

Е. М. САВИЦКИЙ

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ В СВЯЗИ С ИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 27 XI 1952)

Для механических свойств твердых тел их кристаллическое строение имеет особое значение, так как пластическая деформация, происходящая, в особенности при низких и обычных температурах, путем сдвигов по определенным атомным плоскостям, является специфической особенностью только кристаллических тел и не свойственна телам аморфным.

Все без исключения металлы и их сплавы относятся к телам кристаллическим. У чистых металлов эффективность воздействия температуры на изменение механических свойств зависит от того, насколько сильно нагревание изменяет кристаллическую решетку, особенно в качественном отношении. В связи с этим чистые металлы могут быть разбиты на три группы.

1. Металлы, у которых температура не вызывает качественных изменений в кристаллическом строении. Может происходить только расширение или сжатие решетки, вызванное изменением ее параметров при нагревании или охлаждении. У таких металлов изменение температуры не

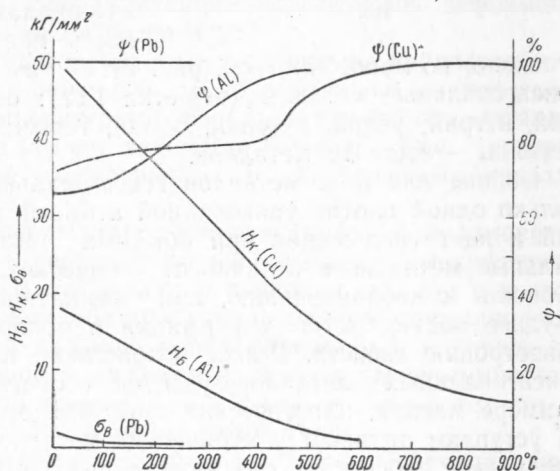


Рис. 1. Влияние температуры на механические свойства свинца, алюминия и меди

вызывает прерывных изменений в ходе механических свойств, и они изменяются монотонно (см. рис. 1). К указанным металлам принадлежат все монокристаллические металлы кубической сингонии (объемноцентрированные с решеткой типа К8: литий, калий, натрий, рубидий, цезий, барий, европий, ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден, вольфрам и гранецентрированные с решеткой типа К12: стронций, алюминий, торий, родий, никель, платина, палладий, медь, серебро, золото, свинец, иттербий и иридий). Близость кристаллического строения тетрагонального гранецентрированного индия позволяет включить его также в группу монокристаллических кубических металлов. Пластичность большинства этих металлов общеизвестна. Различия в координационных числах (12 и 8) в типичных

кубических решетках в данном случае существенного значения не имеет, так как в каждой из них имеется достаточно систем скольжения.

Экспериментальные данные показывают, что в чистом виде эти металлы пластичны при всех температурах и благодаря уменьшению сил сцепления при нагревании становятся еще более пластичными и податливыми при деформировании. По нашему мнению, наблюдаемые у некоторых кубических металлов, например у меди при определенных температурах ⁽¹⁾, так называемые зоны хрупкости (синеломкости, красноломкости) вызываются физико-химическими воздействиями примесей и окружающей газовой среды (создание хрупких межзеренных прослоек

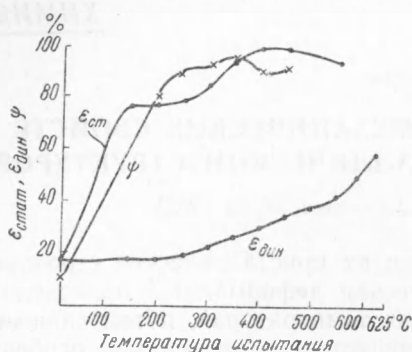


Рис. 2. Диаграмма пластичности магния. ψ — поперечное сужение образца при растяжении, ϵ — максимальное относительное укорочение при сжатии

и др.). Эти физико-химические воздействия на металл для металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности имеют серьезное значение, так как мешают рациональной обработке и службе изделий из технических металлов и сплавов. Достаточно напомнить о температурных зонах хрупкости, синеломкости и красноломкости железа.

