

Е. В. КОЛОНЦОВА

ДИФфузное РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННЫМИ МОНОКРИСТАЛЛАМИ АЛЮМИНИЯ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 12 IX 1950)

При исследовании пластически деформированных кристаллов, когда в кристалле можно ожидать нарушения правильности кристаллической решетки, а следовательно, и изменения связей между отдельными атомами и, возможно, между группами атомов, очень важно иметь возможность наблюдать за динамикой кристаллической решетки. Изучение диффузного рассеяния рентгеновских лучей позволяет это сделать ⁽¹⁾.

В данной работе изучались картины диффузного рассеяния от неподвижных недеформированных и деформированных монокристаллов алюминия на монохроматическом излучении. Монохроматизация излучения, а также использование монокристаллов дает возможность наблюдать распределение интенсивности диффузного рассеяния в чистом виде без усреднения, которое имеет место в случае поликристаллических образцов или использования „белого“ спектра рентгеновских лучей.

Путем разработки методики монохроматизации излучения, выбора кристалла, используемого в монохроматоре, конструкции специальной „светосильной“ камеры, подбора фотоматериалов и усиливающих экранов удалось довести экспозицию снимка с отчетливой картиной диффузного рассеяния на монохроматическом излучении K_{α} Rh до 5—10 час. (по сравнению с обычной 100—150-часовой экспозицией при $V = 47$ кв и $I = 10$ ма). Подробно конструкция монохроматора для жесткого излучения и методика работы описаны в ⁽²⁾.

Для разделения картин диффузного рассеяния, одной — связанной с местными нарушениями правильности кристаллической решетки, и другой — обусловленной изменением динамики решетки, проводилась съемка также при пониженных температурах в специально сконструированной разборной вакуумной камере. В этой камере охлаждение образца осуществляется с помощью теплового контакта с охлажденным газом, и при работе с жидким азотом температура образца не превышает 82—83° К. Камера позволяет проводить съемку ориентированных монокристаллов на монохроматическом излучении. При конструировании была предусмотрена возможность контролировать постоянство дозы рентгеновской энергии, что очень существенно при сравнении интенсивности различных снимков.

Анализ рентгенограмм, полученных с недеформированных монокристаллов алюминия на монохроматическом излучении при различных ориентировках образца, показал, что форма диффузных максимумов — «тепловых пятен» — примерно круглая и существенно не изменяется

с изменением ориентировки монокристаллов (рис. 1, см. вклейку). При понижении температуры кристалла от комнатной до $82-83^\circ\text{K}$ интенсивность картин диффузного рассеяния значительно уменьшается (см. рис. 2)*.

Фотометрирование показывает, что интенсивность диффузных максимумов уменьшается в 2 раза. Однако и тепловые пятна, и нерадиальные штрихи, образующие сетку на рентгенограмме (см. рис. 1), наблюдаются еще довольно отчетливо.

Изучение влияния правильности кристаллической решетки и нарушения ее в процессе пластической деформации было начато с рассмотрения промежуточного случая — исследования недеформированных монокристаллов алюминия, обладающих различной степенью совершенства кристаллической решетки. Качество кристалла проверялось как с помощью рентгенографических методов, так и с помощью электронного микроскопа. Исследование показало, что картины диффузного рассеяния не различаются ни по форме тепловых пятен, ни по величине, ни по интенсивности.

При малых деформациях монокристаллов технически чистого алюминия (порядка $1-1,5\%$ по удлинению) картина диффузного рассеяния также не меняется, несмотря на то, что отдельные селективные максимумы слегка расширяются. При увеличении степени деформации до $4-5\%$ наблюдается изменение формы и интенсивности диффузных максимумов (см. рис. 3). Если обозначить протяженность ** области рассеяния в направлении вектора обратной решетки через δ_0 , в направлении перпендикулярном, но лежащем в плоскости, проходящей через первичный пучок, через $\delta_{\parallel}$, а в направлении, перпендикулярном этой плоскости, через $\delta_{\perp}$, то отношение $\delta_{\parallel}/\delta_0$ для деформированного кристалла увеличивается по сравнению с недеформированным примерно в 2 раза. Для недеформированного монокристалла отношение $\delta_{\parallel}/\delta_0$ примерно равно единице. Протяженность области интенсивности в пространстве обратной решетки в третьем направлении ($\delta_{\perp}$) также изменяется.

Установлено, что при деформации $4-5\%$ наблюдается растяжение и в этом направлении примерно в 2 раза по сравнению с недеформированным образцом. Кроме того, при деформации интенсивность диффузных пятен увеличивается.

