

УДК 549.26+523.51+552.61

МИНЕРАЛОГИЯ

Д. П. ГРИГОРЬЕВ, Л. Г. НЕГОДА, Р. Л. БРОДСКАЯ

ВИДМАНШТЕТТЕНОВА СТРУКТУРА МЕТЕОРИТА BELLA ROSA

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 7 XII 1970)

Исследованию подвергался образец названного метеорита из коллекции Горного музея, № 160 ⁽¹⁾. Этот метеорит найден в 1888 г. в Сьерра де Сан Франциско, провинция Дуранго, Мексика.

Препарат представляет собой несколько вытянутую пластинку, почти прямоугольную на одном конце, а на другом клиновидную с углом около 80°, длиной 45 мм, шириной 23 мм при толщине от 1 до 5 мм, её вес 20,78 г, уд. вес 7,69 г/см³. Полированная поверхность, имеющая площадь 8,4 см², протравливалась нитратом с 27% HNO₃ в течение 1 мин. Выявленная видманштеттенова структура показала, что образец вырезан из монокристалла бывшей γ -фазы и что плоскость среза близка к (112) (определено согласно ⁽²⁾).

Среднеструктурный октаэдрит Om*, образец состоит (рис. 1) из «балок», т. е. видимых в поперечном разрезе пластинок камасита, окаймленных тэнитом, который постепенно переходит в плессит вследствие развития в нем тонкой вкрапленности камасита. Кроме того на поверхности препарата видны в пяти местах срезы пластинчатых кристаллов шрейберзита длиной от 1 до 8 мм.

Количественные соотношения камасита, тэнита и плессита подсчитаны на автоматическом минералогическом анализаторе «Контраст» на трех прямоугольных участках, без включений шрейберзита, размером 10 × 7; 10 × 12 и 10 × 12 мм. При этом прибор различал выделения камасита или тэнита, имеющие по линиям измерения размер не менее 28 μ (табл. 1).

Исследование распределения Fe и Ni в ингредиентах видманштеттеновой структуры в центральном треугольнике рис. 1 произведено на элек-



Рис. 1. Видманштеттенова структура. Сечение, близкое к (112). «Балки» камасита окружены светлой каймой тэнита, средние участки фигур заняты плесситом. 18×.
Репрод. 4 : 5

* В исследованном образце — из тонкоструктурный Of, как указано в каталоге ⁽³⁾.

тронном микроанализаторе MS-46 «Сатеса». Совпадающие по характеру распределения три полученные концентрационные кривые иллюстрируются записью для одного участка по линии длиной в 550 μ (рис. 2). Расположение линии и точек количественных определений дано на рис. 3, результаты анализов см. в табл. 2*.

В балках камасита содержание Fe и Ni близко к верхнему пределу колебания химического состава этого минерала (от 5,5 до 7,5% Ni). Кривая показывает вариации в 5—10% от измеряемой величины, соответственно несколько неоднородному микростроению камасита.

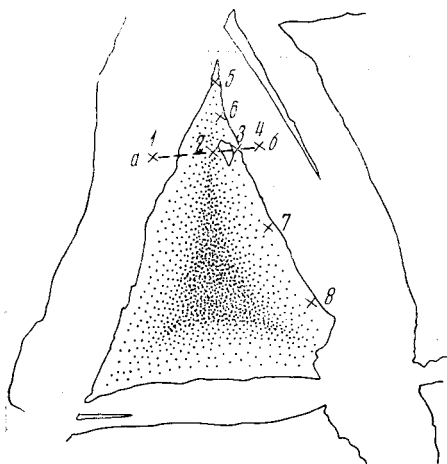


Рис. 2. Схема расположения линии $a-b$ и точек опробования 1—8 в центральном треугольнике рис. 1

Тэнит сильно неоднороден по составу. Высоко никелистый у контакта с камаситом, минерал имеет в точках количественных анализов состав, близкий к нижнему пределу обычного содержания Ni (от 25 до 50% Ni). В сторону плессита концентрация Ni резко падает. Если считать, что срединный участок плессита суммарно отвечает составу исходной γ -фазы, то содержание Ni в ней может быть оценено как $\sim 20\%$.

