Искровое плазменное спекание

Керамические, металлокерамические и тугоплавкие материалы из порошков импульсным током

Кафедра высокоэффективных технологий обработки (ВТО)
Научная лаборатория искрового плазменного спекания



Коллектив направления, МГТУ «СТАНКИН»

СОСТАВ КОЛЛЕКТИВА **14 человек: 6 докторов наук · 5 кандидатов наук · 3 аспиранта**

Солис Пинарготе Нестор Вашингтон — доцент, кандидат технических наук, руководитель научного направления

Доктора наук

Григорьев С. Н.

Козочкин М. П.

Мигранов М. Ш.

Суминов И. В.

Кусманов С. А.

Борисов А. М.

Кандидаты наук

Перетягин П. Ю.

Смирнов А.

Курмышева А. Ю.

Идармачев И. М.

Аспиранты

Мелешкин Я. Р.

Лаврешин Н. С.

Можаев А. А.

СТАНКИН

Пять направлений работ лаборатории



01

Искровое плазменное спекание

Импульсный ток проходит через форму с порошком.

Нагрев 50–200 °C/мин, выдержка 1–20 мин*

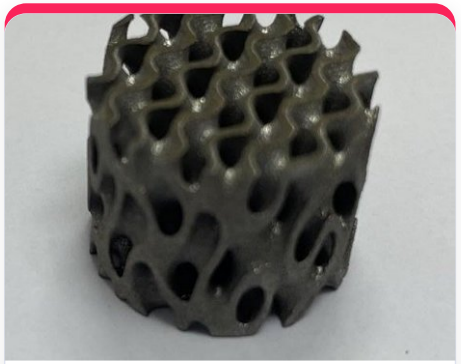


02

Режущая керамика

Режущие пластины из керамики Al_2O_3–TiB_2–TiC.

Свойства прогнозируются по составу смеси



03

Композиты керамика — металл

Взаимопроникающие фазы: Al_2O_3/Ti, Al_2O_3/Mo.

Al_2O_3 с титановым сплавом и Mo — без отслоения

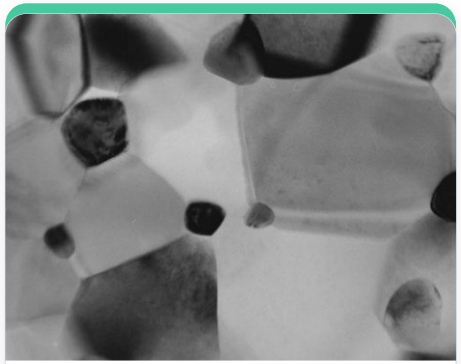


04

Материалы для атомной отрасли

Диски из хрома для источника нейтрино ^{51}Cr.

Диски Ø 84 и 88 мм, толщина 4 мм



05

Наноструктурные материалы

Ультрадисперсные порошки без роста зерна.

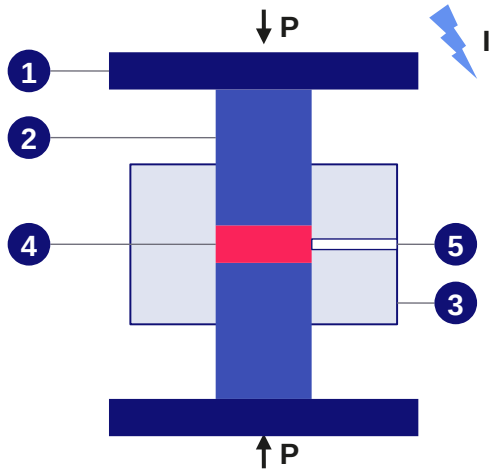
Температура спекания ниже на 200–400 °C*

Материалы: Керамика — бориды · карбиды · оксиды; Композиты — металлокерамика; Функциональные — MAX-фазы · термоэлектрики

**Типичные значения для ИПС по данным литературы; зависят от материала и режима*

От порошка до изделия в одной лаборатории

Порошок засыпают в графитовую пресс-форму и сжимают пуансонами. Через форму и порошок пропускают импульсы постоянного тока высокой мощности: идёт джоулев нагрев, между частицами возникают разряды, диффузия ускоряется, а зерно не успевает вырасти.



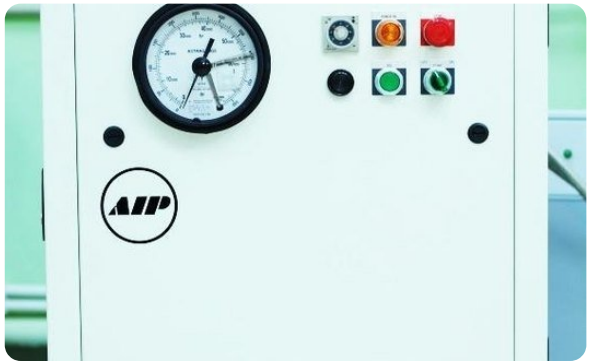
1 — графитовые диски-электроды
2 — графитовые пуансоны
3 — графитовая матрица
4 — порошок (образец)
5 — отверстие для термопары
P — давление 20–100 МПа*
I — импульсы постоянного тока

5–30 мин длительность процесса спекания*



Гранулирование порошков


Подготовка порошковых композиций


Холодное изостатическое прессование


Печь для спекания и термообработки

Научная лаборатория искрового плазменного спекания

- помол, сушка, гранулирование и смешивание порошков
- спекание в вакууме или инертной среде до 2500 °C
- холодное изостатическое прессование до 215 МПа
- к 2030 г.: 300 м², атомайзер, сфероидизатор, электронный микроскоп

