

методом продуктов, в 1,2–1,4 раза за счет диспергирования глинистых частиц, а также способствует увеличению белизны в 1,1 раза за счет частичного перевода Fe_2O_3 в водорастворимое состояние. Таким образом, рекомендуется проводить биологическую обработку природного каолина после гидравлического ситового кондиционирования.

При нагревании каолинового сырья в интервале температур 20–1100 °С наблюдаются два наиболее значимых процесса: образование метакаолинита (сопровождается эндотермическим эффектом в температурном интервале 520–580 °С, причем для каолина «Дедовка» фиксируется небольшое смещение на 5–40 °С в область более высоких температур) и процесс муллитизации (сопровождается экзотермическим эффектом в области температур 970–1010 °С). Для обогащенных каолинов следует отметить отсутствие раздвоения пика в виде ступеньки в температурном интервале 570–580 °С, связанного с полиморфным превращением кварца, по сравнению с природными каолинами «Ситница» и «Дедовка».

В результате исследования существующих способов обогащения каолинового сырья установлено, что для повышения его качественных характеристик возможно использование различных способов обогащения, при этом выбор того или иного способа определяется не только

индивидуальными свойствами каолина, но и возможностью его реального применения.

Природное (необогатненное) каолиновое сырье месторождений «Ситница» и «Дедовка» целесообразно и возможно применять в исходном виде при получении керамики строительного назначения (керамической плитки: для стен, полов, клинкерной плитки, а также керамогранита; керамического кирпича с улучшенными термомеханическими характеристиками, а также клинкерного), а также при производстве полукислых огнеупоров.

Обогащение каолинового сырья мотивировано в случае получения керамики технического назначения, а также шамотных и высокоглиноземистых материалов.

При выборе способа обогащения следует выбирать экономически оправданные технологии, исходя из условий применения каолинов.

Литература

1. О возможности повышения кондиционности каолинового сырья Республики Беларусь различными методами обогащения / Г. Н. Малиновский [и др.] // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 7–13.

2. Particulars of the chemical mineralogical composition and properties of kaolins from Belorussian deposits / O. A. Sergievich [et al.] // Glass and Ceramics. – 2012. – Vol. 69. – № 3/4. – P. 94–98.

УДК 621.762

ПСЕВДОСПЛАВЫ: ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД ТРАДИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ Савич В.В.

*Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Псевдосплавы – важное направление порошковой металлургии. Они, за счет своей композиционной микроструктуры, сформировать которую традиционными металлургическими методами невозможно, обладают уникальными свойствами. В докладе рассмотрены два типа псевдосплавов на основе вольфрама: электроконтакты и элементы защиты от радиоактивного излучения.

Ключевые слова: псевдосплавы, тяжелые сплавы, вольфрам.

PSEUDOALLOYS: ADVANTAGES OVER CONVENTIONAL MATERIALS Savich V.

*Institute of Powder Metallurgy named after Academician O.V. Roman
Minsk, Republic of Belarus*

Annotation. Pseudo-alloys are an important branch of powder metallurgy. Due to their compositional microstructure, which cannot be formed by traditional metallurgical methods, they have unique properties. The report considers two types of tungsten-based pseudo-alloys: electrical contacts and radiation protection elements.

Key words: pseudoalloys, heavy alloys, tungsten.

*Адрес для переписки: Савич В.В., ул. Платонова, 41, Минск 220005, Республика Беларусь
e-mail: savich.vadim@gmail.com*

Псевдосплавы – это специфический вид композиционных порошковых материалов, состоящих из взаимно нерастворимых (либо ограниченно растворимых) компонентов с разной температурой плавления. Первыми классическими псевдосплавами стали композиционные материалы системы W–Cu и W–Ag. По традиционной

технологии получения таких псевдосплавов предельно спеченный из порошка вольфрама пористый каркас пропитывают при температуре 1200–1250 °С жидкой металлической составляющей композиции – расплавом меди или серебром.

Свойства псевдосплавов W–Cu и W–Ag можно изменять в широких пределах, варьируя состав

композиций (рис. 1) [1]. Псевдосплавы имеют лучшую тепло- и электропроводность, чем чистый вольфрам. Теплопроводность чистого вольфрама при температуре 1000 °С составляет 120 Вт/(м·К), а псевдосплава W – 20 % Cu – 135 Вт/(м·К).

