

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ / POWDER METALLURGY AND COMPOSITE MATERIALS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4 + \text{NH}_4\text{ReO}_4$ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕГО СТАЛЬНОГО ПОРОШКА

Научная статья

Агбалян С.Г.¹, Симонян В.А.^{2,*}^{1,2} Национальный политехнический университет Армении, Ереван, Армения

* Корреспондирующий автор (vigensimonyan2017[at]gmail.com)

Аннотация

Одним из приоритетных направлений современного материаловедения является создание материалов с высокими и функциональными свойствами. К числу таких материалов относятся мартенситно-стареющие стали, используемые в транспортной технике, машиностроении, авиастроении, судостроении, приборостроении, атомной энергетике, военной промышленности и т.д. В отличие от углеродистых сталей, мартенситно-стареющие стали более устойчивы к хрупкому разрушению, особенно при отрицательных температурах. Эти стали хорошо поддаются обработке резанием, легко деформируются и подвергаются термической обработке.

Исследованы механизм и кинетика восстановления шихты, изготовленной из сложного оксида $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$, синтезированного из оксидной системы $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--NiO--CoO--MoO}_3$, и перрената аммония (NH_4ReO_4). Путем совмещения процессов синтеза и восстановления сложных оксидов разработана эффективная технология производства легированных металлических порошков, которая позволяет получать высокопрочные порошки мартенситно-стареющей стали со сверхчистым химическим составом, требуемыми структурой и свойствами. Показано, что полученные стальные порошки по своим физико-технологическим свойствам не уступают стандартному стальному порошку, а в ряде случаев даже превосходят его.

Ключевые слова: оксидная система, синтез, сложный оксид, перренат аммония, шихта, восстановление, стальной порошок, прессуемость.

RESEARCH OF THE RESTORATION PROCESS OF THE $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4 + \text{NH}_4\text{ReO}_4$ SYSTEM AND DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR OBTAINING MARAGING STEEL POWDER

Research article

Agbalyan S.G.¹, Simonyan V.A.^{2,*}^{1,2} National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, Armenia

* Corresponding author (vigensimonyan2017[at]gmail.com)

Abstract

One of the priority directions of modern materials science is the creation of materials with high and functional properties. Such materials include maraging steels used in transport engineering, mechanical engineering, aircraft engineering, shipbuilding, instrument engineering, nuclear power engineering, military industry, etc. Unlike carbon steels, maraging steels are more resistant to brittle fracture, especially at negative temperatures. These steels are well susceptible to cutting, easily deformed and heat-treated.

The mechanism and kinetics of reduction of the charge made of complex oxide $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$ synthesized from $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--NiO--CoO--MoO}_3$ oxide system and ammonium perrenate (NH_4ReO_4) have been studied. By combining the processes of synthesis and reduction of complex oxides, an efficient technology for the production of alloyed metal powders which allows to obtain high-strength maraging steel powders with ultrapure chemical composition, the required structure and properties have been developed. It is shown that the obtained steel powders are not inferior to the standard steel powders in their physical and technological properties, and in some cases even surpass it.

Keywords: oxide system, synthesis, complex oxide, ammonium perrenate, charge, reduction, steel powder, pressability.

Введение

Развитие современной техники, особенно в области военной промышленности, требует создания материалов с функциональными свойствами и, прежде всего, с высокой прочностью и пластичностью, которые будут способны работать в условиях переменных нагрузок при высоких и низких температурах, особенно отрицательных. Большое значение для этих материалов имеет ударная вязкость в качестве структурно-чувствительного свойства. При наличии комплекса указанных свойств повышаются предел текучести материала, усталостная прочность, а также способность работать при переменных нагрузках. К числу таких перспективных материалов относятся мартенситно-стареющие стали, которые используются в транспортной технике, авиастроении, судостроении, приборостроении, атомной энергетике, военной промышленности и т.д. [1], [2], [3]. В отличие от углеродистых сталей, мартенситно-стареющие стали более устойчивы к хрупкому разрушению, особенно при отрицательных температурах. Эти стали хорошо поддаются обработке резанием, легко деформируются и подвергаются термической обработке [2], [4], [6], [7].

Мартенситно-стареющие стали должны иметь высокую химическую чистоту и не содержать примесей, таких как углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор. По этой причине наиболее целесообразно получать указанные стали методом порошковой металлургии, синтезом сложных оксидов из оксидов компонентов [8], [9], восстановлением,

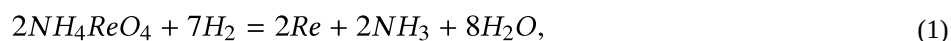
прессованием полученного стального порошка, сваркой, горячей экструзией и термической обработкой [3]. В качестве исходных материалов для легирования рением следует использовать оксиды высокой чистоты и перренат аммония. Полученная по указанной технологии порошковая сталь не только отличается высокими технико-экономическими показателями, но и дает возможность получить мелкозернистую структуру, высокие физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства. Однако ограниченность производства легированных металлических порошков не позволяет осуществлять массовое производство порошковых композиционных материалов.

Исходя из вышесказанного, целью работы является исследование механизма и кинетики восстановления шихты, изготовленной из сложного оксида $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$, синтезированного из оксидной системы $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--NiO--CoO--MoO}_3$, и перрената аммония (NH_4ReO_4), и разработка технологии получения высокопрочных мартенситно-стареющих стальных порошков.

