

И. П. ХАДЖИ, Л. И. ЦИНОБЕР, Т. А. МАКАРОВА

ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО ХРИЗОТИЛА

(Представлено академиком Н. В. Беловым 15 VII 1970)

Рентгеновские (^{1, 2}) и электронномикроскопические (^{3, 4, 5, 6}) исследования хризотил-асбеста показали, что волокна этого минерала имеют трубчатое строение в соответствии с предположением, впервые высказанным Полингом (¹). Детальное изучение структуры хризотиловых волокон было проведено Яда на электронном микроскопе высокого разрешения (⁶). Им было установлено, что слагающие трубку элементарные слои свернуты так, что образуют рулоноподобную структуру, причем в поперечном сечении трубки наблюдаются как однозаходные, так и многозаходные спирали. Такой механизм формирования трубок объясняется наличием радиальных или смешанных дислокаций.

Нами было проведено сравнительное электронномикроскопическое исследование синтетического и природного хризотил-асбеста. Синтетический минерал получен в гидротермальных условиях в щелочной среде при температуре 350° и давлении 900 кГ/см², при длительности опыта 24 часа по методике, описанной в работе (⁷). Природный хризотил был представлен образцом из Баженовского месторождения.

Препараты для электронномикроскопического изучения приготавливали путем суспендирования на диспергаторе УЗДН-1. Образцы природного хризотила, кроме того, предварительно измельчали путем растирания. Полученные препараты, осажденные на дырчатые подложки, просматривали в электронном микроскопе JEM-6A в диапазоне увеличений от 20 000 до 80 000 × при напряжении 80 кВ.

Анализ полученных фотографий позволяет сделать следующие выводы:

1. Природный образец хризотила представляет собой мономинеральный агрегат, состоящий исключительно из трубок хризотил-асбеста (рис. 1а см. вкл. к стр. 919).

В синтетическом образце (рис. 1б) различаются две фазы: а) хризотил-асбестовые трубки и б) плохо оформленные слоисто-чешуйчатые образования.

2. Как природный, так и синтетический хризотил в основном состоит из полых трубок, внутренний диаметр которых равен 80—100 Å, а внешний колеблется в пределах 400—500 Å. Длина отдельного волокна природного хризотила > 0,1 мм (выходит из поля зрения). В то же время для синтетического асбеста не было найдено волокон длиной более 0,005 мм (следует помнить, что синтетический образец не размельчался, и поэтому длина волокна в нем близка к исходной).

3. От природного хризотил-асбеста получены отчетливые картины микродифракции, типичные для клинохризотила с параметром $a = 4,3$ Å вдоль оси трубки (рис. 1 в). Вследствие малой величины трубок синтетического хризотила картины микродифракции от них гораздо менее четко выражены, чем для природных образцов. Тем не менее, характер микродифракции однозначно указывает на принадлежность синтетических образцов также к клинохризотилу.

4. В синтетическом образце можно четко выделить два морфологически различных сорта трубок (рис. 1з): а) толстостенные трубки с малым внутренним диаметром ($d_{\text{внешн}} = 450-500 \text{ \AA}$, $d_{\text{внутр}} = 100 \text{ \AA}$); б) тонкостенные трубки с большим внутренним диаметром ($d_{\text{внешн}} = 200 \text{ \AA}$, $d_{\text{внутр}} = 140-160 \text{ \AA}$).

Если, согласно Яда, полагать, что трубка формируется путем отложения слоя во внутренней и наружной ступеньках свернутого листа, то толстостенные трубки можно трактовать как «старые» (с большим числом витков), а тонкостенные — как более «молодые» (с малым числом витков). Средний диаметр тонкой трубки следует в этом случае считать естественным диаметром сворачивания каолинитового слоя. Для нашего образца он составляет $150-190 \text{ \AA}$, что хорошо совпадает с расчетной величиной (*).

5. На фотографиях синтетического хризотила, снятых при больших увеличениях (рис. 1з), хорошо видно, что трубки обволакиваются веществом, имеющим меньшую плотность, по сравнению с материалом трубки. Можно предположить, что это вещество имеет коллоидное строение и является строительным материалом, из которого формируются трубки. Менее четко подобное обволакивающее трубку вещество выражено и в природных образцах.

6. Многие из трубок (особенно четко это видно на синтетических образцах) заполнены частицами вещества достаточно высокой плотности; в некоторых случаях размеры этих частиц меньше внутреннего диаметра трубок (частицы как бы «прилепились» к стенкам трубок). Природа этих образований пока остается невыясненной.

7. При выдержке хризотилowych трубок под электронным пучком более 30 сек. наблюдается их разрушение; при этом внутренние участки трубки как бы отслаиваются от стенки и слипаются, так что канал исчезает. Одновременно отмечается полное исчезновение дифракционной картины, характерной для хризотила (рис. 2 см. вкл. к стр. 919).

Всесоюзный научно-исследовательский
институт минерального сырья
Москва

Поступило
8 VII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. Pauling, Proc. Nat. Acad. Sci., 16, 453 (1930). ² E. Y. W. Whittaker, Acta crystallogr., 8, 5, 261, 11, 726 (1955). ³ E. Y. W. Whittaker, J. Zussman, Am. Mineral., 43, 9—10, 917 (1958). ⁴ T. F. Bates, F. A. Hildebrand, A. Swineford, Am. Mineral., 35, 463 (1950). ⁵ W. Noll, H. Kircher, Naturwiss., 39, 540 (1952); 37, 158 (1950). ⁶ K. Yada, Acta crystallogr., 23, 704 (1967). ⁷ Н. И. Нестерчук, Т. А. Макарова, А. Д. Федосеев, Зап. Всесоюзн. мин. общ. АН СССР, сер. 2, 95, 75 (1966). ⁸ А. Д. Федосеев, А. Ф. Григорьева, Т. А. Макарова, Волокнистые силикаты, «Наука», 1966. ⁹ Г. С. Грицаенко и др., Методы электронной микроскопии минералов, «Наука», 1969.