

# Изменения в локальной атомной структуре титана в результате термического воздействия: исследование методом ExEELFS

И.К. Аверкиев, О.Р. Бакиева, Д.В. Сурнин  
Аспирант 1 курс

УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия  
e-mail: [averkiev1997@mail.ru](mailto:averkiev1997@mail.ru)

Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Поверхность и новые материалы» УдмФИЦ УрО РАН  
Сайт: <http://udman.ru/ru/service/>

## Объект исследования:

Порошок состоящий из МАХ-фазы, состава  $Ti_2AlC$  полученный методом механоактивации в шаровой мельнице (Ti, Al, C, среда петролейный эфир), с последующей термической обработкой при 1000 °C в течение 1 часа.

Цель работы: Исследовать изменения локальной атомной структуры соединения  $Ti_2AlC$  до и после термической обработки методом спектроскопии протяженных тонких структур энергетических потерь электронов (ExEELFS).

## Задачи:

- Выделить нормированную осциллирующую часть из экспериментальных ExEELFS спектров.
- Провести анализ полученных осцилляций.

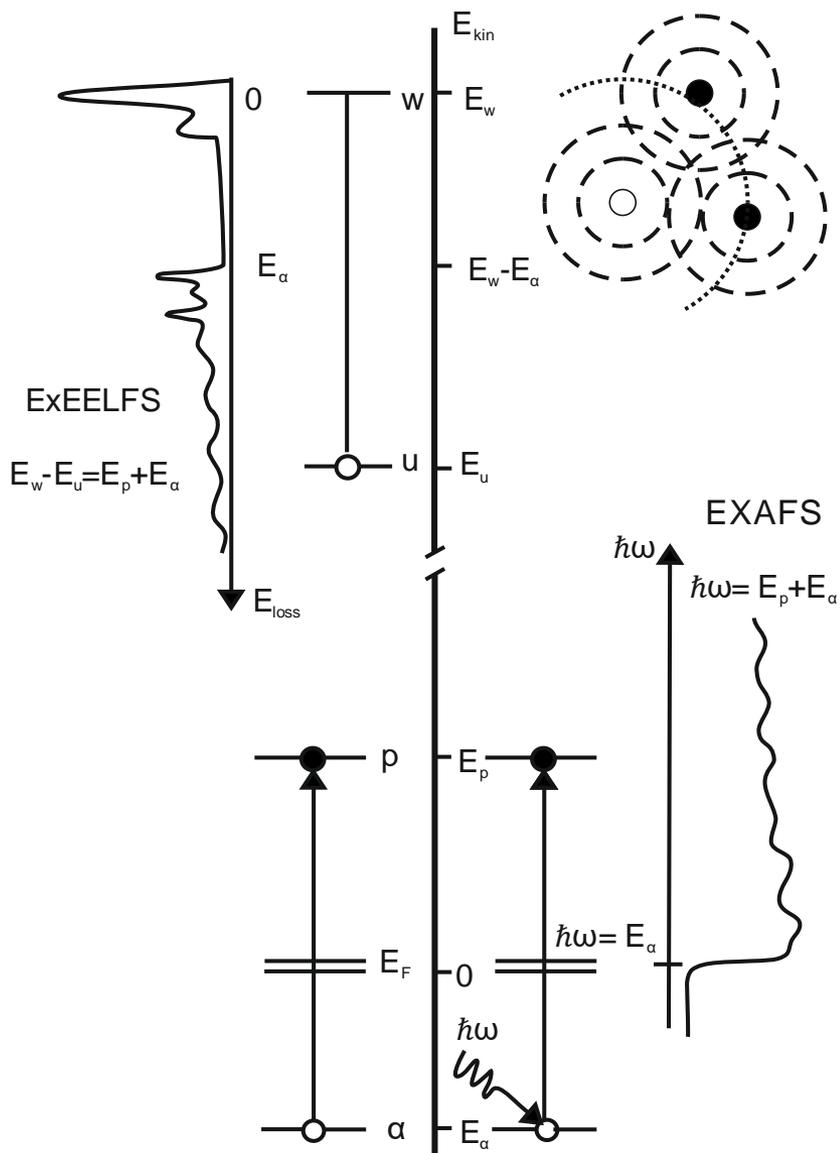


Рис. 1 Схема энергетических переходов, формирующих протяженные тонкие структуры спектров энергетических потерь электронов (ExEELFS) и протяженные тонкие структуры спектров рентгеновского поглощения (EXAFS).