**Типичные значения для ИПС по данным литературы; зависят от материала и режима*

ЭФФЕКТ

СТАНКИН

Что получает производство

Задача	Как обычно	Искровое плазменное спекание	Результат*
Энергозатраты на спекание	80–120 кВт·ч/кг при традиционном спекании	Ток нагревает пресс-форму и порошок напрямую	**15–25 кВт·ч/кг**
Длительность процесса	Медленный нагрев и выдержка в печи	Нагрев 50–200 °C/мин, выдержка 1–20 мин	**Процесс занимает 5–30 мин**
Температура спекания	Традиционное спекание без давления	Давление 20–100 МПа во время нагрева	**Ниже на 200–400 °C**
Наноструктура исходного порошка	Длительный нагрев при высокой температуре	Быстрый нагрев, активация диффузии	**Структура и свойства исходного порошка сохраняются**
Керамика и металл в одном изделии	Отслоение при разном тепловом расширении фаз	Композиты с взаимопроникающими фазами и расчёт напряжений	**Al_2O_3 с титановым сплавом и Mo — без отслоения; для фарфора и CoCr — подбор геометрии и соотношения фаз**

Примеры из практики

- **ИЯИ РАН**
  хромовые диски Ø 84 и 88 мм для источника нейтрино ^{51}Cr, эксперимент BEST
- **«Микробор»**
  совместная работа по режущей керамике Al_2O_3–TiB_2–TiC; статья в Ceramics, 2024
- **Госзадание 2020–2023**
  трёхмерные нанокомпозитные керамические изделия сложной пространственной конфигурации

**Строки 1–3 — типичные значения для ИПС по данным литературы; зависят от материала и режима*

ПРИМЕНЕНИЕ

СТАНКИН

Где применяются материалы ИПС

Керамика, композиты и функциональные материалы для промышленности, энергетики и науки

Инструментальная промышленность

Режущие вставки, мишени для напыления

Аэрокосмическая отрасль

Сверхвысокотемпературная керамика, защитные плитки

Горнодобывающая промышленность

Износостойкие композиты

Энергетика

Термоэлектрические материалы, керамика для топливных элементов

Атомная отрасль

Хромовые диски для источника нейтрино (ИЯИ РАН)

Медицина

Биомедицинские композиты: титан — гидроксиапатит, титан — магний

Аддитивное производство

Постобработка изделий, напечатанных на 3D-принтере

Экологические технологии

Переработка отходов в керамические материалы

Также: MAX-фазы | Высокоэнтропийная керамика | Сверхпроводники | Градиентные материалы

Научные проекты, публикации и партнёры

Научные проекты

РНФ № 23-19-00413 · 2023–2025 · завершён
Режущая керамика на основе Al_2O_3–TiB_2–TiC
Инструменты из нового класса режущей керамики, методы их получения и обработки

Госзадание № 075-03-2020-079/1 · 2020–2023 · завершён
Трёхмерные нанокомпозитные керамические изделия
Инновационные материалы и технология изделий сложной пространственной конфигурации

РНФ № 24-19-00391 · 2023–2026 [сверить сроки] · выполняется
Локальная обработка функциональных узлов машин
Электролитно-плазменные методы поверхностной обработки узлов машин и агрегатов

Публикации 2022–2025

Год	Статья	Журнал	Выпуск
2025	On thermomechanical compatibility in ceramic/metal interpenetrating phase composites	Int. J. Adv. Manuf. Technol.	т. 139, с. 1747–1763
2024	Prediction of Physical and Mechanical Properties of Al_2O_3–TiB_2–TiC Composites Using Design of Mixture Experiments	Ceramics (MDPI)	т. 7, № 4, с. 1639–1657
2022	Processing and Characterization of Spark Plasma Sintered SiC-TiB_2-TiC Powders	Materials (MDPI)	т. 15, № 5, 1946

Наука: ИЯИ РАН · ИТПМ СО РАН [сверить] · НИИ технической физики и автоматизации

Индустрия: «Микробор» · АО «Рязанское конструкторское бюро «Глобус»

Сотрудничество

1 Полный цикл в одной лаборатории

От подготовки порошков и прессования до спекания, термообработки и исследования свойств образцов.

2 Сильная научная команда

6 докторов и 5 кандидатов наук, 3 аспиранта; индекс Хирша в Scopus: С. Н. Григорьев — 62, А. Смирнов — 23, П. Ю. Перетягин — 20.

3 Опыт работы с партнёрами

ИЯИ РАН, НИИ технической физики и автоматизации, «Микробор», АО «РКБ «Глобус».

4 Готовим кадры

Бакалавриат 15.03.05 и магистратура 15.04.05 с курсами «Введение в нанотехнологии машиностроения» и «Нанотехнологии самоорганизации и самосборки»; аспирантура, в том числе 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Форматы

- спекание новых керамических, металлокерамических и тугоплавких материалов
- подбор режимов спекания под заданные свойства: температура, давление, скорость нагрева
- опытные образцы, малые партии и прототипы для НИИ, предприятий и стартапов
- консолидация ультрадисперсных порошков с сохранением их структуры
- подготовка порошков, изостатическое прессование, термообработка

Контакты

Солис Пинарготе Нестор Вашингтон — руководитель направления, к.т.н., доцент · nw.solis@stankin.ru · +7 (499) 972-95-85
Лаборатория искрового плазменного спекания · lecast.ru · stankin.ru · kafedravto.stankin.ru