2. Малопластичные в обычных условиях металлы, обнаруживающие появление новых плоскостей скольжения при нагревании и, в силу этого, резко увеличивающие свою пластичность в определенных температурных интервалах. У этих металлов пластичность при нагревании возрастает интенсивно, но монотонно (см. рис. 2).

К ним относятся все монокристаллические гексагональные металлы (решетка Γ_{12}): бериллий, магний, цинк, кадмий, иттрий, рений, рутений, осмий, технеций и многие редкоземельные металлы — всего 16 металлов.

Общим для всех металлов гексагонального типа является наличие только одной плотно упакованной атомами плоскости (базиса), по которой и идет скольжение при обычных температурах. Поэтому гексагональные металлы, в отличие от кубических, несмотря на развитую способность к двойникованию, при комнатной температуре значительно труднее подвергаются деформации и обнаруживают ярко выраженную анизотропию свойств. Резкое возрастание пластичности при нагревании гексагональных металлов удается особенно убедительно показать на примере магния, пластические свойства которого в интервале 300—600° не уступают таковым у кубических металлов (см. рис. 2) ⁽²⁾. Появление новых плоскостей скольжения при нагревании обнаружено и у некоторых кубических металлов, но у них оно не имеет существенного значения, поскольку они и без того пластичны.

Аналогичным с магнием образом ведут себя цинк и кадмий. Температурная зависимость механических свойств рутения, осмия и редкоземельных гексагональных металлов иттрия, гафния, рения, гадолиния, тербия, диспрозия и др. совершенно недостаточно изучена. На наш взгляд можно с полным правом утверждать, что при нагревании они поведут себя аналогично исследованным металлам с той только разницей, что размягчение будет наступать при тем более высоких температурах, чем выше точка плавления того или иного металла.

Можно также полагать, что и другие элементы уже не с гексагональной, а с еще более не благоприятствующей пластичности кристаллической структурой, какими являются структура типа алмаза (германий и кремний), ромбоэдрическая и ромбическая решетки («плохие метал-

лы»: висмут, сурьма, галлий и ртуть), также будет обнаруживать появление новых плоскостей скольжения и, в силу этого, возрастание пластичности при нагревании, особенно при наличии всестороннего неравномерного давления.

Так например, в наших опытах нагретый до 1100° кремний удавалось подвергнуть пластическому формоизменению путем сжатия цилиндрических образцов. Однако этот вопрос почти совершенно не исследован.

3. Металлы, обладающие температурной аллотропией. У таких металлов при определенных температурах меняется тип кристаллической структуры. Температурным полиморфизмом, по литературным данным, обладают: кальций, скандий, лантан, церий, празеодим, неодим, титан, цирконий, гафний, уран, нептуний, марганец, железо, кобальт, таллий, олово и, вероятно, некоторые другие (3-8).

В отличие от металлов непориморфных, для полиморфных металлов типично наличие скачков в ходе механических свойств при температурах превращений, связанных с появлением новых кристаллических модификаций (см. рис. 3) (9). Эти скачки наиболее ярко проявляются при переходе от структур, не благоприятствующих пластичности, к структурам, способствующим пластической деформации (например, переход серого олова в белое и др.).

Пластичности наиболее благоприятствуют структуры кубической сингонии, так как они имеют наибольшее число возможных систем скольжения. Наиболее высокотемпературные формы полиморфных металлов, оказывается, как раз имеют именно такие или близкие к ним структуры. Это справедливо для 14 из рассмотренных 16 полиморфных металлов (см. табл. 1).

Как видим, высокотемпературные модификации 12 полиморфных металлов имеют кубические решетки. β -олово обладает специфической тетрагональной структурой. В отношении кальция до сих пор еще окончательно не установлено, чему обязано изменение его кристаллической структуры при нагревании — явлению полиморфизма или влиянию примесей. Для железа специфичным является наличие у высокотемпературной δ -фазы решетки низкотемпературной α -фазы, а также то, что все его модификации принадлежат к кубическому типу.