В целом колебания состава ингредиентов видманштеттеновой структуры отвечают главной закономерности, установленной для фаз метеоритного железа (⁴).

Генезис видманштеттеновой структуры рассматривается в литературе с физико-химической точки зрения

как процесс образования α -фазы за счет β -фазы (но результат очень похож на структуру распада твердого раствора Fe и Ni). Такое объяснение должно быть дополнено выяснением другой стороны генезиса — явлений зарождения, роста и изменения минералов метеоритного железа как кри-

Таблица 1

Содержание камасита, тэнита и плессита (%)

Объекты	Участки			Среднее
	I	II	III	
Камасит	50,1	54,4	56,8	53,8
Тэнит (раймы и более крупные зерна в плессите)	32,3	34,0	33,0	33,1
Плессит нерасчлененный	17,6	11,6	10,2	13,1

сталлических тел, т. е. рассмотрением генезиса с онтогенической точки зрения.

Распад происходит в монокристалле высокотемпературной γ -фазы твердого раствора и начало разделения продуктов распада — камаситового и тэнитового твердых растворов приурочивается к плоскостям {111}. Рост выделений камасита и перемещение вещества при этом удобно рассмотреть при помощи схемы (рис. 4).

* При обработке результатов количественного анализа учтена коррекция на поглощение, атомный номер и флуоресценцию.

Содержание Ni и Fe в минералах метеорита Bella Rosa

Минерал	№ точки	Содержание, вес. %		Минерал	№ точки	Содержание, вес. %	
		Fe	Ni			Fe	Ni
Камасит	1	91,96	7,86	Тэнит	2	74,70	28,00
	4	92,02	7,85		5	65,78	32,56
	3	92,30	8,03		7	72,34	27,00
					8	66,44	32,56

В треугольной ячейке между октаэдрическими плоскостями рост пластинок камасита, т. е. α -фазы, идет от границ внутрь ячейки за счет поступления железа из γ -фазы путем диффузии, тогда как никель передвигается во встречном направлении. Поступление вещества к камаситу и его перераспределение подчиняются при этом следующим тенденциям с раз-

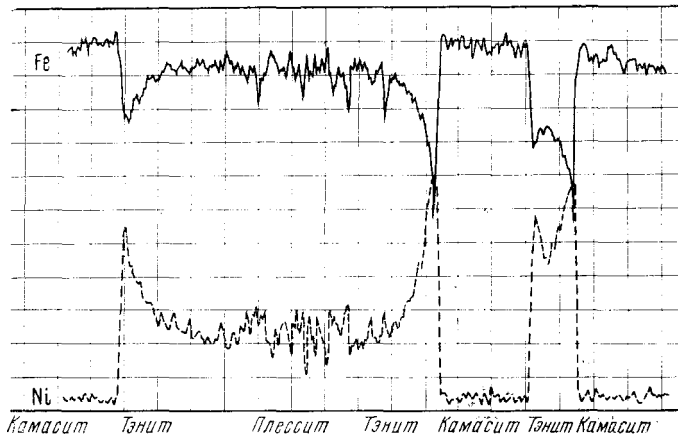
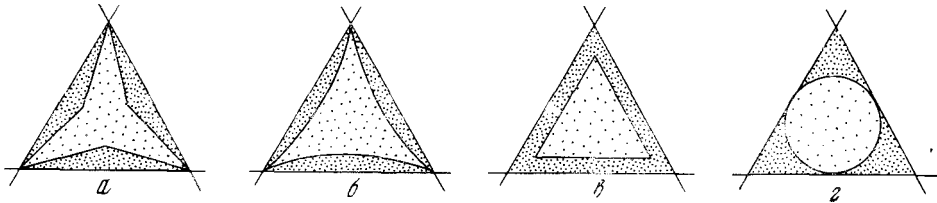
Рис. 3. Концентрационные кривые для Fe и Ni по линии $a-b$ на рис. 2