### Преимущества:

- 1) Лабораторное оборудование:
  - а) источник моноэнергетического электронного пучка – электронная пушка
  - б) энергодисперсионный анализатор
  - в) вакуумная система с поддержанием вакуума не хуже чем  $10^{-7}$  Па
- 2) Исследование локальной атомной структуры относительно атома легкого элемента
- 3) Возможность изменения глубины анализа

Исследование локальной атомной структуры проводилось методом спектроскопии протяженных тонких структур энергетических потерь электронов (ExEELFS) на Оже-микроскопическом анализаторе JAMP-10S (JEOL) в геометрии на отражение. Глубина анализа 10 нм.

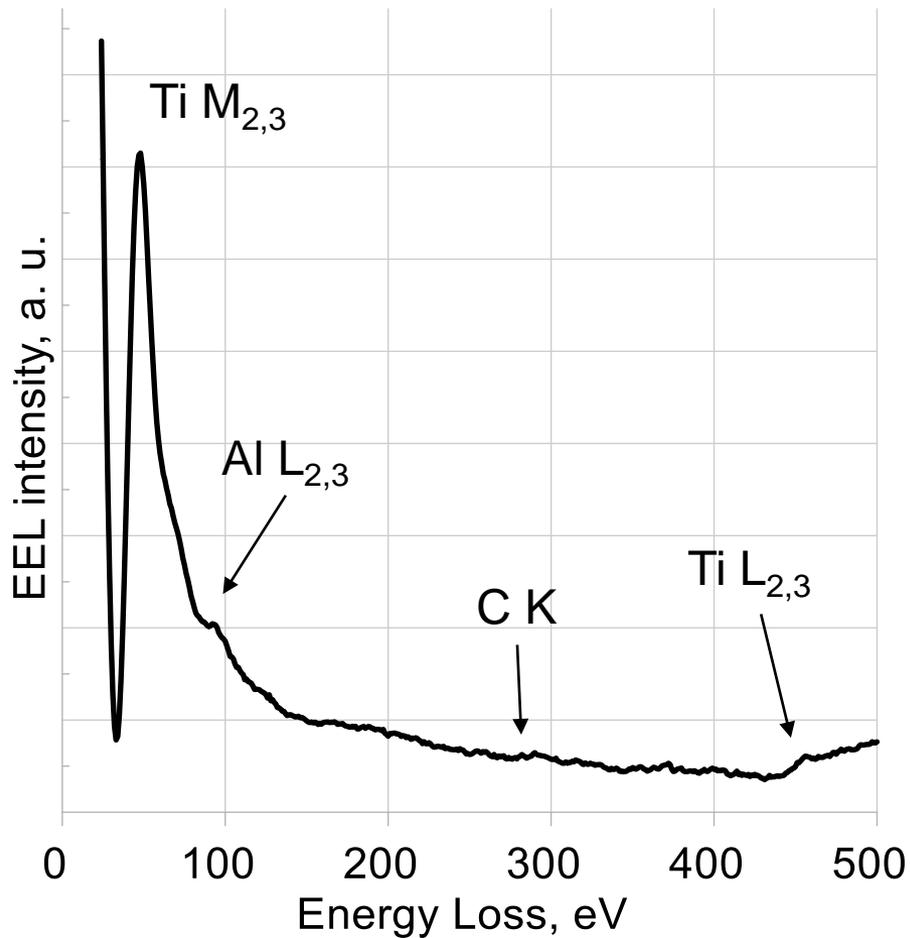


Рис. 2 Экспериментальный спектр энергетических потерь электронов до термического воздействия

