

Внуков А. А.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Cu-C

Рассмотрены предпосылки использования механосинтеза для легирования порошковых конструкционных сталей. Исследован комплекс физических и технологических свойств порошковых шихт на основе железа, предназначенных для получения спеченных конструкционных изделий, легированных медью и углеродом. Результаты исследований могут быть использованы при создании спеченных сталей и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: механосинтез, спеченные стали, легирование, железный порошок, медный порошок, графит, механическое смешивание.

1. Введение

Для производства спеченных конструкционных материалов и изделий используют не только чистые металлы, но и (по большей части) сплавы различной степени сложности. Металлические материалы могут являться многокомпонентными, а часто и многофазными системами. Развитие современного материаловедения требует постоянного улучшения эксплуатационных свойств создаваемых материалов. Так, упрочнение конструкционных материалов достигается несколькими путями: уменьшением размера кристаллитов, закалкой твердого раствора, деформационной устойчивостью, армированием частицами или волокнами, дисперсионным твердением. Каждый из этих способов предлагает для разрабатываемого материала свои рабочие параметры напряжений и температур, задает определенные условия и требует соответствующих затрат [1].

В настоящее время есть необходимость более широко внедрения в производство порошковых легированных сталей. В литературе имеются публикации по свойствам этих материалов и способам легирования [1–3]. Однако их разрозненность затрудняет использование этих данных при разработке новых порошковых легированных сталей и внедрении их в производство. В связи с этим проведение исследований по изучению влияния способов легирования на свойства порошковых сталей является актуальным.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Традиционные методы введения легирующих элементов в порошковый материал ограничены рядом технологических процессов: простое механическое смешивание с использованием высокоскоростных смесителей; плакирование поверхности порошковой матрицы посредством нанесения раствора соли металла-добавки с последующим переводом высушенной пленки соли в оксидную

форму; техника внутреннего окисления для сплавов, содержащих разбавленные твердые растворы металлов-добавок в матрице, которые окисляют при повышенных температурах; процесс избирательного восстановления, т. е. селективное восстановление одного или нескольких компонентов в смеси оксидов металлов [2].

Перечисленные процессы обладают определенными достоинствами и позволяют получать конструкционные и дисперсно-упрочненные материалы. Основными недостатками всех упомянутых выше технологий являются низкая степень однородности новых композиций и ограниченный круг материалов, используемых для их изготовления.

С целью преодоления этих недостатков в конце 1960-х годов была разработана концепция процесса механического легирования (механосинтеза). Изначально механическое легирование предполагало создание суперсплавов на основе никеля. В последующие годы область применения механического легирования значительно расширилась. В настоящее время механическое легирование используется не только для получения конструкционных материалов, но и для производства композиционных материалов, содержащих тонкодисперсные вторичные фазы. Посредством механического легирования удается расширить пределы растворимости легирующих добавок в материале-основе, синтезировать равновесные и метастабильные кристаллические фазы, а также получить аморфные фазы [3–7].

Механическое легирование не эквивалентно механическому смешению, пусть даже очень качественному. В ходе механического легирования происходят сложные процессы взаимодействия фаз — твердофазные реакции с образованием твердых растворов, интерметаллидов и химических соединений. С определенной степенью допущения можно сказать, что механическое легирование является предельным случаем механохимического взаимодействия. В процессе механического легирования происходит характерная для механохимии механическая активация поверхности, обусловленная

физическими (измельчение, деформация) и химическими (образование новых соединений, изменение поверхностной активности и т. п.) явлениями.

Процесс механического легирования характеризуется высокой универсальностью. При появлении новых видов технологического оборудования для проведения механического легирования область его использования, а также и спектр материалов, создаваемых этим методом, будет расширяться. Механическое легирование является малоотходной, высокоэкологичной технологией и, как нельзя более, отвечает современным требованиям производства. Поэтому исследования, направленные на изучение этой технологии являются актуальными.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс получения легированных порошковых материалов на основе железа с заданным комплексом физических и технологических свойств для создания спеченных конструкционных сталей с высоким уровнем эксплуатационных характеристик.

Целью исследований является получение порошковой шихты на основе железа с максимальным уровнем физических и технологических характеристик.

Задача работы — изучить влияние режима механического легирования на свойства порошковых конструкционных материалов на основе системы Fe-Cu-C.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задания:

- определить физические и технологические свойства исследуемых порошковых материалов;
- провести сравнительный анализ свойств исследуемых порошковых материалов, полученных с применением различных режимов механосинтеза, а также механического смешивания, и выбрать наиболее оптимальный способ подготовки шихты для получения спеченных конструкционных материалов.

