

## ЗАЛЕЧИВАНИЕ ТРЕЩИН В КВАРЦЕ

**З.А.Котельникова**

Институт литосферы окраинных морей РАН, Москва.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 99-05-65225)

Вестник ОГГГН РАН № 5 (15) 2000 т. 1

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/5-2000/hydroterm19](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/5-2000/hydroterm19)

### Введение

С залечиванием трещин связано образование флюидных включений. Кроме того, упругие и другие физические свойства пород, возможности массопереноса, связаны с геометрией порового пространства и общей пористостью и проницаемостью. Процессы, вызывающие изменение морфологии трещин, могут сказываться и на величине этих характеристик.

Экспериментально изучая ход залечивания трещин в кристаллах каменной соли и квасцов, Леммлейн, [1] показал, что залечивание происходит путем растворения и переосаждения вещества стенок, если в трещину попадает флюид и что раствор является насыщенным относительно стенок и пересыщенным относительно граней, растущих поперек трещины. Смит и Эванс, [2], Котельникова, [3] показали, что залечивание зависит от температуры, состава флюида и ориентации трещины.

Залечивание трещин в силикатной среде может происходить путем диффузии через решетку и транспорта материала матрицы вдоль поверхности твердое-флюид или непосредственно через флюид и не требовать вовлечения нового матричного материала. При этом морфология трещины изменяется.

Существует разность химического потенциала между передвигающимся концом трещины и ее стенками вследствие неровностей поверхности трещин:

$$\Delta\mu = \gamma(C_e - C_m)\Omega,$$

где  $\gamma$  - поверхностная энергия,  $\Omega$  - молекулярный объем,  $C_e$ ,  $C_m$  - кривизна поверхности у перегибов и в средней части соответственно.

Анализ уравнения показывает, что перенос вещества происходит от выпуклых или вогнутых участков с большой кривизной поверхности к выпуклым частям с низкой кривизной.

Разная плотность дислокаций на стенках также является причиной разности химического потенциала (Гегузин и др., [4]).

Гегузин [4] показал, что размер сужающейся поры в термоградиентном поле уменьшается до критического значения:

$$Y_D^* \sim (\nabla T)^{-1/2}$$

В случае залечивания ( $\Delta\mu$ ) эта зависимость является проявлением порогости по отношению к растворению боковых стенок трещины. Практически из этой зависимости вытекает, что чем больше неровностей в трещине, тем мельче образованные включения.

Если плотность дислокаций низка ( $10^5$ - $10^6$  см<sup>-2</sup>), они практически не влияют на перемещение ступени растворения. В случае сильнодислоцированного кристалла можно считать, что дислокаций так много, что они равномерно распределены вдоль поверхности. Ступени растворения (роста) тогда образуются выходами дислокаций и перемещаются эти ступени могут, если расстояние между дислокациями не меньше диаметра критического зародыша.

Никольс и Муллинс [5] показали, что при залечивании трещин с образованием включений по отношению расстояния между включениями к радиусу их  $\lambda/R$  можно судить о преобладании формы массопереноса: при  $\lambda/R=12,96$  имеет место диффузия через кристаллическую решетку, если отношение равно 9,02 - диффузия идет через поровый раствор, при  $\lambda/R=8,89$  преобладает обмен поверхность-флюид.

### Методика эксперимента

Призмы, выпиленные из монокристалла кварца и подвергнутые термудару для получения сети трещин, помещали в платиновую ампулу вместе с флюидообразующей смесью разного состава и выдерживались при высоких температуре и давлении в течение 2-900 часов. Длину залеченного участка определяли по расстоянию от минимальных по размеру включений до открытой части трещины. Измеряли также диаметр наименьших включений и расстояние между ними. Поскольку при таких замерах очень значим субъективный фактор, ошибка при вычислении средней длины залечивания составляет не менее  $\pm 50\%$ . Средняя величина  $\lambda/R$  для 600°C составила 9.0, что отвечает массообмену через флюид.

### Результаты

Замеры длин залечивания показали, что скорость залечивания прямо связана с температурой. Для удобства результаты пересчитаны на время, необходимое для укорочения трещины длиной 100мкм при залечивании в 1М растворе NaCl. При 500°C для этого понадобится около 28 суток. При 700°C - около 2 часов. Поскольку перенос вещества шел через флюид, заполняющий поры, для описания его можно воспользоваться видоизмененной схемой, предложенной Гегузиным и др., [4] для оценки скорости движения включений в термоградиентном поле (тот же тип массопереноса), и дополненной уравнениями

Смита и Эванса [2] для определения времени образования первых включений при залечивании. Длину залеченного участка  $L$  можно определить:

$$L = \Lambda [t \exp(-Q/kT)] / T,$$

где  $\Lambda$  и  $\omega$  - константы, зависящие от начальной геометрии трещины,  $Q$  - энергия активации, для кварца по оценкам Смита и Эванса [2] равна 50 кДж/моль;  $T$  - абсолютная температура,  $k$  - константа Больцмана,  $t$  - время.

Тогда скорость перемещения замыкания трещины ( $v$ ):

$$v = \Lambda [(Q/kT)/T] = \beta \omega (Y - Y^*) (\partial c / \partial T) \Delta T,$$

где  $\beta$  - коэффициент, определяемый экспериментально по углу наклона на графике  $v$ - $R$ . Анализ этих зависимостей говорит: Скорость перемещения замыкания трещины (фактически скорость залечивания) линейно зависит от ширины трещины. Гегузин и др [4] показали, что коэффициент  $\beta$  прямо зависит от плотности дислокаций в кристалле, т. о., залечивание в сильнодислоцированных кристаллах происходит быстрее. Скорость залечивания является функцией температуры, времени и концентрации раствора.

#### Заключение

В природных условиях при повышенных (от 400°C и выше) температурах скорость залечивания трещин в присутствии флюида очень высока. По-видимому, для поддержания пористости и

проницаемости пород нужно предполагать обратный процесс возникновение новых трещин (например, вследствие разного коэффициента расширения минералов и связанных с этим напряжений). Массоперенос осуществляется, в основном, через флюидную фазу. Залечивание происходит тем быстрее, чем выше температура, концентрация соли в поровом растворе и дислоцированность кристалла.

1. Lemmlein G. Sekundare Flüssigkeitseinschlüsse im Mineralen. Zeitschrift für Kristallographie, 1929, 71, N3, 237-256.
2. Smith D., Evans B. Diffusional Crack Healing in Quartz. J. Geophys. Res., 1984, 89, N10, 4125-4135.
3. Котельникова З.А. Изучение фазового состава минералообразующих флюидов методом синтетических включений. Диссерт. на соиск. уч. степ. к. г.-м.н., Москва, 1988, 150 с.
4. Гегузин Я.Е., Кагановский Ю.С., Кружанов В.С. О температурной зависимости равновесной формы кристаллов NaCl. Кристаллография, 1988, т.33, вып.6, с.1495-1498.
5. Nichols F.A., Mullins W.M. Morphological changes of a surface of revolution due to capillarity-induced diffusion. J.Appl.Phys., 1965, v.36, pp.1826-1835.