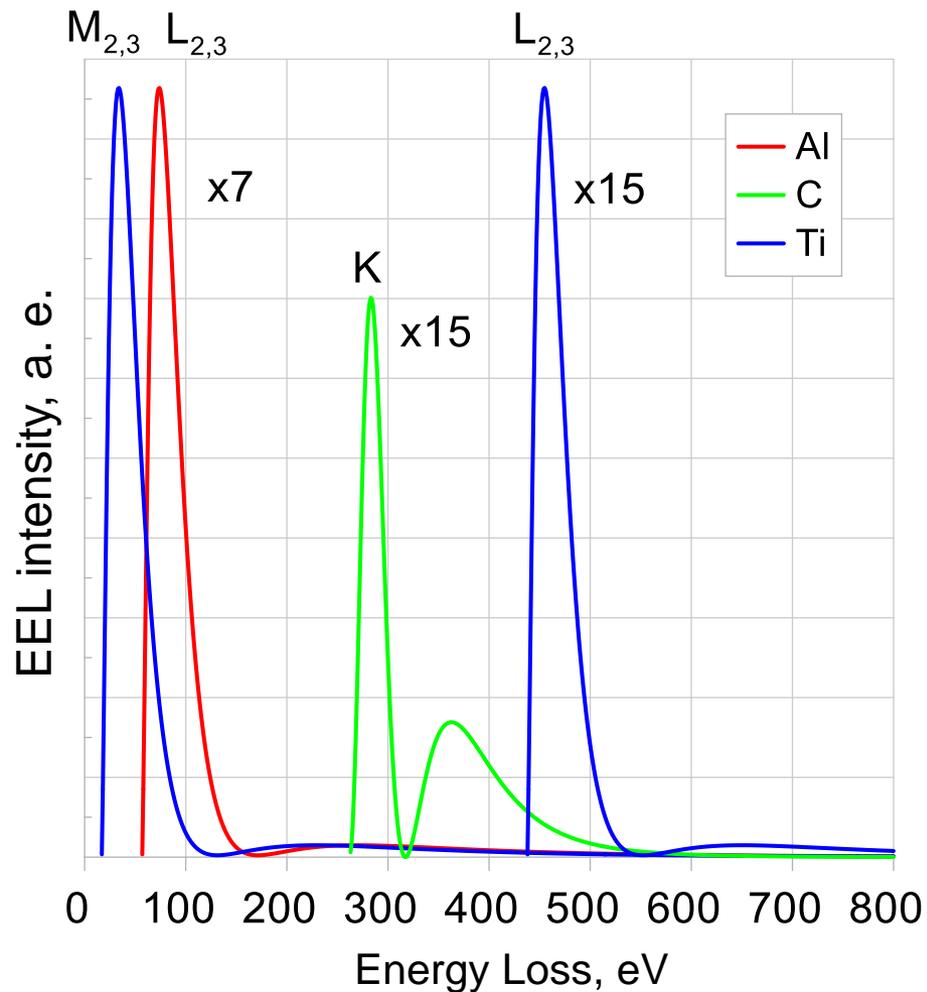


Рис. 3 Рассчитанные интенсивности возбуждения для титана, алюминия, углерода