4. Материалы и методы исследования технологических и физических свойств порошковых материалов

Исследовали порошковые материалы состава Fe-5 % Cu-0,7 % C, соответствующие по химическому составу порошковой стали марки СП70Д5 [6]. Применяли два способа приготовления шихтовых материалов: механическое смешивание исходных порошков и механосинтез при различных скоростях размола исходных компонентов. Механическое смешивание осуществляли в барабанном смесителе типа «пьяная бочка», механосинтез — путем размола в планетарной шаровой мельнице (рис. 1).

Для получения опытных образцов шихты были использованы следующие порошковые материалы: порошок железный распыленный марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ 9449-89) [8]; порошок медный электролитический марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) [9]; графит карандашный марки ГК-1 (ГОСТ 4404-78) [10].

Исследовали следующие свойства опытных образцов шихты: насыпную плотность (ГОСТ 19440-74); текучесть (ГОСТ 20899-75); прочность сырой прессовки (ГОСТ 25282-93); средний размер частиц (ГОСТ 18318-73).

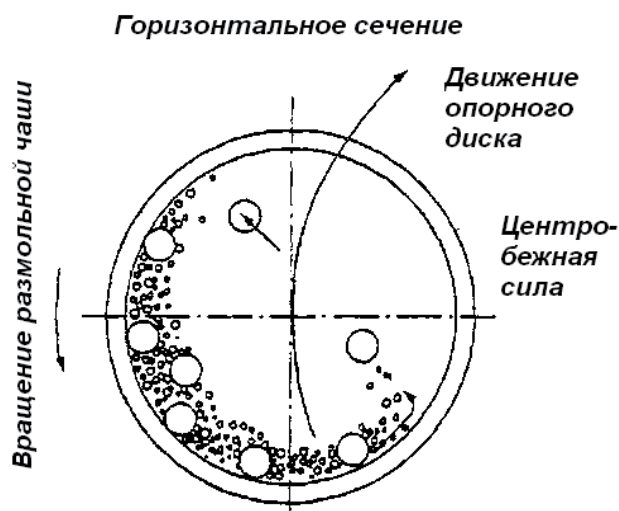


Рис. 1. Схема движения тел в горизонтальном разрезе планетарной мельницы

5. Результаты исследования технологических и физических свойств порошковых шихт на основе системы Fe-Cu-C

Результаты определения технологических свойств исследуемых шихтовых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования технологических свойств материалов

Режим получения шихты	Свойства	
	насыпная плотность $\gamma_{\text{нас}}$, г/см ³	текучесть, 50 г/сек
Размол 50 об/мин	2,58–2,60	37–38
Размол 100 об/мин	2,61–2,63	34–35
Размол 150 об/мин	2,65–2,67	34–35
Размол 200 об/мин	2,72–2,75	38–30
Размол 250 об/мин	2,36–2,39	52–55
Размол 300 об/мин	2,00–2,02	48–50
Смешивание	2,65–2,67	40–42

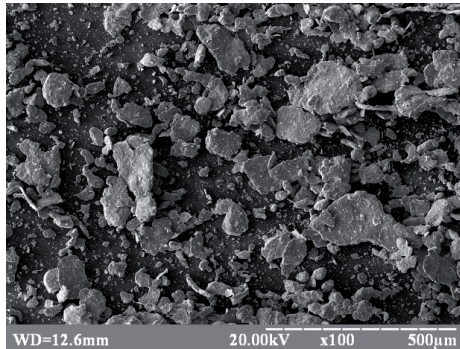
Результаты проведенных исследований подтверждаются данными, полученными с использованием средств электронной растровой микроскопии (рис. 2).

Согласно полученным результатам образцы шихтовых материалов, полученные путем механосинтеза при скорости размола 200 об/мин, обладают самыми высокими технологическими свойствами (наибольшей насыпной плотностью и достаточно высокой текучестью). Материал, полученный путем размола при скорости вращения 300 об/мин, обладает самыми низкими технологическими свойствами.

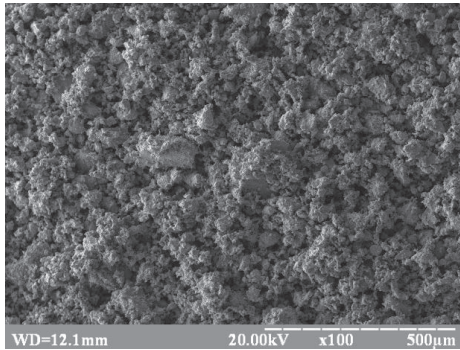
Результаты определения физических свойств исследуемых шихтовых материалов приведены в табл. 2.

