

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. М. РОВИНСКИЙ и Н. Д. ГАМБАШИДЗЕ

**ПЕРИОДИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫДЕЛЕНИЙ  
В МЕДНО-БЕРИЛЛИЕВОМ СПЛАВЕ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО  
СТАРЕНИЯ**

(Представлено академиком Е. А. Чудаковым 27 XI 1950)

Выделение новых образований из пересыщенных твердых растворов ряда металлов при естественном или искусственном старении происходит обычно вдоль определенных кристаллографических направлений или по границам зерен основной фазы. В начальной стадии, как показали весьма delicate рентгенографические исследования, в пересыщенном растворе происходит выделение тонких двухмерных образований. Впоследствии эти выделения коагулируют и тогда они обнаруживаются электронно-микроскопическим или микроскопическим путем.

В настоящем сообщении приводятся данные о периодическом распределении резко коагулированных выделений в кристаллитах основной фазы. Подобное распределение выделений, повидимому, ранее никем не наблюдалось.

1. Сплав меди с 2 вес. % бериллия, приготовленный из чистых металлов, отожженный после сплавления и проковки при температуре  $600^{\circ}$ , хранился около 15 лет. Из этого сплава была изготовлена тонкая пластиночка, доведенная путем шлифовки и полировки до толщины 0,07 мм. Пластиночка, плотно прижатая к эмульсии мелкозернистой фотографической пластинки и завернутая в черную бумагу, просвечивалась монохроматическим пучком рентгеновских лучей от молибденового анода.

На экспонированных таким путем и специальным способом проявленных рентгенограммах при просмотре их под микроскопом с увеличением 60—120 была замечена периодичность в характере структуры.

При увеличении 60 на микрорентгенограммах выявилась квадратная сетка на светлом фоне. При уменьшении экспозиции в узлах сетки выявились лишь темные точки на светлом фоне, распределенные в строго периодическом порядке на расстоянии около 0,014 мм друг от друга.

Микрорентгенограмма ( $\times 120$ ), представленная на рис. 1 (см. вклейку к стр. 376), отчетливо показывает характер распределения точек и сочленение областей с различной ориентировкой сеток. Судя по размерам и по структуре, эти области представляют собой отдельные кристаллиты.

На микрорентгенограмме ( $\times 60$ ), представленной на рис. 2, ориентировка кристаллитов является иной: плоскость (100) не совпадает с направлением пучка лучей в просвечиваемом образце и, поэтому на микрорентгенограмме выявились штрихованные поля.

Из этого же сплава был затем изготовлен шлиф. После травления концентрированной азотной кислотой на нем проявились крупные зерна

размером до 1 мм. При исследовании шлифа металломикроскопом в нем была обнаружена едва заметная периодичность в структуре кристаллитов. Периодичность эта при микроскопическом исследовании структуры травления с боковым освещением (освещением, приближающимся по характеру к темнопольному) при увеличении 60—120 оказалась весьма отчетливой.

На рис. 3 приводится микрофотограмма ( $\times 120$ ), демонстрирующая строго периодический порядок распределения светлых точек на темном фоне в центрах квадратов размером также около 0,014 мм. Такой характер распределения светлых точек на темном фоне обнаруживался нами, однако, лишь в кристаллитах, ориентированных определенным образом, вероятно, плоскостью (100) параллельно поверхности шлифа. Кристаллиты с другой ориентировкой дают иную структуру травления.

На рис. 4 мы приводим микрофотографию ( $\times 60$ ) с резко выраженными штрихованными полями.

2. Исследовавшийся образец с периодической структурой был помещен нами в вакуумную печь, выдержан в ней в продолжение 5 час. при температуре  $600^{\circ}$  и закален. После этой обработки микроструктура образца оказалась однородной и мелкозернистой. Затем образец был подвергнут искусственному старению — выдержке в печи при  $350^{\circ}$  в продолжение 10 час. — и вновь исследован металлографическим путем. При этом были обнаружены выделения, крайне неравномерно распределенные в поле и по границам зерен, размеры которых не превосходили 0,1—0,2 мм.

