

# Применение быстрозакалённых припоев для получения металлокерамических соединений

Терехова С.М., Иванников А.А., Федотов И.В., Севрюков О.Н.

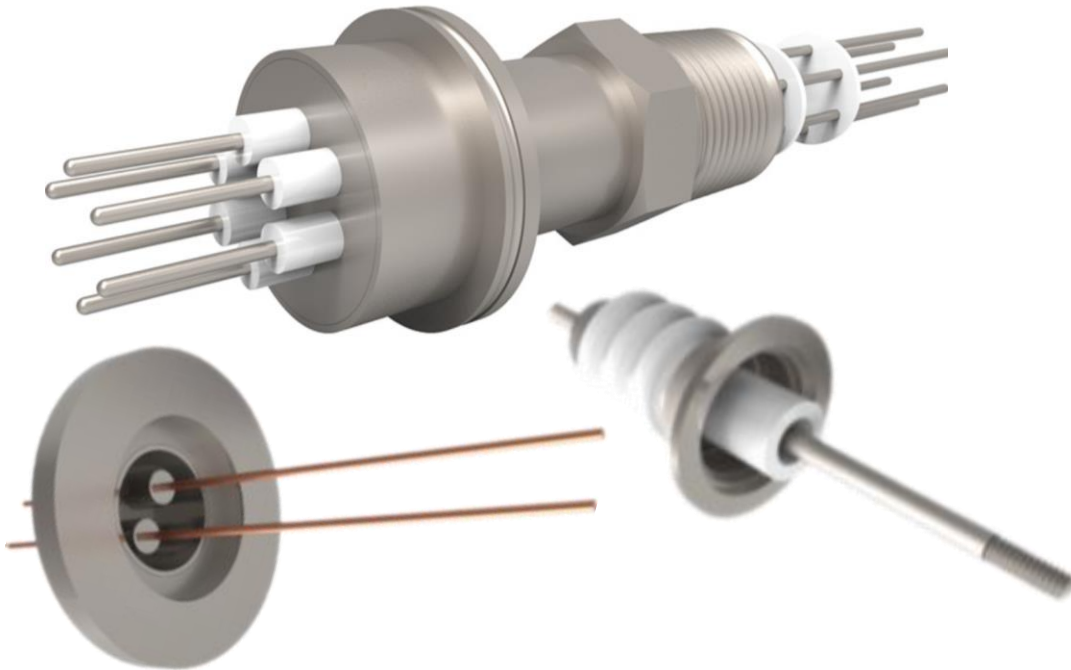
НИЯУ МИФИ

# Применение

- ❖ Вакуумные камеры и установки для технологических процессов.
- ❖ Астрономические телескопы и другие научные приборы.
- ❖ Оборудование для производства полупроводников.
- ❖ Аппараты для откачки воздуха и создания вакуума.
- ❖ Установки для испытаний и экспериментов в условиях низкого давления.
- ❖ Технические устройства, используемые в космической и авиационной промышленности.



Эндопротезы и ионизационные электроды



Вводы питания и токоведущие вводы

Требования, предъявляемые к металлокерамическим соединениям:

- Высокая степень герметичности, чтобы не допустить попадание воздуха в систему;
- Устойчивость к высоким и низким температурам, а также к различным химическим воздействиям;
- Высокую надёжность и долговечность в эксплуатации

# Методы получения металлокерамических соединений

С применением предварительной металлизации

- Вжигание металлизационной пасты :  
Mo + Mn + Si; Mo + Mn + **TiH<sub>2</sub>**
- Нанесение гальванически меди или никеля на металлизацию для улучшения растекания
- Процесс пайки пластичными припоями на основе Ag и Cu



- Отработанность технологии
- Много данных по свойствам получаемых соединений на ряде материалов (типа 22ХС)
- Возможность пайки в водородных печах



- Многостадийность процесса
- Ограничение при применении других материалов

Активная пайка

Добавление в припой активного элемента: Ti, Hf, Zr, V

Активные припои на основе Ti и Zr и на основе меди и серебра



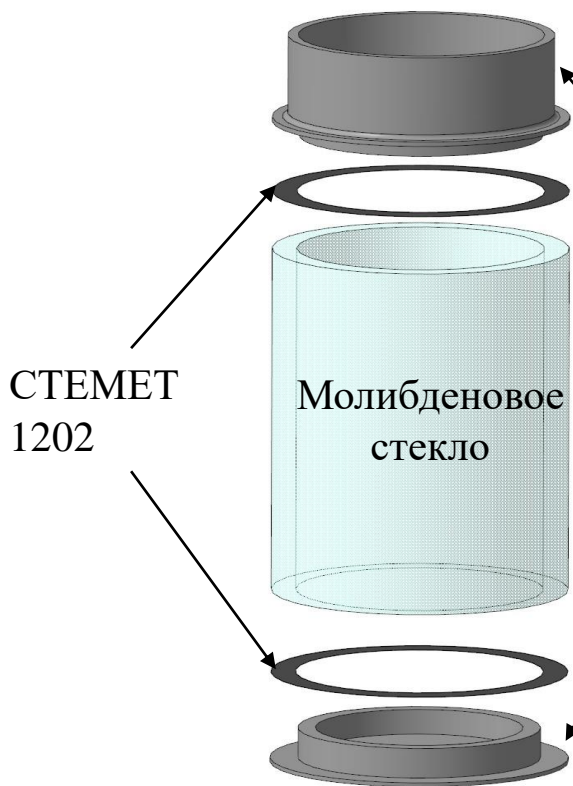
- Одностадийность технологии
- Возможность пайки широкого круга материалов