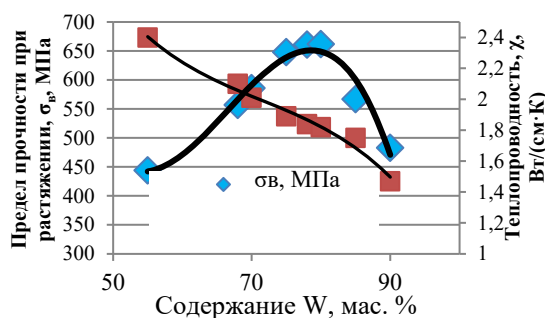


Рисунок 1 – Зависимость физико-механических свойств псевдосплава W–Cu от содержания W [1]

Испарение меди при температурах выше 2000 °С мало изменяет различие эксплуатационных свойств чистого вольфрама и псевдосплава. Затраты тепла на испарение меди и пограничный слой, обогащенный медными парами, существенно снижают тепловой поток и эрозионное воздействие продуктов сгорания топлива на каркас композиционного материала.

Псевдосплавы W–Cu и W–Ag применяли в 60-е – 70-е годы XX века в ракетной технике. Из них изготавливают сопловые вкладыши двигателей, работающих на твердом топливе, и ряд других деталей, эксплуатируемых в условиях воздействия мощных тепловых потоков. Плавление и испарение сравнительно легкоплавкой меди сопровождается значительным поглощением тепла, предупреждающим перегрев тугоплавкого вольфрамового каркаса. Пока в порах содержится жидкий металл, температура псевдосплава не может подняться выше его температуры кипения независимо от величины теплового потока, действующего на материал.

Из псевдосплавов W–Cu и W–Ni–Cu изготавливают контакты для высоковольтных выключателей, работающих в неокислительной среде или масле, электроды контактных сварочных машин для сварки тугоплавких и цветных металлов, газоохлаждаемые сопла и межэлектродные вставки мощных сварочных, плазмохимических и металлургических плазмотронов. Пористые сопла для сварочных плазмотронов из вольфрам-медных псевдосплавов с пористостью 50 % , содержащих 10 % (объемн.) Cu, при токе 200 А в течение 10 мин работы почти не теряют массу, тогда как масса сопел из одного пористого вольфрама уменьшается на 2,2 %. Повышенная стойкость пористых псевдосплавов связана с образованием на рабочих поверхностях пленки оксида меди, защищающей вольфрам.

Из псевдосплавов W–Ag изготавливают электроконтакты для сварочных машин, световых вы-

ключателей, авиационного оборудования, стартеров, вибраторов, преобразователей тока. Для работы в вакууме можно использовать самосмазывающиеся подшипники, спеченные из вольфрамового порошка и пропитанные серебром, золотом, оловом, сплавом Вуда.

Псевдосплавы на основе меди широко применяются в качестве материалов для электроконтактов и дугостойких электродов благодаря уникальной совокупности физико-механических и электрических свойств – высокой электропроводности, прочности, твердости и высокому сопротивлению эрозии электрической дуги (рис. 2) [2–5]. Они представляют собой композиты несмешивающихся металлов, такие как Cu–Mo, Cu–W, Cu–Cr и др.

На рис. 3 представлены некоторые контакты из псевдосплавов W–Cu, W–Ag, выпускаемые Институтом порошковой металлургии имени академика О.В. Романа.

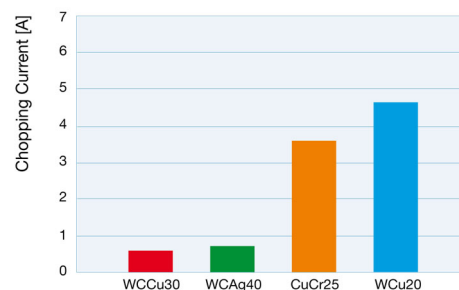


Рисунок 2 – Ток прерывания для различных контактных материалов при испытаниях на вакуумном контакторе 20 кА/24 кВ при максимальном токе 630 А

Тяжелые вольфрамовые сплавы (Tungsten Heavy Alloys) системы W–Ni–Fe или W–Ni–Cu (промышленное обозначение ВНЖ и ВНМ) – материалы с ограниченной взаимной растворимостью, представляющие большой интерес с точки зрения их приложений в ядерной энергетике [6–7]. Их отличительной особенностью кроме высокой плотности более 16 г/см³ и способности к поглощению рентгеновского и γ -излучения, являются высокие механические свойства, хорошая технологическая пластичность и механическая обрабатываемость [8].



