

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. М. САВИЦКИЙ и В. В. БАРО

О ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ  
СИСТЕМЫ Mg — Zn

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 11 XII 1948)

Сплавы магния и цинка представляют большой теоретический и практический интерес. Однако, несмотря на большое число работ, диаграмма состояния, во многом определяющая строение и свойства, для этих сплавов до сих пор твердо не установлена.

Расхождения вызывают самые основные вопросы: количество и состав образующихся соединений, а также их способность к образованию твердых растворов. По данным различных авторов, в системе Mg — Zn могут образовываться интерметаллические соединения следующих составов: MgZn, Mg<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>, MgZn<sub>2</sub>, MgZn<sub>5</sub> и Mg<sub>2</sub>Zn<sub>11</sub> (1-9), причем только единственное в этой системе кристаллизующееся из жидкого состояния соединение — MgZn<sub>2</sub> — признается всеми авторами без исключения. Остальные образующиеся в твердом состоянии соединения обнаружены одними и не установлены другими авторами. О способности соединений к образованию твердых растворов в литературе имеются прямо противоположные утверждения (3, 4). Наконец, в отношении изучения механических свойств (на протяжении всего интервала концентраций) дело обстоит еще хуже. Опубликованные данные Грубе и Буркхардта (твердость), а также Костера и Розенталя (модуль упругости) относятся только к комнатным температурам, противоречат друг другу и не связаны с имеющимися сведениями о диаграмме состояния (10, 11).

Противоречивость опубликованных данных о системе Mg — Zn побудила нас сделать попытку разобраться в причинах имеющихся расхождений. Кроме того, имелось еще одно важное основание к этому, а именно: все предыдущие исследования богатых интерметаллическими соединениями сплавов производились на литых образцах. Получить деформированные образцы из-за их большой хрупкости при комнатной температуре никому до сих пор не удавалось. Мы сделали попытку получить деформированные образцы и провести работу на сплавах как в литом, так и в обработанном давлением состояниях. В работе основное внимание было уделено двум вопросам: 1) влиянию кинетики установления равновесия на вид диаграммы состояния Mg — Zn, а также диаграммы состав — механические свойства; 2) изучению влияния температуры на механические свойства богатых интерметаллическими соединениями сплавов. Ниже приводятся основные результаты исследования.

1. Строение и свойства Mg — Zn-сплавов в значительно большей степени, чем у многих других сплавов, зависят от предшествующей термической и механической обработки. Причиной этого является

малая скорость диффузии и в силу этого весьма медленное установление равновесия. Степень равновесия сплавов определяет: вид диаграммы состояния сплавов после их затвердевания, ход изотерм состав — свойство (отсутствие или наличие особых, соответствующих химическим соединениям точек), а также и количественную величину свойств. В соответствии со сказанным литое состояние образцов характеризуется: наличием грубой двухфазной и неравновесной трехфазной структуры, большим разбросом в значениях свойств и отсутствием особых точек у сплавов, отвечающих по составу химическим соединениям в ходе изотерм состав — свойство (рис. 1, а).

Отжиг литых образцов облегчает протекание диффузии и создает большие возможности для появления химического взаимодействия компонентов в твердом состоянии. Но для приведения литых Mg — Zn-сплавов в состояние равновесия нужны длительные (измеряемые