- Мало данных по свойствам паяных соединений
- Необходимость инертной атмосферы

# Разработка сплава-припоя и способа пайки герметичных металлоглазанных и металлокерамических соединений

## Металлоглазанные торцевые соединения

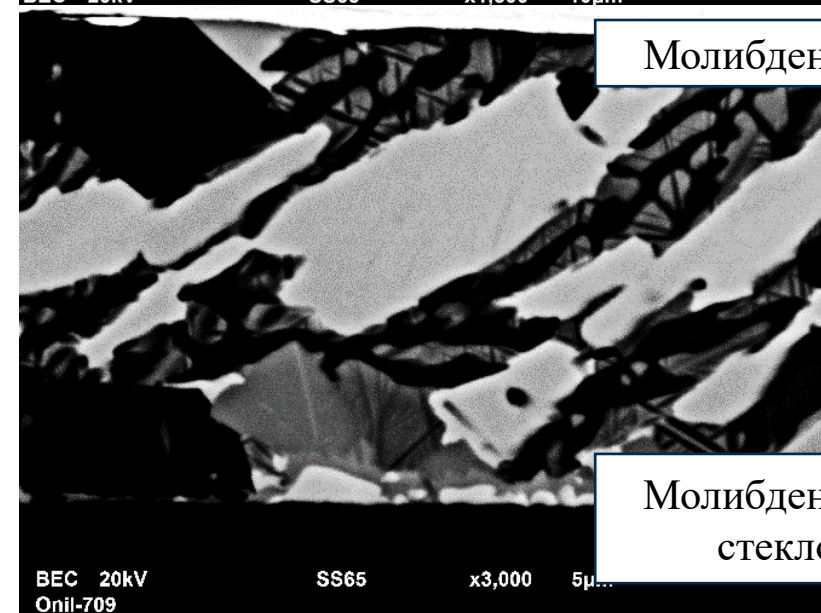
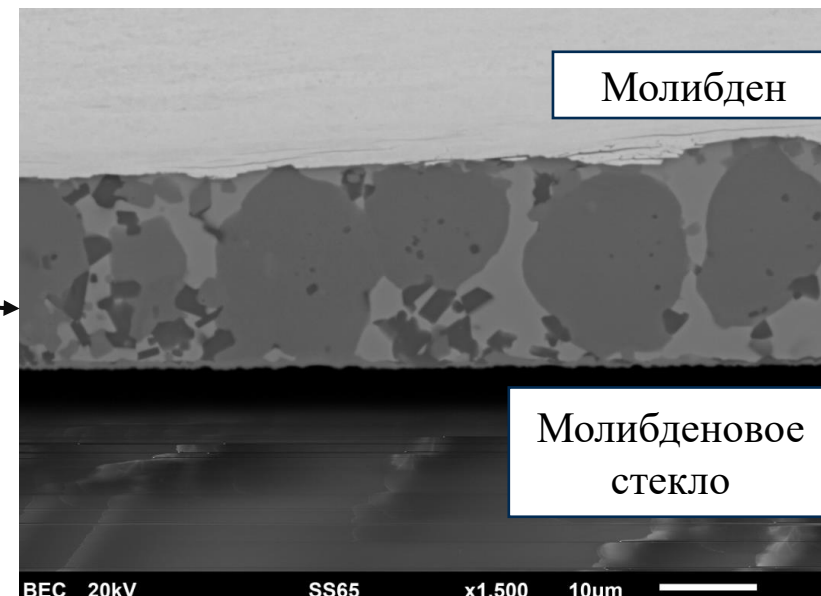


Марка припоя	Состав, мас.%. V
STEMET 1202	Ti-22Cu-12Zr-12Ni-1,5Be- V
ZrTiBeCu	Zr-26,2Ti-11,6Cu-4,1Be

Молибден

1. Сплавы-припои позволили получить бездефектное, однако припой STEMET 1202 является более технологичным;
2. Термоциклические испытания показали, что соединения способны сохранять целостность при циклическом нагреве до 450 °С;
3. Механические испытания показали, что прочность соединения на сжатие равна 1900±200 МПа.

