

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВОК МЕТОДОМ EBSD В СПЛАВАХ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

**К.А. Уймина, М.Ю. Ларионов, М.С. Карабаналов**

*Руководитель – доцент, д.т.н. Гроховский В.И.*

УГТУ-УПИ имени первого президента России Б.Н. Ельцина,

г. Екатеринбург, [ksenia\\_uimina@mail.ru](mailto:ksenia_uimina@mail.ru)

В последние годы метод обратно отраженных электронов (EBSD) приобрел в материаловедении широкую известность благодаря возможности быстрого локального кристаллографического анализа. Метод позволяет проводить количественное исследование ориентации кристаллов, фазового состава, текстуры и границ зерен, а в комбинации с анализом локального химического состава его можно использовать для определения неизвестных фаз. В данной работе метод EBSD был применен для исследования структурных особенностей железных метеоритов: Чинге IVB и Сихотэ-Алинь IIВ.

Образцы для EBSD-исследования размером около 1 см<sup>2</sup> вырезались из фрагментов метеоритов, подвергались полировке на алмазных пастах с финишной обработкой на коллоиде SiO<sub>2</sub> с размером частиц 0,04 мкм. Для изучения продуктов фазовых превращений в метеоритах использовались SEM JSM-840 с приставкой HKL CHANNEL5 (Институт проблем сверхпластичности, г.Уфа) и SEM JSM 6490LV (ЦКП УГТУ-УПИ). Кристаллографический анализ ориентировок сосуществующих фаз проводился по полученным для каждой фазы прямым полюсным фигурам. Программа HKL CHANNEL не предусматривает получение ориентационных соотношений фаз, поэтому было необходимо применить другие программы или использовать сетки Вульфа. В ходе настоящего исследования была использована программа CarIne Crystallography 3.1, позволяющая строить стереографические проекции.

Микроструктура атаксита Чинге в основном представлена мелкодисперсной смесью нескольких фаз (плесситом), неразличимой традиционными методами оптической микроскопии. Средний химический состав метеорита 16,8 вес. % Ni, 0,5 вес. % Co, остальное Fe. Основными фазами являются камасит ( $\alpha$ -фаза, феррит) и тэнит ( $\gamma$ -фаза, аустенит). Травление шлифов метеорита Чинге выявляет на его поверхности полосы селективного отражения (PCO) или «Schliren bands» шириной 1-10 мм. Механизм формирования PCO в разных работах связывают с двойникованием, ударным воздействием, химическими и фазовыми неоднородностями, но до настоящего времени общепринятого объяснения этому эффекту не найдено.

Полученные EBSD карты фазового контраста позволили определить количественное соотношение фаз: доля тэнита в плессите составляла не более 10-20% в разных участках сканирования. Граница PCO ярко проявилась в контрасте ориентации камасита. Ориентационная карта показала, что тэнит проявляется как мелкодисперсная разориентированная фаза, преимущественно располагающаяся по границам субзерен камасита. Ориентационные

соотношения фаз в ПСО выявлены при анализе прямых полюсных фигур, полученных методом EBSD (рис.1). Для  $\alpha$ -фазы выявлены различный набор ориентировок при переходе через границу ПСО с преобладанием одной основной. В контрасте ориентации  $\alpha$ -фазы четко проявляется граница ПСО. Для  $\gamma$ -фазы наблюдается значительная разориентация дисперсных выделений. Выявлен набор нескольких кристаллографических ориентировок как в ПСО, так и вне нее, одна из них сохраняется при переходе границы ПСО. Некоторые из этого набора имеют следующее соотношение с  $\alpha$ -фазой:  $\{111\} \parallel \{1-10\}$ , что соответствует соотношению Курдюмова-Закса. Это свидетельствует о том, что часть кристаллов  $\gamma$ -фазы образовались из  $\alpha_2$ -фазы, а другие кристаллографические ориентировки соответствуют остаточной  $\gamma$ -фазе, присутствующей в ПСО.

