

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СООТНОШЕНИЙ МИНЕРАЛОВ В МЕТЕОРИТЕ ЧИНГЕ МЕТОДОМ ДОЭ

К. А. Уймина, М. Ю. Ларионов, М. С. Карабаналов, В. И. Гроховский

*Уральский Государственный Технический Университет-УПИ имени первого
президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, ksenia_uimina@mail.ru*

В последние годы метод обратно отраженных электронов ДОЭ (EBSD) приобрел широкую известность благодаря возможности быстрого прицельного получения дифракционных картин с локальных участков кристаллических фаз. Метод позволяет проводить количественное исследование кристаллографической ориентации, фазового состава, границ зерен, в комбинации с анализом химического состава его можно использовать для идентификации неизвестных фаз. Нами метод ДОЭ был применен для исследования структурных особенностей железного метеорита Чинге IVB.

Атаксит Чинге имеет мелкодисперсную неразличимую в оптический микроскоп структуру, называемую плесситом, химический состав которой 17 вес. % Ni, 0.5 вес. % Co, остальное Fe. Плессит представляет собой смесь минералов ОЦК камасита (α) и ГЦК тэнита (γ) и тетратэнита FeNi (γ''). Он наблюдается в металле железных, железо-каменных метеоритов и хондритов. Эта двухфазная смесь образуется при распаде тэнита в процессе охлаждения метеорита от высоких температур [Goldstein, Michael, 2006].

Травление шлифов метеорита Чинге выявляет на его поверхности полосы селективного отражения (PCO) или «Schliren bands» шириной 1–10 мм, природа которых является предметом дискуссии.

Для изучения продуктов фазовых превращений в области PCO был применен растровый электронный микроскоп JSM 6490LV (ЦКП УГТУ-УПИ) с приставкой CHANNEL5. Для анализа выбранных участков на приборе ПМТ-3 были нанесены метки в виде отпечатков пирамиды. Затем образец был переполитрован с финишной обработкой на коллоиде SiO₂ с размером частиц 0.04 мкм.

Съемка проводилась при напряжении $U = 20$ кВ, токе $I = 49$ мкА, диаметром зонда 50 нм, увеличении $\times 5000$ и с шагом 100 нм в области PCO и $\times 2000$ с шагом 0.5 мкм в области зерна камасита. Параметры решетки для идентификации фаз: $a_{ГЦК} = 0.366$ нм, $a_{ОЦК} = 0.287$ нм. Решетка тетратэнита имеет незначительную тетрагональность, но ввиду малого отличия параметров решетки тэнита и тетратэнита они были объединены при анализе.

Граница PCO ярко проявилась в контрасте ориентации камасита. Ориентационная карта показала, что тэнит является мелкодисперсным, разориентированным и преимущественно располагается в границах субзерен камасита. Кроме того, тэнит находится в виде каймы вокруг крупного зерна камасита (окрашен белым на рис. 1, г).

Ориентационные соотношения минералов в метеорите Чинге выявлены при анализе прямых полюсных фигур, полученных методом ДОЭ (EBSD) (рис. 2). Для анализа использовалась программа CarIne Crystallography 3.1, позволяющая моделировать кристаллическую структуру и строить стереографические проекции. При помощи этой программы моделировалась кристаллическая структура искомым минералов и путём вращения добивались такого же положения полюсов стереографической проекции, что и в эксперименте. Распознанным полюсам на полюсной фигуре, полученной из эксперимента, приписывались индексы с учетом знаков. Путем сопоставления расшифрованных полюсных картин делался вывод о параллельности определённых плоскостей в кристаллических структурах фаз с различными ориентировками.

