

В. М. ФИНКЕЛЬ, В. А. ФЕДОРОВ

**УПРУГИЙ КАНАЛ РОЗЕ**

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 2 VII 1971)

Явление образования каналов, вызванное конфликтом двойниковых индивидуумов, было впервые обнаружено Розе в 1868 г. <sup>(1)</sup>. Предполагалось существование двух морфологически отличающихся видов: каналы первого рода обусловлены взаимодействием параллельных двойниковых прослоек и представляют полости ромбовидного сечения <sup>(2)</sup>, каналы второго рода — пересечением скрещивающихся двойников. В литературе сведения, относящиеся к каналам Розе, крайне скудны <sup>(3-5)</sup>.

Мы предположили возможность существования в кальците упругих каналов Розе. Исходили из того, что если возможно появление каналов при взаимодействии стационарных двойниковых прослоек, то оно вполне вероятно и при реакции между упругими двойниками.

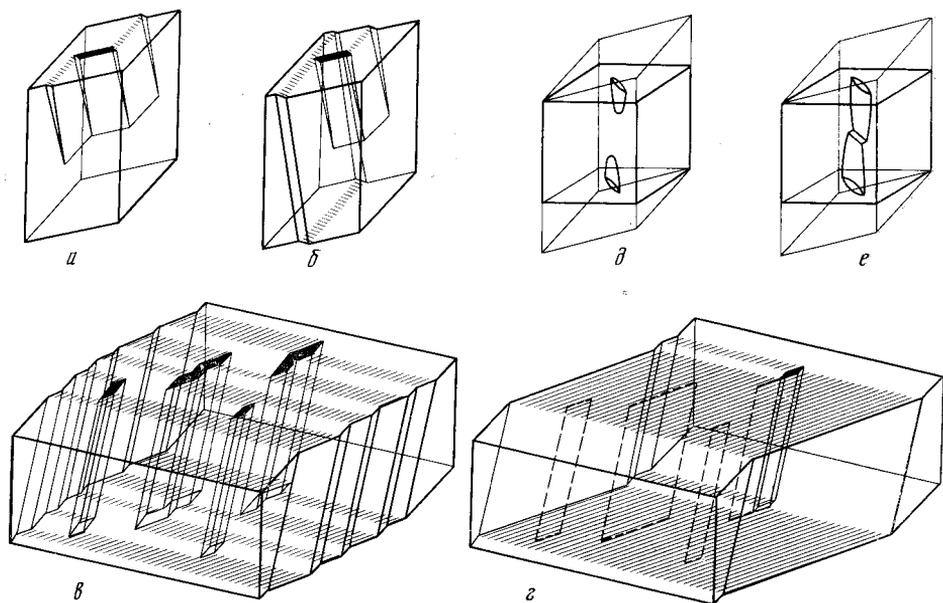


Рис. 1. Схемы образования у.к.Р.: *a* — канал, образованный параллельными упругими двойниками; *b* — канал, образованный парой двойников, из которых один стационарный, а второй — упругий; *c* — полисинтетический двойник с системой каналов Розе; *d* — дальнейшая деформация вызывает слияние отдельных двойниковых ламелей и приводит к исчезновению каналов; *e* — схема получения встречных упругих двойников; *e* — у.к.Р., образованный встречными упругими лепестками

Как известно, упругое двойникование было открыто Р. И. Гарбером <sup>(6)</sup> и неоднократно наблюдалось в различных материалах: в кальците и патронной селитре <sup>(7)</sup>, цинке, висмуте, сурьме <sup>(8-10)</sup> и кремнистом железе <sup>(11)</sup>. Это явление и было положено нами в основу опытов по обнаружению упругих каналов Розе (у.к.Р.).

