

УДК 549+548.573,574

ЯВЛЕНИЯ РАСЩЕПЛЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ИХ РОСТЕ — РЕЗУЛЬТАТ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТОВ ШТЕРНБЕРГА—ПУНИНА И РЕБИНДЕРА

Э. М. Спиридонов

Представлено академиком РАН В.В. Ярмолюком 19.03.2017 г.

Поступило 21.03.2017 г.

Рассмотрены причины ростового блокирования, расщепления, скручивания кристаллов. Эти явления — следствие совместного действия эффекта Пунина (суммарной автодеформации из-за межсекториальной гетерометрии, появляющейся при неравномерном захвате примесей разными гранями или их частями) и эффекта Ребиндера (резкого, в несколько раз, снижения прочности поверхностного слоя растущего кристалла, покрытого плёнкой маточного раствора, содержащего поверхностно-активные вещества).

Ключевые слова: расщепление кристаллов, эффект Штернберга—Пунина, эффект Ребиндера.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524855619-620>

Расщепление — довольно обычная особенность роста кристаллов, преимущественно при росте в кинетическом режиме [1–4, 13, 15]. При росте реальный кристалл может стать мозаичным во всём объёме или в отдельных частях. В таком случае пластинки пирамид роста и отдельные части пирамид роста состоят из фрагментов, несколько повёрнутых относительно друг друга. Расщепление, в том числе скручивание, является, в сущности, разновидностью мозаичного роста. Отличительная особенность расщепления — увеличение по мере роста кристалла угла разориентации осей блоков. Блоки — это субиндивиды минерала. Крайний случай расщепления — образование сферокристаллов.

Ранее полагали, что основная причина расщепления — наличие препятствий на поверхности растущего кристалла или включений в них. Многочисленные наблюдения срастаний минералов показали, что это не так. Профессор СПГУ А.А. Штернберг предположил, а профессор того же университета Ю.О. Пунин доказал, что расщепление есть следствие деформаций в приповерхностных участках растущего кристалла, возникших за счёт неравномерного вхождения примесей [5–9, 14, 15]. В результате несколько различаются параметры элементарной ячейки вещества пирамид, секторов, зон роста кристалла и отдельных их участков, возникают ростовая гетерометрия, обусловленные ею внутренние напряжения в кристалле и его автодеформации. Последние вызывают поверхностную рекристалли-

зацию, частично снимающую напряжения и несколько разворачивающую микроблок относительно основного кристалла. Этот микроблок со своей системой дислокаций и центрами роста способен к самостоятельному развитию, что и приводит к формированию субиндивидов — отщеплений. Процесс расщепления возможен только при достижении достаточно большого (критического) пересыщения расщепления, различного для разных минералов и для разных граней одного кристалла, а также для разных веществ, отравляющих рост. Иногда ничтожные добавки примеси в среду кристаллизации снижают критическое пересыщение расщепления. Напряжения, существующие между субиндивидом и матричным кристаллом, порождают новые акты рекристаллизации и зарождение новых блоков, что в конце концов может привести к интенсивному расщеплению с образованием сферокристаллов. Оценка влияния степени пересыщения раствора на явления расщепления кристаллов во время их роста на примере кристаллов гипса: при увеличении степени пересыщения от 1,5 до 2% и далее до 3% доля расщеплённых кристаллов увеличивается соответственно от 45 до 60% и далее до 95% [12].

Важнейшую роль в процессах блокирования—расщепления может иметь эффект академика П.А. Ребиндера, открытый им в 1928 г. [10, 11], — резкое, в несколько раз, снижение прочности поверхностного слоя кристалла, покрытого плёнкой маточной среды кристаллизации с примесью поверхностно-активных веществ (нафтидов, битумоидов и т.д.). “Поверхностные явления в твёрдых телах особенно ярко и своеобразно проявляются в процессах их де-

формации и разрушения в поверхностно-активных средах. Сюда относятся разнообразные эффекты облегчения пластического течения и понижения прочности вследствие обратимого физико-химического влияния среды, состоящего в понижении удельной свободной поверхностной энергии твёрдого тела, т.е. работы образования его новых поверхностей *in statu nascendi* (в момент возникновения) в процессах деформации и разрушения. Отличительная особенность этих явлений заключается в том, что они наблюдаются только при совместном действии среды и определённого напряжённого состояния” [11].