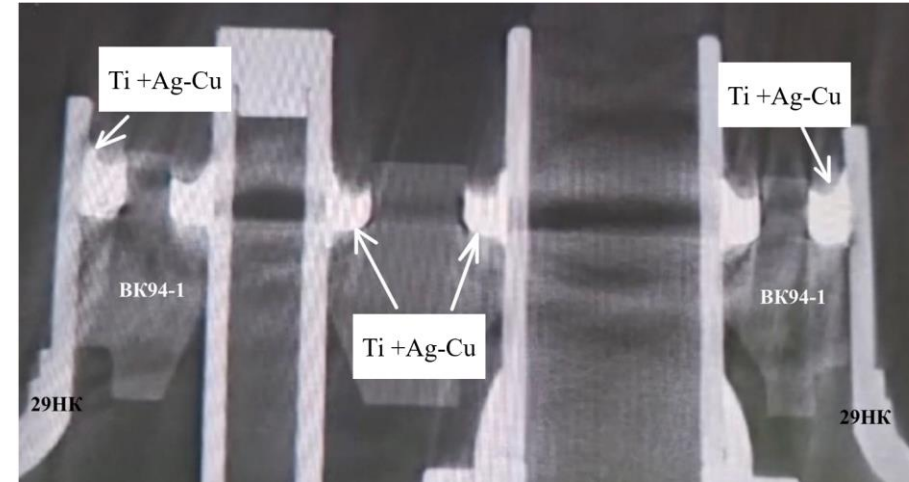
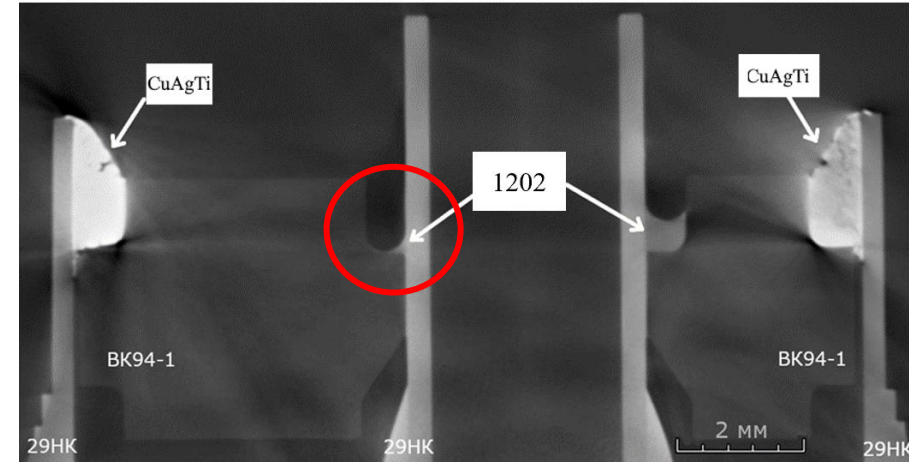
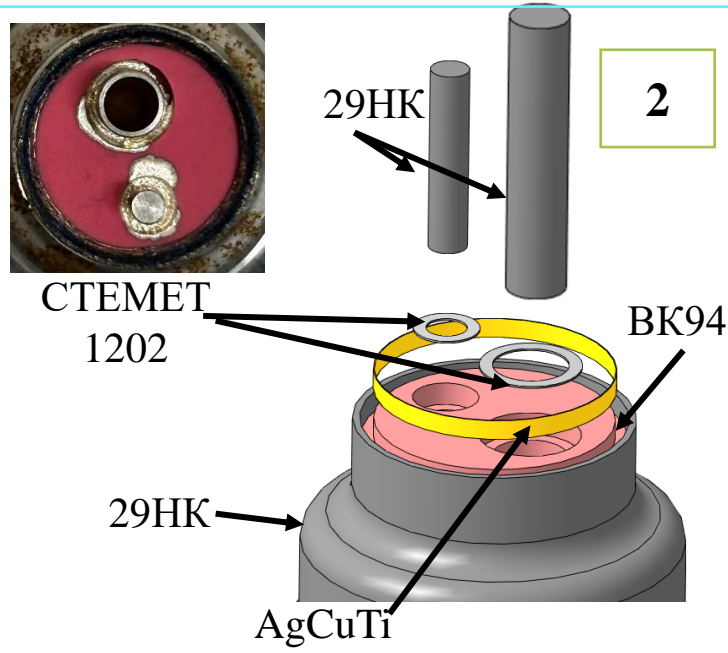
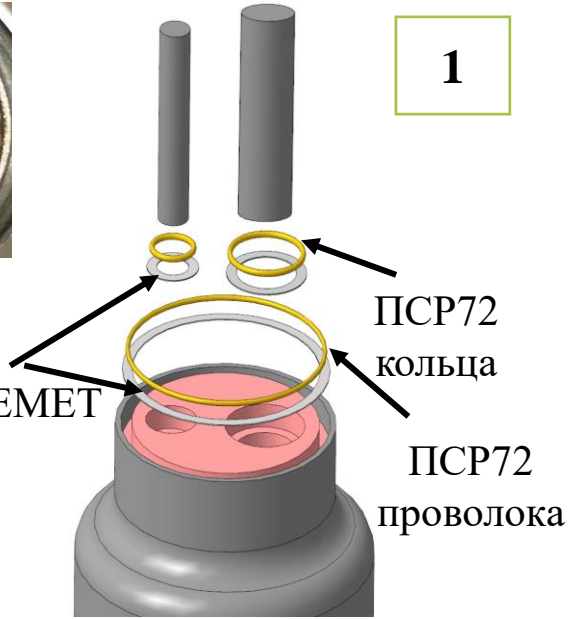
STEMET 1202



Требования: Герметичность на уровне  $1,0 \cdot 10^{-11}$  Па·м<sup>3</sup>/с; Термостойкость при разовом нагреве до 450 °С, механическая прочность на сжатие

