

Министерство промышленности и торговли
Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



"Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина"

ГНЦ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"

105005 г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2
Тел.: +7 (495) 777-93-01; факс: +7 (495) 777-93-00
e-mail: chermet@chermet.net
www.chermet.net

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального
директора по производству

Манегин С.Ю.

2023 г.



« 19 » 10 2023 год № 4254-3/21
на № от

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию

Ахметова Аманкельды

на тему «Разработка технологии получения порошковых композиционных быстрорежущих сталей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы

Большую долю быстрорежущих сталей (БРС), в настоящее время, получают методами литья, при которых образуется карбидная ликвация, а в дальнейшем, при получении изделий и режущего инструмента из такого материала, возможен переход более 50 % металла в отходы. Получение и применение порошковой БРС избавляет как от проблемы образования карбидной неоднородности, так и от низкого коэффициента использования материала. Порошковая БРС также отличается повышенными физико-механическими свойствами благодаря однородному распределению дисперсных карбидных включений.

Тем не менее, порошковая БРС по режущим свойствам отстает от твердых сплавов, а метод её консолидации – горячее изостатическое прессование (ГИП) – технологически сложный и дорогостоящий. Это ограничивает широкое распространение режущего инструмента из такого материала.

Актуальность диссертации заключается в разработке технологии получения порошковых смесей БРС (в том числе с упрочняющими добавками), отличающихся высокой уплотняемостью при холодном и горячем прессовании (ГП), а также возможностью их применения для электроискровой обработки (ЭИО) поверхностей стального инструмента.

Основные научные положения в диссертации Ахметова А. теоретически обоснованы, аргументированы и подтверждены экспериментально.

Приведенные результаты достоверны и могут быть полезны для решения ряда прикладных задач. Особенностью работы является не только разработанная технология получения порошковой смеси БРС, её консолидации и термообработки, но и большой комплекс микроструктурных исследований, исследований технологических и физико-механических свойств, возможности применения полученной порошковой смеси для ЭИО.

Структура и основное содержание работы

Диссертация Ахметова А. состоит из введения, 6 разделов, выводов и списка использованной литературы из 178 наименований. Работа изложена на 145 страницах, содержит 26 таблиц, 77 рисунков и 6 приложений.

Во введении приведена общая характеристика работы, в том числе ее актуальность, основные цели и задачи, научная и практическая значимость.

В первом разделе приведены результаты анализа литературных источников об общих особенностях, методах получения и термической обработки (ТО) БРС. Представлены традиционные методы получения БРС в промышленности и современные методы, включающие в себя дисперсное упрочнение твердыми добавками. Приведен краткий обзор литературы касательно возможности применения БРС в ЭИО. Обоснован выбор применяемых в работе методов получения порошковых смесей БРС и их консолидации.

Во втором разделе описаны характеристики исходных материалов, используемых в диссертации, методы их получения, обработки, консолидации и ТО. Порошковые смеси получали двумя основными методами: введением в смесь добавки из легирующих элементов, восстановленных в водороде и обработкой в планетарной центробежной мельнице (ПЦМ). Приведено описание перечня основного аналитического оборудования и методов исследования технологических, физических и механических свойств, в том числе методы растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноструктурного фазового анализа (РФА). Описан метод получения режущих инструментов для промышленной апробации.

Третий раздел посвящен результатам по получению порошковых смесей БРС марок Р6М5К5, 10Р6М5 и Р12М3Ф2К8. Ахметовым А. проведено исследование технологических свойств полученных образцов порошковых смесей: текучести, насыпной плотности и гранулометрического состава. Отталкиваясь от данных значений, в частности, автором установлен оптимальный режим обработки в ПЦМ, который позволяет получить высокодисперсную (основная фракция ~10 – 30 мкм) механически легированную (образуется карбид вольфрама WC) порошковую смесь. Наблюдается высокая однородность распределения частиц легирующих элементов, а также твердых частиц (карбидов ванадия VC, бора В₄С, титана TiC и керамики MoSi₂ – MoB – HfB₂), введенных для дисперсного упрочнения БРС. Недостаток полученных порошковых смесей заключается в том, что

они не текут из-за мелкого размера частиц и их сложной морфологии. Порошковая смесь БРС Р6М5К5 с диффузионно-легированной добавкой монофракционная (основной диапазон после смешивания в шаровой мельнице 1 – 100 мкм), состоит из частиц различной морфологии, в том числе губчатой (частицы диффузионно-легированной добавки). Проведена обработка в ПЦМ распыленного порошка БРС 10Р6М5, включая его смесь с упрочняющей добавкой VC. Получены порошковые смеси для ЭИО БРС + гетерофазная керамика $\text{MoSi}_2 - \text{MoV} - \text{HfV}_2$ в соотношении БРС к керамике 40 к 60 % и 60 к 40 %, соответственно.