Установлено, что наивысшим уровнем механических характеристик прессовки и наименьшим размером частиц обладает порошковый материал, полученный путем механического размола исходных материалов при скорости вращения барабана 200 об/мин. Несмотря на более дисперсный размер частиц шихты, полученной при скорости размола 250 об/мин, прочность сырой

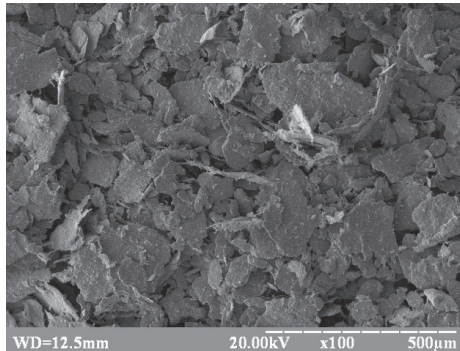
прессовки полученной из порошковой шихты, при размоле на 200 об/мин значительно выше.



а



б



в

Рис. 2. Морфология частиц порошковой шихты системы Fe-Cu-C, полученной по различным режимам: а — смешивание; б — размол 200 об/мин; в — размол 300 об/мин

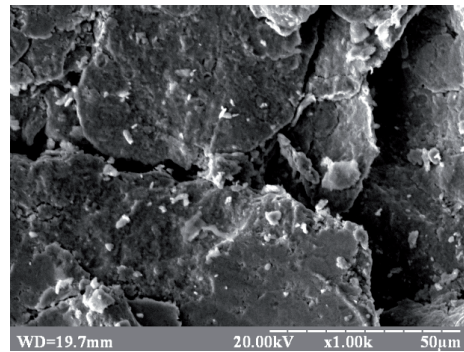
Таблица 2

Результаты исследования физических свойств материалов

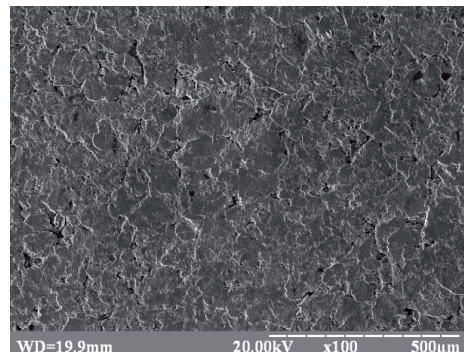
Режим получения шихты	Свойства	
	прочность сырой прессовки, МПа	средний размер частиц, мкм
Размол 50 об/мин	21,3–21,5	150–155
Размол 100 об/мин.	22,5–22,7	130–135
Размол 150 об/мин	23,8–24,0	105–112
Размол 200 об/мин	24,3–24,5	97–100
Размол 250 об/мин	19,3–19,5	82–90
Размол 300 об/мин	15,5–15,7	125–130
Смешивание	21,2–21,5	170–175

При размоле на скорости 300 об/мин из-за высоких контактных температур частицы порошковых материалов начинают припекаться друг к другу и, как следствие, коагисцироваться. В результате уровень технологических и физических характеристик такой порошковой шихты резко падает.

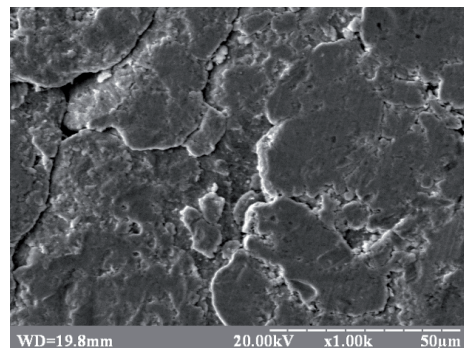
На рис. 3 приведены фотографии структур отпрессованных порошковых шихт исследуемых материалов, полученные с применением средств растровой электронной микроскопии.



а



б



в

Рис. 3. Структура прессовок из порошковой шихты системы Fe-Cu-C, полученной по различным режимам: а — смешивание; б — размол 200 об/мин; в — размол 300 об/мин

6. Обсуждение результатов исследования технологических и физических свойств порошковых шихт на основе системы Fe-Cu-C

Исследования проведены с использованием эффективных методик и средств диагностики свойств порошковых материалов, в частности, средств растровой электронной микроскопии. Удачно выбраны легирующие

элементы для исследований, т. к. медь и углерод являются основными добавками при создании порошковых сталей. Не исследовано влияние на свойства порошковых материалов некоторых основных режимов механосинтеза, а именно соотношения масс тел размола и размалываемого материала, а также времени размола. Однако это может быть предметом последующих исследований.