Изменение формы и увеличение интенсивности диффузных максимумов по мере увеличения степени деформации становится заметным прежде всего на диффузном максимуме, соответствующем узлу $[[111]]$ в обратной решетке; это существенно, поскольку плоскость (111) в кристаллах алюминия является плоскостью скольжения.

При понижении температуры деформированного кристалла от комнатной до $82-83^\circ\text{K}$ интенсивность диффузных максимумов уменьшается (см. рис. 3) так же, как в случае недеформированных кристаллов (примерно в 2 раза), а форма их не изменяется.

Сравнение картин диффузного рассеяния недеформированных моно-

* Несмотря на то, что работа проводилась в основном на мономатическом излучении, в некоторых случаях приводятся рентгенограммы, полученные на смешанном излучении ($K\alpha\text{Rh}$ на фоне белого спектра). Наличие на таких снимках селективных максимумов дает возможность более наглядно иллюстрировать температурную зависимость интенсивности диффузных максимумов. Из сравнений соответствующих пар снимков (при $T = 293^\circ\text{K}$ и $T = 83^\circ\text{K}$) хорошо видно, что при понижении температуры интенсивность диффузных пятен уменьшается, тогда как интенсивность селективных максимумов увеличивается.

** Под протяженностью области рассеяния в данном направлении мы понимаем расстояние между соответствующими точками некоторой выбранной изодиффузной поверхности. Изодиффузную поверхность можно получить, если соединить в пространстве обратной решетки точки, которым соответствует диффузное рассеяние одинаковой интенсивности.

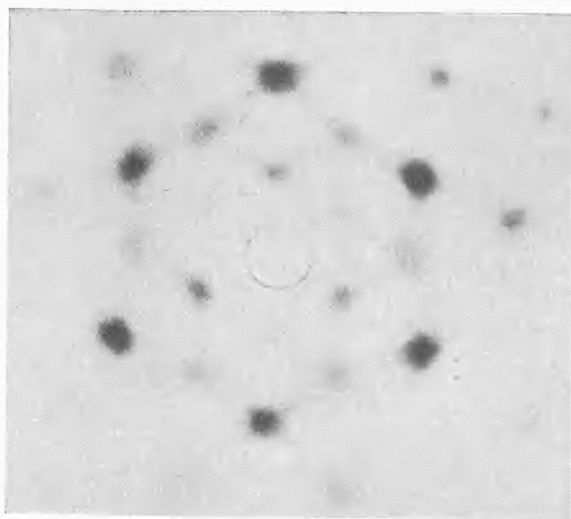


Рис. 1. Рентгенограмма недеформированного монокристалла алюминия на монохроматическом излучении (K_{α} Rh). Луч параллелен [111]

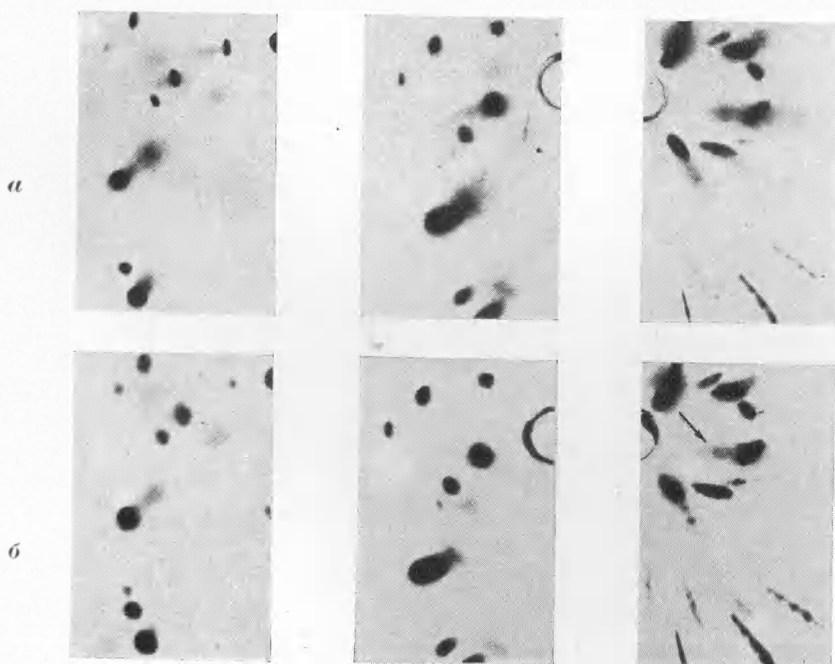


Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

Рис. 2. Участок зоны (110), зафиксированный на плоскую пленку с недеформированного монокристалла технически чистого алюминия (K_{α} Rh на фоне белого спектра)

Рис. 3. То же с монокристалла технически чистого алюминия, деформированного на 3—4%. Из сравнения с рис. 2 хорошо видно изменение формы диффузных пятен

Рис. 4. Часть рентгенограммы чистого алюминия (99,99%), деформированного на 6—8%. Направление луча составляет 10° с направлением [110].

