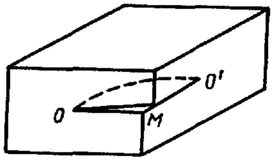


Рис. 3.11. Образование смешанной дислокации.

вектору сдвига. Кристалл в этом случае можно представить состоящим из одной атомной плоскости, «закрученной» вокруг дислокации 00′, как винтовая лестница (рис. 3.10, б). Такая дислокация была названа *винтовой*.

Рассмотрим теперь случай, когда зона сдвига ограничена внутри кристалла не прямой линией, а произвольной кривой (рис. 3.11). Линия 00′ на рис. 3.11 представляет собой криволинейную дислокацию. В точке 0 дислокация параллельна вектору сдвига и, следовательно, имеет винтовой характер. В точке 0′ линия дислокации перпендикулярна вектору сдвига, т. е. имеет краевую ориентацию. Такие дислокации получили название *смешанных*.

Для обозначения дислокации общего вида принят символ $\perp$. В случае краевой дислокации «ножка» этого символа направлена в сторону расположения избыточного материала, как показано на рис. 3.9.

### 3.7. КОНТУР И ВЕКТОР БЮРГЕРСА

Одной из важнейших характеристик дислокации является вектор смещения — *вектор Бюргерса* $\vec{b}$, определяемый следующим образом.

Рассмотрим две кристаллические решетки: одну реальную, содержащую дефекты различного типа, и другую — идеальную, не содержащую никаких дефектов. Предположим, что в реальной решетке имеются только искажения, вызванные упругими деформациями, тепловыми колебаниями атомов и т. п. В этом случае, несмотря на некоторые нарушения структуры, можно безошибочно указать, к каким узлам решетки идеального кристалла относятся соответствующие атомы в реальном кристалле. Взаимно однозначное соответствие между атомами реального и идеального кристаллов можно установить и при наличии в реальном кристалле точечных дефектов. При этом в ряде мест реальной решетки атомы могут отсутствовать, в каких-то местах могут появиться лишние атомы, но в остальном она будет совпадать с идеальной. Любую область реального кристалла, где можно установить взаимно однозначное соответствие с идеальным кристаллом, называют областью *хорошего кристалла*. Участки, где такое соответствие установить нельзя, называют областью *плохого кристалла*.

*Контуром Бюргерса* называют замкнутый контур произвольной формы, построенный в реальном кристалле, так, что от атома к атому переходят последовательно, не выходя из области хорошего кристалла. Устанавливая взаимно однозначное соответствие между точками контура в реальном кристалле и соответствующими точками в идеальном кристалле, мы можем построить аналогичный контур в идеальной решетке. Если в реальном кристалле контур проведен вокруг дислокации (рис. 3.12, а), то соответствующий контур в идеальном кристалле оказывается разомкнутым (рис. 3.12, б). Чтобы замкнуть этот контур, его необходимо дополнить вектором $\vec{b}$ (рис. 3.12, б), называемым вектором Бюргерса. Направление вектора Бюргерса определяется следующими двумя условиями:

1) если положительное направление дислокации выбрано (произвольно), то обход контура Бюргерса определяется по правилу правого винта;

2) вектор Бюргерса направлен от конечной точки $B$ к начальной точке $A$ (рис. 3.12, б). На рис. 3.12, а за положительное направление дислокации принято направление единичного вектора $\vec{l}$, касательного к линии дислокации и направленного за плоскость листа.

Можно дать и другое, эквивалентное определение вектора Бюргерса. В реальном кристалле (рис. 3.13, б) проведем по правилу правого винта контур, который был бы замкнутым в идеальном исходном кристалле (рис. 3.13, а). Замыкающий вектор $AB$ представляет собой вектор Бюргерса.

Поскольку дислокация является границей области пластического сдвига в кристалле, вектор Бюргерса есть не что иное, как вектор сдвига.

Построение контура Бюргерса для винтовой дислокации показано на рис. 3.14.

Вектор Бюргерса краевой дислокации перпендикулярен линии дислокации. В случае винтовой дислокации вектор $\vec{b}$ параллелен линии дислокации.

Контур Бюргерса может быть смещен вдоль дислокации, растянут или сжат в направлении, перпендикулярном линии

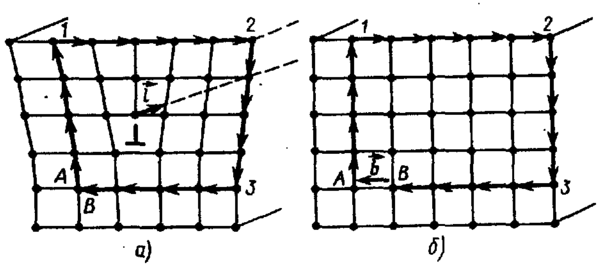


Рис. 3.12. Контур Бюргерса в реальном (*а*) и исходном идеальном кристалле (*б*).

