

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Лаборатория электромагнитных методов производства
новых материалов №346

Изготовление реакторной феррито-мартенситной ДУО-стали методом спарк-плазменного спекания

Богачев И.А., Чернов И.И., Стальцов М.С., Олевский Е.А.



Москва 2013

Достоинства дисперсно-упрочнённых сталей в условиях эксплуатации в АЗ реактора:

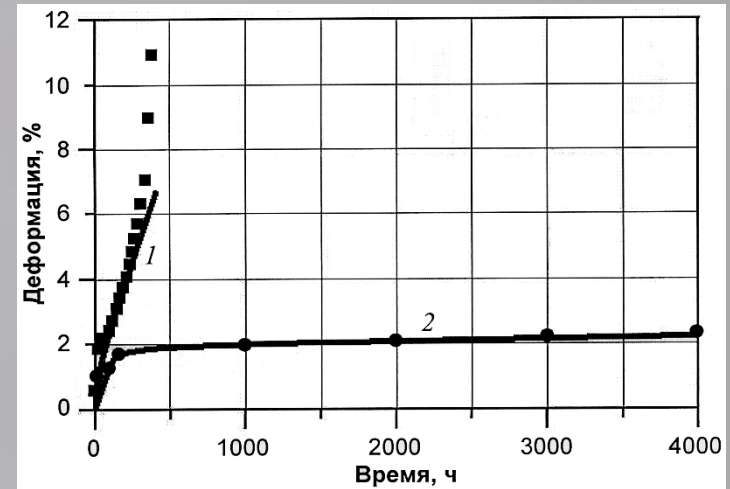
- Высокая радиационная стойкость;
- Высокое сопротивление ползучести за счет устойчивости упрочняющих частиц в матрице вплоть до 1300°C;
- Высокая прочность при достаточной пластичности.

Оптимальный способ производства дисперсно-упрочнённых материалов – порошковая металлургия.

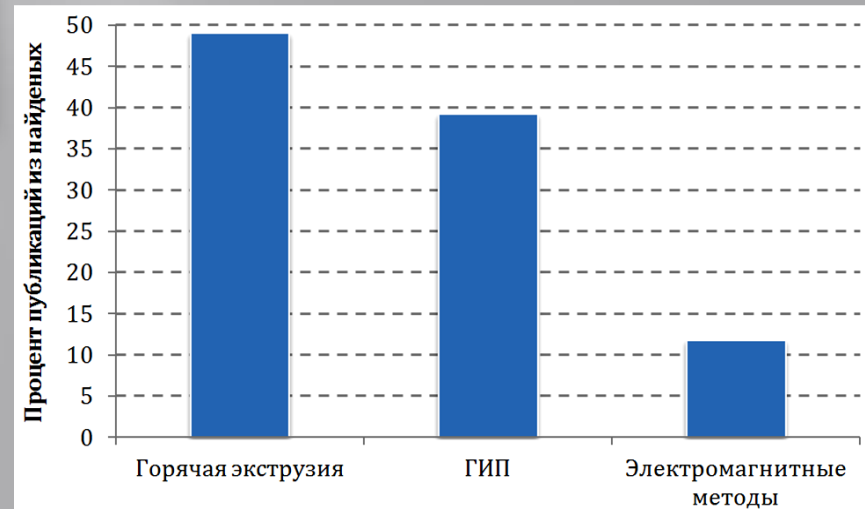
Электромагнитные методы консолидации порошков – перспективный и эффективный метод получения ДУО сталей.

Почему именно SPS:

- Однородность свойств по объёму спекаемых изделий
- Равномерность распределения упрочняющих частиц
- Минимальный рост зерна (по сравнению с традиционными методами)
- Контролируемость процесса *in situ*
- Высокая скорость процесса



Кривые термической ползучести сталей ЭП-450 (1) и ЭП-450-ДУО (2) при 650 °C и $\sigma = 140$ МПа. [В.С. Агеев и др., Вопр. ат. науки и техн., 2007]



По данным Journal of Nuclear Materials за период с 2001 по 2012 гг.

Материал: ферритно-мартенситная сталь
ЭП-450 (12X13M2БФР)

Исходное состояние:

- порошок в виде шаров размерами от нескольких мкм до сотен мкм (тип «Ш»);
- порошок в виде чешуек (тип «Ч»).