# Разработка сплава-припоя и способа пайки термостойких металлокерамических соединений

## Металлокерамические охватывающие и охватываемые соединения



1. При применении припоя СТЕМЕТ 1202 отмечено неравномерное заполнение зазора, непропаи и низкая термостойкость в связи с хрупкостью;
2. Термоциклические испытания соединений, полученных первым способом, показали, что соединения способны сохранять целостность при циклическом нагреве до 700°C;

Марка припоя	Состав, мас. %.
ПСП72	Ag -28 Cu
AgCuTi	Ag-26,5Cu-3Ti
СТЕМЕТ 1203	Ti-50Cu
СТЕМЕТ 1202	Ti-22Cu-12Zr-12Ni-1,5Be-V

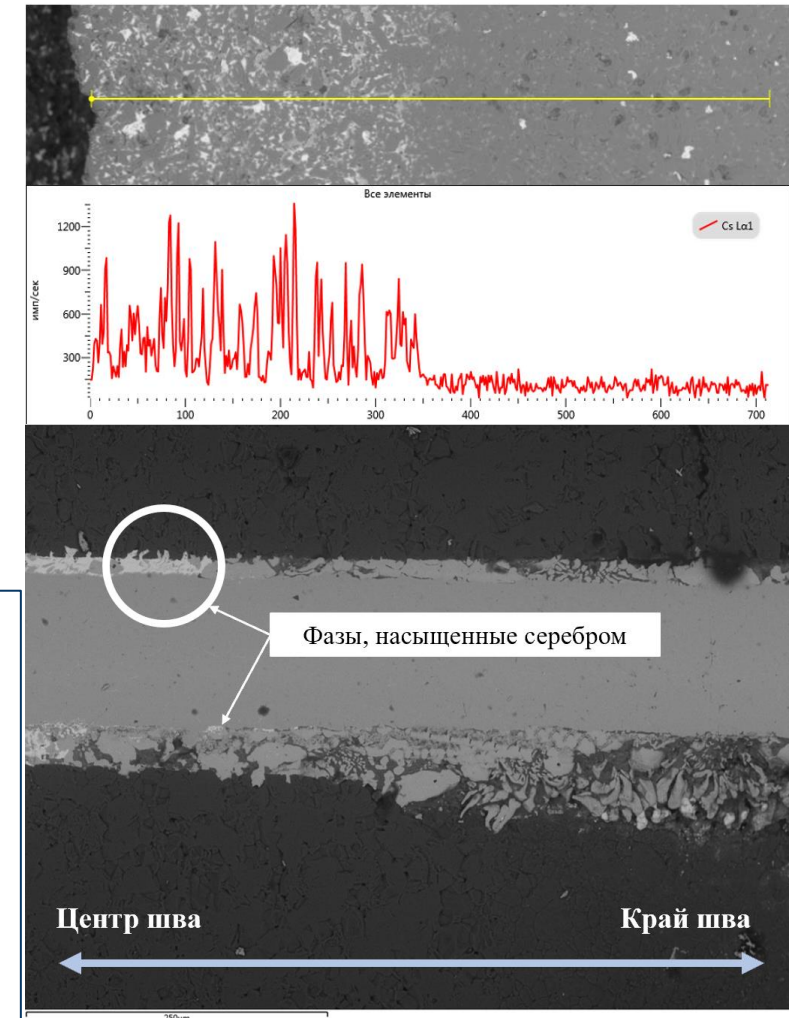
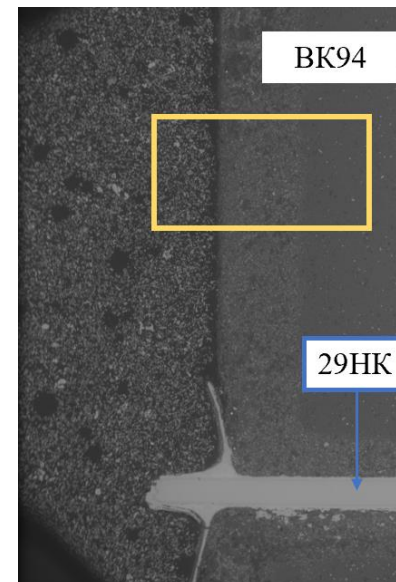
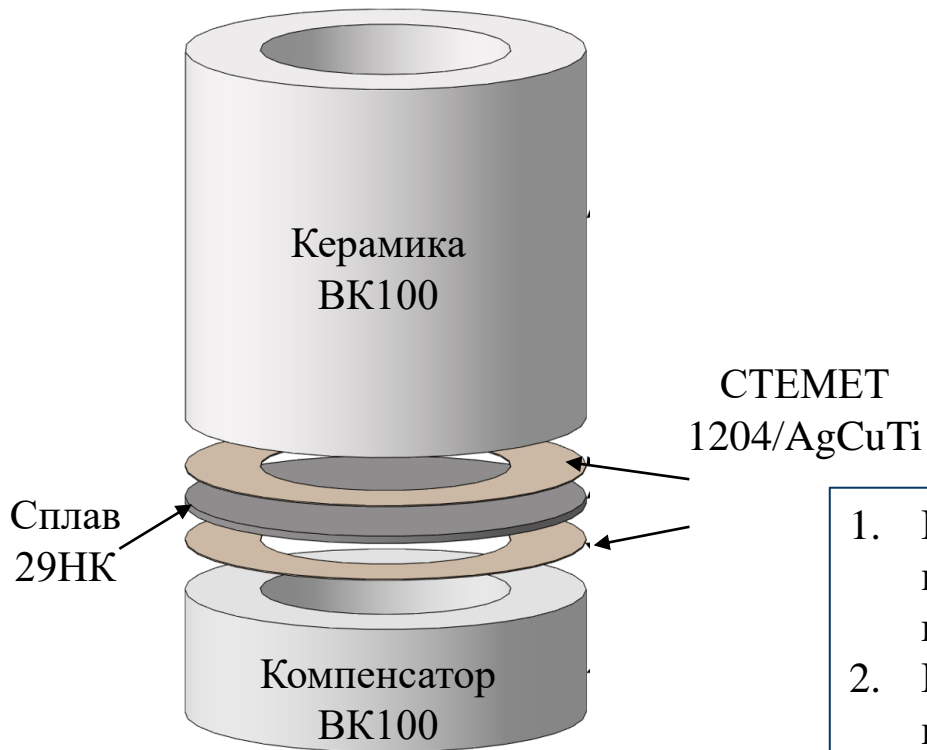
Требования: Герметичность на уровне  $1,0 \cdot 10^{-11}$  Па·м<sup>3</sup>/с;  
Термостойкость при циклическом нагреве до 700 °С.