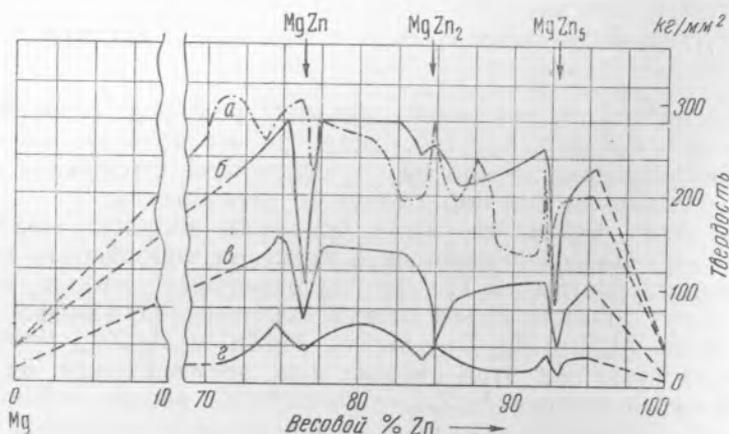


Рис. 1. Твердость сплавов системы Mg — Zn: а — твердость литых сплавов при 20° С; б — твердость при 20° деформированных и отожженных 20 суток сплавов; в — то же, что и б, но твердость каждого сплава измерена при температуре, составляющей 75% от его абсолютной температуры плавления; г — то же, что и б, но твердость измерена при 325°

месяцами) отжиги. Отжиг литых образцов в течение 20 суток в наших опытах ни в одном случае (из 25 сплавов) не привел к установлению полностью однофазной структуры.

Все предыдущие исследователи этой системы (Грубе, Чадвик, Юм-Розери, Такей, Лавес, Костер и др.) работали с литыми отожженными сплавами. Поэтому наличие резких расхождений в данных указанных авторов, в первую очередь, объясняется разной степенью приближения литых сплавов к состоянию равновесия, в зависимости от того, какие тот или иной исследователь выбирал условия и длительность отжига.

Мы первые получили деформированные образцы из богатых интерметаллическими соединениями сплавов<sup>(12)</sup>. Примененная нами горячая деформация резко измельчает структуру (рис. 2), создает свежие стыки между зернами и способствует более быстрому выравниванию состава образцов. Наиболее равновесными из изучавшихся нами оказались деформированные и отожженные в течение 20 суток сплавы. На этих образцах методом микроструктуры было установлено наличие в системе Mg — Zn трех однофазных областей, соответственно располагающихся в районе существования соединений MgZn, MgZn<sub>2</sub> и MgZn<sub>3</sub> и несколько расширяющихся с повышением температуры.

Указанные три соединения характеризуются наличием сингулярных минимумов в ходе изотерм твердости (рис. 1, б). Эти экспериментальные факты дают основания сделать вывод не только о существовании указанных интерметаллических соединений, но и об их дальтонидном характере.

Следует отметить, что минимум твердости у соединения  $MgZn_2$ , благодаря его сравнительной тугоплавкости по сравнению с соседними сплавами, четко выявляется только при построении изотерм твердости в соответственных (в равных долях от абсолютной температуры плавления) температурах (рис. 1, в).

Таким образом, наши данные опровергают утверждения о существовании соединения  $Mg_2Zn_3$  (Такей) и  $Mg_2Zn_{11}$  (Лавес и Вернер), а также о полном отсутствии у соединений системы  $Mg-Zn$  способно-

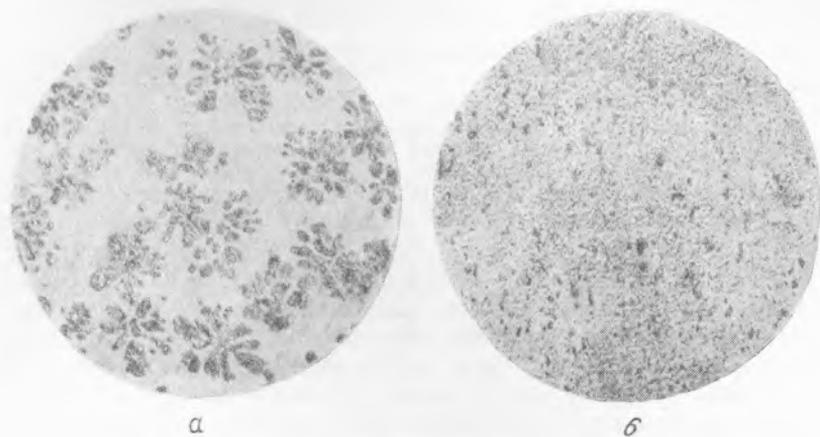


Рис. 2. Микроструктура сплава с 45,6 вес. %  $Zn$ ,  $\times 480$ ; а — литой образец; б — образец после горячей деформации