Постановка задачи и обоснование методики

Мартенситно-стареющие стали относятся к группе сверхчистых сплавов, т.е. характеризуются точным химическим составом, отсутствием полостей и определенной структурой [1], [2], [7]. С этой точки зрения, технология получения мартенситно-стареющих стальных порошков отличается от известных технологий и позволяет до восстановления сложных оксидов готовить шихту, дополнительно легируя ее рением в виде перрената аммония (NH_4ReO_4).

Согласно приведенной реакции



при восстановлении перрената аммония водородом получается рений высокой чистоты, который, будучи очень активным, растворяется в системе Fe-Ni-Co-Mo , образуя твердые растворы и интерметаллиды рения, повышая прочность, твердость, ударную вязкость, теплоемкость, коррозионную стойкость, хладноломкость порошковой стали. Особенность рения состоит в том, что, будучи металлом с плотной гексагональной структурой, он обладает высокой растворимостью в переходных металлах (до 65 ат.%), кристаллическая решетка которых объемно-центрированная кубическая.

Согласно исследованиям Тумарева и Чуфарова [10], [11], если процесс восстановления оксидных систем осуществляется при высоком потенциале, то он будет протекать без разделения. При обычном восстановлении, например с помощью H_2 , происходит деление оксидов, следовательно, имеет место селективное восстановление. Что касается оксидных систем, не содержащих трудно восстанавливаемые оксиды, то процесс восстановления в этом случае проходит без осложнений. Оксидная система « $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$ », разработанная в работе [9], не подвергается делению, так как термодинамические потенциалы компонентов близки друг к другу. По этой же причине она восстанавливается, производя стальной порошок, в котором металлические компоненты смешиваются в виде твердых растворов или интерметаллических соединений. Даже если происходит частичное деление, система не может влиять на процесс формирования сплава.

Эксперименты проводились на термогравиметрической установке (рис. 1), которая дает возможность постоянно контролировать изменение массы образца, поддерживая постоянной требуемую температуру. Водород с точки росы от -30 до -40°C из баллона 1 через редуктор 2, реометр 3 и манометр 4 поступает в батарею с абсорбционными сосудами, которые наполнены активированным углем 5, хлоридом кальция 6, силикагелем 7, концентрированной серной кислотой 8 и гидроксидом натрия 9. Осушенный водород через вентиль 11 поступает в реактор 12, куда заранее с помощью корзины 13 помещается образец(шихта), подготовленный для восстановления. Продукты реакции удаляются через трубку 14. Изменение (потеря) массы навески (образца) фиксируется на аналитических весах 15 типа АДБ-200М. В качестве инертного газа для продувки реактора используется азот 10, который осушается по той же схеме, что и водород.

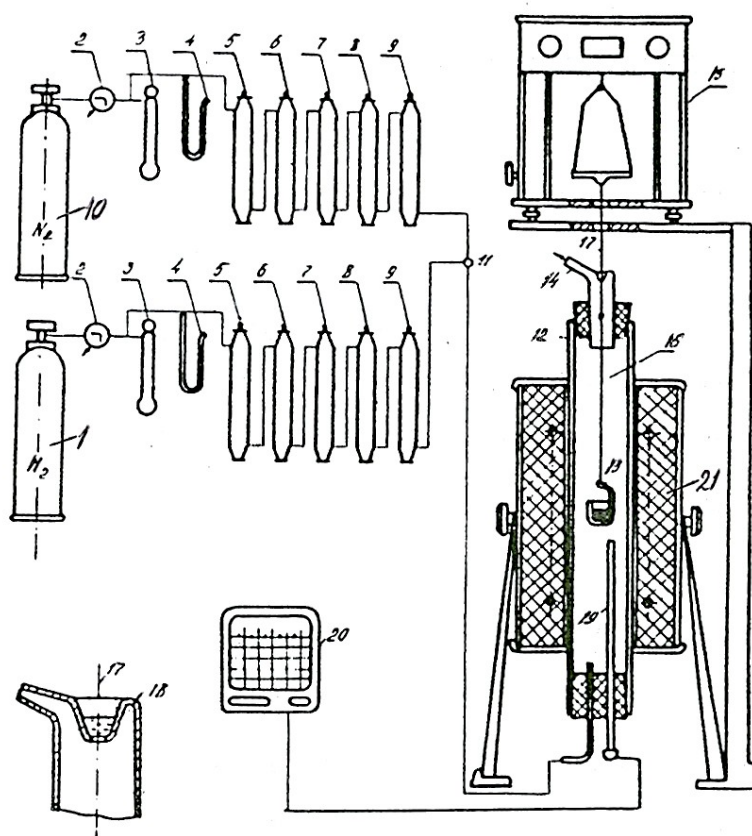


Рисунок 1 - Схема термогравиметрического прибора:

1 – баллон с водородом, 2 – редуктор, 3 – реометр, 4 – манометр, 5 – сосуд с активированным углем, 6 – сосуд с хлоридом кальция, 7 – сосуд с силикагелем, 8 – сосуд с концентрированной серной кислотой, 9 – сосуд с гидроксидом натрия, 10 – баллон с азотом, 11 – клапан, 12 – реактор, 13 – кварцевая корзина, 14 – выход продуктов реакции, 15 – аналитические весы, 16 – нихромовая проволока, 17 – капроновая проволока, 18 – капиллярная трубка, 19 – термopара, 20 – потенциометр, 21 – печь