Представляется, что в большинстве случаев именно эффект Ребиндера и даёт возможность реализации эффекта Пунина. Яркий пример этого — расщепление и скручивание кварца в хрусталоносных альпийских жилах Приполярного Урала. В расположенных рядом жилах в одних совершенно нет битумоидов и нет скрученных кристаллов горного хрусталя и дымчатого кварца. В других флюид содержал ничтожные количества битумоидов (запах нефти), именно в этих жилах широко развиты скрученные кристаллы горного хрусталя и дымчатого кварца. Очевидно, что здесь имело место природное проявление эффекта Ребиндера.

Итак, явления расщепления и скручивания кристаллов — следствие совместного действия эффекта Пунина: суммарной автодеформации из-за межсекториальной гетерометрии, появляющейся при неравномерном захвате примесей разными гранями или их частями, и эффекта Ребиндера: резкого, в несколько раз, снижения прочности поверхностного слоя растущего кристалла, покрытого плёнкой маточного раствора, содержащего поверхностно-активные вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болдырев А.К., Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н. и др.* Курс минералогии. М.; Л.: ОНТИ, 1936. 978 с.
2. *Григорьев Д.П., Жабин А.Г.* Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.
3. *Дымков Ю.М.* Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: Недра, 1985. 207 с.
4. *Краснова Н.И., Петров Т.Г.* Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб.: Невский курьер, 1997. 228 с.
5. *Пунин Ю.О.* // Зап. ВМО. 1981. Ч. 110. В. 6. С. 666–686.
6. *Пунин Ю.О.* // Минерал. журн. 1989. Т. 11. № 1. С. 92–98.
7. *Пунин Ю.О., Иванова Т.Я., Артамонова О.И.* // Вестн. СПбГУ. Сер. Геология и география. 1996. С. 61–65.
8. *Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н., Макагонова Ю.Е., Соколов Б.П.* // Зап. ВМО. 1997. Ч. 126. В. 2. С. 23–36.
9. *Пунин Ю.О., Штукенберг А.Г.* Автодеформационные дефекты кристаллов. СПб.: СПбГУ, 2008. 318 с.
10. *Ребиндер П.А.* Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1978. 384 с.
11. *Ребиндер П.А., Шукин Е.Д.* // УФН. 1972. Т. 108. В. 1. С. 3–42.
12. *Руссо Г.В.* // Зап. ВМО. 1981. Ч. 110. В. 2. С. 167–171.
13. *Соколов П.Б., Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н. и др.* // Минерал. журн. 1987. Т. 9. № 1. С. 55–63.
14. *Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О.* Оптические аномалии в кристаллах. СПб.: Наука, 2004. 264 с.
15. *Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н.* // Зап. ВМО. 1993. Ч. 122. В. 5. С. 53–63.

PHENOMENA OF CRYSTAL SPLITTING DURING GROWTH AS A RESULT OF THE STERNBERG—PUNIN AND REBINDER EFFECTS

E. M. Spiridonov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS V.V. Yarmolyuk March 19, 2017

Received March 21, 2017

The causes of growth blocking, splitting, twisting of crystals are considered. These phenomena are the result of the combined effect of the Punin effect (total autodeformation due to intersectorial heterometry, appearing when impurities are unequally captured by different faces or their parts) and the Rehbinder effect (a sharp decrease in the strength of the surface layer of a growing crystal several times covered by a film of mother solution containing active substances).

Keywords: crystal splitting, Sternberg—Punin effects, Rebinde effects.