# Разработка способа пайки коррозионностойких в цезии металлокерамических соединений

## Металлокерамические торцевые соединения

Марка припоя	Состав, мас.%.
СТЕМЕТ 1204	Cu-28Ti, мас.%
AgCuTi	Ag-28Cu-1,5Ti, мас.%

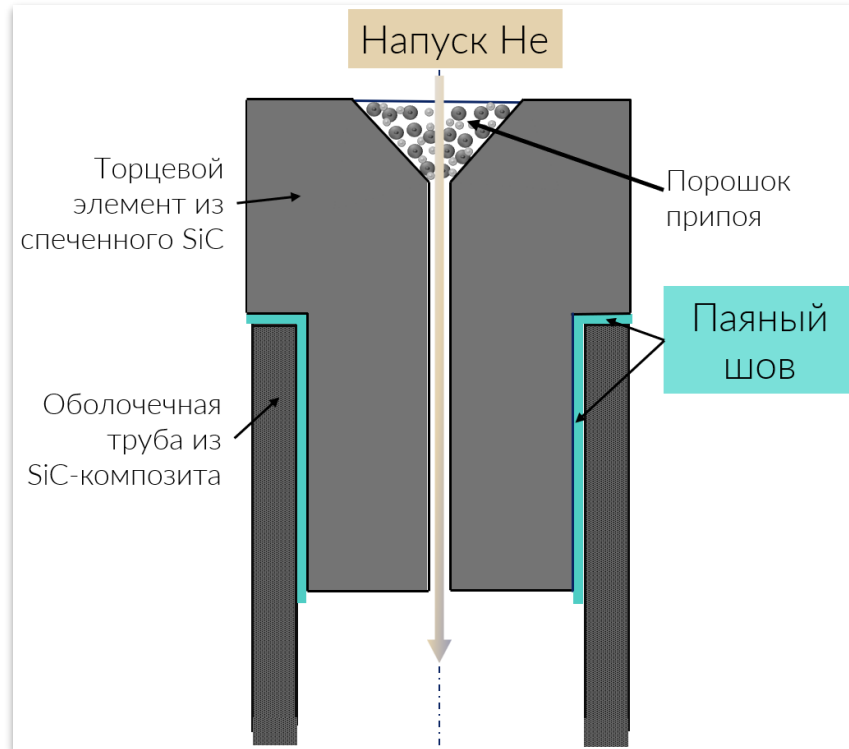
Марка керамики	Состав, мас.%.
ВК94	$Al_2O_3-2,8SiO_2-2,4MnO-0,5Cr_2O_3$
ВК100	$Al_2O_3-0,3MgO$



Требования: Герметичность на уровне  $1,0 \cdot 10^{-11}$  Па·м<sup>3</sup>/с; Коррозионная стойкость в парах цезия.

1. Применение серебряных и медных припоев позволяет получать герметичные соединения;
2. При использовании керамики ВК94 происходит её взаимодействие с цезием;
3. При использовании серебряного припоя происходит его селективное растворение в процессе взаимодействия с цезием.