сти к образованию твердых растворов (Юм-Розери и Роунсфелл). Установленное ранее на литых отожженных образцах наличие соединений  $MgZn$ ,  $MgZn_2$  и  $MgZn_5$  (Г. Г. Уразов, Н. А. Филин, А. В. Шашин, Юм-Розери, М. И. Захарова и А. Б. Млодзеевский, В. И. Михеева, Ф. И. Шамрай и др.) является бесспорным. Бесспорным также является наличие у равновесных сплавов твердых растворов на основе каждого из этих соединений.

2. В данной работе подробно изучалось влияние температуры на механические свойства сплавов. Оказалось, что при комнатной температуре  $Mg-Zn$ -сплавы в области существования соединений характеризуются не только хрупкостью, но и большой твердостью. Твердость по Бринеллю этих сплавов раз в десять больше твердости и магния и цинка.

Особенно в этом отношении выделяются сплавы на основе соединений  $MgZn$  и  $MgZn_2$ , которые в среднем имеют твердость порядка  $300 \text{ кг/мм}^2$ . С повышением температуры сплавы интенсивно размягчаются. Например, при  $325^\circ$  величина их твердости составляет  $30-50 \text{ кг/мм}^2$ , т. е. порядка 10% от комнатной (рис. 1, г). Относительное падение твердости при нагреве является наибольшим у сплавов, представляющих собой смесь интерметаллических соединений или их твердых растворов. Затем идут сплавы, содержащие значительные включения эвтектик. Чистые интерметаллические соединения в ходе кривой температурного коэффициента твердости в зависимости от состава обнаруживаются минимумами, т. е. при нагреве размягча-

ются меньше, чем их смеси или сплавы со значительными включениями эвтектики.

В заключение отметим, что все сплавы системы Mg—Zn, в том числе и богатые интерметаллическими соединениями, при нагревании сильно увеличивают пластичность. Это увеличение пластичности так велико, что при надлежаще выбранной температуре любой сплав системы Mg—Zn, отличающийся при комнатной температуре большой хрупкостью и твердостью, может быть продавлен через окошко цилиндрической матрицы в виде доброкачественного прутка или из цилиндра сдавлен в диск небольшой толщины. Сплавы при этом выдерживают 80—90% деформации за один прием.

Институт общей и неорганической химии  
им. Н. С. Курнакова  
Академии наук СССР

Поступило  
6 XII 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> G. Grube, Z. anorg. allg. Chem., 49, 77 (1906). <sup>2</sup> R. Chadwick, J. Inst. Met., Lond., 39, 285 (1928). <sup>3</sup> W. Hume-Rothery and E. O. Rounsefell, *ibid.*, 41, 119 (1929). <sup>4</sup> T. Takei, Kinzoku no Kenkyu, 6, 177 (1929). <sup>5</sup> А. А. Бочвар и И. П. Величко, Тр. Моск. ин-та цвет. мет. и золота, в. 1, работы лаборатории металлографии, 1931—1932. <sup>6</sup> М. И. Захаров и А. Б. Млодзеевский, Изв. сектора физ.-хим. анализа, 95, 114 (1936). <sup>7</sup> F. Lawes and S. Werner, Z. Krist., 95, 114 (1936). <sup>8</sup> Г. Г. Уразов, Н. А. Филин и А. В. Шашиц, Металлург, № 6, 3 (1940). <sup>9</sup> В. И. Михеева, Сплавы магния с алюминием и цинком, изд. АН СССР, 1946. <sup>10</sup> G. U. Grube u. A. Burkhard, Z. Elektrochem., 35, 315 (1929). <sup>11</sup> W. Köster u. K. Rosenthal, Z. f. Met., H. 6, 163 (1940). <sup>12</sup> Е. М. Савицкий, ДАН, 62, № 3 (1948).