Рисунок 3 – Контакты из псевдосплавов W–Cu, W–Ag, выпускаемые Институтом порошковой металлургии имени академика О.В. Романа

В настоящее время наиболее распространенным методом получения таких псевдосплавов является спекание при температурах выше температуры плавления самой легкоплавкой фазы сплава, которой в системе W–Ni–Fe является гамма-твердый раствор Ni–Fe легированный вольфрамом.

Содержание вольфрама в тяжелых сплавах, как правило, составляет от 90 % до 98 % по массе. Медь, никель и железо служат связующим веществом для вольфрамовых зерен, что обеспечивает увеличение пластичности, обрабатываемости и электропроводности. В Институте порошковой металлургии имени академика О.В.Романа разработаны и получены методом прессования, отжига и жидкофазного спекания порошковых смесей на основе вольфрама с добавками Cu, Ni, Fe и оксида меди композиционные радиационно-защитные материалы содержащие:

- 95%W+3%Ni+2%Cu;
- 95%W+3,5%Ni+1,5%Fe (ВНЖ-95);
- 95,5%W+1%Cu+1,5%Fe+2%Ni [7].

Разработанные спеченные композиционные радиационно-защитные материалы в зависимости от химического состава, режимов изготовления и свойств исходной шихты для прессования имеют плотность 17,6–18,2 г/см³, пористость менее 3 % и твердость 24–30 HRC. На рис. 4 представлены фотографии микроструктуры псевдосплавов ВНЖ-95.

Структура разработанных радиационно-защитных материалов состоит в зависимости от химического состава из тугоплавкой составляющей – зерен вольфрама, твердого раствора железа, никеля в вольфраме, и располагающегося по границам тугоплавкой составляющей твердого раствора Cu, Fe, W в никеле.

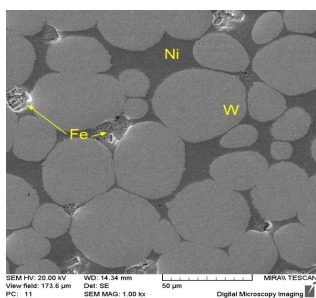


Рисунок 4 – Микроструктура псевдосплавов ВНЖ-95

На рис. 5 приведено качественное сравнение толщины различных материалов равной степени защиты от радиационного излучения, выполненное фирмой Plansee (Австрия).

Как видно из рис. 5, порошковые псевдосплавы – тяжелые сплавы на основе вольфрама Densimet и Inermet обладают высокой степенью защиты от радиационного излучения и позволяют снизить толщину защитной оболочки в 2 раза по сравнению со сталью и в 3 раза – по сравнению с бетоном.

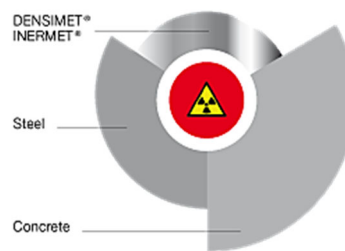


Рисунок 5 – Сравнение толщины различных материалов равной степени защиты от радиационного излучения

На рис. 6 представлены некоторые образцы контейнеров из тяжелого сплава ВНЖ-95, которые выпускаются Институтом порошковой металлургии имени академика О.В.Романа по заказам предприятия «АТОМТЕХ». Предприятие образовано в 1995 году и является ведущим научно-исследовательским и производственным центром Республики Беларусь в области разработки и производства оборудования для ядерных измерений и радиационного контроля. Контейнеры из тяжелого сплава ВНЖ-95 используются для размещения и хранения изотопов и других радиоактивных материалов – компонентов указанных выше приборов.



Рисунок 6 – Контейнеры из тяжелых сплавов ВНЖ-95 для хранения радиоактивных материалов

Литература

1. Wang, Tie Fu. Copper Tungsten Shaped Charge Liner and its Jet / Wang Tie Fu, Zhu He Rong // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. – Vol. 21, iss. 4. – 1996. – P. 193–195.
2. Johnson, J. L. Effects of Tungsten Particle Size and Copper Content on Densification of Liquid-Phase-Sintered W-Cu / J. L. Johnson, J. J. Brezovsky, German Randall M. // Metallurgical Transactions. – 2005. – Vol. 36A. – P. 2807–2814.
3. Ghaderi Hamidi A. Tungsten-copper composite production by activated sintering and infiltration / Hamidi A. Ghaderi, H. Arabi, S. Rastegari // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2011. – Vol. 29, Iss. 4. – P. 538–541.
4. Jedamzik, R. Functionally graded materials by electrochemical processing and infiltration: application to tungsten/copper composites / R. Jedamzik, A. Neubrand, J. Rodel. // Journal of material science. – 2000. – Vol. 35, Iss. 2. – P. 477–486.
5. Jancovic Ilic D. Electrical and elastic properties of Cu-W graded material produced by vibro compaction / Ilic D. Jancovic, J. Fiscina, C.J.R. Gonzales-Oliver // Journal of material science. – 2008. – Vol. 43, Iss. 20. – P. 6777–6783.

