

УДК 531 (075.8)

Л. А. ГОЛДОБИНА<sup>1</sup>, П. С. ОРЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург, Россия,

<sup>2</sup>Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Россия

## МЕХАНИКА ЖЕСТКОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Представлена уточненная модель кристаллической решетки, объясняющая высокую прочность и устойчивость твердого тела. Использована аналогия между связями атомов в решетке и стержнями фермы.

Из курса геометрии любой школьник знает, что геометрически неизменяемой и жесткой плоской конструкцией является только треугольник. Любой четырехугольник не может сохранить неизменным свои очертания, если в его конструкцию не включена диагональ и не может остаться плоским, если отсутствует вторая диагональ. Теоретическая и строительная механики прочно закрепляют это в сознании любого студента. Но школьник, изучая физику, не видит в строении кристаллической решетки элементов жесткости, не видит их и студент при изучении кристаллографии и материаловедения, а современная физика не может убедительно объяснить высокой прочности кристаллов, не обладающих для этого никакими наблюдаемыми физическими возможностями.

В соответствии с современными взглядами атомы и ионы в узлах кристаллической решетки связаны между собой прочными межатомными связями. Если же внимательно рассмотреть модели предлагаемых систем (сингоний) кристаллических решеток, то становится очевидным, что подавляющее их большинство (в том числе и решетка алмаза – одного из самых прочных материалов современности) не может самостоятельно сохранять свою форму, так как пространственный каркас подавляющего большинства предлагаемых кристаллографией решеток не имеет элементов жесткости, которыми в строительной механике являются диагональные связи плоских и пространственных рам.

Простейшей кристаллической решеткой, предлагаемой кристаллографией, является кубическая решетка галита – каменной соли NaCl. В ней ионы одновалентных элементов натрия Na<sup>+</sup> и хлора Cl<sup>-</sup> попеременно располагаются в углах кубов, из которых состоит массив галита (рисунок 1) [1].

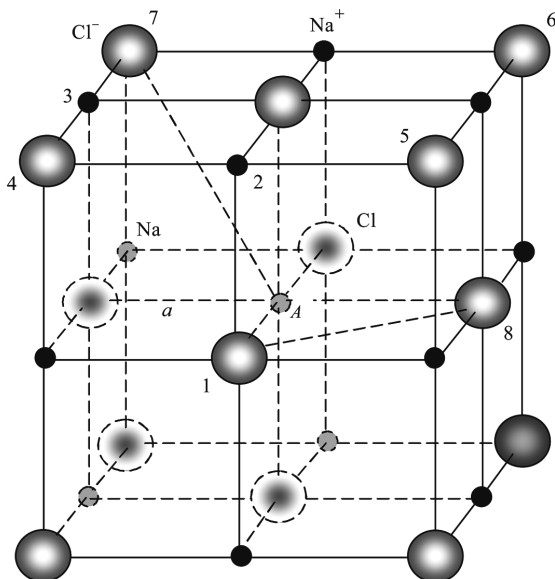


Рисунок 1 – Кристаллическая решетка галита (сингония кубическая); условно показана одна короткая диагональ 1–8 длиной  $a\sqrt{2}$  и одна длинная А–7 ( $\text{Cl}^-$ ) длиной  $a\sqrt{3}$

Если бы натрий и хлор были многовалентными элементами, то можно было предполагать, что межатомные связи следует считать «вмороженными» в узлы кристаллической решетки, а их взаимное пространственное положение определяется ограничениями, накладываемыми взаимным расположением валентных электронов на орбитах атомов. Но и натрий и хлор одновалентны, а связи в этой кристаллической решетке могут осуществляться только путем последовательного «опроса» в пространстве валентным электроном любого атома своих соседей, расположенных в узлах кристаллической решетки. И если связи между узлами решетки ограничиваются только ближним (ближайшим) порядком – по ребрам куба, то подобная кристаллическая решетка обязательно должна сложиться под собственным весом, так как в принципе не может сохранить свою форму (как любая жидкость, принимающая под действием силы тяжести форму сосуда, в который она помещена).