Использовалось несколько схем нагружения (рис. 1). В первой из них образцы для получения у.к.Р. выкалывались из монокристаллов

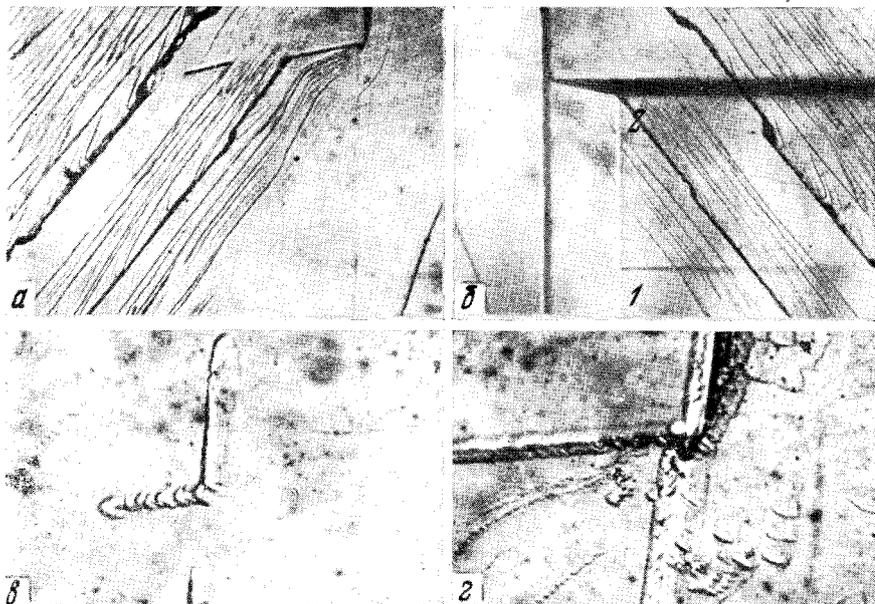


Рис. 2. Вид скола кристалла с у.к.Р. в проходящем свете: *а* — каналы упруго исчезли; *б* — каналы перешли в необратимые; их присутствие подтверждают тени; *в, г* — картина травления упруго исчезнувшего канала выявила строчку дислокаций; *в* — канал 1, *г* — канал 2

исландского шпата в виде призмочек размером  $10 \times 10 \times 30$  мм по плоскостям спайности  $\{100\}$ . Деформирование осуществлялось статическим сжатием в специальных зажимах с рифленной поверхностью. При этом образовывалось довольно много двойников одной ориентации. Среди растущих параллельных прослоек оказываются и такие, которые растут навстречу друг другу и, будучи близкими, способны взаимодействовать (рис. 1*а*). Это приводило к образованию к.Р. первого рода, лежащих в плоскости, нормальной сдвигу. В сечении канал представляет параллелограмм и уходит в глубь кристалла от поверхности зарождения в форме визуально регистрируемого воздушного клина. В проходящем свете он легко наблюдался по интерференционной окраске. После снятия нагрузки упругие двойники и к.Р. исчезали. На прежнем месте существования канала каких-либо оптических изменений не наблюдалось. Скорость роста и исчезновения канала была такой же, как и у упругих двойников, т. е. упругие двойники полностью контролируют образование обратимой полости.

Описанный процесс может носить и необратимый характер, обусловленный, в частности, переходом двойников в стабильную форму, или заклиниванием, связанным с раздроблением материала на поверхности в самом очаге зарождения двойниковой прослойки. В этом случае для получения обратимости применяли два метода: при первом обратимость достигалась изгибными напряжениями всего кристалла, при втором — отсечением трещиной заблокированных участков. Особенно эффективен второй путь, при котором на сколе одной половины кристалла к.Р. носит необратимый характер, а на второй — упругий. На рис. 2 приведены поверхности раскола такого рода. Необратимые каналы Розе видны на них в форме тени, уходящей в глубь матрицы. На рис. 2*а* оба канала, будучи упругими, исчезли.