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.1>

Для проведения эксперимента образец массой 2 г (в виде прессовки) помещают в корзину 13, которая подвешивается к шкале аналитических весов 15 с помощью нихромовой 16 и капроновой 17 проволоки. Капроновая проволока проходит через капиллярную трубку 18, дно которой заполнено маслом типа МС-20. Масло действует как клапан и одновременно препятствует выходу газов из реактора. В рабочем диапазоне реактора, во внутренней части корзины, установлена термopара 19 типа ПП-1, с помощью которой измеряется температура восстановления. Рабочая температура реактора поддерживается постоянной, для чего используется потенциометр 20 типа ЭПП-09.

Реактор представляет собой трубу из нержавеющей и тугоплавкой стали (П136 мм), которая помещена в электропечь типа Т-40/600. После сборки и выпуска устройства реактор продувают азотом, затем подают водород и определяют потерю массы образца за определенный период времени. Расход водорода – 1 л/мин. Отклонение, вызванное контактом капроновой проволоки с капиллярной жидкостью, находится в пределах чувствительности весов и не влияет на точность эксперимента. Степень восстановления (λ , %) рассчитывают по потере массы и скорости восстановления (по скорости изменения массы в единицу времени (V , мг/мин)).

Результаты исследования

Для получения мартенситно-старееющего стального порошка состава $18\%Ni+10\%Co+5\%Mo+0,7\%Re+Fe_{мн}$ на термогравиметрической установке была восстановлена шихта состава $99\%[Ni_{1-x}, Co_x](Fe_{1-x}, Mo_x)_2O_4+1\%NH_4ReO_4$, приготовленная механическим перемешиванием в течение 1,5...2,0 ч. Результаты исследования, полученные в виде интегральных и дифференциальных кривых, представлены на рис. 2 и 3. Как видно из рисунков, кинетические кривые претерпевают самокаталитический процесс восстановления. Вначале наблюдается быстрая потеря массы с незаметным индукционным периодом.

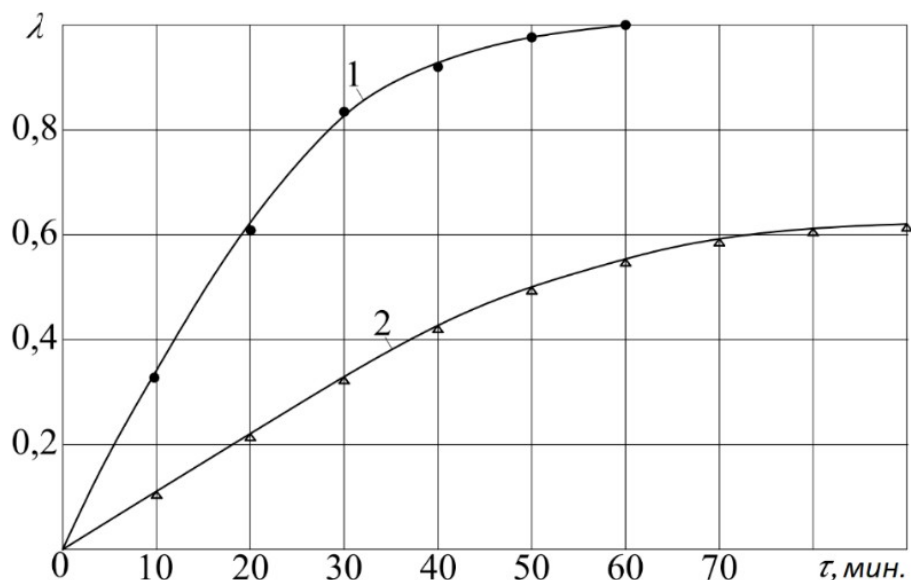


Рисунок 2 - Зависимость степени восстановления (λ) шихты состава 99% $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4 + 1\% \text{NH}_4\text{ReO}_4$ от срока выдержки

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.2>

Примечание: кривая 1 - 850°C, кривая 2 - 650°C

Восстановление синтезированного сложного оксида $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$ проводится в одну стадию без деления. На кинетических кривых не наблюдается никаких эффектов, связанных с кристаллохимическими превращениями. Однако четко выделяются прямолинейные и параболические диапазоны. Это свидетельствует о том, что процесс сначала идет в кинетическом, а затем в диффузионном режиме. Из рис. 2 видно, что при 850°C в течение 1 ч (кривая 1) происходит полное восстановление.