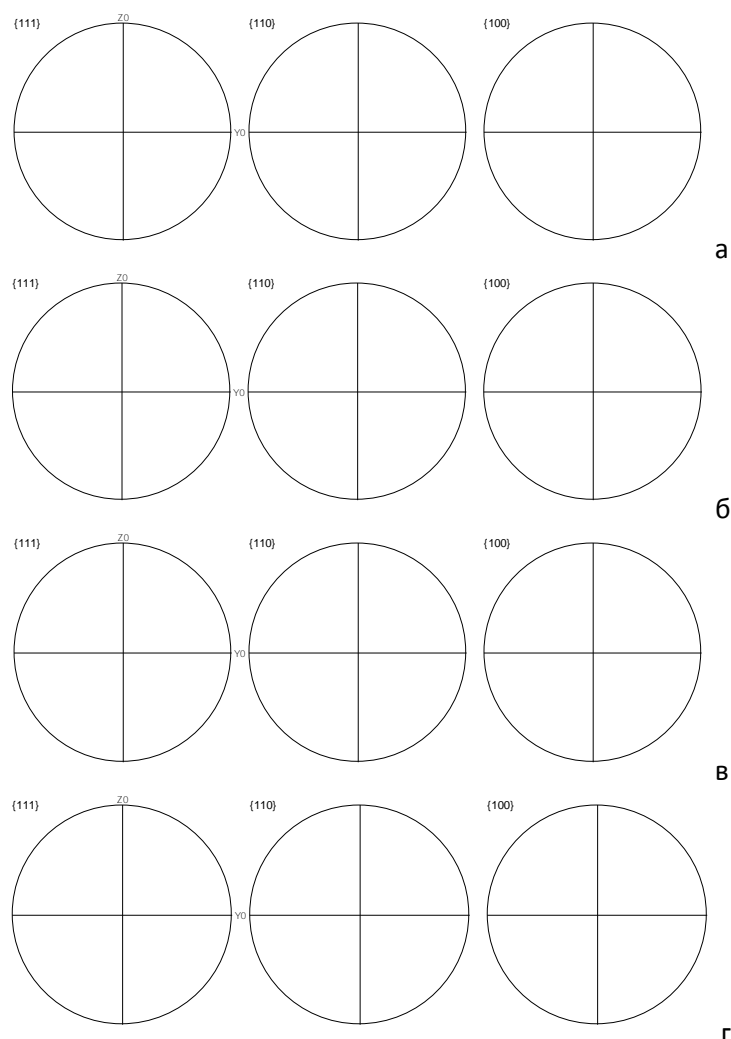


Рис.1 - Набор полюсных фигур, полученных методом EBSD с двух сторон ПСО: а – ориентация камасита вне ПСО, б - ориентация камасита в ПСО, в - ориентация тэнита вне ПСО, г - ориентация тэнита в ПСО.

Характер сосуществования фаз в субмикроструктуре и ориентационные соотношения их в ПСО, показывают, что природа ПСО обусловлена реакцией мартенситного типа:  $\gamma \rightarrow \alpha_2 + \gamma_{ост} \rightarrow \alpha + \gamma + \gamma_{ост}$ , с сохранением ориентации родительской  $\gamma$ -фазы и различным набором ориентаций  $\alpha$ -фазы.

Микроструктура фрагментов метеорита Сихотэ-Алинь представляет собой монокристаллы камасита сантиметрового размера с выделениями фосфидов  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$  как по границам, так и в теле  $\alpha$ -фазы, при этом дисперсные выделения  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ , именуемые рабдитами, имеют различную морфологию – стержни или пластины. Для определения ориентационных соотношений с матрицей у фосфидов различной морфологии были получены карты EBSD. В ходе исследования было установлено, что для кристаллов рабдита в камаситной матрице для обеих морфологий наблюдается соотношение, близкое к  $\{110\}\text{рабдита} \parallel \{210\}\text{камасита}$  и  $\langle 001 \rangle \text{рабдита} \parallel \langle 001 \rangle \text{камасита}$ .

Другой целью применения метода EBSD стала идентификация нитридов в структуре данного метеорита. Роалдит  $\text{Fe}_4\text{N}$  встречается в метеорите Сихотэ-Алинь очень редко, по морфологии и отражательной способности он похож на выделения пластинчатого рабдита  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$ , а его малые размеры затрудняют получение достоверных данных о химическом составе. Метод локального фазового анализа с помощью EBSD надежно диагностирует вытянутые микроскопические выделения роалдита в камасите, а при исследовании полюсных фигур камасита и роалдита установлена следующая закономерность роста нитридов в камаситной матрице:  $\{110\}\text{нитрида} \parallel \{111\}\text{камасита}$ . Характерная картина в местах пересечения нитридов с фосфидами указывает на то, что роалдит выделялся из  $\alpha$ -фазы при более низкой температуре после формирования стержневых фосфидов.

Применение метода EBSD для изучения структурных особенностей железных метеоритов Чинге IVB и Сихотэ-Алинь IIВ демонстрирует уникальные возможности метода в установлении закономерностей роста кристаллов при фазовых превращениях в сплавах на основе системы Fe-Ni.