На низкотемпературном снимке на фоне диффузных пятен хорошо видны штрихи (отмечены стрелкой). Причины появления таких штрихов будут рассмотрены отдельно:
 а — при комнатной температуре: б — при температуре 82 — 83° K

кристаллов технически чистого алюминия и чистого алюминия (99, 99%) показало, что картины диффузного рассеяния в обоих случаях одинаковы. При деформации монокристаллов чистого алюминия растяжением до 8—10%, в отличие от технически чистого алюминия, не наблюдается изменения формы и интенсивности диффузных максимумов. Поведение селективных максимумов при деформации монокристаллов чистого алюминия также отличается по характеру от технически чистого алюминия. Для чистого алюминия селективные максимумы на этой стадии деформации имеют ярко выраженную «стратообразную» структуру, т. е. наблюдается как бы квазипериодическое изменение интенсивности по всей длине селективного максимума (см. рис. 4). Такое раздробление селективных максимумов при малых степенях деформации (порядка 2%) кристаллов алюминия наблюдалось и другими исследователями (3).

Интерпретация полученных результатов, естественно, должна основываться на той или иной теории явлений. К сожалению, ни одна из существующих теорий диффузного рассеяния в настоящее время не в состоянии на основании наблюдаемой картины диффузного рассеяния дать в общем случае окончательные выводы о характере взаимодействия между частицами кристаллической решетки. Однако некоторые качественные выводы из полученных экспериментальных данных можно сделать уже сейчас на основании имеющихся представлений о пластической деформации.

1. Форма и интенсивность диффузных максимумов, а также зависимость интенсивности рассеяния от температуры недеформированных монокристаллов алюминия, обладающих различной степенью совершенства кристаллической решетки, одинаковы. На основании этого можно считать, что спектр упругих колебаний в основном не изменяется от наличия беспорядочно расположенных нарушений правильности кристаллической решетки.

2. При малых деформациях (1—1,5%) картина диффузного рассеяния не изменяется. Таким образом, беспорядочное расположение дефектов кристаллической решетки при этом, повидимому, также не нарушается и, кроме того, дефекты, развивающиеся в решетке в процессе деформации, на этой стадии процесса не влияют существенно на спектр упругих колебаний кристаллической решетки в целом.

3. По мере увеличения деформации (4—5%) картина диффузного рассеяния монокристаллов технически чистого алюминия изменяется. На основании того факта, что картина диффузного рассеяния кристаллов технически чистого алюминия при деформациях порядка 4—5% напоминает картину диффузного рассеяния, характерную для слоистых кристаллов, можно полагать, что при деформации упругий спектр колебаний, хотя бы для некоторого объема деформированного кристалла, на этой стадии деформации построен по типу упругого спектра колебаний слоистого кристалла. Таким образом, весьма вероятно, что в нарушенных областях кристалла, расположенных вблизи плоскостей скольжения, изменяется характер сил связи между атомами так, что они ослабевают в направлении, перпендикулярном плоскостям скольжения.

4. В случае монокристаллов чистого алюминия изменение картины диффузного рассеяния не наблюдается вплоть до деформаций порядка 8—10%. Этого и следовало ожидать, так как в чистом алюминии скольжение происходит относительно большими пачками, что выражается в «стратообразной» структуре селективных максимумов. Следовательно, в чистом алюминии объем нарушенной области невелик по сравнению с общим объемом, и рассеяние в основном определяется объемом кристалла с ненарушенной структурой, где имеющиеся дефекты расположены беспорядочно.

Полученные результаты показывают, что фотографический метод регистрации картин диффузного рассеяния достаточно чувствителен для определения распределения интенсивности диффузных максимумов и что диффузное рассеяние пригодно, повидимому, для изучения механизма начальных стадий процесса пластической деформации монокристаллов.

Научно-исследовательский институт физики
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 VII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Вогп, Rep. Progr. Phys. (Phys. Soc.), 9, 294 (1942—43). ² Ю. А. Багаряцкий и Е. В. Колонцова, Зав. лабор., 16, № 8 (1950). ³ А. И. Ельников, ЖЭТФ, 8, в. 5 (1938).