# Разработка припоев для высокотемпературной пайки композита на основе карбида кремния



Требования: Герметичность на уровне  $1,0 \cdot 10^{-11}$  Па·м<sup>3</sup>/с;  
Коррозионная стойкость; температура распайки не менее 1200 °С

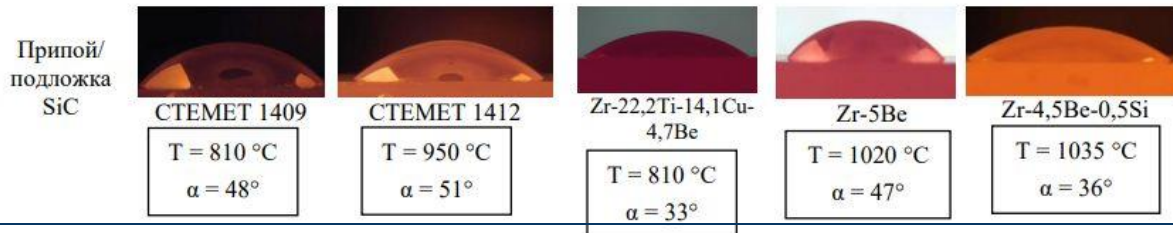
## Разработанные припои

Припой (система циркония)	
№ 1	Zr-12Cu-16Ti-14Ni-2Nb (СТЕМЕТ 1409)
№ 2	Zr-48Zr-4Be (СТЕМЕТ 1412)
№ 3	Zr-22,2Ti-14,1Cu-4,7Be
№ 4	Zr-5Be
№ 5	Zr-4,5Be-0,5Si
Припой (система железа)	
№ 6	Фехраль X14Ю4 (Fe-14Cr-4Al)
№ 7	Фехраль X23Ю4ТС (Fe-23Cr-5Al-1Si-1Ti)
№ 8	FeSi(1)
№ 9	FeSi(2)
№ 10	FeSi(3)
№ 11	FeSiCr
№ 12	FeSiNb

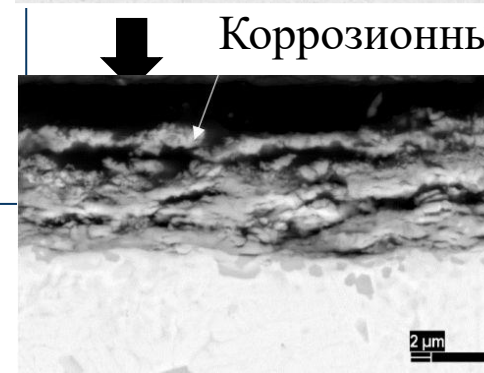
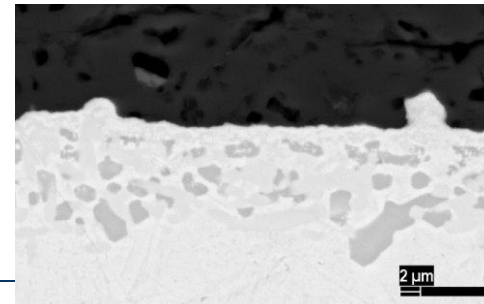
Цель работы: разработка припоя для герметизации оболочечного элемента из композиционного карбида кремния

# Разработка припоев для высокотемпературной пайки композита на основе карбида кремния

## Основные результаты (припой системы циркония)



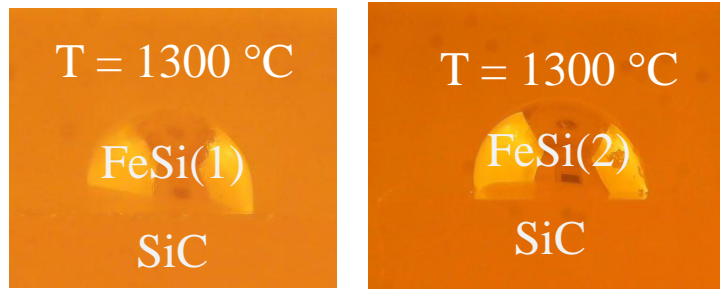
1. Циркониевые припои обеспечивают отличное смачивание керамики на основе карбида кремния
2. Нет распайки (SiC/SiC) до температуры 1200 °C
3. Гидротермальная коррозия паяного шва в условиях ВВЭР



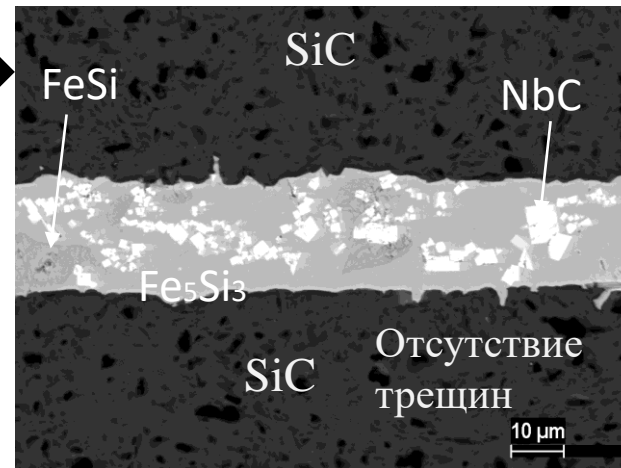
Коррозионные испытания (Вода, 350 °C)



