

Р. И. МИНЦ, Т. М. ПЕТУХОВА

## МОРФОЛОГИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФРАГМЕНТА ЛУННОГО ВЕЩЕСТВА

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 19 V 1972)

До недавнего времени единственным твердым телом внеземного происхождения, которое могло изучать человечество, были метеориты, падающие на Землю. Метеориты, как одна из форм существования вещества в нашей Солнечной системе, сохраняют в своем составе и структуре данные о ранних стадиях развития планетной системы. Однако внеземная предыстория метеоритного тела осложняется влиянием динамического контакта с атмосферой. Только некоторые тела могут выдержать условия прохождения через атмосферу. Можно полагать, что метеориты, попадающие на Землю, не представляют всех видов структурных состояний твердого тела.

Предметом исследования явилась металлическая фракция зоны А колонки реголита, доставленного АМС Луна-16. Металлическая частица М-104, размером 0,20—0,45 мм имела неправильную форму со следами интенсивных механических и температурных воздействий. Химический анализ, проведенный с помощью электронного микронзонда LXA-5M, показал: 4,8—5,5% Ni; 0,5—0,6% Co; 92,5—93% Fe. Металлографический анализ выявил структуру однородного твердого раствора камасита с размером зерен от 1,5—2 до 20—30 мк и значениями микротвердости в пределах 189—257 кг/мм<sup>2</sup>. При продолжительном травлении была обнаружена вторичная структура, представляющая собой продукты бездиффузионного превращения тэнита в  $\alpha_2$ -мартенсит. Бездиффузионный распад твердого раствора представлен следующими морфологическими формами: массивным, игольчатым, пластинчатым, пластинчатым, видманштеттовым и дендритным мартенситом. В отдельных участках образца и даже в одном зерне наблюдается разный морфотип мартенсита.

На рис. 1 зафиксировано такое зерно. В области А видны правильные, четко ограниченные игольчатые кристаллы с тонкой средней линией мидриба, разделенные между собой участками непревращенного тэнита. В верхней части В зерна продукты превращения имеют массивную форму. Оптический микроскоп не разрешает тонкую структуру, и на шлифе это образование выглядит монолитным, с одной стороны плавно переходящим в исходный твердый раствор, а с другой — образующим зазубренную гра-



Рис. 1. Морфология структур распада тэнита

нищу раздела. Левая часть *B* зерна занята колонией пластинок, разделенных тонкими прослойками тангита. Просматриваются линии мидрибов, которые обуславливают параллельную ориентировку всей колонии. Пластины имеют неодинаковую длину, что является следствием неодновременного вставания отдельных кристаллов колонии в матричный твердый раствор.

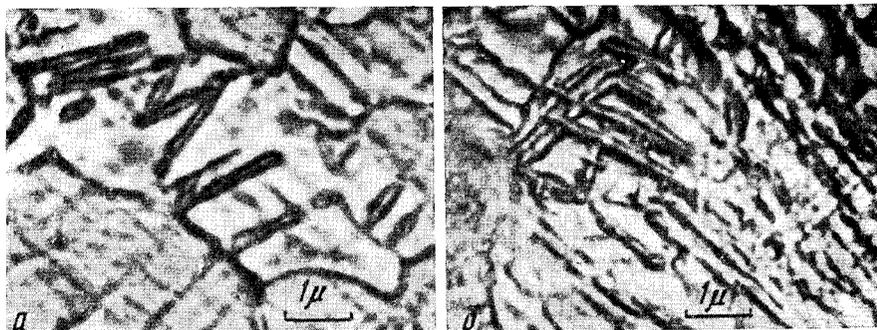


Рис. 2. Расположение продуктов бездиффузионного распада: *a* — конфигурация «молнии», *б* — пакетно-пластинчатое

Во взаимном расположении одинаковых по морфологической структуре кристаллов нет единообразия. В одних микрообъемах игольчатые или пластинчатые кристаллы выстраиваются в виде «молний» (рис. 2*a*), в других — такие же по форме образования либо располагаются под углом  $60^\circ$  одно к другому, либо расходятся в разные стороны из одного центра, либо создают сложные переплетения (рис. 2*б*). Кристаллы мартенсита с прямолинейными гранями в конфигурациях «молниях» не пересекаются и в одних случаях простираются от границы до границы зерна, в других — не доходят до них.

