

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. Б. ГУЛЯЕВ

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ ПРОСТЫХ ТЕЛ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ, СЕРЕБРА И ЗОЛОТА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 28 VIII 1950)

К настоящему времени проведено большое количество исследований механических свойств различных сплавов и построено большинство двойных диаграмм состояния металлических систем, представляющих практический интерес. Принципы физико-химического анализа, созданного Н. С. Курнаковым, позволяют наметить качественное соответствие между изменением состава и механическими свойствами сплавов. Однако физически обоснованная система обобщения численных данных по механическим свойствам сплавов до сих пор не построена, и хотя бы качественно предсказать характер влияния той или иной примеси на механические свойства данного металла пока невозможно.

Как было показано автором ⁽¹⁾, механические свойства простых тел могут быть обобщены на основе периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

В предполагаемом сообщении обобщены опытные данные по влиянию примесей простых тел на механические свойства меди, серебра и золота. Выбор в качестве основ рассматриваемых сплавов именно этих элементов объясняется тем, что они являются типичными металлами. Для них можно ожидать наиболее простых и четких закономерностей, так как они обладают простыми атомно-кристаллическими решетками, не имеют аллотропических превращений и принадлежат к одной группе периодической системы. Кроме того, для сплавов меди и золота имеется много исследований. В дальнейшем рассматриваются свойства только двойных сплавов и только в отожженном состоянии. Цифровые данные взяты из известных справочников ⁽²⁻⁶⁾. При отсутствии данных о прочности сплава на разрыв в некоторых случаях использовались данные, полученные путем пересчета с твердости по Бринелю с коэффициентом пропорциональности 0,36.

Оценка влияния примесей на механические свойства данного металла произведена следующим образом. Для каждой примеси строилась диаграмма в координатах концентрация примеси — свойство. В качестве основных свойств выбраны предел прочности в кГ/мм и удлинение в процентах. Там, где имелись соответствующие данные, при построении диаграмм использовались результаты нескольких работ.

Изменение предела прочности и удлинения при изменении концентрации примесей в общем случае имеет криволинейный характер; соответствующая кривая может быть обращена выпуклостью как вверх, так и вниз. Однако ее кривизна, как правило, невелика. Для практики

обычно интересно влияние примесей при малых концентрациях и почти всегда в пределах соответствующих твердых растворов α .

Опыт построения диаграмм показал, что в этих условиях вполне можно говорить о линейной зависимости между концентрацией примеси и выбранными характеристиками механических свойств. Погрешность, получающаяся при замене усредненной криволинейной зависимости прямолинейной, имеет обычно такой же порядок, как и отклонения точек отдельных опытов от усредненной кривой. В таком случае механические свойства двойного сплава можно описать следующими равенствами:

$$\sigma_{A, M} = \sigma_A + P_M C_M,$$

$$\delta_{A, M} = \delta_A + Y_M C_M,$$

где $\sigma_{A, M}$ и $\delta_{A, M}$ — предел прочности и удлинение сплава металла A с примесью элемента M ; σ_A и δ_A — свойства чистого металла A ; C_M — концентрация примеси M ; P_M и Y_M — коэффициенты влияния примеси M , представляющие собой тангенсы углов наклона к горизонтали прямой концентрация — свойство для прочности и удлинения (см. рис. 1). Коэффициенты влияния могут иметь как положительный, так и отрицательный знак.

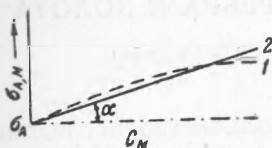


Рис. 1. Схема влияния примеси M на прочность простого тела A . 1 — истинная зависимость; 2 — идеализированная прямая. $\sigma_{A, M} = \sigma_A + C_M \operatorname{tg} \alpha$, $\operatorname{tg} \alpha = P$

Из указанных выше справочников были собраны все имеющиеся данные о пределах прочности и удлинении двойных отожженных сплавов меди, серебра и золота. Для каждой примеси были построены диаграммы типа рис. 1, и по ним определены значения коэффициентов влияния P_M и Y_M .

Существует мнение, приписываемое еще Роберту Аустену, что примеси, имеющие меньший атомный радиус, чем атомный радиус основного элемента сплава, увеличивают его прочность, а имеющие больший атомный радиус уменьшают прочность. На рис. 2 представлена зависимость коэффициентов влияния от величины k — отношения атомных радиусов соответствующих примесей и основных элементов сплавов меди, серебра и золота. Как видно из рис. 2, о связи между влиянием примеси на механические свойства и относительной величиной атомного радиуса говорить трудно. Коэффициенты влияния отнесены к весовым процентам, но соответствующие построения в атомных процентах дают такой же результат.

На рис. 3 показано изменение коэффициентов влияния в функции от атомного номера примеси для меди, серебра и золота.

Из диаграммы рис. 3 следует, что коэффициенты влияния связаны с атомным номером периодической зависимостью.