Проведенные исследования могут быть полезны для специалистов в области порошковой металлургии и материаловедения при выборе оптимальных технологических приемов легирования спеченных сталей различного функционального назначения с целью обеспечения максимального уровня их эксплуатационных характеристик. Результаты исследований можно применить на предприятиях, которые специализируются на производстве спеченных порошковых материалов и изделий.

Проведенные исследования являются продолжением ранее проведенных работ (кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов Национальной металлургической академии Украины) по оценке эффективности различных способов легирования порошковых конструкционных сталей на основе сравнения их основных эксплуатационных характеристик. Планируется продолжение данной работы с целью изучения возможности применения рассмотренных режимов легирования порошковых сталей с использованием расширенного спектра легирующих элементов.

7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Определены характеристики шихтовых материалов и установлено, что порошковая шихта, полученная методом механосинтеза путем совместного размола исходных порошковых компонентов при скорости размола 200 об/мин обладает наивысшим уровнем технологических и физических свойств.

2. Сравнительный анализ изученных режимов получения легированных порошковых шихт показал, что указанный режим получения порошковой шихты методом механосинтеза является оптимальным, и его можно рекомендовать для производства изделий из спеченных конструкционных сталей с применением как традиционных методов холодного прессования, так и с использованием высокоэнергетических методов формования, таких как изостатическое формование, инъекционное формование, мундштучное формование.

Литература

- Кузьмич, Ю. В. Механическое легирование [Текст] / Ю. В. Кузьмич, И. Г. Колесникова, В. И. Серба, Б. М. Фрейдин. — М.: Наука, 2005. — 213 с.
- Benjamin, J. Dispersion strengthened superalloys mechanical alloying [Text] / J. Benjamin, P. Mercer // Metallurgical Transactions. — 1970. — Vol. 1, № 10. — P. 2943–2951. doi:10.1007/BF03037835
- Shingu, P. Mechanical alloying [Text] / P. Shingu // Solid State Phys. — 1991. — Vol. 26, № 4. — P. 55–59.
- Shingu, H. Mechanical alloying [Text] / H. Shingu // Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity. — 1991. — Vol. 32, № 368. — P. 1116–1120.
- Gaffet, E. Transitions de phases sous sollicitations mecaniques: elaboration par mecanosynthese de materiaux a nanostructures (alliages metalliques, semiconducteurs, ceramiques) [Text] / E. Gaffet, N. Malhouroux-Gaffet, M. Abdellaoui, A. Malchere // Revue de Metallurgie. — 1994. — Vol. 91, № 5. — P. 757–769.
- Sundaresan, R. Mechanical Alloying [Text] / R. Sundaresan, F. H. Froes // JOM. — 1987. — Vol. 39, № 8. — P. 22–27. doi:10.1007/bf03258604
- Murty, B. S. Mechanical alloying — a novel synthesis route for amorphous phases [Text] / B. S. Murty // Bulletin of Materials Science. — 1993. — Vol. 16, № 1. — P. 1–17. doi:10.1007/bf02745302
- Акименко, В. Б. Железные порошки. Технология, структура, свойства, экономика [Текст] / В. Б. Акименко, В. Я. Буланов, В. В. Рукин. — М.: Наука, 1982. — 246 с.
- Набойченко, С. С. Порошки цветных металлов [Текст] / С. С. Набойченко. — М.: Металлургия, 1997. — 542 с.
- Степанчук, А. Н. Технология порошковой металлургии [Текст] / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко. — Киев: Вища школа, 1989. — 415 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОГО ЛЕГУВАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ПОРОШКОВИХ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Fe-Cu-C

Розглянуто передумови використання механосинтезу для легування порошкових конструкційних сталей. Досліджено комплекс фізичних і технологічних властивостей порошкових шихт на основі заліза, призначених для одержання спечених конструкційних виробів, легування міддю і вуглецем. Результати досліджень можуть бути використані при створенні спечених сталей і сплавів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: механосинтез, спечені сталі, легування, залізний порошок, мідний порошок, графіт, механічне змішування.

Внуков Александр Александрович, кандидат технических наук, кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, Украина, e-mail: alvnikov@yandex.ru.

Внуков Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ, Україна.

Vnikov Olexandr, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: alvnikov@yandex.ru