Образование у.к.Р. как выявилось из эксперимента, можно ожидать не только при конфликте упругих двойников. Его появление возможно в паре стационарная прослойка + заклинившийся упругий двойник

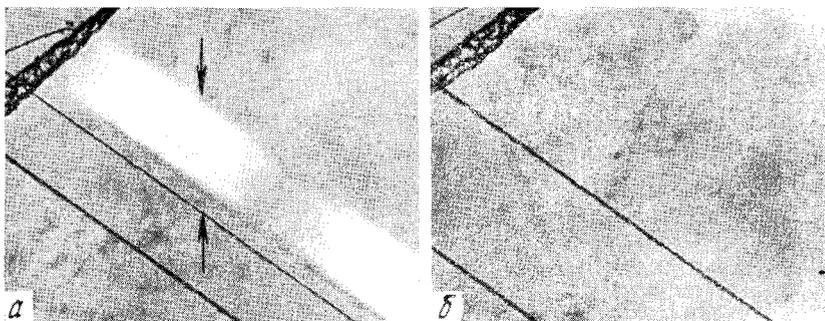


Рис. 3. У.к.Р., имеющий выход на поверхность: *а* — приложена нагрузка. Стрелками указаны упругий двойник и упругий канал; *б* — нагрузка снята (разблокировка). Канал и двойник исчезли

(рис. 1б). Если заклинивания не происходило и тогда исчезновение канала наступало сразу после снятия нагружения. Обратимость же заклинившихся каналов проверялась отсечением места заклинивания трещиной. При этом иногда оказывались незалеченными небольшие области канала, примыкающие к стационарной прослойке.

Одним из способов получения обратимого канала Розе может служить путь создания обилия параллельных двойниковых прослоек, образующих систему, близкую к полисинтетическому двойнику. При этом образуется множество к.Р. (рис. 1в). Механизм смыкания к.Р. в условиях полисинтетического двойникового необычен и не тождествен упругому процессу. Вначале при деформировании появляются двойники и каналы, затем последующее нагружение кристалла вызывает перемещение границ двойников, объединение двойниковых ламелей и образование единой сдвойникованной области (рис. 1г). Таким образом, каналы Розе возникают и исчезают в процессе деформирования и по существу являются органическим элементом всего явления формоизменения кристалла.

Перечисленные возможности наблюдения у.к.Р. носят достаточно случайный характер ввиду того, что каналы могут возникать в совершенно произвольном месте или не образовываться вообще. В целях прицельного получения у.к.Р. была разработана установка, позволяющая ожидать появления у.к.Р. в определенном месте в поле зрения микроскопа и проследить кинетику его образования. В основе методики лежит эксперимент Р. И. Гарбера<sup>(6)</sup>. В нашей схеме два упругих двойниковых индивидуума распространяются навстречу друг другу и при сближении вершин образуют у.к.Р. первого рода (рис. 1д, е). После снятия нагрузки канал исчезает вместе с упругими двойниками (рис. 4). Как видно из рис. 4, сначала возникают упругие двойниковые лепестки, растущие в глубь материала. При их взаимодействии возникает у.к.Р. Разгрузка снимает и двойники, и канал. У.к.Р., исчезая, в некоторой степени задерживает устранение упругих двойников. Опыт проводился в поляризованном свете. При этом двойники проявляются в виде светлых лепестков, а у.к.Р. дает темную полосу — тень.

У.к.Р. может неоднократно воспроизводиться при повторных нагружениях. Место его возникновения стабилизируется, что, по-видимому, связано с нарушениями кристаллической решетки в районе образования.

При образовании к.Р. и у.к.Р. первого рода вскрытие сплошности идет по плоскости спайности. При рассмотрении канала под микроскопом он представляется достаточно контрастной светлой полосой, что связано с отражением света от плоскостей, образующих канал. Это гарантирует высокую надежность при установлении существования или отсутствия канала, если его размер превышает длину волны используемого света.