На рис. 2*б* продукты распада образуют довольно плотный пакет. В этой пакетной структуре есть направляющие пластины, которые соединяются малыми пластинами, под прямыми и тупыми углами отходящими от направляющих. Вокруг мартенситных пластин в деформированном объеме твердого раствора формируются ячейки. Ячейки имеют почти те же размеры, что и малые пластины в превращенной области.

Необычной оригинальной формой является обнаруженное дендритное построение мартенситных кристаллов (рис. 3). В данном зерне можно проследить образование игольчатых кристаллов сразу по нескольким кристаллографическим направлениям. Выделяются четыре параллельных ориентировки, которые служат каркасом для построения кристаллов, образующих эту своеобразную конструкцию. Отдельные кристаллы имеют четко очерченные грани с хорошо заметным мидрибом. Промежутки между кристаллами бездиффузионного распада заполнены непревращенным исходным твердым раствором. Вероятно, обнаруженная уникальная, дендритная, форма мартенсита связана с дифференциацией твердого раствора <sup>(1)</sup>. Можно предположить, что анализируемый объект первоначально был закристаллизован в форме дендрита. При повторном нагревании тангита в область жидкого состояния химический состав не успел выравниваться по сечению зерна, и образовавшиеся затем мартенситные кристаллы скопировали дендритную морфологию. По-видимому, кристаллографическая основа морфологии закладывается еще в микрообъемах исходного твердого раствора и наследуется продуктами распада.

Морфологические особенности бездиффузионных образований свидетельствуют о различной движущей силе мартенситных превращений, которая определяется разностью свободных энергий аустенитной и мартен-

ситной зоны. Роль движущей силы нельзя объяснить только влиянием содержания никеля (<sup>2</sup>) на механизм, контролирующий морфологию структур распада. Принимая во внимание размер зерен исследуемого фрагмента и разнообразие морфотипов, правомерно предположить влияние на формообразование структур не только диффузионных, но и сдвиговых, деформационных факторов, управляющих превращением.

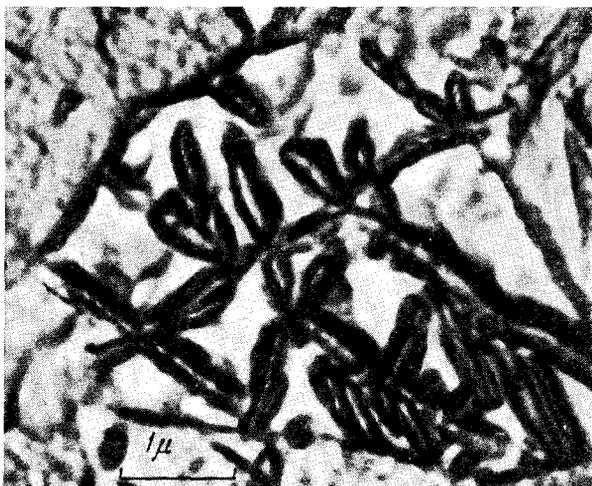


Рис. 3. Дендритный мартенсит

Бездиффузионный сдвиг, каким является мартенситное превращение, может осуществляться путем некооперативного и кооперативного перемещения атомов (<sup>3</sup>). Не исключено, что морфология ориентированных структур определяется как механизмом укладки кристаллов, так и способом инвариантной деформации решетки, характером бездиффузионной реакции распада твердого раствора в условиях сверхвысокого вакуума и радиационной обстановки.

Уральский политехнический институт  
им. С. М. Кирова  
Свердловск

Поступило  
15 V 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Н. Випоградов, *Геохимия*, 3, 7 (1971). <sup>2</sup> Дж. Вуд, *Метеориты и происхождение солнечной системы*, М., 1971, стр. 41. <sup>3</sup> Д. Нишияма, *Нихон киндзюку гаккай кайхо*, 8, № 5, 16 (1971).