Исследовались три области железного метеорита Чинге IVB: в PCO, вне PCO и область, включающая крупное зерно камасита вне PCO (рис. 1). В ходе анализа полюсных

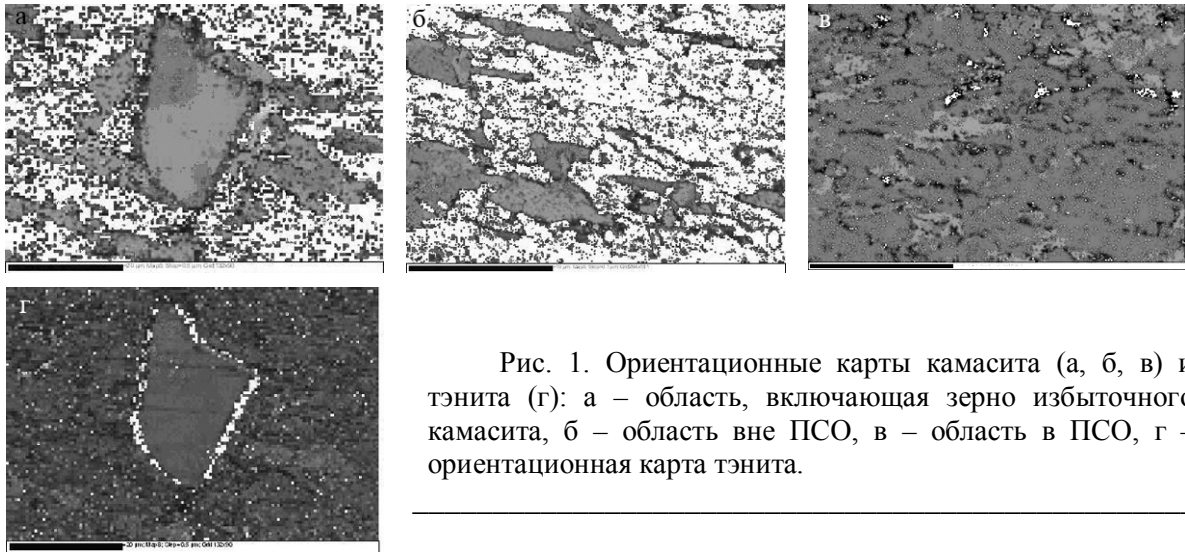


Рис. 1. Ориентационные карты камасита (а, б, в) и тэнита (г): а – область, включающая зерно избыточного камасита, б – область вне ПСО, в – область в ПСО, г – ориентационная карта тэнита.

фигур были выявлены 4 различные преобладающие ориентировки. Было обнаружено, что тэнит во всех трех областях имеет одну преимущественную ориентировку «С» (рис. 1, г): часть участков γ фазы по границам α_2 имеют ту же ориентацию, что и тэнит, окружающий зерно камасита (ориентация родительского тэнита). Вне ПСО камасит образуется из тэнита в ориентировке «А», при этом выполняется соотношение Курдюмова-Закса (К-З): $\{110\}_{\text{ОЦК}} \parallel \{111\}_{\text{ГЦК}}$ и $\langle 1-11 \rangle_{\text{ОЦК}} \parallel \langle 1-10 \rangle_{\text{ГЦК}}$, в нашем случае $\langle 10-1 \rangle_{\text{А}} \parallel \langle 1-1-1 \rangle_{\text{С}}$. Вне ПСО найдено две ориентировки камасита «D», «E», отличные от «А».