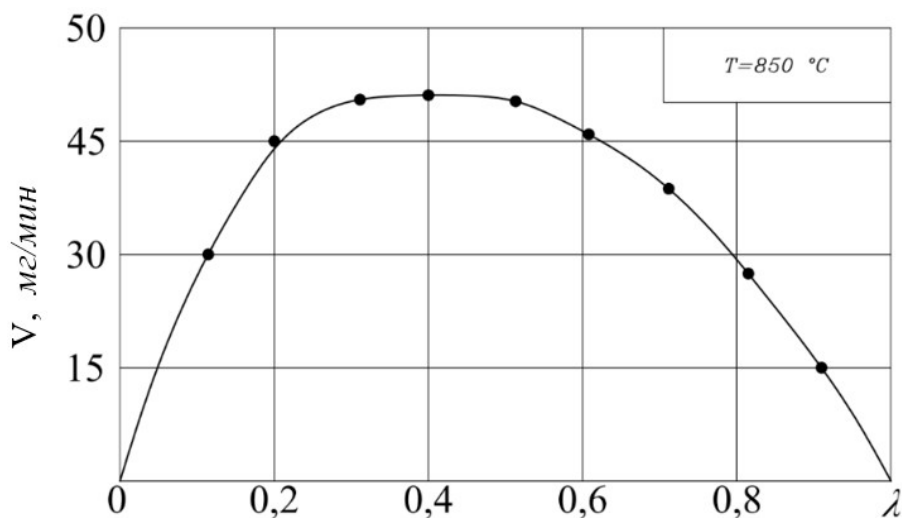
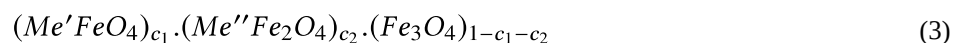
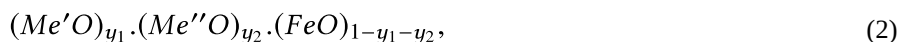


Рисунок 3 - Дифференциальная кривая восстановления шихты состава 99% $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4 + 1\% \text{NH}_4\text{ReO}_4$

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.3>

Что касается механизма восстановления оксидных систем, то он достаточно сложен и может быть объяснен следующим образом. В процессе восстановления оксида $\text{Me}^{2+}\text{Fe}_2\text{O}_4$ образуются фазы переменного состава, причем Fe^{2+} способен полностью или частично заменить Me^{2+} . В первом приближении сложный оксид $\text{Me}'_c\text{Me}''_{(1-c)}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ эквивалентен твердому раствору $(\text{Me}'\text{Fe}_2\text{O}_4)_c(\text{Me}''\text{Fe}_2\text{O}_4)_{1-c}$ с комплексными соединениями. При восстановлении они образуют закиси типа твердых растворов или шпинельные фазы переменного состава:



Равновесное давление кислорода и состав твердого раствора зависят от состава Me' и Me'' . Механизм восстановления оксида $\text{Me}'_c\text{Me}''_{(1-c)}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ (или $\text{MeMe}^{3+}_{(2-x)}\text{Fe}_x\text{O}_4$) можно представить следующим образом. До степени

восстановления $\lambda=33\%$ происходит быстрый переход Me^{2+} из шпинельной фазы в закисную фазу. Одновременно Fe^{3+} восстанавливается до Fe^{2+} , большая часть которого замещает удаленный из шпинельной фазы Me^{2+} , а избыток Fe^{2+} также переходит в закисную фазу. В результате количество MeFe_2O_4 в шпинельной фазе уменьшается. Образуется новый компонент Fe_3O_4 шпинельного раствора, концентрация которого достигает $\sim 70\%$ при $\lambda=20\%$. Закисная фаза обедняется FeO . При $>33\%$ имеется только фаза переменной сложности – закисный твердый раствор, который при восстановлении полностью обедняется кислородом до чистого металла, т.е. образуется металлический сплав. Для оптимизации режимов восстановления (T , τ) были испытаны образцы массой до 1 кг, где толщина слоя составляла 25 мм. Результаты экспериментов представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, при $T=950^\circ\text{C}$ и продолжительности $\tau=3$ ч (кривая 2) происходит полное восстановление (100%), а при 850°C восстановление недостаточно и составляет 80%.

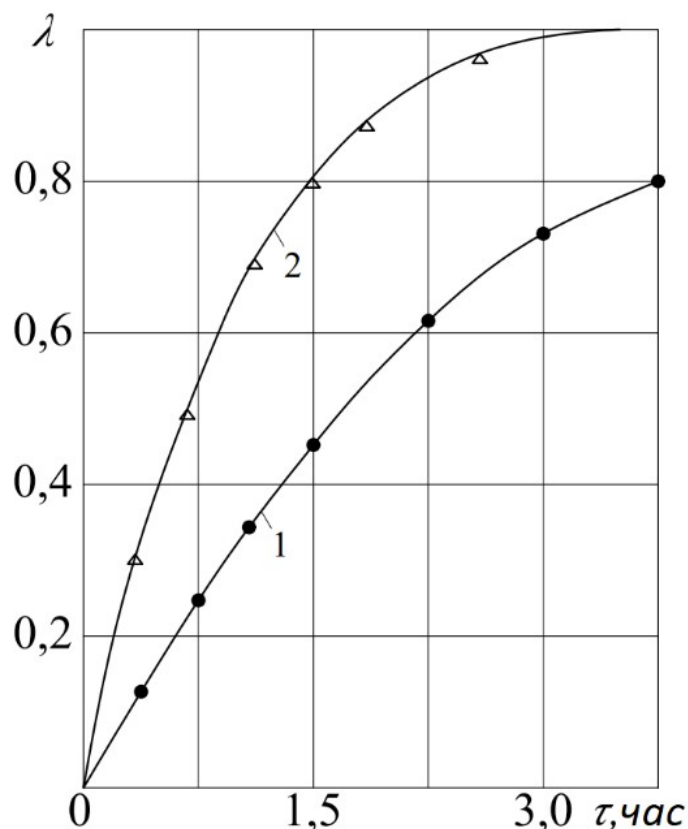


Рисунок 4 - Кинетика восстановления шихты состава $99\% [\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4 + 1\% \text{NH}_4\text{ReO}_4$ при температурах:
1 - 850°C ; кривая 2 - 950°C

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.4>

В соответствии с требованиями [12] был проведен химический анализ полученного металлического порошка. Исключение составлял кислород, который определяли по потере массы при сварке пористых прессовок в среде водорода (ГОСТ 18897-73).