Упрочнение: наноразмерные частицы Y_2O_3
(порошок, добавка 0,3 мас.%)

Размол (механическое легирование):
планетарная шаровая мельница *Pulverizette-5* (*Fritch*, Германия)

Время легирования: 5, 15, 30 и 50 ч

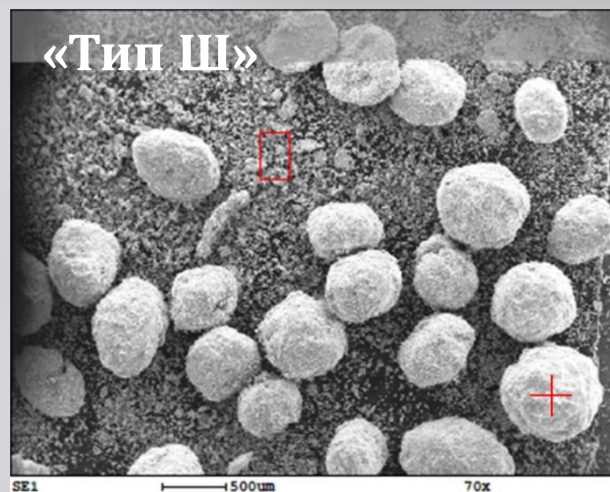
Спарк-плазменное спекание:
установка *LABOX-625*
(*SinterLand, Japan*)

Параметры:

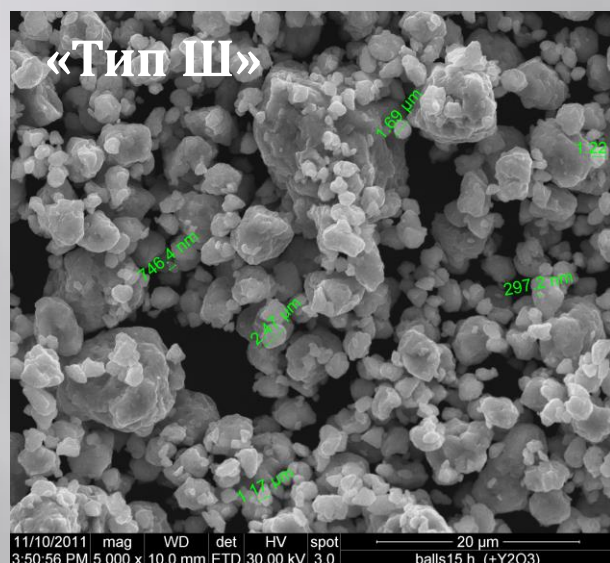
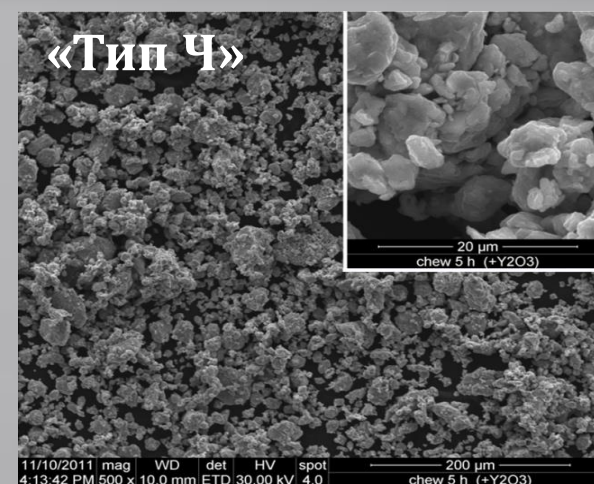
- $T_{\text{спекания}} = 1150 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- время изотермической выдержки – 3 мин,
- давление – 60 МПа.

