

Н. Г. СЕНИНА

РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВОЛОКОН СИНТЕТИЧЕСКОГО АМФИБОЛОВОГО АСБЕСТА

(Представлено академиком В. С. Соболевым 14 I 1974)

К настоящему времени опубликовано всего несколько работ по изучению волокнистых амфиболовых асбестов методами электронной микроскопии. Все работы посвящены исследованиям молекулярной структуры и морфологии кристаллов (^{1, 2}). В то же время, известно, что многие свойства волокон определяются несовершенствами кристаллической решетки, которые представляют также значительный интерес для выяснения микромеханизмов роста нитевидных амфиболов. В данной работе приведены результаты электронно-микроскопического исследования реальной структуры волокон амфиболового асбеста рибекит-арфведсонитового ряда, полученных гидротермальным синтезом при температурах 460–500° С и давлениях 300–500 атм.

Как было установлено ранее (²), волокна амфиболов являются монокристаллами, имеют облик псевдогексагональных призм, габитус которых определяется плоскостями {110}, {010}, {100}. Исследование тонких волокон при помощи трансмиссионной электронной микроскопии показало, что многие кристаллы имеют дефекты структуры, значительно реже наблюдаются совершенные волокна. Все структурные несовершенства, за редким исключением, осевого направления [001]. Анализ дефектов производился специально разработанными методами (³); в основе их лежит использование особенностей микродифракционных картин от амфиболовых волокон. При этом установлено, что в синтетических нитевидных амфиболох присутствуют двойники и дислокации.

Двойникование происходит только по плоскостям (100). Наблюдались макродвойники, состоящие из двух или из трех частей. Граница двойникования непрямолинейна и наблюдается как линия разрыва и смещений большинства экстинкционных контуров (рис. 1). Это указывает на присутствие краевых дислокаций в плоскости двойникования, т. е. на некогерентность двойниковой границы. Однако некоторые контуры данного двойника, состоящие из зеркально симметричных отрезков, не имеют разрыва и сдвига. Таким образом, двойниковая граница в целом состоит как из некогерентных, так из когерентных участков.

Волокна синтетического фтор-арфведсонита часто имеют сложную дислокационную структуру. Наиболее тонкие, изометричные в сечении кристаллы содержат обычно две дислокации в центральной части волокна. Более широкие лентообразные амфиболы имеют несколько дислокаций, расположенных как во всем объеме кристалла, так и в его центре в виде шнура дислокаций (рис. 2а). Тип дислокаций определялся из анализа искажений экстинкционных контуров на линиях дислокаций. При этом разрыв контуров со смещением свидетельствует, по расчетам (⁴), о присутствии краевой компоненты, а плавный изгиб указывает на винтовой характер дислокации. Установлено, что тонкие волокна амфиболового асбеста содержат дислокации следующих типов: 1) винтовые; осевые капилляры; 2) смешанные; 3) расщепленные. Наиболее распространены дислокации винтового типа. Как правило, имеется не одна, а несколько осевых винто-

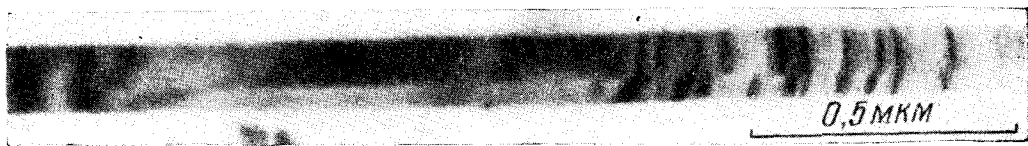


Рис. 1. Искажение изгибных контуров экстинкции на границе двойникования в волокне синтетического амфиболового асбеста