Но каменная соль – твердый и прочный материал, который не рассыпается, словно дробь, и не образует пирамиду, как гантели на горизонтальной поверхности из связанных попарно натрия и хлора.

Аналогичная картина наблюдается при рассмотрении объемно центрированной кубической кристаллической решетки  $\alpha$ -железа, соответствующей строению большинства конструкционных сталей. Подобная решетка состоит

из 6 полуоктаэдров, имеющих одну общую вершину  $A$ , расположенную в центре куба. Квадратные основания полуоктаэдров являются гранями объемно центрированного куба и также не представляют жесткую конструкцию (рисунок 2) при отсутствии диагоналей граней.

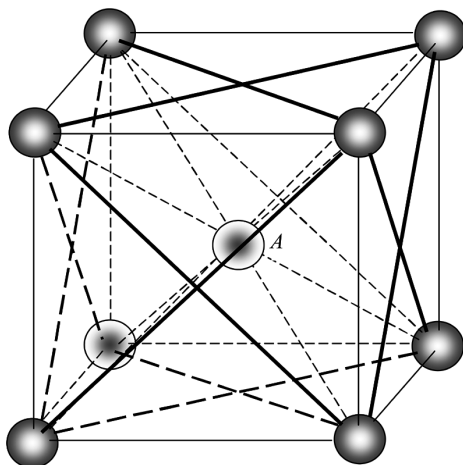


Рисунок 2 – Уточненное строение кристаллической решетки  $\alpha$ -железа (сингония кубическая объемно центрированная).  
Условно не показана одна диагональ на задней грани куба

Причина, по которой кристаллография не показывает диагональных связей, понятна: все изображаемые связи решетки минимально достаточны, чтобы показать взаимное пространственное положение атомов в кристалле твердого тела. Все связи кристаллография показывает только тогда, когда необходимо объяснить дырочную или электронную проводимость полупроводниковых материалов [2], или в том случае, когда их не показать просто невозможно, например, при описании строения цементита с октаэдрической упаковкой атомов [3]. Но в модели призматического варианта строения структуры цементита связи по граням призм современная кристаллография не показывает.

Не могут современные кристаллография и материаловедение объяснить почему сталь, которая состоит из  $\alpha$ -железа с ее объемно центрированной кубической решеткой, также представляемой без диагональных связей по граням куба (без которых твердое тело не может сохранить свою форму), значительно прочнее  $\gamma$ -железа (аустенита), имеющего диагонали по граням, формально обеспечивающие кристаллической решетке необходимую жесткость.

В процессе разработки модели межатомных связей в твердом теле авторами была предложена уточненная модель строения кристаллической ре-

шетки [4, 5], учитывающая наличие коротких и длинных диагональных связей, которые проходят по граням и между наиболее удаленными вершинами элементарного куба (для кристаллической кубической решетки водорода, галита).

Исходя из предложенной уточненной модели строения кристаллической решетки каждый ион, расположенный в узле решетки галита (например ион  $\text{Na}^+$ , обозначенный буквой  $A$  на рисунке 1), последовательно поочередно опрашивает по 4 иона хлора, расположенных по ребрам кубов, а также натрия по коротким диагоналям граней кубов в горизонтальной плоскости, проходящей через узлы  $A$  и 1.

Окончив опрос в горизонтальной плоскости, ион  $\text{Na}^+$   $A$  опрашивает узлы кристаллической решетки в двух вертикальных плоскостях, проходящих через узлы  $A$  и 2, а также  $A$  и 3.

Затем идет опрос в двух вертикальных диагональных плоскостях и в четырех наклонных диагональных плоскостях по длинным диагональным связям между узлом  $A$  и вершинами кубов, по коротким диагоналям и по ребрам кубов, проходящих через узел  $A$  – всего восемь связей в каждой из плоскостей, проходящих через узлы  $A$  и 4–6,  $A$  и 5–7,  $A$  и 5–6,  $A$  и 4–7,  $A$  и 4–5,  $A$  и 6–7.