Получаемые образцы:

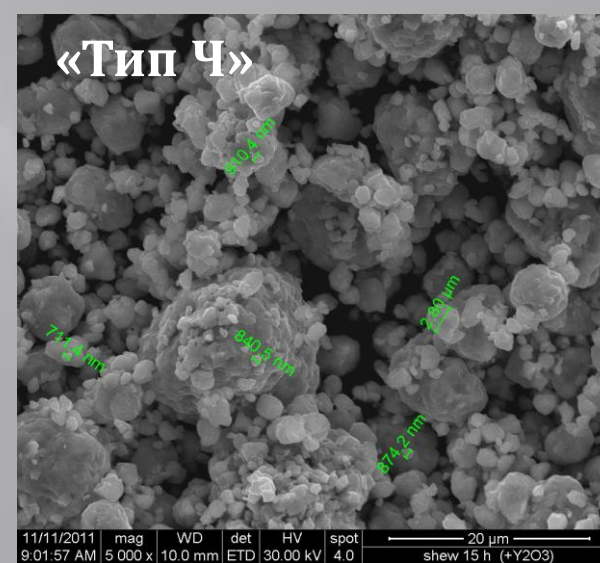
- диаметр $\sim 15 \div 20$ мм;
- высота $\sim 3 \div 5$ мм.



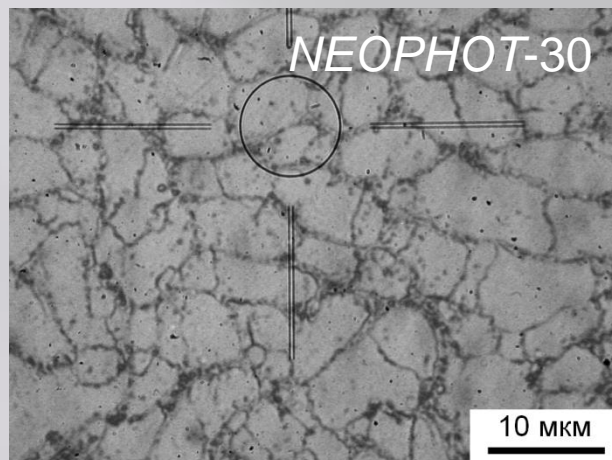
Размол 5 ч



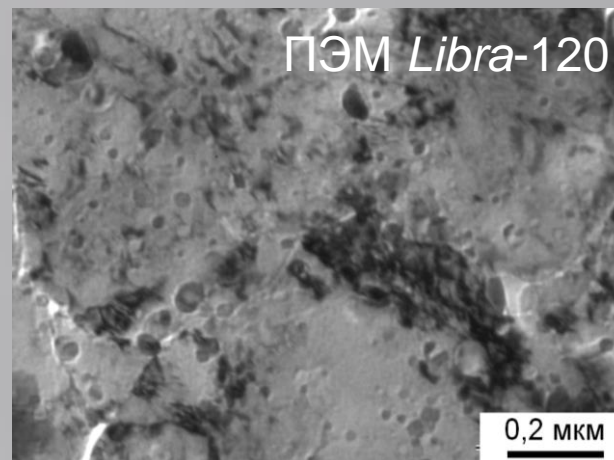
Размол 15 ч



Размол 5 ч не полностью измельчает исходные частицы стали ЭП-450 типа «Ш». Размол 15 ч стали типа «Ч» привел к формированию порошка более мелкой фракции, чем стали типа «Ш», но появились агломераты.



Тип «Ч»,
помол 5 ч



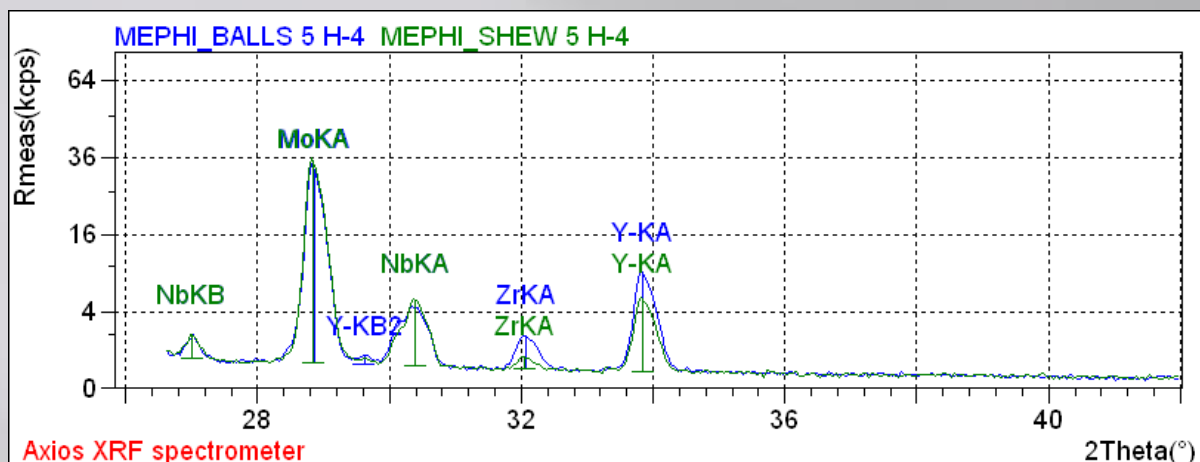
Тип порошка и время помола	Тип «Ш», 5 ч	Тип «Ш», 15 ч	Тип «Ч», 5 ч	Тип «Ч», 15 ч
Усадка, %	73,75	75,83	72,50	74,17

