

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы докторанта PhD специальности 8D07202 –
Металлургия

Ревуцкого Александра Владимировича на тему: «Исследование по
повышению качества технического бериллия и усовершенствование
процессов порошковой металлургии»

Актуальность темы. Бериллий является уникальным материалом для применения в ряде наукоемких областей современной промышленности: от отражателей нейтронов в ядерных реакторах до гироскопических систем навигации и металлооптики. Объем мирового рынка бериллия оценивается в 350 тонн с прогнозируемым ростом до 465 тонн к 2029 году. Доля бериллия казахстанского производства по предварительным данным составляет около 25% мирового производства. Однако на текущий момент номенклатура казахстанского бериллия на 99,5% обеспечивала производство с низкой добавочной стоимостью — лигатурами и полуфабрикатами в виде горячепрессованных (ГП) заготовок.

Важнейшим стратегически верным потенциалом металлургической отрасли Казахстана является переход от экспорта сырьевых полуфабрикатов к выпуску высокотехнологичной продукции. Существующая промышленная технология вакуумного горячего прессования (ВГП) обеспечивает лишь базовый уровень конструкционных свойств, при этом характеризуясь нестабильностью свойств (уровень несоответствий достигает 15–20%) и выраженной анизотропией. Для продвижения на рынок высокотехнологичной продукции необходимы сорта бериллия с качественно иным уровнем специальных характеристик: высокими прецизионным пределом упругости (ППУ) и как следствие - размерной стабильностью.

Повышение эксплуатационных характеристик бериллия затруднено его природной хрупкостью, связанной с особенностями гексагональной кристаллической решетки. Традиционный метод упрочнения путем простого измельчения частиц достиг своего предела: дальнейшее уменьшение размера частиц порошка невозможно из-за их высокой склонности к окислению и неизбежного роста примесей. В этих условиях возникает необходимость поиска иных способов улучшения свойств бериллия, например, управление структурой границ зерен. При таком подходе оксид бериллия (BeO) выступает не как вредная примесь, а как ценный армирующий компонент, способный значительно повысить прочность и стабильность изделия

Отсутствие в научной литературе обоснованного механизма формирования армирующей фазы и количественных зависимостей в системе «примесный состав — параметры консолидации — специальные свойства», делает невозможным создание стабильной промышленной технологии бериллия приборного назначения. Таким образом, исследование особенностей управления технологией горячего компактирования под давлением порошков

бериллия для достижения необходимых свойств является актуальной научно-технической задачей, решение которой имеет важное значение как для развития экономики, так и научного потенциала Республики Казахстан.

Цель диссертационной работы. Разработка новых научных принципов управления качеством спеченного бериллия, получаемого методами порошковой металлургии и усовершенствование на этой основе технологий горячего компактирования под давлением бериллиевых порошков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Исследования по повышению прочностных свойств промышленного горячепрессованного бериллия;
2. Исследование механизма влияния примесей на формирование упрочняющей оксидной фазы в структуре горячепрессованного бериллия;
3. Разработка количественных закономерностей управления прочностными свойствами бериллия применительно к горячему изостатическому прессованию.
4. Оценка экономической эффективности разработанных технических решений.

Объект исследования. Промышленные порошки технического бериллия различных фракций (от -30 до -180 мкм) и компактные заготовки, полученные методами вакуумно-горячего и горячего изостатического прессования в условиях АО «УМЗ».

Предмет исследования. Закономерности формирования структуры компактного бериллия, механизмов девитрификации (растеклования) оксидных фаз на границах зерен и процессов упрочнения бериллия при термической консолидации под давлением.

Методы исследования. В работе использован комплекс современных методов анализа: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, газовый анализ, фотоседиментационный анализ, метод низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ). Структурные микроскопические исследования с применением растровой электронной микроскопии с микроанализом, просвечивающей электронной микроскопии (метод реплики) и оптической металлографии. Механические испытания. Статистическая обработка данных проводилась с использованием корреляционного и регрессионного анализов.

Научная новизна работы:

1. Впервые, в результате статистических исследований качества промышленной продукции из бериллия разработана математическая модель управления механическими свойствами получаемого материала, учитывающая характеристики исходного сырья и технологический регламент процесса.

2. Впервые теоретически обоснован и экспериментально подтвержден механизм формирования армирующей фазы в спеченном бериллии как результат управляемого процесса девитрификации (расстеклования) аморфной поверхностной пленки ВеО. Установлено, что морфология этой фазы и упрочняющий эффект зависит от характера кристаллизации (гомогенной или гетерогенной).

3. Впервые экспериментально установлена роль примесного фактора при формировании границ зерен — отношение примесей Si/Al. Доказано, что при $Si/Al < 0,5$ реализуется механизм гомогенной кристаллизации с образованием упрочняющих моночастиц (120–150 нм), а при $Si/Al \geq 1,0$ — гетерогенный механизм, ведущий к коагуляции оксида в рыхлые кластеры и разупрочнению границ.

4. Впервые установлены количественные зависимости условного предела текучести и прецизионного предела упругости от параметров горячего изостатического прессования. Полученные аналитические выражения, представляют собой дальнейшее развитие известной формулы Холла-Петча, позволяющие учитывать не только размер зерна, но и размер упрочняющих оксидных частиц.

Практическая значимость работы:

1. Разработан гибкий технологический регламент горячего прессования, обеспечивающий стабилизацию качества горячепрессованного бериллия и снижение брака продукции.

2. Разработаны научно-технические основы для расширения номенклатуры выпускаемой продукции за счет организации выпуска «приборных» сортов бериллия.

3. Обоснована экономическая эффективность внедрения результатов исследования, выраженная в снижении производственных издержек и обеспечении технологических основ для роста прибыли за счет выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью.

Апробация результатов работы. Основные диссертации досчитывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях «Недра Казахстана - основа стабильности и процветания страны, посвященной 120-летию К.И. Сатпаева (г. Усть-Каменогорск), VIII международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (г. Москва), VI международная конференция по новым материалам и химической промышленности (г. Сямынь, Китай).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 7 печатных работ, из них: 2 статьи опубликованы в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science; 5 статей опубликованы в журнале, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования

МНиВО РК; 1 статья опубликована в журнале, рецензируемом ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести разделов, заключения и списка использованных источников. Диссертация изложена на 95 страницах, содержит 52 рисунка и 15 таблиц. Список использованных источников включает 87 наименований.