До термической обработки

После термической обработки

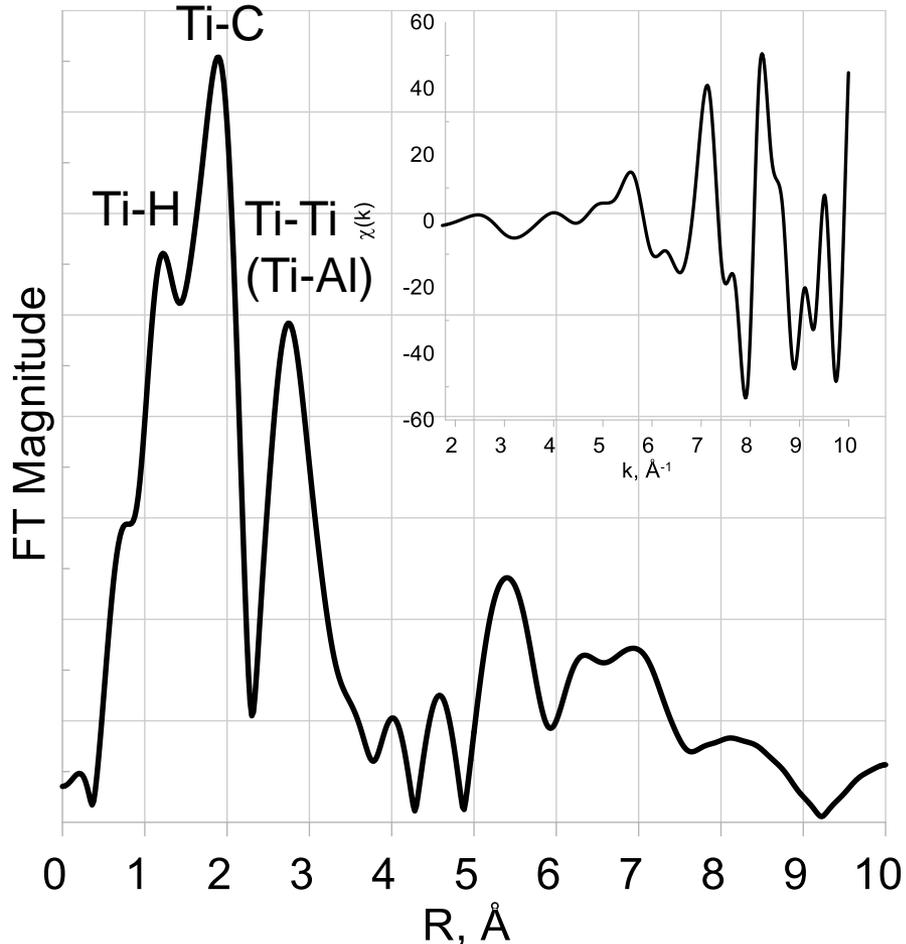
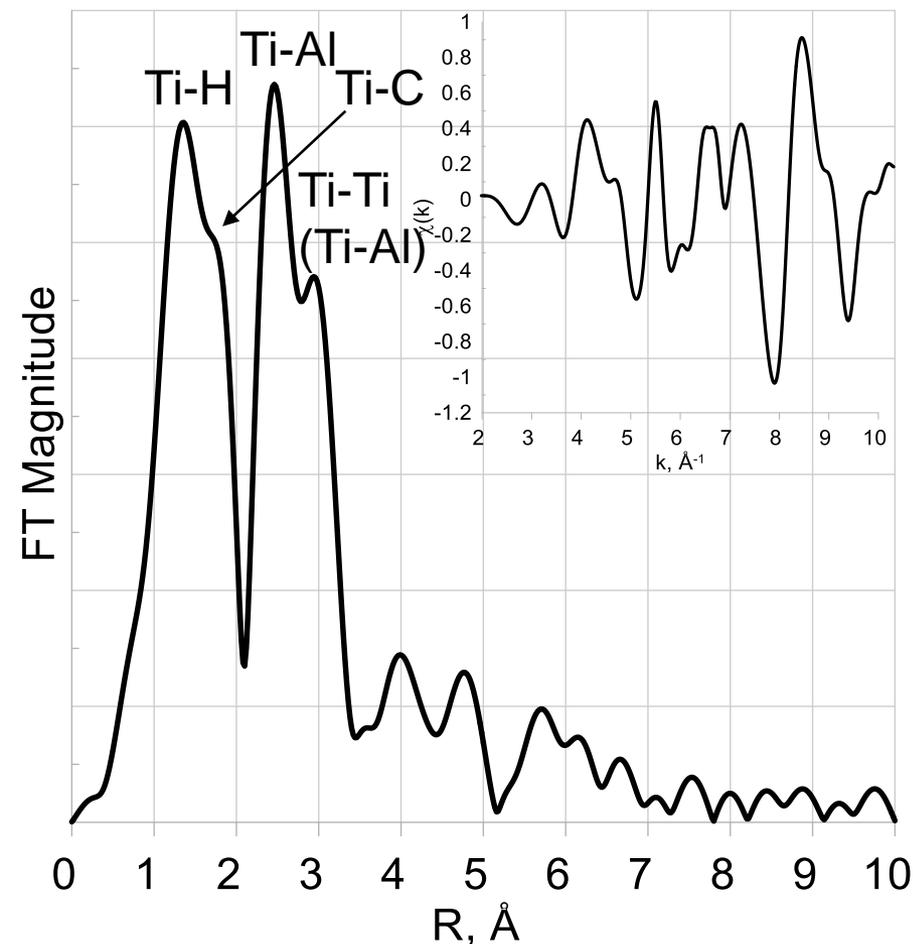