Таким образом, как правило, наиболее высокотемпературная модификация полиморфного металла должна быть самой пластичной (10). Повидимому, это справедливо и для многих других неорганических и органических полиморфных веществ (11, 12).

Установленное правило дает возможность: а) наметить пути создания пластичных сплавов, на основе хрупких в обычных условиях полиморфных металлов, путем введения добавок, стабилизирующих высокотемпературную пластичную фазу (γ -марганец и др.); б) указать наилучшие температурные режимы технологии горячей обработки давлением полиморфных металлов (обрабатывать необходимо при температурах существования пластичной формы) и в) утверждать, что наиболее высокотемпературная модификация должна иметь благоприятствующую пластичности кубическую или близкую к ней решетку и тем самым помочь определению ее кристаллической структуры в тех случаях, когда она еще не определена.

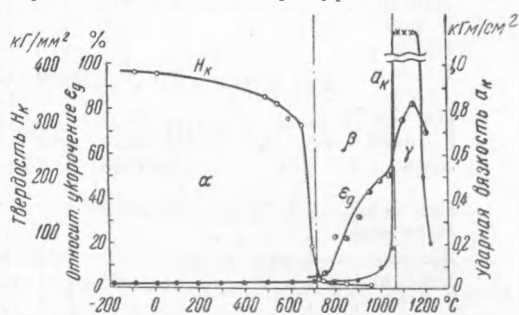


Рис. 3. Влияние температуры на механические свойства марганца

Таблица 1

Полиморфные модификации металлов

Металл	Т-ра плавления в °	Кристаллич. структура модификаций			Т-ры превращений в °
		α	β	γ	
Кальций	851	К 12	Г 12	Г ?	450
Скандий	1205	Г 12	К 12		—
Лантан	812	Г 12	К 12		600—650
Церий	630	Г 12	К 12		380—480
Празеодим	940	Г 12	К 12		—
Неодим	840	Г 12	К 12		—
Титан	1725	Г 12	К 8		885
Цирконий	1857	Г 12	К 8		862
Гафний	2227	Г 12	К 8		1500
Уран	1133	Ромб.	Тетраг. слож.	К 8	660, 760
Нептуний	640		Тетраг.	К 8	278, 540
Марганец	1260	К. слож.	К. слож.	К 12	742, 1080
Железо	1530	К 8	—	К 12	910, 1405
Кобальт	1490	Г 12	К 12		350—470
Таллий	303	Г 12	К 12		230
Олово	232	К. слож. (алмазн.)	Тетраг. слож.		13—18

Установленная зависимость между механическими свойствами и вызываемыми температурой качественными изменениями кристаллической структуры позволяет предсказывать качественно температурный ход механических свойств еще неисследованных мономорфных и полиморфных металлов, а также твердых растворов на основе этих металлов при условии, если известны их кристаллические решетки.

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

Поступило
23 XI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. П. Смирягин, Промышленные металлы и сплавы, 1949. ² Е. М. Савицкий, Пластические свойства магния и некоторых его сплавов, изд. АН СССР, 1941. ³ Г. Б. Бокий, Вестн. МГУ, № 5 (1948). ⁴ Б. Ф. Ормонт, Структуры неорганических веществ, М., 1950. ⁵ W. Tucker, Trans. Amer. Soc. for Metals, 42 (1950). ⁶ W. H. Zachariasen, Acta Crystallographica, 3, 5 (1952). ⁷ U. Zwiker, Z. f. Metallkunde, 42, 246 (1951). ⁸ М. П. Славинский, Физико-химические свойства элементов, М., 1952. ⁹ Е. М. Савицкий, В. Ф. Терехова, ДАН, 68, № 1 (1949). ¹⁰ Е. М. Савицкий, ДАН, 73, № 5 (1950). ¹¹ В. А. Соколов, Изв. СФХА, 13 (1949). ¹² И. А. Лескович, ДАН, 79, № 2 (1951).