Связи по ребрам куба  $a$  самые короткие, они не могут укорачиваться и определяют прочность кристалла на сжатие. Короткие связи имеют возможность удлиняться вследствие увеличения амплитуды колебательного процесса при повышении температуры или при приложении внешних нагрузок.

Наличие коротких диагоналей, проходящих по граням кубов, свидетельствует о превращении газообразного вещества в жидкость. Формально короткие диагонали могут укорачиваться до достижения длины короткой связи и удлиняться до достижения размера длинной диагонали куба.

Длинные диагональные связи – это связи центрального иона натрия  $A$  между вершинами кубов хлора (рисунок 1) – с восемью наиболее удаленными ионами. Наличие длинных диагональных связей свидетельствуют о том, что жидкость превратилась в твердое тело. Длинные диагонали самые прочные и именно они, совместно с короткими диагоналями, определяют прочность на растяжение и способствуют фазовому переходу, так как вследствие периодичности опросов связей длинная диагональ сильно искажает кристаллическую решетку. А так как в любой из моментов времени часть атомов кристаллической решетки не взаимодействуют между собой, то в результате температурных колебаний, наложенных на искажения геометрии решетки, атомы успевают «убежать» из узлов на расстояние, превышающее длину связей, в результате чего происходит фазовый переход. Длинные диагонали имеют почти предельно возможную длину. Несмотря на то, что формально длинные диагонали могут укорачиваться до длины коротких связей, сделать

это без разрушения твердого тела они не могут, так как укорочение одной длинной диагонали в плоскости связи влечет за собой удлинение второй длинной диагонали, расположенной в плоскости укоротившейся диагонали, а последняя в силу предельности своей длины значительно удлиниться не может, что обеспечивает сохранение формы твердого тела.

Осуществление опроса атомом  $A$  своих соседей не является запретом к опросу окружающего пространства другими атомами объема, но, для того чтобы эти опросы не мешали друг другу, они должны быть строго синхронизированы. Незначительное нарушение синхронизации опроса ведет к обособлению объема – появляются блоки и фрагменты. Значительное нарушение синхронизации опроса делит компактный объем на кристаллы и кристаллиты.

Периодичность осуществления связей, в процессе которых атомы периодически подтягиваются друг к другу, неизбежно ведет к появлению колебательных процессов, поэтому конденсированное состояние вещества (и твердого тела в том числе) может существовать только при наличии нулевых колебаний, подтверждая выводы квантовой физики [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бунин, К. П.** Металлография / К. П. Бунин, А. А. Баранов. – М.: Металлургия, 1970. – 256 с.

2 **Голдобина, Л. А.** Элементы жесткости кристаллической решетки твердого тела / Л. А. Голдобина, В. П. Гусев, П. С. Орлов // Фундаментальные и прикладные исследования. Проблемы и результаты: сб. материалов VI Международной науч.-практ. конф. – Новосибирск: ЦРНС, 2013. – С. 153–171.

3 **Гранитов, Г. И.** Физика полупроводников и полупроводниковые приборы / Г. И. Гранитов. – М.: Советское радио, 1977. – 184 с.

4 **Гусев, В. П.** Описание структур бериллия (новые модельные представления) / В. П. Гусев, П. С. Орлов, А. А. Земсков // Физическая мысль России. – 2003. – № 1. – С. 101–104.

5 **Орлов, П. С.** Уточненная модель кристаллической решетки твердого тела / П. С. Орлов // Механика и процессы управления. Т. 1. Труды XXXIX Уральского семинара. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2004. – С. 137–144.

6 **Юбельт, Р.** Определитель минералов / Р. Юбельт. – М.: Мир, 1978. – 327 с.

*L. A. GOLDOBINA, P. S. ORLOV*

#### STIFFNESS MECHANICS OF THE SOLID BODY CRYSTAL LATTICE

It is presented the refined model of the crystal lattice, which determines the high strength and stability of the solid body. The analogy between the atoms in the lattice and rods in the truss is used.

Получено 29.08.2014