Рис. 4 Нормированные осциллирующие части после  $M_{2,3}$  края титана и их Фурье-преобразование

	Ti-H (мод.)	Ti-C	Ti-H	Ti-Ti и/или Ti-Al
R, Å до отжига (мод.)	1.34 (1.13)	1.78 (2.09)	2.46 (2.42)	2.94 (2.87)
R, Å после отжига (мод.)	1.22 (1.13)	1.90 (2.09)	----	2.74 (2.87) 5

До термической обработки

После термической обработки

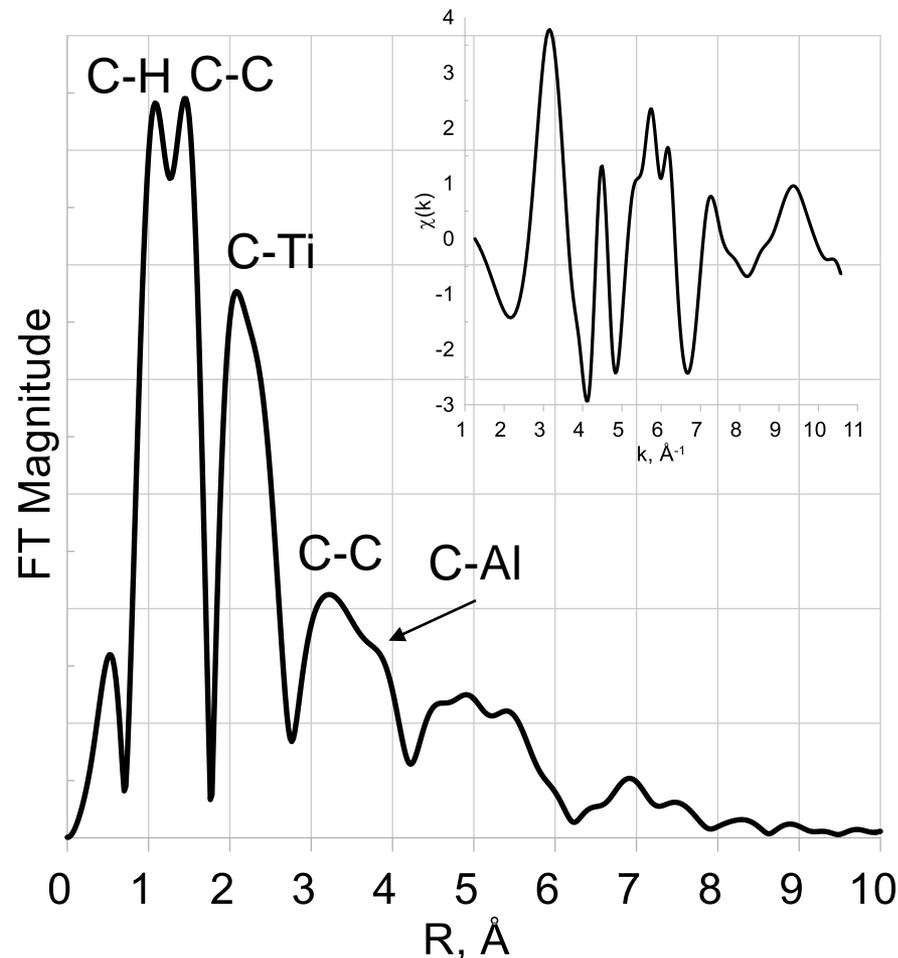
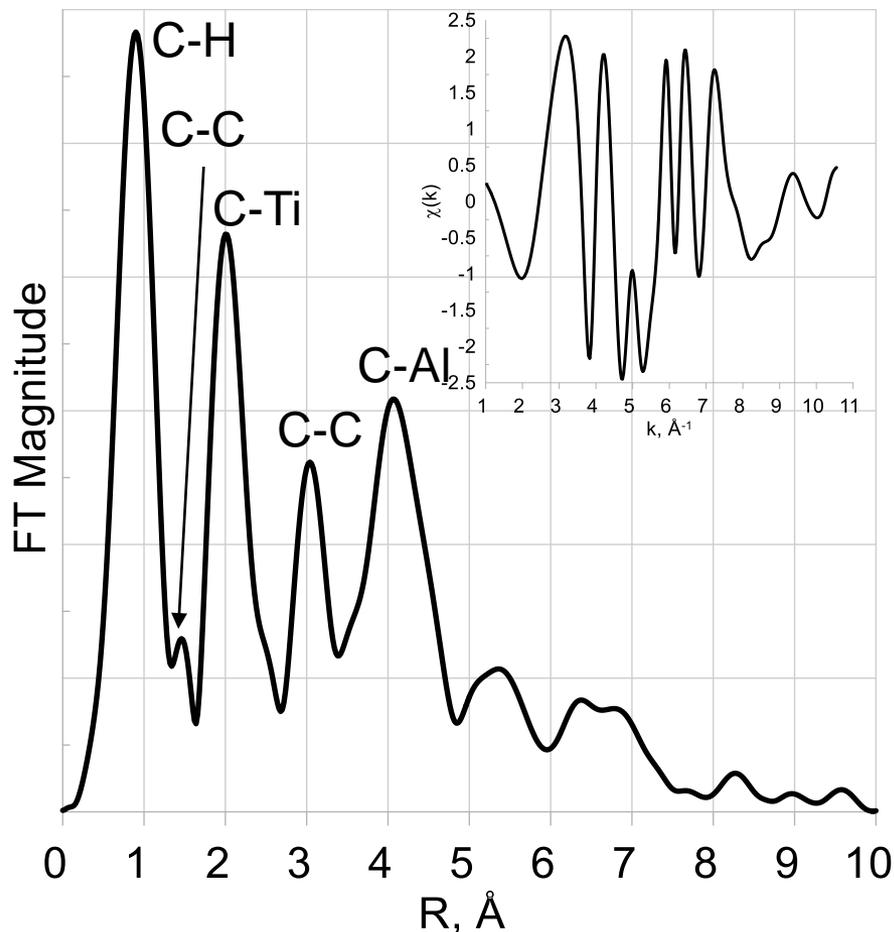