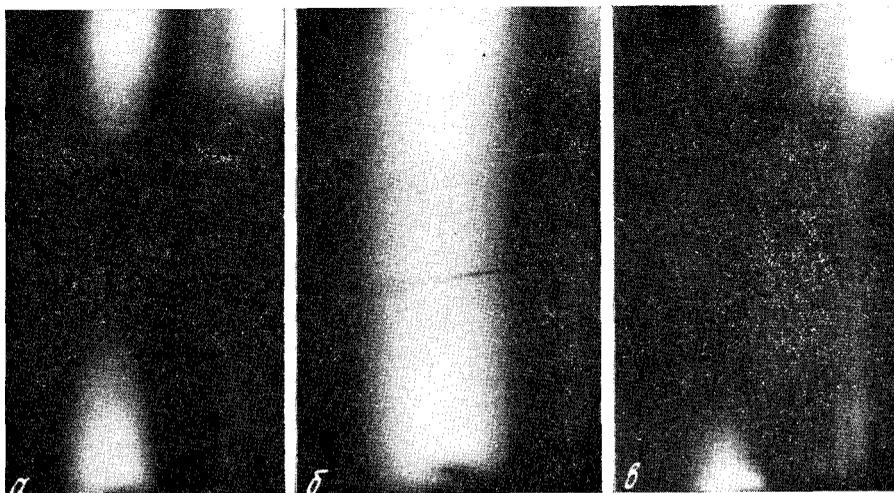


Рис. 4. Образование у.к.Р. встречными упругими двойниками: *a* — появление упругих двойников; *б* — образование у.к.Р. (темная полоса); *в* — дальнейшая разгрузка привела к исчезновению у.к.Р. и упругих двойников

При «схлопывании» у.к.Р. образуются цепочки дислокаций (рис. 2*в*). Это проверялось послойным скалыванием кристалла нормально исчезнувшему каналу и травлением. В месте выхода канала на поверхность кристалла рельеф не менялся. Если канал был вскрыт трещиной, при интерферометрии обнаруживалась ступень. По-видимому, происхождение ступеней обусловлено взаимодействием трещины с реликтовыми дислокациями. Это обстоятельство указывает на винтовой характер последних и, таким образом, на сдвиговые процессы при захлопывании у.к.Р.

Получение у.к.Р., лежащего полностью внутри кристалла (рис. 1*д*, *е*), при отсутствии контакта с атмосферой приводило к полной обратимости, без образования ступеней и дислокаций при последующем расколе.

Травление бывшего полисинтетического конгломерата, превратившегося в ограниченное число крупных макродвойников, приводит к выявлению положения старых границ прослоек и, что более интересно, строчек дислокаций, обрывающихся на этих границах. По виду и ориентации они соответствуют дислокационным картинам, полученным при травлении поверхностей скола с упруго сомкнувшимися каналами Розе. Некоторые данные позволяют предположить, что в этом случае каналы способны «схлопываться», не успев прорасти до поверхности. В теле двойника наблюдаются и необратимые каналы Розе, не залечившиеся по каким-либо причинам.

Тамбовский институт  
химического машиностроения

Поступило  
2 VII 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> G. Rose, Phys. Abh. Akad. Wiss., Berlin, 1868, S. 57. <sup>2</sup> М. В. Классен-Неклюдова, Механическое двойникование кристаллов, Изд. АН СССР, 1960. <sup>3</sup> J. Grochalsky, Moderne Metallkunde, Berlin, 1924. <sup>4</sup> Р. И. Гарбер, И. А. Гиндин и др., ДАН, 110, № 1, 64 (1956). <sup>5</sup> Г. Б. Райс, Изв. высш. учебн. завед., Физика, № 4, 79 (1962). <sup>6</sup> Р. И. Гарбер, ДАН, 21, № 5 (1938). <sup>7</sup> Р. И. Гарбер, Е. И. Степина, ФТТ, 5, № 9, 2656 (1963). <sup>8</sup> В. М. Косевич, В. И. Башмаков, Физ. мет. и металловед., 11, № 1, 100 (1961). <sup>9</sup> В. И. Старцев, В. М. Косевич, ДАН, 101, № 5, 861 (1955). <sup>10</sup> В. И. Старцев, Л. М. Соيفер, ДАН, 134, № 4, 795 (1960). <sup>11</sup> В. М. Финкель, В. А. Зрайченко, В. И. Воронов, ДАН, 160, № 2, 329 (1965).