6. Верховодов, П. А. Изучение кинетики восстановления и сплавообразования в системе W-Ni-Fe / П. А. Верховодов [и др.] // Порошковая металлургия. – 1979. – № 4. – С. 8–13.
7. Горохов, В. М. Порошковые композиционные материалы на основе вольфрама для применения в качестве

- радиационнозащитных материалов / В. М. Горохов, И. Н. Тарусов // Порошковая металлургия. – Вып.36. – 2013. – С.
8. Скороход, В.В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений [Текст] / В.В. Скороход.– Киев: «Техника», 1982.-166 с.

УДК 534.2; 179.16.05

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Деленковский Н.В., Левкович Н.В.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. С позиций лучевой акустики проведен теоретический анализ и выполнены экспериментальные исследования распространения поверхностных продольных волн (ППВ), возбуждаемых при падении на поверхность однослойных и двухслойных объектов под первым критическим углом. Используя теневую схему прозвучивания, экспериментально установлены условия, связывающие частоту или длину зондирующей волны, величину акустической базы, толщину контролируемого слоя объекта, нивелирующие влияние шумового фона, вызванного сопутствующими модами, на измеряемые параметры акустического импульса ППВ, включая его фазовую скорость. Рассмотрены особенности и возможности измерения физико-механических свойств однослойных и двухслойных тонкостенных изделий с использованием данных об акустических параметрах ППВ моды, а также волны Рэлея.

Ключевые слова: поверхностные продольные, поперечные волны, скорость упругих мод, лучевая акустика, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

FEATURES OF EXCITATION AND PROPAGATION OF SURFACE LONGITUDINAL WAVES FOR CONTROL OF OBJECTS WITH LIMITED THICKNESS

Baev A., Mayorov A., Asadchaya M., Delenkovsky N.

*The Institute of Applied Physics NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. From the viewpoint of ray acoustics, a theoretical analysis and experimental studies of the propagation of longitudinal surface waves (SSW) excited when falling on the surface of single- and double-layered objects at the first critical angle have been carried out. Using a shadow sounding scheme, the conditions were experimentally established to determine the frequency or length of the ultrasonic wave, the acoustic base value, and the thickness of the controlled object layer, which eliminate the influence of the noise background caused by and accompanying and reflected modes, on the measured parameters of the acoustic impulse of a SLW, including its phase velocity. The features and possibilities of measuring the physical-mechanical properties of single- and Rayleigh wave are considered.

Key words: surface longitudinal, transverse waves, elastic mode velocity, ray acoustics, Young's modulus and Poisson's ratio.

*Адрес для переписки: Баев А.Р., ул. Академическая, 16, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: baev@iaph.bas-net.by*

Повышение эффективности и надежности ультразвукового (УЗ) контроля физико-механических свойств и структуры тонкостенных изделий с однослойной и двухслойной структурой является важной производственной задачей. В частности, это касается определения степени поврежденности металла, наличия механических напряжений, определения модуля Юнга E и коэффициент Пуассона μ и др. по данным скорости объемной продольной C_L и поперечной C_T упругих мод [1–3], когда использование традиционных методов затруднено. В работе предложена идея совершенствования методов контроля для решения указанных задач путем одностороннего ввода (приема) в объекты поверхностных продольных

(LS) и поперечных (TS) волн, являющихся неоднородными [3] и возбуждаемых при падении на объект под первым β_1 и вторым β_2 критическими углами соответственно. А их скорости (C_{LS} , C_{TS}) совпадают по величине со скоростью аналогов, измеряемых в объеме материала, что например, позволяет определить E и μ из формулы (1):

$$\{C_{LS}, C_{TS}, C_{R...}\} = (E/\rho)^{-1} f_i(\mu), \quad (1)$$

где $i = 1$ соответствует C_{LS} , $2 - C_{TS}$, $3 -$ скорости волны Рэлея C_R .

На первом этапе исследований с позиции лучевой акустики [4] в двумерном приближении проведен теоретический анализ акустического