Рис. 5 Нормированные осциллирующие части после К края углерода и их Фурье-преобразование

	R, Å до/после (мод.)	N до/после (мод.)	Sigma <sup>2</sup> , Å <sup>2</sup> до/после (мод.)
C-Ti	2.00 / 1.8 (2.09)	4.83 / 3.34 (3)	0.004 / 0.004 (0.004)
C-C	3 / 2.7 (3.04)	7.29 / 3.61 (6)	0.006 / 0.004 (0.004)

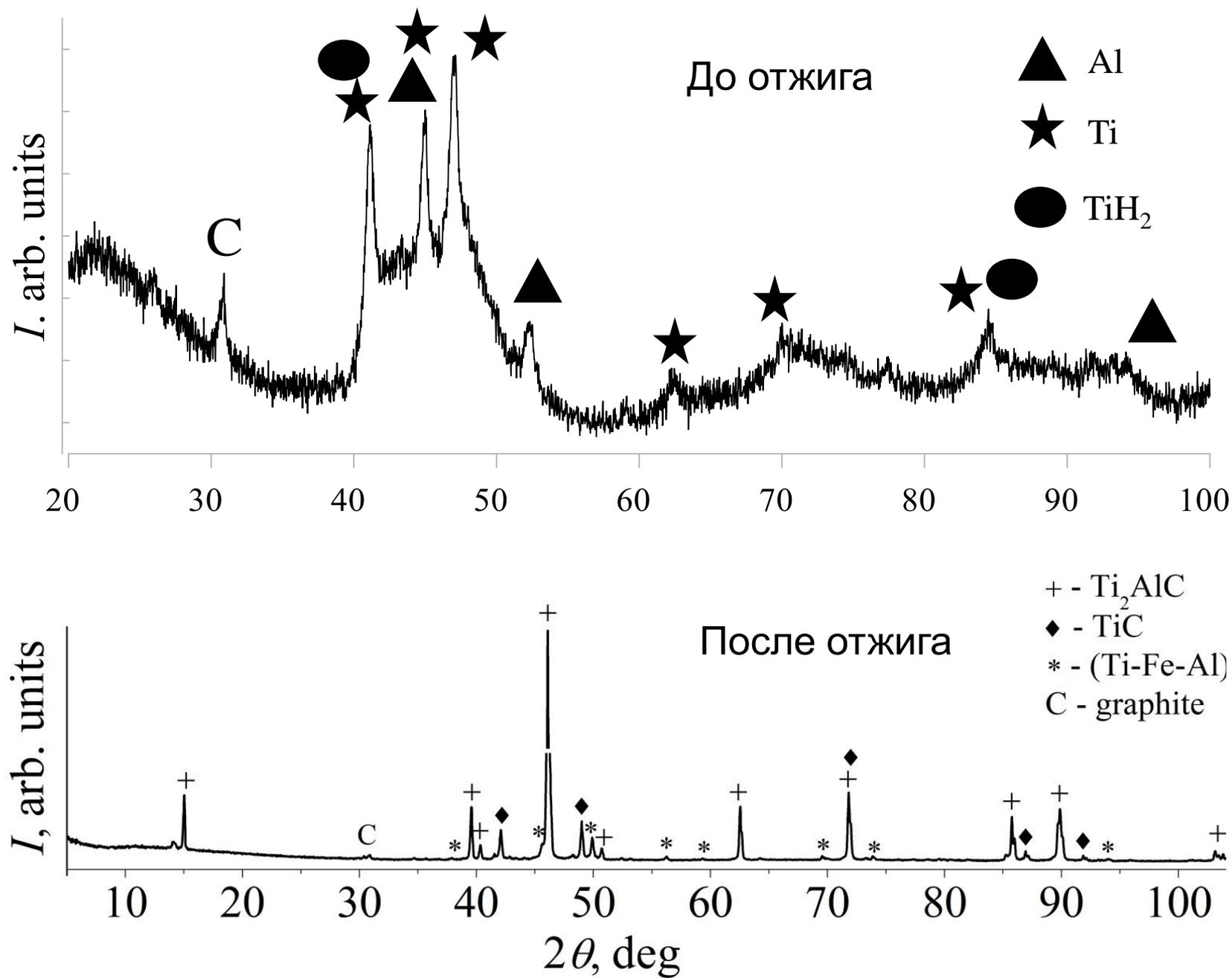


Рис. 6 Дифрактограммы порошков Ti<sub>2</sub>AlC до и после отжига

# Выводы

- 1) В работе были получены экспериментальные спектры энергетических потерь электронов, проведена их обработка и получены параметры локальной атомной структуры.
- 2) В результате анализа экспериментального  $M_{2,3}$  спектра титана удалось определить изменения в межатомных расстояниях. По экспериментальным спектрам углерода определены длины химической связи, соответствующие координационные числа и фактор Дебая-Валлера. Это можно объяснить высокой чувствительностью углерода к электронному возбуждению (амплитуда обратного рассеяния углерода более интенсивна по-сравнению с титаном).
- 3) Показано, что после термической обработки происходит уменьшение длин связи и координационных чисел для пар атомов Ti-C и Ti-Ti. Это связано с тем что образуется слоистая система, состоящая из MAX-фазы.

**Спасибо за внимание!**