Влияние примесей на механические свойства сплавов всех трех металлов имеет одинаковый характер. Выше других располагаются

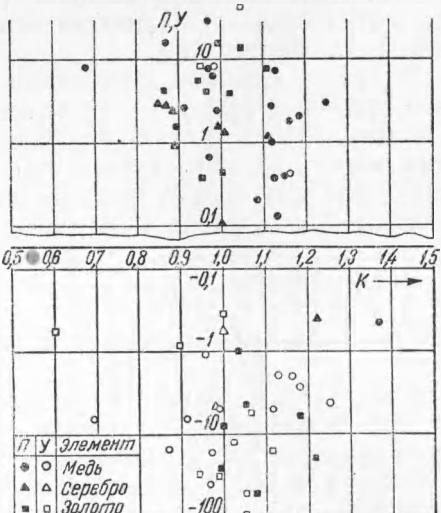


Рис. 2. Зависимость между коэффициентами влияния примесей и отношением k атомных радиусов для меди, серебра и золота

кривые для сплавов золота, за ними идет серебро, ниже всех лежат кривые для меди.

Примеси элементов, расположенных на концах периодов, оказывают минимальное влияние; расположенных в средних частях периодов — влияют сильно.

Элементы первых периодов наиболее сильно повышают прочность; элементы последних периодов оказывают слабое положительное влияние или понижают прочность. Особенно резко эта тенденция проявляется на сплавах золота. Элементы, являющиеся основой сплавов — медь, серебро и золото, делят кривые для каждого большого периода

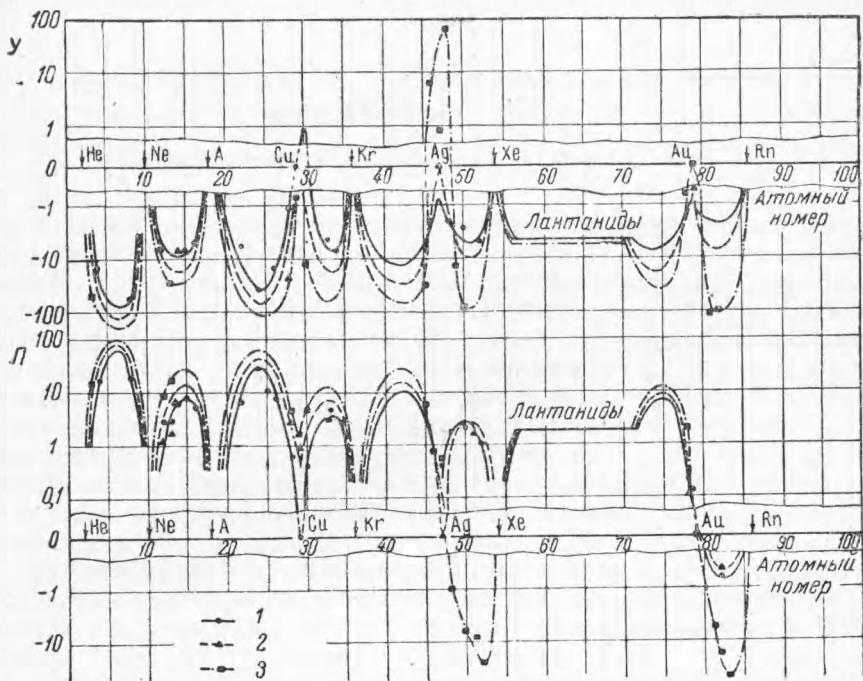


Рис. 3. Влияние примесей на механические свойства меди (1), серебра (2) и золота (3)

на две части. Влияние их друг на друга невелико, влияние примесей, расположенных между элементом первой группы и крайними элементами каждого большого периода, проходит через экстремум. Кривые для влияния примесей на предел прочности удается построить довольно уверенно; данные по удлинению имеют значительный разброс точек, и кривые в ряде мест имеют гипотетический характер.

Так же как абсолютные значения механических свойств простых тел (¹), величины коэффициентов влияния, по данным различных исследований, могут заметно отличаться друг от друга, причем для различных примесей они имеют различный порядок величин.

Диаграмма типа рис. 3 позволяет систематизировать опытные данные о механических свойствах двойных сплавов при небольших концентрациях примесей и оценить механические свойства еще не изученных сплавов.

Таким образом, периодическая система элементов Д. И. Менделеева может служить надежной основой для обобщения данных о влиянии примесей на механические свойства, во всяком случае, меди, серебра и золота. Характер влияния определяется положением примеси в периодической системе.

Поступило
17 III 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. Б. Гуляев, ДАН, **70**, № 5 (1950). ² А. П. Курдюмов, Монография о медно-цинковых сплавах, СПб, 1904. ³ Техническая энциклопедия, Справочник физических, химических и технических величин, 2, 1929. ⁴ В. Клаус и А. Гедеритц, Литые металлы и сплавы, 1937. ⁵ А. В. Бойцов, Г. Ф. Бойцова и П. А. Авдонина, Благородные металлы, 1946. ⁶ Сборн. Свойства металлов и сплавов, М., 1949.