Тип порошка и время помола	Тип «Ш», 5 ч	Тип «Ч», 5 ч	Тип «Ч», 15 ч	Тип «Ч», 15 ч
Средний размер зерна, мкм	466	9,4	3,9	7,6

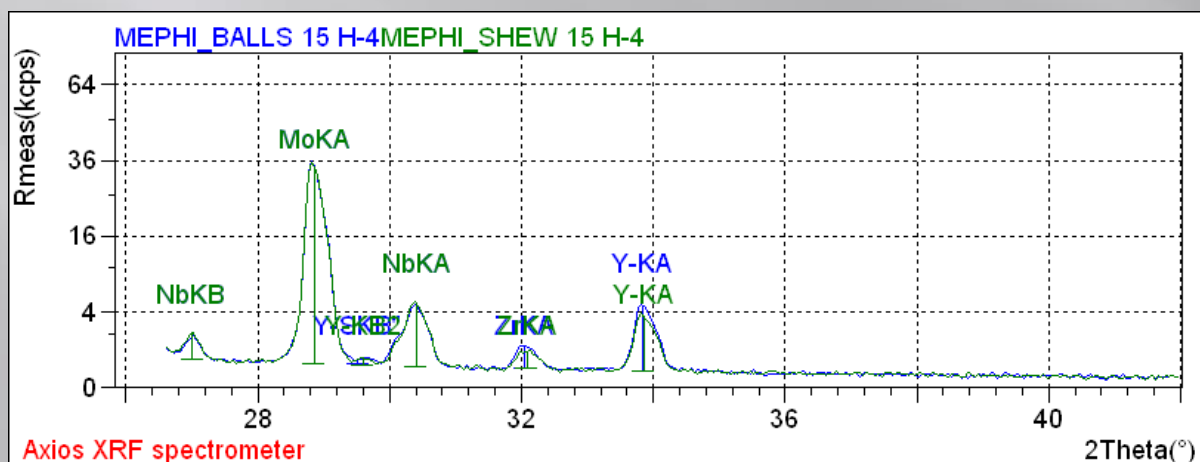
Промежуточные выводы:

- увеличение времени механического помола приводит к возрастанию усадки образцов для обоих исходных видов стали;
- в компакте образовались достаточно равноосные зерна, причем в ПЭМ-исследованиях сколь-либо заметной пористости не обнаружено;
- в случае порошка типа «Ч» размер зерна компакта почти в 50 раз меньше, чем для порошка типа «Ш»; увеличение времени механического легирования до 15 ч еще больше уменьшает размер зерна компакта.

Спектры порошков «Ш» (синие) «Ч» (зеленые) после помола 5 и 15 ч



- После помола в течение 5 ч содержание иттрия в материале, полученном с использованием стали в виде «Ш», выше, чем в полученном с использованием типа «Ч» из-за неравномерного распределения оксида Y_2O_3 .



