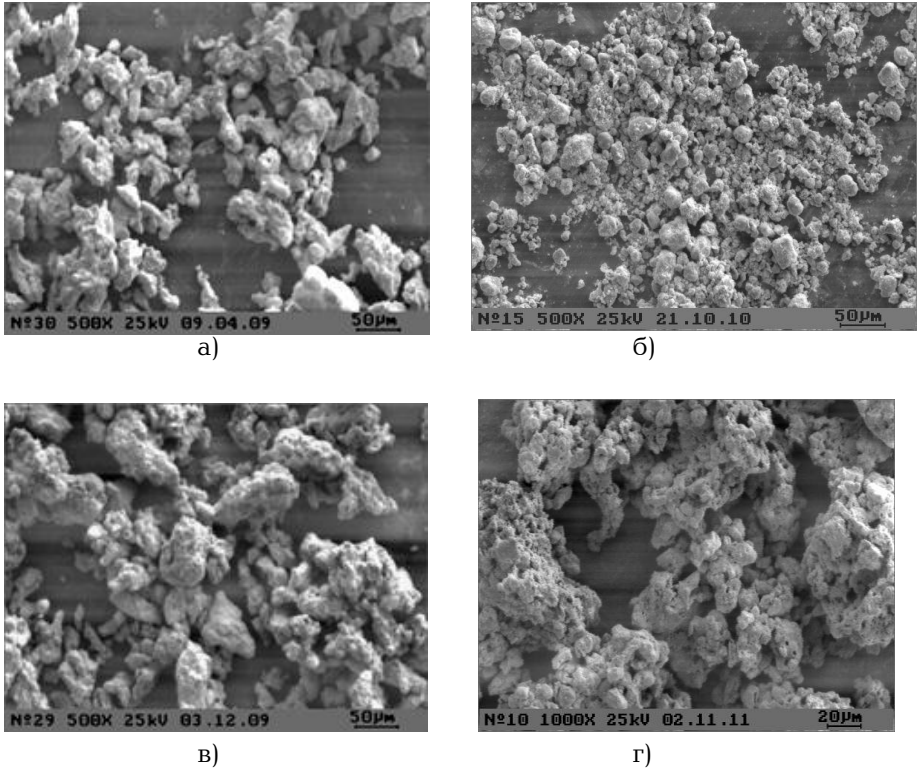


Рис. 7. Микроструктуры порошков исходных веществ CuO (а), NiO (б) и конечных продуктов Cu (в), Ni (г), полученных при горении смесей $\text{CuO}-0.06\text{PS}$ и $\text{NiO}-0.06\text{PS}-0.6(\text{BC})$, $P_{\text{N}_2}=5 \text{ атм}$.

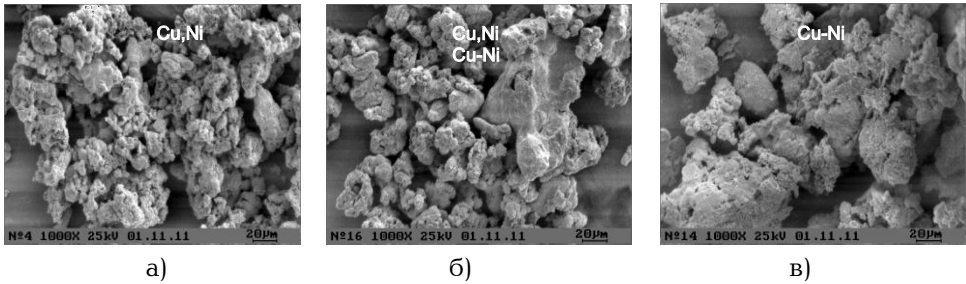


Рис. 8. Микроструктуры порошков конечных продуктов (а-в), полученных при горении смесей $0.5\text{CuO}-0.5\text{NiO}-0.06\text{PS}-y(\text{BC})$ при различных значениях y , $P_{\text{N}_2}=5 \text{ атм}$: а – $y=0.25$, б – 0.35 и в – 0.7 .

Таким образом, на основании проведенных исследований выявлены характерные особенности совместного восстановления металлов из смеси оксидов и синтеза сплавов Cu-Ni с различным содержанием ни-

кея в режиме горения и основные факторы, влияющие на закономерности горения и фазообразования. Установлено, что получение сплавов Cu-Ni различного состава в режиме горения можно осуществить преимущественно при использовании сопряжения реакции восстановления полистиролом с высококалорийной реакцией $PS + NH_4NO_3$. Для исследованных систем характерно существование пределов горения по количеству высококалорийной добавки и оксида никеля в исходной смеси. Показано, что состав конечных продуктов, в частности сплавов Cu-Ni, можно контролировать изменением соотношения оксидов в исходной смеси и количеством высококалорийной добавки. Определены оптимальные условия получения сплавов Cu-Ni с различным содержанием никеля, в том числе сплава 0.5Cu-0.5Ni, имеющего максимальную прочность и твердость, а также сплава 0.2Cu-0.8Ni, обладающего магнитными свойствами.