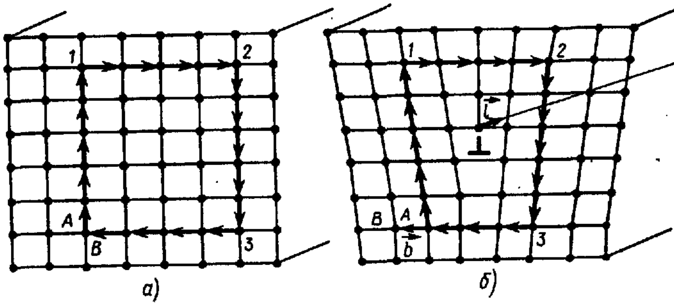


Рис. 3.13. Второе построение контура и вектора Бюргерса

дислокации; при этом вектор Бюргерса остается постоянным. Вектор Бюргерса может измениться только в том случае, если при перемещении контура в новое положение он пересечет участок плохого кристалла. Следовательно, *дислокация вдоль всей своей длины имеет постоянный вектор Бюргерса, а значит, она не может оборваться нигде внутри кристалла.* Обрыв дислокации может быть только на поверхности кристалла, на межкристаллитной границе, на другой дислокации. Чаще всего дислокации образуют в кристалле замкнутые петли или взаимосвязанную сетку (рис. 3.15). Из приведенного выше определения вектора Бюргерса следует также, что *вектор Бюргерса для контура, замыкающегося вокруг нескольких дислокаций, равен сумме векторов Бюргерса отдельных дислокаций.*

Если дислокация с вектором Бюргерса $\vec{b}_1$ разделяется внутри кристалла на несколько дислокаций с векторами Бюргерса $\vec{b}_2$, $\vec{b}_3$, ..., $\vec{b}_n$ (рис. 3.16), то обязательно выполняется условие

$$\vec{b}_1=\vec{b}_2+\vec{b}_3+\ldots+\vec{b}_n.$$

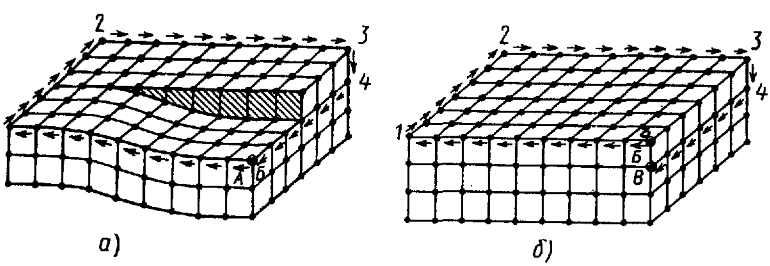


Рис. 3.14. Контур Бюргерса винтовой дислокации: *а* — реальный, *б* — идеальный кристалл.

Рис. 3.15. Сетка дислокаций в кристалле

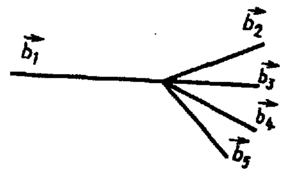


Рис. 3.16. Дислокационный узел

Если все единичные векторы $\vec{l}$, определяющие направление дислокаций, считать выходящими из дислокационного узла, то

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{b}_i = 0, \qquad (3.30)$$

т. е. имеется очевидная аналогия с законом Кирхгофа для электрического тока.

В кристаллах могут существовать и такие линейные дефекты, как цепочки вакансий или междоузельных атомов. Ясно, что контур Бюргерса, проведенный вокруг области, содержащей такую цепочку точечных дефектов, не отличается от соответствующего контура Бюргерса, проведенного вокруг бездефектной области. Другими словами, для цепочки точечных дефектов вектор Бюргерса равен нулю и отличен от нуля только для дислокаций.

Вектор Бюргерса всегда является одним из векторов трансляций решетки. Поэтому его модуль и направление ограничены рядом дискретных значений, определяемых структурой кристалла.

## 3.8. НАПРЯЖЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДИСЛОКАЦИИ В СОВЕРШЕННОМ КРИСТАЛЛЕ

Для того, чтобы образовать дислокацию в совершенном кристалле, нужно, как мы видели, произвести сдвиг. в некоторой части плоскости скольжения. Следовательно, для определения напряжений, необходимых для образования дислокации, нужно вычислить величину $\tau_{теор}$ — прочность сдвига в совершенном кристалле. Эту величину называют также скалывающим напряжением. Наиболее простой способ вычисления $\tau_{теор}$ был предложен Френкелем.

Рассмотрим простую прямоугольную решетку и обозначим $x$ смещение, соответствующее приложенному напряжению сдви-