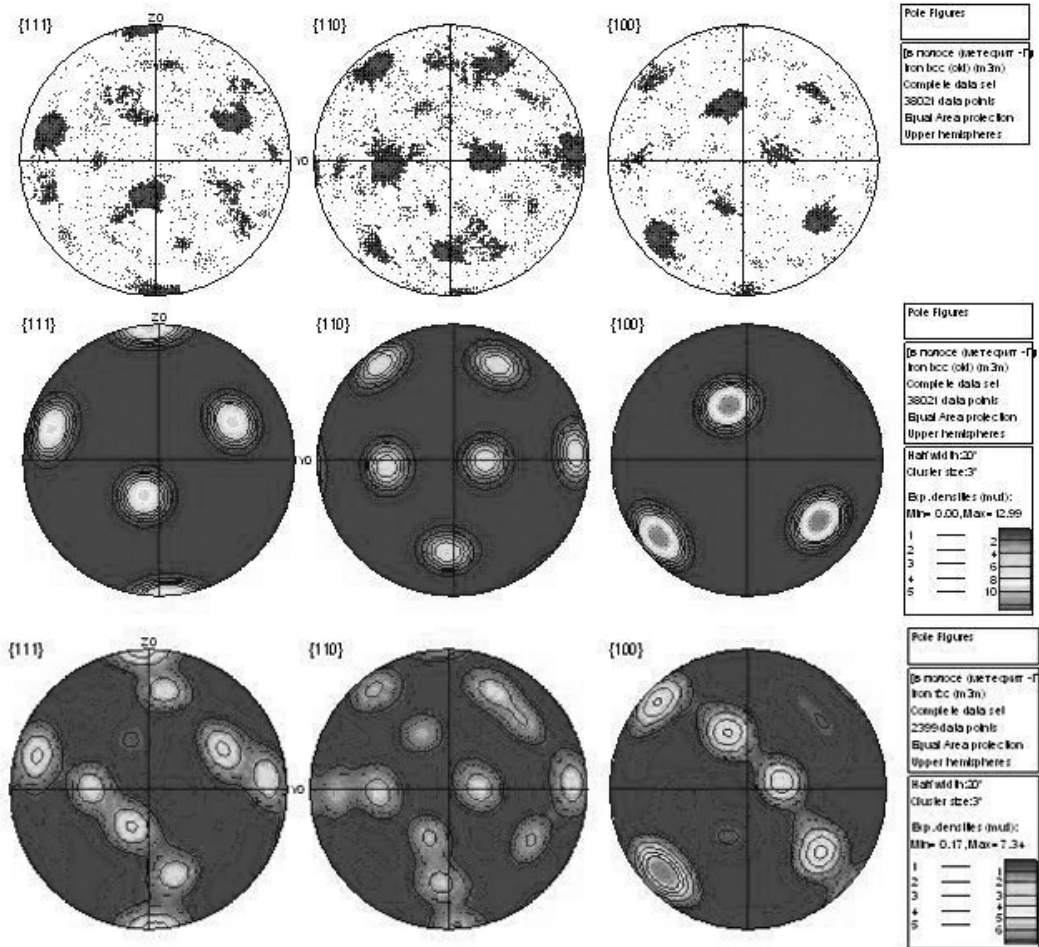


Рис. 2. Набор полюсных фигур, полученных методом ДОЭ, позволяющий выявить преимущественные ориентировки тэнита и камасита в ПСО.

Камасит вне ПСО в основном имеет ориентировку D, для которой с тэнитом «С» выполняется соотношение К-3 с направлениями: $\langle 101 \rangle_D \parallel \langle 111 \rangle_C$. Для второй ориентации камасита «Е» выполняется соотношение К-3 с направлениями $\langle 10-1 \rangle_E \parallel \langle 1-11 \rangle_C$. Кроме того между двумя ориентировками камасита «D» и «Е» вне ПСО существует следующее ориентационное соотношение $\{111\}_D \parallel \{111\}_E$. Ориентировки камасита в ПСО и вне ПСО соотносятся следующим образом: $\langle 110 \rangle_A \parallel \langle 100 \rangle_D$ и $\langle -110 \rangle_A \parallel \langle 001 \rangle_E$. Зерно камасита вне ПСО имеет такую же ориентировку, как и камасит в ПСО. В процессе превращения $\gamma \rightarrow \alpha_2 + \gamma_{ост} \rightarrow \alpha + \gamma + \gamma_{ост}$ образуются три ориентировки камасита «А», «D» и «Е», но в разных полосах селективного отражения преобладают различные ориентировки: в ПСО «А», а вне полосы «D» и «Е» (табл. 1).

Таблица

**Преимущественные ориентации камасита и тэнита
в железном метеорите Чинге IVB**

| Минерал | В полосе | Вне полосы | | Вне полосы (зерно) | | |
|---------------|----------|------------|---|--------------------|---|---|
| | | D | E | D | E | A |
| Камасит (ОЦК) | A | D | E | D | E | A |
| Тэнит (ГЦК) | C | C | | C | | |

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что часть γ -фазы росла из α -фазы и имела различный набор ориентировок, но сохранилась и родительская ГЦК-фаза с ориентацией $\gamma_{остаточной}$. 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 γ -фазы и набора ориентаций α -фазы.

Литература

Goldstein J. I., Michael J. R. The formation of plessite in meteoritic metal // Meteoritics and Planetary Science. 2006. Vol. 41, № 4. P. 553–570.