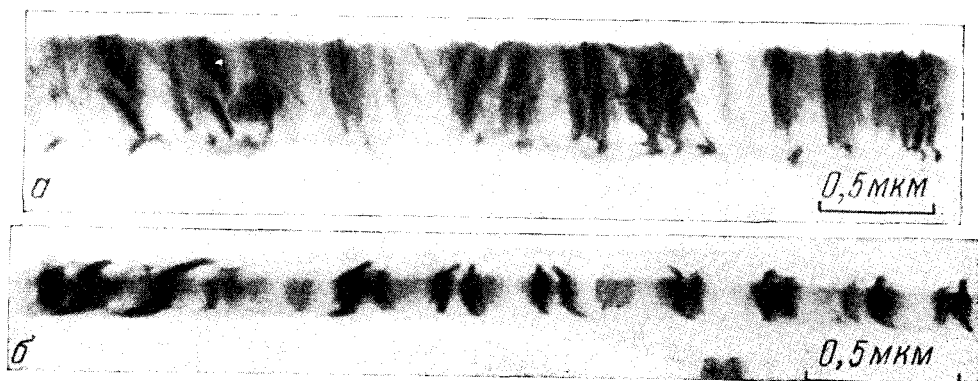


Рис. 2. Дислокационная структура нитевидных амфиболов. *а* — шнур осевых дислокаций смешанного типа в центре уплощенного по (100) волокна; *б* — дислокационные дипольные конфигурации в изометричных волокнах