## Основные результаты (припой системы железа)



После испытаний →



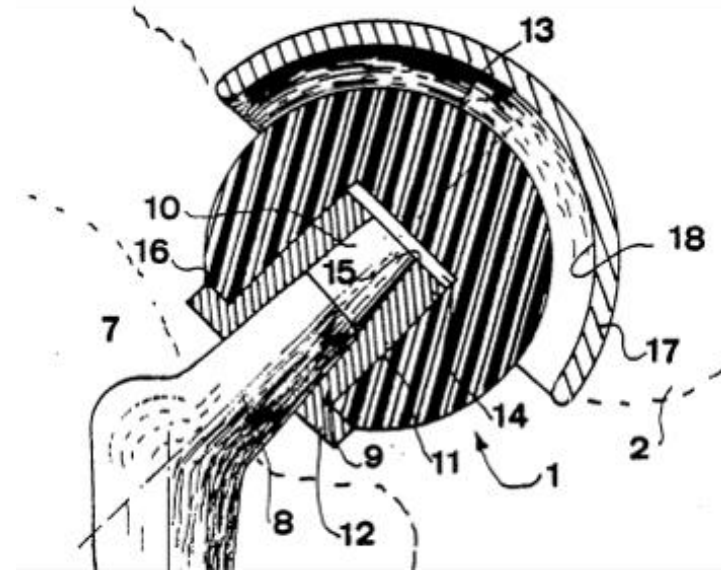
1. Смачивание керамики на основе карбида кремния в целом хуже по сравнению с циркониевыми припоями. Исключение припой FeSiNb
2. Механические свойства соединения не ниже уровня прочности карбида кремния
3. Структура устойчива в воде при 350 °C и паре при 1150 °C

Натекание менее  $10^{-13}$  Па\*м<sup>3</sup>/с

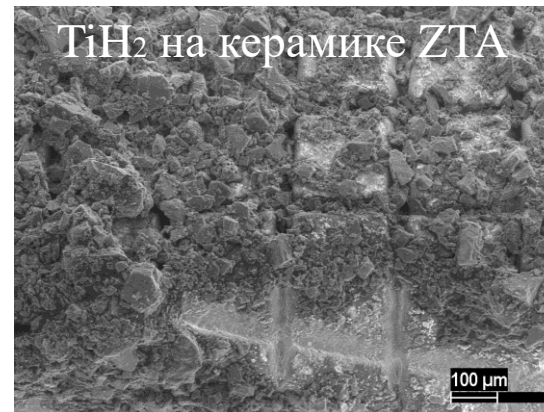
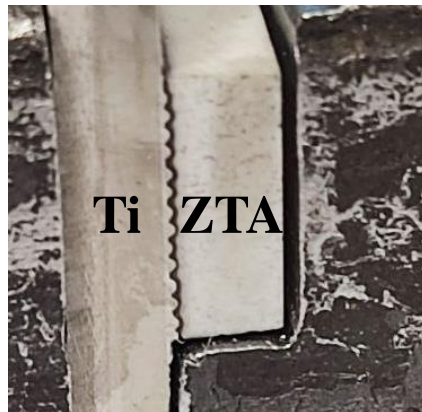
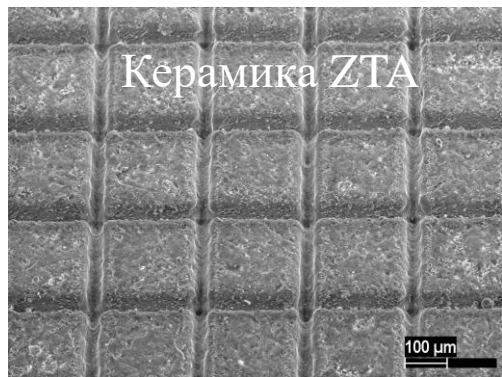
# Разработка припоев для высокотемпературной пайки композита на основе оксидов циркония и алюминия



Идея модульной головки эндопротеза тазобедренного сустава



## Обработка керамики (Проблема прочности и смачивания)



Требования: Коррозионная стойкость;  
Износостойкость; Механическая прочность

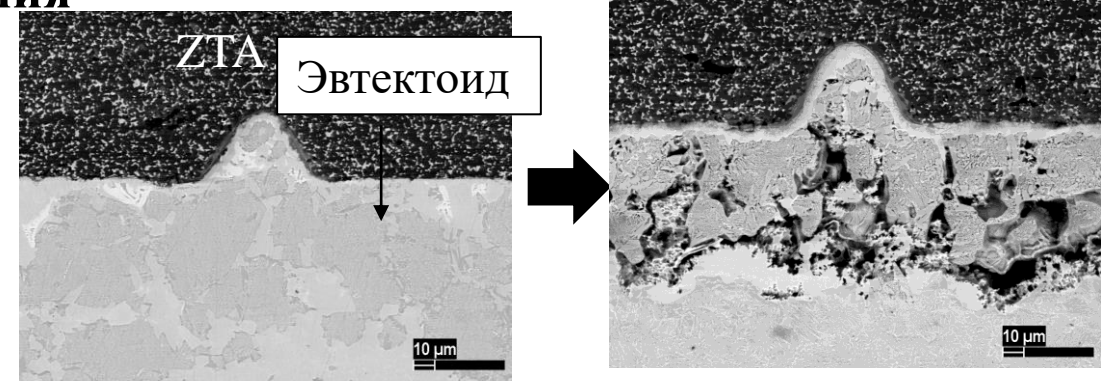
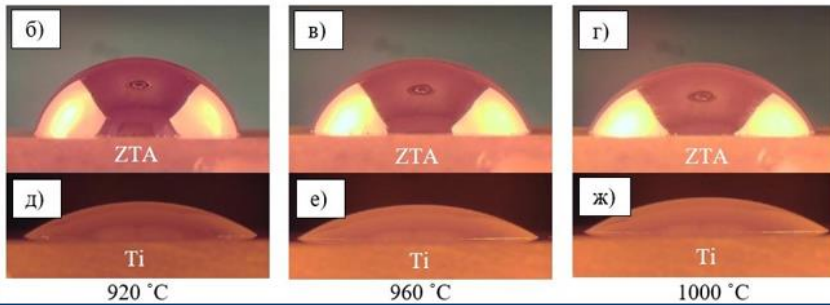
### Используемые припои