Четвертый раздел посвящен холодному прессованию и спеканию полученных порошковых смесей БРС – технологически наиболее простым методам консолидации. При прессовании порошковой смеси с диффузионно-легированной добавкой БРС Р6М5К5 выявлена её высокая уплотняемость, сопоставимая с уплотняемостью порошка железа ПЖРВ 2.200.26, использованного как источник железа в смеси. При низких давлениях прессования относительная плотность БРС выше, что связано с губчатой морфологией добавки. С дальнейшим спеканием при 1200 °С достигается плотность до 90,6 % с твердостью 48HRB. Механически легированная порошковая смесь БРС также демонстрирует высокую уплотняемость до 70,1 – 73,8 %, с резким ростом плотности при спекании при 1200 °С до 94,5 % что достигается за счет плавления эвтектики на основе карбида M_6C . При этом микроструктура состоит из твердого раствора на основе железа, в котором распределены частицы M_6C , что обеспечивает твердость до 66 HRA. Также определено, что распыленный порошок БРС 10Р6М5 не формуется и не уплотняется в исходном виде и после обработки в ПЦМ, однако при введении упрочняющей добавки VC порошок начинает формироваться и уплотняться до относительной плотности ~65 % за счет интенсификации пластической деформации в области контакта карбидов с металлической матрицей. После спекания при 1200 °С плотность растёт до ~92 %.

В пятом разделе приведены результаты по ГП и ТО порошковых смесей БРС. Показано достижение значительно более высокой плотности: 97 % для заготовок из порошковой смеси с диффузионно-легированной добавкой (твердость 66HRA), до 99 % для механически легированных (твердость до 66 HRC) и композиционных дисперсно-упрочненных заготовок (твердость до 67HRC). Микроструктура заготовок значительно более плотная, после ТО в матрице (мартенсите отпуска) распределены частицы карбидов M_6Si M_6C . Стоит отметить, что лучшие значения по физико-механическим свойствам наблюдаются у БРС Р6М5К5 с добавкой 3 % VC: прочность на изгиб 1946 МПа и прочность на сжатие 2641 МПа (при остаточной пористости ~ 1 %). При испытаниях режущих пластин в условиях ПАО «Туполев», лучшие показатели также были отмечены у данной композиции.

Шестой раздел посвящен получению электродов из БРС Р6М5К5 и БРС Р6М5К5 с добавкой гетерофазной керамики (электрод Р6М5К5-К) и их

применению для ЭИО стали. Электроды получены ГП, отталкиваясь от технологической реализуемости процесса оптимальным содержанием керамической добавки было выбрано 40 %. ЭИО проводили в среде аргона при трех различных режимах, оптимальный из которых был определен по результатам определения кинетики массопереноса и шероховатости сформированного покрытия. Были исследованы топография и микроструктура покрытий, а также их твердость и проведены высокотемпературные трибологические испытания, по результатам которых определено, что введение жаростойкой керамической добавки увеличивает износостойкость покрытий в 13,5 раз за счет образования боридов и силицидов.

Практическая значимость диссертации подтверждается апробацией результатов работы в условиях ПАО «Северсталь», ПАО «Туполев», ООО НПФ «УМГ»; зарегистрированными ноу-хау «Способ получения диффузионно-легированной смеси на основе железа, содержащей вольфрам, молибден, кобальт и карбид тантала» (в депозитарии НИТУ МИСИС) и патентом «Способ получения порошка быстрорежущей стали механическим легированием» (Патент РФ № 2799363 от 10.06.2022); разработанной ТИ № 58-11301236-2023 на процесс получения электродов для ЭИО на основе порошковой смеси БРС Р6М5К5 с добавкой керамики на основе силицида молибдена, боридов молибдена и гафния.

Результаты диссертации опубликованы в 20 публикациях, в т.ч. 8 в журналах из перечня ВАК и Scopus/WebofScience, 10 тезисов и докладов в сборниках трудов конференций, 1 ноу-хау и 1 патент.

Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, в достаточной мере обоснованы и экспериментально подтверждены. Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются применением широкого перечня современного оборудования, большим объемом экспериментальных данных, их корректной обработкой и анализом, сопоставлением результатов с данными из современной литературы.

Основные достоинства и недостатки по содержанию диссертации

Диссертация написана понятным языком, ясно оформлена и логически структурирована, хоть и в тексте имеются некоторые грамматические, стилистические и пунктуационные ошибки.

В качестве замечаний стоит отметить следующее:

1. В работе не приведены результаты РФА для спеченных заготовок БРС. Исследовали ли фазовый состав для данных образцов?

2. Отсутствуют количественные характеристики исследованных микроструктур консолидированных образцов в сравнении с

промышленными литыми термообработанными и ГИП заготовками БРС;

3. Для более полной оценки эффективности дисперсного упрочнения распыленной БРС 10P6M5 не хватает исследований прочностных характеристик ГП-заготовок и их режущих свойств;

4. Из текста диссертации не совсем ясно, почему верхний порог температуры спекания составляет 1200 °С, если однозначное оплавление протекает при 1300 °С.

5. Не приведена количественная оценка экономических преимуществ предлагаемых технических решений в сравнении с существующими схемами производства БРС.

Перечисленные замечания, тем не менее, не снижают теоретической и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

Диссертация «Разработка технологии получения порошковых композиционных быстрорежущих сталей» представляет собой законченное исследование, и она соответствует всем предъявляемым требованиям, в т.ч. п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Ахметов Аманкельды, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составлен и принят на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Ахметова А., обсуждения его доклада на заседании НТС НПЦПМ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» 12.10.2023 года, протокол № 9.

Директор НПЦПМ



Скачков О.А.

Подпись Скачкова О.А. удостоверяю
Начальник Управления кадров
ФГУП «ЦНИИчермет им.И.П.Бардина»



Логинов В.М.