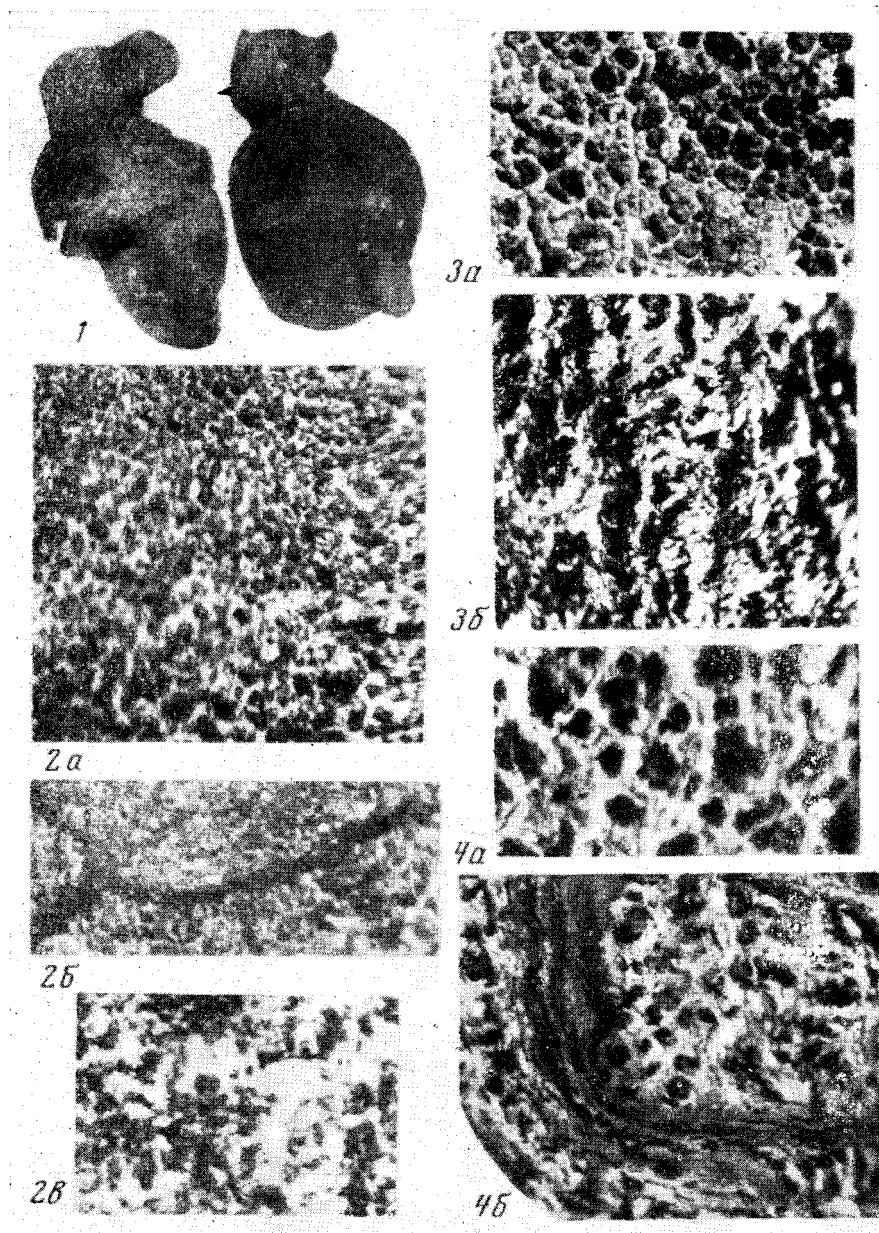


Рис. 1. 1 — сростки конкреций (1,2×); 2а — мелкобугорчатая поверхность одной из многих конкреций Тихого океана (10×); 2б — ходы плесневых грибов на поверхности конкреций (черное), заполненные микроконкрециями (10×); 2в — микроконкреции (черные и темно-серые глобулы) среди глинистого вещества, выполняющего пустотку в центральной части конкреции (10×); 3а — ячеистая структура, появившаяся после обработки поверхности конкреции восстановителем (сфотографировано с напылением, 16×); 3б — поперечный срез конкреции, обработанной восстановителем; черное — пустотки, ранее заполненные скоплениями микроконкреций (16×); 4а — наружная оболочка конкреции после обработки восстановителем; то же, что и на рис. 3а (32×); 4б — срез конкреции; обработка восстановителем; черное — пустотки, ранее выполненные скопления микроконкреций, серое — терригенно-глинистое, слабо железистое вещество (16×)

вых дислокаций. В отдельных волокнах наблюдаются осевые капилляры.

Согласно (3), присутствие осевых капилляров объясняется существованием винтовых дислокаций с большими векторами Бюргерса. Как показали расчеты, проведенные по методике, рассмотренной в (3), векторы Бюргерса в амфиболовых волокнах оказались равными десяткам ангстрем. Их значения приведены в табл. 1, из которой видно, что с точностью до нескольких процентов суммарный вектор Бюргерса равен целому числу параметров решетки c . Это означает, что параллельно оси волокна проходит несколько единичных дислокаций.

Заметное количество кристаллов содержат дислокации смешанного типа, о чем свидетельствуют искажения экстинкционных контуров обоих указанных выше типов (рис. 2а). Чисто красные дислокации наблюдаются в основном либо в сдвойнированных кристаллах, либо в волокнах, имеющих субзеренные границы наклона.

Характерной особенностью дислокационной структуры изометричных амфиболовых волокон являются дислокационные диполи, на что указывает отличие фона внутри диполя от фона всего кристалла (рис. 2б). Противоположный изгиб экстинкционных контуров на дислокациях в диполе указывает на их винтовой характер и подтверждает, что они имеют разные знаки. Дипольная конфигурация стабильна в нитевидных кристаллах, так как действие сил изображения на нее уравновешивается притяжением партнеров. Вследствие малых размеров поперечного сечения исследуемых волокон силы изображения, действующие на единицу длины винтовой дислокации ($f_{из} = \mu b^2/4\pi l$, где l — расстояние линии дислокации от поверхности кристалла), велики. Поэтому присутствие в изометричных волокнах одиночных дислокаций или нескольких осевых дислокаций одного знака маловероятно. Под действием сил изображения отдельные дислокации из положения неустойчивого равновесия будут двигаться к поверхности по плоскостям скольжения (100). Можно ожидать, что в результате такого скольжения в волокнах будут присутствовать дислокационные полупетли, концы которых закреплены на грани (010). Такие полупетли действительно наблюдались в отдельных кристаллах. Однако в уплощенных по (100) волокнах силы изображения, видимо, недостаточно для выхода дислокаций из кристалла путем скольжения. В таких волокнах наблюдаются сложные дислокационные конфигурации в центре (см. рис. 2а). Измерение совокупного вектора Бюргерса таких шнуров свидетельствует о присутствии нескольких винтовых дислокаций одного знака.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
8 I 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Дриц, А. Л. Дмитрик и др., В сборн. Матер. IX Всесоюз. конф. по электронной микроскопии, Изд. АН СССР, 1973, стр. 254. ² Н. Г. Стенина и др., Геология и геофизика, № 5, 144 (1971). ³ Н. Г. Стенина, Д. В. Калинин, В сборн. Матер. IX Всесоюз. конф. по электронной микроскопии, Изд. АН СССР, 1973, стр. 260. ⁴ F. Kroupa, Czechoslov. J. Phys. v. 9, 488 (1959). ⁵ F. C. Frank, Acta crystallogr., v. 4, № 6, 497 (1951).

Таблица 1

Суммарные векторы Бюргерса шнуров близкорасположенных винтовых дислокаций

№№ п.п.	$b, \text{Å}$	$n = \frac{b_{изм}}{b_{ед}}$	$\Delta b/b, \%$
1	27	5	1,5
2	59	11	0,8
3	70	13	1,2
4	11	2	3,4
5	27	5	1,3
6	30	6	6

Примечание. Относительная ошибка $\Delta b/b = \frac{b_{изм} - nb_{ед}}{nb_{ед}} \%$, где $b_{ед}$ — вектор Бюргерса единичной дислокации, n — целое число.