Припой	Химический состав (% мас.)
СТЕМЕТ 1201	Ti-24Cu-12Ni-12Zr
TiZrCo	Ti-50Zr-20Co

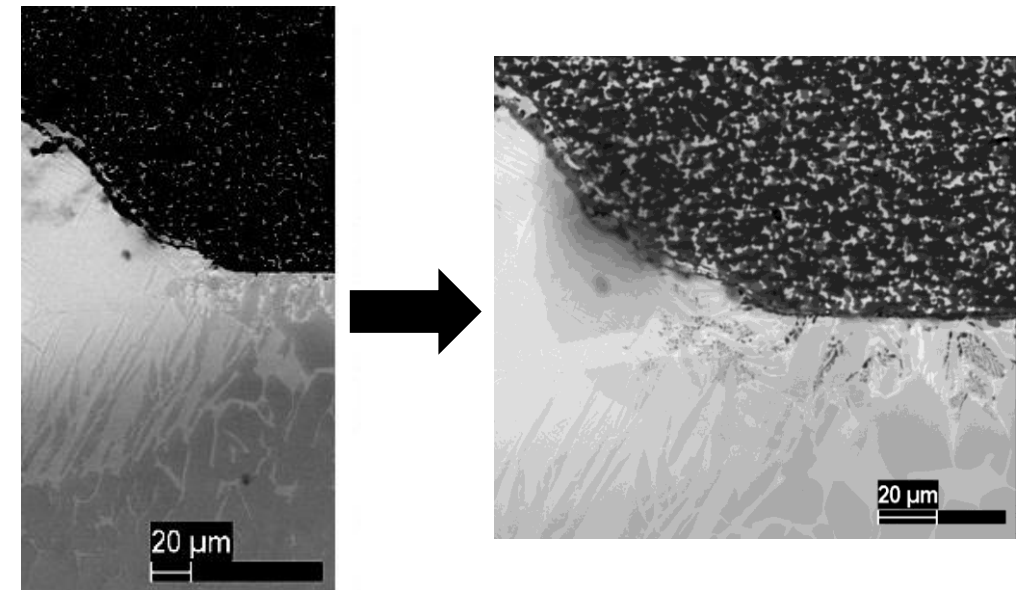
1. Лазерные насечки
2. Механическое фрезерование
3. Нанесение гидрида (TiH<sub>2</sub>)

# Разработка припоев для высокотемпературной пайки композита на основе оксидов циркония и алюминия

## Основные результаты (Припой Ti-12Zr-24Cu-12Ni)



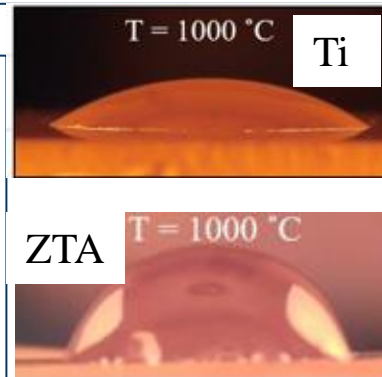
## Циклические потенциодинамические испытания (ASTM F 2129 стандарт)



1. Отличное смачивание титана и удовлетворительное смачивание керамики ZTA. При обработке поверхности керамики – смачиваемость низкая
2. При обработке поверхности керамики ZTA с созданием шероховатости на прочность паяного соединения на срез повышается в 4 раза
3. Некоторые образцы демонстрировали слабую устойчивость в растворе Рингера-Локка при коррозионных испытаниях

## Основные результаты (Припой Ti-50Zr-20Co)

1. Смачиваемость титана хорошая. Смачиваемость керамики удовлетворительная, но хуже чем у припоя Ti-12Zr-24Cu-12Ni.
2. Прочность на срез обработанной керамики в два раза выше, чем у не обработанной
3. Коррозионная стойкость паяного соединения выше по сравнению с припоем Ti-12Zr-24Cu-12Ni. Выход продуктов коррозии меньше



# Заключение

Систематическое исследование смачиваемости, механических свойств и коррозионной стойкости быстрозакалённых припоев позволило разработать технологические решения для получения высоконадежных металлокерамических соединений с контролируемой микроструктурой и эксплуатационными характеристиками, отвечающими требованиям критически важных применений.

# Спасибо за внимание

## Контактная информация

Терехова Софья Михайловна

Аспирант, ассистент кафедры физических проблем материаловедения, НИЯУ МИФИ

➤ [SMTerekhova@mephi.ru](mailto:SMTerekhova@mephi.ru)

➤ +7 (910) 459-12-02

ORCID: 0009-0007-2365-7573