3. Приведенные микрорентгенограммы и микрофотографии с достаточной отчетливостью, нам кажется, демонстрируют периодический характер распределения выпавшей в кристаллитах новой фазы. В исходной  $\alpha$ -фазе — пересыщенном твердом растворе бериллия в меди — в результате длительного естественного старения произошло выделение  $\gamma$ -фазы — соединения  $\text{CuBe}$  — и коагуляция этих выделений вдоль кристаллографических плоскостей.

Так как  $\gamma$ -фаза является мало поглощающей рентгеновские лучи по сравнению с  $\alpha$ -фазой, то темные точки и штрихи свидетельствуют о концентрации ее по границам областей, имеющих форму кубов размером около 0,014 мм. Ребра последних, нормальные к поверхности просвечиваемой пластиночки, особенно отчетливо выявились на микрорентгенограммах в виде точек или штрихов.

Аналогичным образом зоны концентрации выпадений выявились на микрофотографиях вследствие неоднородности травления.

4. Периодическое распределение выпадений могло возникнуть следующим образом.

Исходные кристаллиты пересыщенного твердого раствора бериллия в меди были уже первоначально после термической обработки достаточно крупными и несовершенными. Такие кристаллиты представляются нам сложенными из однородных по размерам и взаимно несколько повернутых блоков. Кристаллическая решетка в области сочленения этих блоков является, вероятно, достаточно сильно искаженной. Поэтому выделения концентрировались по границам блоков кубической формы, окружая их равномерным слоем. В результате длительного старения и интенсивности диффузионных процессов в несовершенных кристаллитах слой выделений оказался достаточно заметным.

Таким образом, фаза выделения сыграла роль фиксатора первоначально возникшей довольно грубой мозаичной структуры кристаллитов.

При недостаточной длительности процесса естественного старения выделения не успевают вырасти до заметной толщины, и поэтому периодический характер их распределения и мозаичное строение кристалли-

тов пересыщенных растворов могут оставаться незамеченными. Возможно, однако, что решающую роль в обнаружении периодического характера распределения выделений сыграла использованная нами методика исследования.

При искусственном старении диффузионные процессы протекают, возможно, иным образом, и поэтому в подобных сплавах не возникает периодического распределения выделений и мозаичная структура оказывается незафиксированной или имеет иной характер.

Институт машиноведения  
Академии наук СССР

Поступило  
10 XI 1950

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

(Принято к публикации 2. XI 1950)

В различных областях техники широко применяются нелинейные электрические сопротивления типа термисторов. К этой категории относятся сопротивления, нелинейность которых обусловлена тем, что выделяющимся при прохождении тока. Различные нелинейные сопротивления характеризуются в первую очередь, своей вольт-амперной характеристикой, которая для значительного числа термисторов может быть представлена аналитическим выражением:

$$U = KI^{\alpha},$$

где  $K$  — коэффициент нелинейности,  $\alpha$  — показатель нелинейности.

Различают термисторы с отрицательным показателем нелинейности (полупроводники) и термисторы с положительным показателем нелинейности. К числу нелинейных элементов с положительным коэффициентом нелинейности относятся также и лампы накаливания с вольт-амперной нитью.

В литературе имеются данные о показателях нелинейности для некоторых типов термисторов (1). Эти данные, характеризующие значительный разброс в величинах показателя нелинейности даже для термисторов одной и той же серии, не фиксируют, однако, указаний в том, какой же показатель нелинейности может быть получен в том или ином случае.

В лаборатории электротехники ЭИИИ АН СССР были исследованы различные типы термисторных элементов (термисторы и термисторы) с точки зрения возможности применения их в моделях трубопроводных систем, характеризующихся квадратичной зависимостью между давлением и расходом (2).

Настоящее сообщение посвящено некоторым данным, относящимся к одному из типов нелинейных сопротивлений, а именно к термисторам с нитью накаливания, обладающим положительными показателями нелинейности. Известны попытки исследования вольт-амперной нити накаливания термисторов с показателем нелинейности  $\alpha = 1,55$  (3).

На основе изучения металлов (вольфрама, молибдена, тантала, ниобия) подтверждено, что зависимость между давлением и расходом, характеризующая трубопроводные системы, характеризуется термисторами, наиболее близкими к квадратичной. Теоретически и экспериментально