Форму зерна определяли с помощью оптического микроскопа, а гранулометрический состав - по ГОСТ 18318-73 с помощью ситового анализа. Пикнометрическую плотность определяли с помощью пикнометра по ГОСТ 18898-73. Насыпную плотность определяли по ГОСТ 19440-74 с помощью волюмометра. За насыпную плотность принимали среднее из трех результатов измерений, разница которых не превышала $+1,5\%$. Сыпучесть металлических порошков определяли по ГОСТ 20899-75 и рассчитывали по формуле $\varepsilon = K \cdot \tau$, где K - коэффициент соответствия, а τ - время течения металлического порошка (с). Плотность и формуемость металлических порошков определяли по ГОСТ 25280-82, причем оба свойства объединяли в одно понятие, которое называют прессуемостью. Уплотнение оценивали по кривой прессования металлических порошков, построенной в системе координат «пористость-давление», т.е. $\theta=f(P)$. Формование металлических порошков характеризовалось определенным диапазоном пористости ($\theta=20\ldots 25\%$), при котором на поверхности прессовок после снятия с прессформы не появляются трещины.

В табл. 1-3 приведены основные свойства мартенситно-стареющего стального порошка типа ПС-Н18К10М5Re, полученного по разработанным оптимальным технологическим режимам (путем синтеза сложных оксидов и восстановления водородом).

Таблица 1 - Химический состав мартенситно-старееющего стального порошка типа ПС-Н18К10М5R

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.5>

Марка стали	Химический состав, %								
	основные элементы					примеси, не более			
	Fe	Ni	Mo	Co	Re	C	Si	S	P
ПС-Н18К10М5Re	ост.	17,8... 18,3	4,8... 5,2	9,8... 10,2	0,6... 0,7	0,001	0,002	0,003	0,002
Н18К10М5 (стандарт)	ост.	17,7... 19,0	4,6... 5,5	9,5... 10,5	-	0,03	0,200	0,020	0,020

Таблица 2 - Гранулометрический состав мартенситно-старееющего стального порошка типа ПС-Н18К10М5Re

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.6>

Гранулометрический состав, % по массе				
-0,160...+0,125 <i>мм</i>	-0,125...+0,100 <i>мм</i>	-0,100...+0,080 <i>мм</i>	-0,080...+0,040 <i>мм</i>	-0,040 <i>мм</i>
8,7	9,5	12,1	18,2	51,5

Таблица 3 - Физические и технологические свойства мартенситно-старееющего стального порошка типа ПС-Н18К10М5Re

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.7>

Пикнометрическая плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Сыпучесть, с/50г	Уплотняемость при P=700 МПа, г/см ³	Прессуемость, г/см ³ (нижний предел)
8,15	2,6	38,0	6,7	4,5

Сравнение со стандартной сталью типа Н18К10М5 показывает, что мартенситно-старееющий стальной порошок типа ПС-Н18К10М5Re чище по количеству сплавов, чем литая сталь того же типа, что и ожидалось. Проблема заключается в том, что при ферритизации смеси, находящиеся в исходных оксидах (Fe₂O₃, NiO, CoO, MoO₃), легко хлорируются и испаряются, что обусловлено их высокой упругостью пара. Температура испарения SiCl₂ - 57⁰C, AlCl₃ - 135⁰C, TiCl₄ - 330⁰C и т.д. Удаление смеси, в том числе из щелочных металлов и из перрената аммония (NH₄ReO₄), также легко осуществляется при восстановлении шихты. Эта технология имеет одно преимущество, согласно которому исключается азотирование металлического порошка (NH₄Cl → NH₃+HCl), при этом как исходные, так и синтезированные оксиды и перренат аммония не азотируются. Это объясняется тем, что процесс ферритообразования происходит при высоком кислородном потенциале, что значительно выше потенциала азота. Об этом свидетельствуют результаты химического анализа, согласно которым не обнаружено даже следов нитридов.

Таким образом, сложная оксидная технология получения легированных металлических порошков отличается от технологии термодиффузионного обогащения, разработанной в работе [13]. Металлические порошки, полученные методом термодиффузии, могут содержать большое количество азота, что обусловлено отходами диссоциации хлорида аммония в шихты, а также диссоциированным аммиаком, который часто используют в качестве защитной среды при диффузионном обогащении [14]. Например, стальной порошок П40Х содержит 0,009% N₂, П70Х5 - 0,012% N₂, П100Х12 - 0,014% N₂, ПХ18Н12 - 0,2% N₂. Содержание азота в некоторых металлических порошках достигает 0,54...0,75%. При этом загрязнение мартенситно-старееющих стальных порошков теми или иными сплавами не допускается.