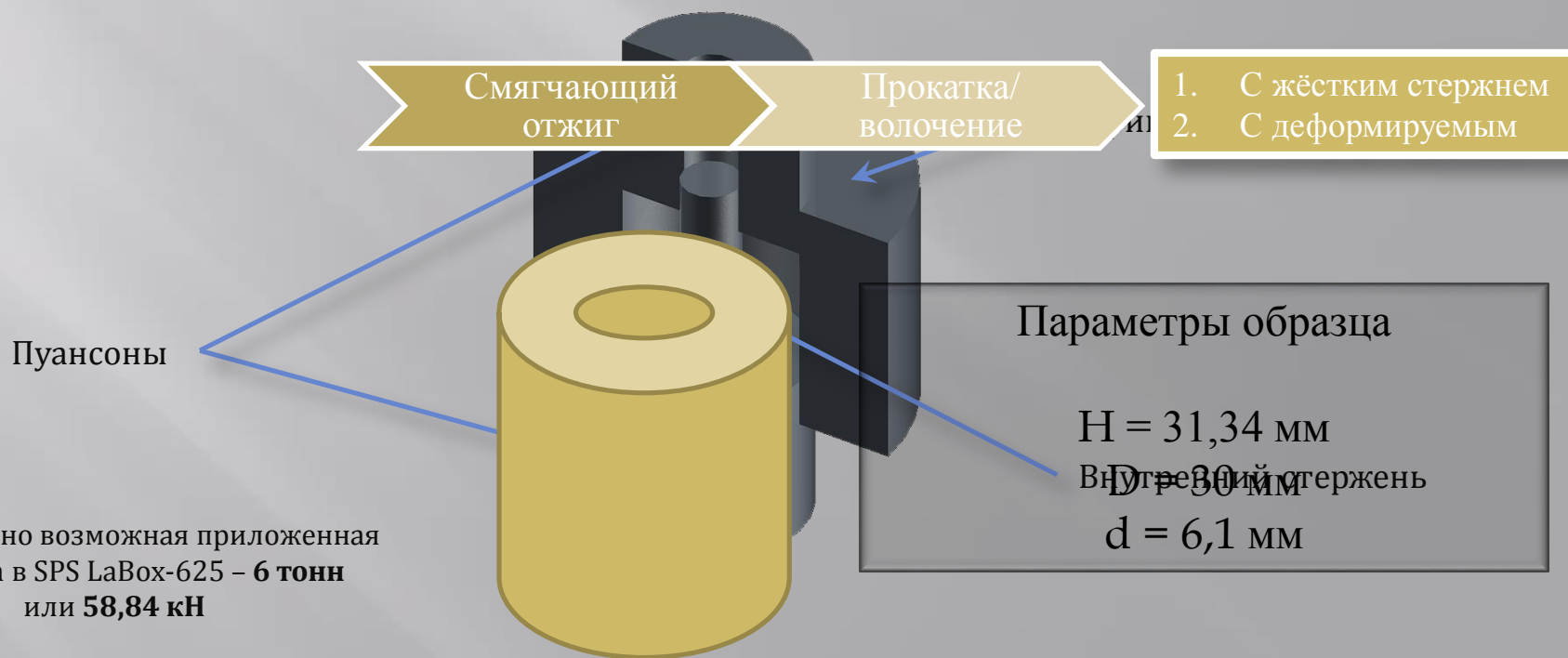
- Исходный вид матричной стали после помола в течение 15 ч почти не влияет на содержание иттрия, т.е. Y_2O_3 достаточно равномерно распределен в матрице.

Цилиндрические образцы с отверстием

Основная цель – спекание трубчатых заготовок для получения особотонкостенных твэльных трубок реакторов на быстрых нейтронах

Параметры твэлов реакторов
БН-600 и БН-800

H_0 , мм	D_0 , мм	t , мм
2550	6,9	0,4



D , d и H – внешний и внутренний диаметры и высота заготовки соответственно;
 H_0 , D_0 , t – высота, диаметр и толщина твэльной трубки соответственно;

По результатам исследования влияния вида исходного порошка «Ш» и «Ч» и параметров обработки на структурные характеристики ДУО стали при механическом легировании и последующем компактировании можно сделать следующие выводы.

- Спарк-плазменное спекание порошков матричной стали и дисперсных упрочняющих оксидов может являться эффективным методом изготовления реакторных ДУО сталей.
- Использование стали в виде чешуек («Ч») при достигнутом времени механического легирования 15 ч дает лучшие результаты по химическому составу компакта и равномерности распределения частиц иттрия (оксида Y_2O_3) в ДУО стали, чем при использовании шариков («Ш»).



THANK YOU FOR ATTENTION!