Рис. 4. Схема роста балок камасита в треугольной ячейке между гранями октаэдра. Объяснение в тексте

личными их сочетаниями в зависимости от конституционных особенностей минералов: 1) передвижению атомов по кратчайшим расстояниям, когда минерал должен вырастать, имея границы в виде равнобедренного треугольника — рис. 4а; 2) выравниванию энергии атомов на пограничной поверхности, неодинаковой на рис. 4а, большей у вершины треугольника, и оптимальное ограничение будет получаться в виде выпуклой дуги, на которой позиции всех атомов одинаковы — рис. 4б*; 3) снижению энергии пограничных атомов за счет образования не выпуклой, но прямой границы — рис. 4в; 4) использованию энергетической выгоды положения атомов во

* В объемной модели в разных сечениях балки кривизна дуги, естественно, различна.

входящих углах или на вогнутой поверхности, когда в пределе должно быть ограничение минерала (на схеме) вогнутой дугой — рис. 4г.

На основе таких признаков роста получается, что в метеорите Bella Роса камасит подчиняется, конечно, пункту 1, но вместе с тем тенденции пункта 2, и в этом метеорите балки камасита ограничиваются выпуклыми дугами. Местами, однако, сказывалась тенденция пункта 3, поэтому границы балок там почти прямые. Тэнит же по условию пункта 4 несколько концентрируется во входящих углах, а в остальном подчиняется ограничениям камасита, т. е. удовлетворяет требованию пункта 4, когда у минерала получается вогнутая граница. Аналогична кристаллизация камасита и тэнита, например, в метеоритах Ильинская станица, типа Om (⁵), и Batler, типа Of (⁶). Как примеры ограничения балок камасита, в основном соответственно с фактором пункта 3, укажем метеориты Бодайбо, типа Of—Om (⁵), и Grand Rapids, типа Of (⁶), или широко известный Edmonton, также типа Of (⁷).

Таким образом, минералы метеоритов фиксируют разные этапы процесса кристаллизации. Структурно-морфологические признаки, согласно с концентрационными кривыми, отмечающими негомогенность химического состава минералов (особенно тэнита), также свидетельствуют о том, что распад метеоритного γ -твердого раствора был заторможен без достижения равновесия*. Формирование плессита говорит уже о новом этапе распада «остаточного» твердого раствора в иных условиях, когда вещество не могло по-прежнему диффундировать к балкам камасита и образовывать окаймляющий тэнит в главной видманштеттеновой структуре и распад проходил «на месте».

Поступило
21 XI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Кузнецова, Метеоритика, 12, 83 (1955). ² V. F. Buchwald, The Austenite-Ferrite Transformation, Tables Relating the Widmanstätten Angles in Iron Meteorites to the Plane of Section, Publ. № 7, Center Meteorite Studies, Arizona State Univ., May., 1968. ³ G. T. Prior, М. Н. Hey, Catalogue of Meteorites, London, 1953. ⁴ А. А. Явнень, И. Б. Боровский и др., ДАН, 123, № 2, 256 (1958). ⁵ А. Н. Заварицкий, Л. Г. Кваша, Метеориты СССР, М., 1952. ⁶ S. H. Perry, The Metallography of Meteoric Iron, U. S. Nat. Museum, Bull., 184 (1944). ⁷ Б. Мэйсон, Метеориты, М., 1965. ⁸ J. M. Short, J. I. Goldstein, Science, 156, 59 (1967). ⁹ J. I. Goldstein, J. M. Short, Geochim. et cosmochim. acta, 31, № 10, 1733 (1967).

* Отмеченные особенности видманштеттеновой структуры заставляют переоценить предложенный в 1967 г. способ определения скорости охлаждения железных метеоритов (⁸, ⁹).