Что касается физико-технологических свойств полученного стального порошка, то он находится в пределах нормы. Особенно он характеризуется хорошей плотностью и прессуемостью (рис. 3), что видно на диаграмме прессуемости (рис. 5). Металлический порошок губчатый (рис. 6), что характерно для порошков, полученных методом восстановления оксидов [14]. Индекс соосности зерен колеблется от 2,5 до 3,0. Диаграмма прессуемости - $\theta=f(P)$ и форма металлического порошка показаны на рис. 5 и 6.

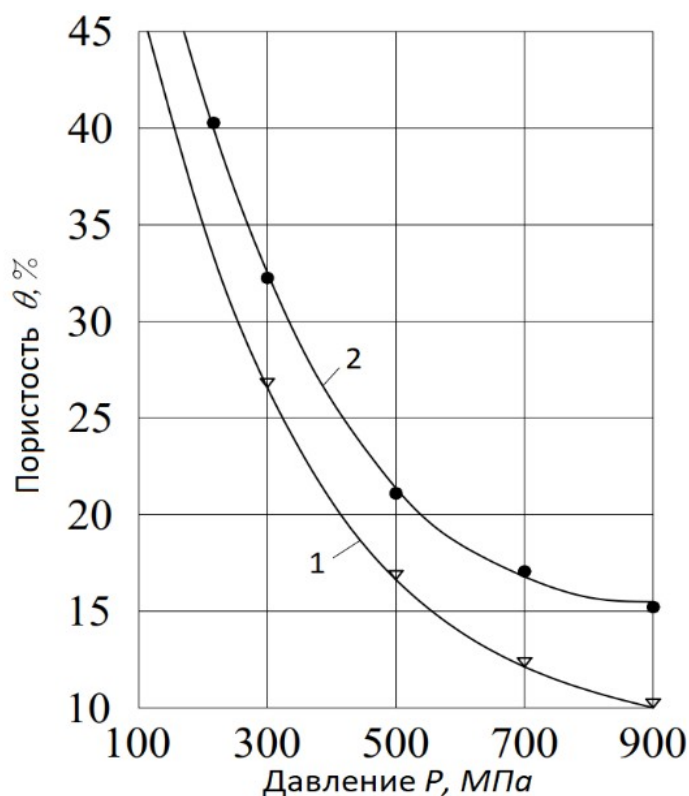


Рисунок 5 - Диаграмма прессуемости мартенситно-сталяющего порошка марки ПС-Н18К10М5Re - $\theta=f(P)$, полученного:

1 - синтезом и восстановлением оксидов; 2 - методом термодиффузии [13]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.8>

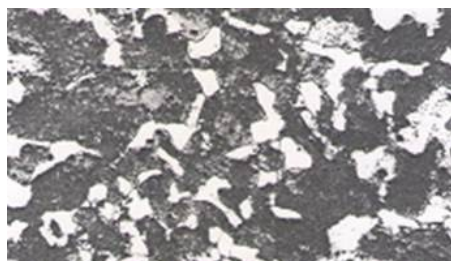


Рисунок 6 - Форма зерна мартенситно-сталяющего порошка марки ПС-Н18К10М5Re

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.9>

Примечание: $\times 100$

Проведен рентгенофазовый анализ стандартной стали (Н18К10М5) и полученного стального порошка (ПС-Н18К10М5Re) (рис. 7). Как видно из рисунка, на рентгенограммах присутствуют характерные линии отдельных элементов, в том числе рения.

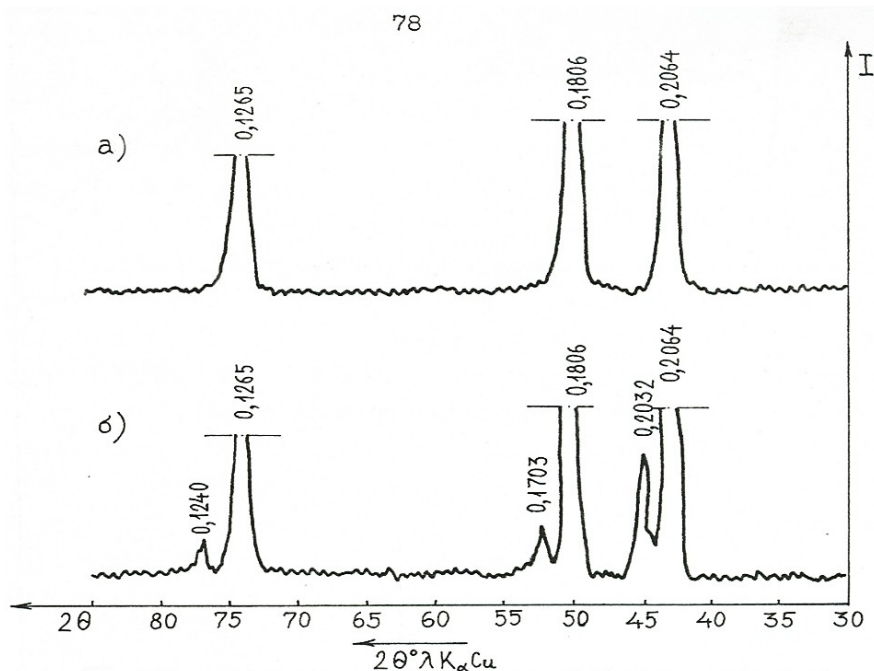


Рисунок 7 - Результаты рентгенофазового анализа стали типа H18K10M5 (а) и металлического порошка типа ПС-H18K10M5Re (б)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.10>

Результаты рентгеноспектрального микрозондового анализа представлены на рис. 8.