CuO, NiO ՕՔՍԻԴՆԵՐԻ ՀԱՄԱՏԵՂ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՈՒՄՆ ԱՅՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԵՎ Cu-Ni ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ

L. Ս. ԱՐՈՎՅԱՆ, Ա. Ս. ԽԱՐԱՏՅԱՆ, Դ. Ս. ԷԼԻԱԶՅԱՆ և Ս. Լ. ԽԱՐԱՏՅԱՆ

Ուսումնասիրվել է Cu-Ni համաձուլվածքների ստացման հնարավորությունն այրման ռեժիմում համապատասխան օքսիդների համատեղ վերականգնմամբ՝ որպես վերականգնիչ օգտագործելով պոլիստիրոլ (PS): Հետազոտվել են $(1-x)CuO-xNiO-PS$ և $(1-x)CuO-xNiO-PS-NH_4NO_3$ համակարգերի այրման օրինաչափությունները, որոշվել են վերջանյութերի քիմիական և ֆազային բաղադրություններն ու միկրոկառուցվածքները: Բացահայտվել են այրման ու ֆազազոյացման օրինաչափությունների վրա ազդող հիմնական գործոնները: Որոշվել են այրման սահմաններն ըստ ելային խառնուրդի բաղադրիչների պարունակության: Ցույց է տրվել, որ Cu-Ni համաձուլվածքների բաղադրությունը կարելի է կարգավորել փոփոխելով բաղադրիչների հարաբերակցությունն ու $PS-NH_4NO_3$ բարձրկայտրիական խառնուրդի պարունակությունը ելային բովանդակությամբ: Որոշվել են տարբեր բաղադրությամբ Cu-Ni համաձուլվածքների ստացման օպտիմալ պայմանները:

PREPARATION OF Cu-Ni ALLOYS BY CO-REDUCTION OF CuO AND NiO OXIDES UNDER THE COMBUSTION MODE

L. S. ABOVYAN^a, A. S. KHARATYAN^a, D. S. ELIAZYAN^b and S. L. KHARATYAN^{a,b}

^aA.B. Nalbandyan Institute of Chemical Physics NAS RA

5/2, P. Sevak Str., Yerevan, 0014, Armenia

^bYerevan State University

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

E-mail: larisa@ichph.sci.am

The possibility of obtaining Cu-Ni alloys by the co-reduction of CuO and NiO oxides under the combustion mode using polystyrene (PS) as a reducer is studied. Combustion laws of the $(1-x)CuO-xNiO-PS$ and $(1-x)CuO-xNiO-PS-NH_4NO_3$ systems

are investigated, chemical and phase compositions, as well as microstructures of the final products are determined. Main factors influencing the combustion and phase formation laws are revealed. The combustion limits vs the content of various components in the starting mixture are determined. It is shown that the composition of final products and Cu-Ni alloys can be controlled by changing the ratio of components and the content of high caloric additive PS-NH₄NO₃ in the initial mixture. Optimum conditions for obtaining Cu-Ni alloys with different ratios of metals are determined.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.mto.nnov.ru/cuni.html>.
- [2] <http://bibliotekar.ru/spravochnik-149-metalloizdeliya/86.htm>.
- [3] Wang Q., Yao J., Rong J., Huang M., Yuan C. // *Catalysis Letters*, 1990, v. 4, №1, p. 63.
- [4] Chen H., Wang C., Yu C., Tseng L., Liao P. // *Catalysis Today*, 2004, v. 97, p. 173.
- [5] Ssharif Zein S. H. and Mohamed A. R. // *IIUM Engineering Journal*, 2004, v. 5, №1, p. 13.
- [6] Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. Свердловск, Metallurgizdat, 1958, 282 с.
- [7] Murty B.S., Ranganathan S. // *International Materials Reviews*, 1998, v. 43, №3, p. 101.
- [8] Merzhanov A.G. // *Ceramics International*, 1995, v. 21, p. 371.
- [9] Merzhanov A.G. // *J. Mater. Chem.*, 2004, v. 14, p. 1779.
- [10] Yamukyan M.H., Manukyan Kh.V., Kharatyan S.L. / IX Intern. Symposium on SHS, 2007, Dijon, France, Book of abstracts, T6-P04.
- [11] Yamukyan M.H., Manukyan Kh.V., Kharatyan S.L. // *Chem. Eng. Journal*, 2008, v. 137, №3, p. 636.
- [12] Yamukyan M.H., Manukyan Kh.V., Kharatyan S.L. // *Chemical Journal of Armenia*, 2008, v. 61, №2, p. 159.
- [13] Grigoryan E.G., Niazyan O.M., Kharatyan S.L. // *Khimicheskaya Fizika*, 2008, v. 27, №9, p. 54.
- [14] Kharatyan S.L. / X Intern. Symposium on SHS, 2009, Tsakhkadzor, Armenia. Book of Abstracts, p. 62.
- [15] Киракосян А.В., Елизян Д.С., Абовян Л.С., Харатян С.Л. / Труды международной конференции "Современные проблемы химической физики", Ереван, Армения, 2012, с. 229.
- [16] Абовян Л.С., Харатян С.Л. // *Хим. ж. Армении*, 2010, т. 63, №4, с. 431.
- [17] Киракосян А.В., Абовян Л.С., Харатян С.Л. // *Хим. ж. Армении*, 2014, т. 67, №4, с. 363.
- [18] Kharatyan S.L., Merzhanov A.G. // *Int J SHS*, 2012, v. 21, №1, p. 59.
- [19] Shiryayev A. // *Int J SHS*, 1995, v.4, №4, p. 351.