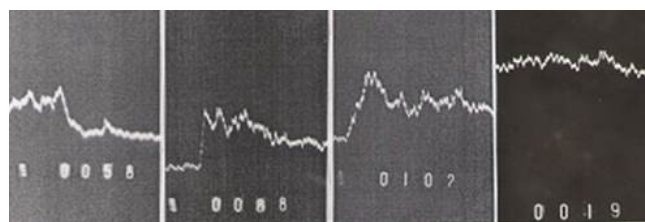


Рисунок 8 - Результаты рентгеноспектрального микрозондового анализа стального порошка типа ПС-H18K10M5Re: а – Ni; б – Co; в – Mo; г – Re

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.11>

Наряду с растворимостью легирующих элементов происходит изменение расстояния между атомными уровнями. В результате металлический порошок представляет собой сплав стального порошка типа ПС-H18K10M5Re, который имеет аустенитную однофазную структуру с параметрами кристаллической решетки: $a=0,3580$ нм. Наиболее интересны результаты рентгеноспектрального микрозондового анализа (рис. 8), где показано распределение элементов в зерне металлического порошка. Как видно из рисунка, распределение элементов в металлическом порошке неравномерно, из-за чего кривая распределения имеет зигзагообразный вид. Но общие характеристики сплавов достаточны, что доказывает правильность процесса получения сплава. Re (8 г), Ni (рис. 8а), затем Co (рис. 8 б) и Mo (рис. 8 в) имеют относительно равномерное распределение. Кроме того, необходимо учесть и тот факт, что после прессования металлического порошка при спекании, горячей экструзии и дальнейшей термической обработке также происходят процессы гомогенизации, и распределение легирующих элементов становится равномерным по всему объему.

Заключение

Выявлены механизм и кинетика восстановления шихты, полученной из сложного оксида $[\text{Ni}_{1-x}, \text{Co}_x](\text{Fe}_{1-x}, \text{Mo}_x)_2\text{O}_4$, синтезированного из оксидной системы $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--NiO--CoO--MoO}_3$, и перрената аммония $(\text{NH}_4\text{ReO}_4)$. Показано, что мартенситно-старееющий стальной порошок марки ПС-X18K10M5Re чище по количеству смесей, чем литая сталь той же марки. Выявлено, что рений, будучи очень активным, растворяется в системе Fe-Ni-Co-Mo, образуя твердые растворы и интерметаллические соединения рения, повышая прочность, твердость, ударную вязкость, теплоемкость, коррозионную стойкость и хладноломкость порошковой стали. Разработана технология получения высокопрочных мартенситно-старееющих стальных порошков.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.12>**Conflict of Interest**

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.9.12>**Список литературы / References**

1. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. - М.: Металлургия, 1985. - 408 с.
2. Агбалян С.Г. Специальные стали и сплавы / С.Г. Агбалян, Е.С. Салтикова. - Ереван: Изд-во ГИУА, 2003. - 260 с.
3. Бадаян Б.Ф. Разработка мартенситно-старееющих порошковых сталей и процессов их получения : дис.канд. техн. наук / Б.Ф. Бадаян. - Ереван, 1994. - 130 с.
4. Агбалян С.Г. Получение порошковых мартенситно-старееющих сталей / С.Г. Агбалян, Б.Ф. Бадаян, Р.Г. Самвелян и др. // Порошковая металлургия. - Киев, 1994. - № 9/10. - С. 7-15.
5. Агбалян С.Г. Формование структуры и свойств мартенситно-старееющих порошковых сталей, полученных экструзией / С.Г. Агбалян, Б.Ф. Бадаян, С.А. Ассила и др. // Порошковая металлургия. - Киев, 1994. - № 11/12. - С. 10-13.
6. Агбалян С.Г. Низколегированные порошковые стали, полученные по металлооксидной технологии / С.Г. Агбалян, С.А. Ассила, Н.Н. Манукян и др. // Порошковая металлургия. - Киев, 1995. - № 1/2. - С. 5-10.
7. Бодяко М.Н. Мартенситно-старееющие стали / М.Н. Бодяко, С.А. Астанчик, Ф.Б. Ярошевич. - Минск: Наука и техника, 1976. - 248 с.
8. Агбалян С.Г. Обоснование технологии получения мартенситно-старееющих порошковых сталей / С.Г. Агбалян, В.А. Симонян // Известия НАН РА и НПУА: Серия Техн. наук. - 2022. - Т. 75. - № 3.
9. Агбалян С.Г. Исследование процесса ферритизации в оксидных системах Fe₂O₃-NiO-CoO-MoO₃ и разработка технологии получения сложных оксидов / С.Г. Агбалян, В.А. Симонян // Известия НАН РА и НПУА: Серия Техн. наук. - 2022. - Т. 75. - № 4.
10. Тумарев А.С. Проблемы металлургии / А.С. Тумарев. - М. : Металлургия, 1953.
11. Чуфаров Г.И. Механизм и кинетика восстановления металлов / Г.И. Чуфаров и др. - М.: Наука, 1970.
12. Строганов А.И. Производство стали и ферросплавов / А.И. Строганов, М.А. Рысс. - М. ; Л. : Металлургия, 1979. - 504 с.
13. Радомыслский И.Д. Получение легированных порошков диффузионным методом и их использование / И.Д. Радомыслский, С.Г. Напара-Волгина. - Киев: Наукова думка, 1988. - 138 с.
14. Анциферов В.Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. - М. : Металлургия, 1987. - 792 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gol'dshtejn M.I. Special'nye stali [Special Steels] / M.I. Gol'dshtejn, S.V. Grachev, Ju.G. Veksler. - M.: Metallurgija, 1985. - 408 p. [in Russian]
2. Agbaljan S.G. Special'nye stali i splavy [Special steels and alloys] / S.G. Agbaljan, E.S. Saltikova. - Erevan: Publishing house of GIUA, 2003. - 260 p. [in Russian]
3. Badejan B.F. Razrabotka martensitno-starejushhih poroshkovyh stalej i processov ih polucheniya [Development of maraging powder steels and processes for their production] : dis. ... of PhD in Technical Sciences / B.F. Badejan. - Erevan, 1994. - 130 p. [in Russian]
4. Agbaljan S.G. Poluchenie poroshkovyh martensitno-starejushhih stalej [Obtaining maraging steel powders] / S.G. Agbaljan, B.F. Badejan, R.G. Samveljan et al. // Poroshkovaja metallurgija [Powder metallurgy]. - Kyiv, 1994. - № 9/10. - P. 7-15. [in Russian]
5. Agbaljan S.G. Formovanie struktury i svojstv martensitno-starejushhih poroshkovyh stalej, poluchennyh jekstruziej [Shaping the structure and properties of maraging powder steels obtained by extrusion] / S.G. Agbaljan, B.F. Badejan, S.A. Assila et al. // Poroshkovaja metallurgija [Powder metallurgy]. - Kyiv, 1994. - № 11/12. - P. 10-13. [in Russian]
6. Agbaljan S.G. Nizkolegirovannye poroshkovye stali, poluchennye po metallooksidnoj tehnologii [Low-alloy powder steels obtained by metal oxide technology] / S.G. Agbaljan, S.A. Assila, N.N. Manukjan et al. // Poroshkovaja metallurgija [Powder metallurgy]. - Kyiv, 1995. - № 1/2. - P. 5-10. [in Russian]
7. Bodjako M.N. Martensitno-starejushhih stali [Maraging steels] / M.N. Bodjako, S.A. Astanchik, F.B. Jaroshevich. - Minsk: Nauka i tehnika, 1976. - 248 p. [in Russian]
8. Agbaljan S.G. Obosnovanie tehnologii polucheniya martensitno-starejushhih poroshkovyh stalej [Substantiation of the technology for obtaining martensitic-aging powder steels] / S.G. Agbaljan, V.A. Simonjan // Izvestija NAN RA i NPUA: Serija Tehn. nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia and NPUA: Series Techn. Sciences]. - 2022. - Vol. 75. - № 3. [in Russian]
9. Agbaljan S.G. Issledovanie processa ferritizacii v oksidnyh sistemah Fe₂O₃-NiO-CoO-MoO₃ i razrabotka tehnologii polucheniya slozhnyh oksidov [Study of the ferritization process in Fe₂O₃-NiO-CoO-MoO₃ oxide systems and development of a technology for obtaining complex oxides] / S.G. Agbaljan, V.A. Simonjan // Izvestija NAN RA i NPUA: Serija Tehn. nauk. - 2022 [Proceedings of NAS RA and NPUA: Series Techn. Sciences]. - Vol. 75. - № 4. [in Russian]
10. Tumarev A.S. Problemy metallurgii [Problems of metallurgy] / A.S. Tumarev. - M. : Metallurgija, 1953. [in Russian]

11. Chufarov G.I. Mehanizm i kinetika vosstanovlenija metallov [Mechanism and kinetics of metal reduction] / G.I. Chufarov et al. - M.: Nauka, 1970. [in Russian]
12. Stroganov A.I. Proizvodstvo stali i ferrosplavov [Production of steel and ferroalloys] / A.I. Stroganov, M.A. Ryss. - M. ; L. : Metallurgija, 1979. - 504 p. [in Russian]
13. Radomysel'skij I.D. Poluchenie legirovannyh poroshkov diffuzionnym metodom i ih ispol'zovanie [Obtaining alloyed powders by the diffusion method and their use] / I.D. Radomysel'skij, S.G. Napara-Volgina. - Kyiv: Naukova dumka, 1988.- 138 p. [in Russian]
14. Anciferov V.N. Poroshkovaja metallurgija i napylennye pokrytija [Powder Metallurgy and Sputter Coatings] / V.N. Anciferov, G.V. Bobrov, L.K. Druzhinin et al. - M. : Metallurgija, 1987. - 792 p. [in Russian]