

К. А. ОСИПОВ

## О СВЯЗИ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ И ЖАРОПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 17 IV 1948)

Можно считать бесспорно установленным, что механические и другие свойства сплавов взаимно связаны и что изменение одних свойств должно сказываться на других.

Механическую прочность однофазных металлических сплавов при высоких температурах (жаропрочность) можно оценивать по их способности к плавлению. Температуры плавления сплавов могут быть надежным критерием их жаропрочности. Влияние концентрации компонентов на жаропрочность можно оценить по ходу кривых и поверхностей солидуса и ликвидуса. Эта связь должна выявиться более заметно, если жаропрочность испытывается при температурах, близких к температурам солидуса. Можно ожидать, что наиболее тугоплавкие однофазные сплавы будут обладать и наибольшей жаропрочностью. Такими сплавами могут быть как однородные твердые растворы, так и химические соединения металлов. Именно среди химических соединений, как могущих иметь очень высокие температуры плавления и имеющих также направленные химические связи, и их взаимных растворов следует искать наиболее жаропрочные сплавы. При этом надо ожидать, что для ряда соединений повышенная хрупкость сохранится, вероятно, и при высоких температурах.

Близкая связь температур плавления и жаропрочности сплавов обусловлена тем, что вблизи температур кристаллизации как в твердом, так и в жидком состоянии имеется много общего в расположении атомов, характере теплового движения и силах межатомного взаимодействия<sup>(1)</sup> и что одни и те же силы связи ответственны как за механическую прочность, так и за сопротивляемость сплавов плавлению. Для чистых металлов эта связь может быть легко вскрыта. Для них справедливо уравнение Линдемана<sup>(2)</sup>, связывающее температуру плавления и характеристическую температуру, а последняя, согласно Эйнштейну, находится в простом соотношении с сжимаемостью твердого тела или вообще с сопротивляемостью к изменению объема. Для сплавов связь будет, конечно, более сложной и не легко обнаруживаться. Мы ожидаем, что эту связь наиболее трудно будет обнаружить для сплавов, способных к дисперсионному твердению. Пластическая деформация таких сплавов будет, вероятно, ускорять выделение в них новой фазы; появится новый фактор жаропрочности, который усложнит зависимости.

Экспериментальные данные, которые мы получили при изучении жаропрочности сплавов железо — хром, железо — никель, кобальт — никель и марганец — никель, подтверждают, повидимому, наши утверждения.

Из электролитического железа, никеля, марганца и металлического хрома и кобальта высокой чистоты мы изготовили серии литых сплавов и отожгли их в течение 48 час. в вакууме при 1150 или 1000° (сплавы марганец — никель). От этих температур по окончании отжига образцы всех сплавов диаметром 2,6 мм были охлаждены в воде. Закаленные

Таблица 1

Сплавы	Удельное электро- сопротивление ом·мм <sup>2</sup> /м	Режим испытания при 1100°	Стрелы изгибов в мм		Сплавы	Удельное электро- сопротивление ом·мм <sup>2</sup> /м	Режимы испытания при 1100°	Стрелы изгибов в мм	
			длина образ- ца 85 мм	длина образ- ца 60 мм				длина образ- ца 85 мм	длина образ- ца 60 мм
Fe — Cr									
20% вес. Cr	0,50	30 мин.,	70	45	20% вес. Ni	—	10 мин.,	—	6
30	0,51	1750 об/мин.	—	44	40	—	1500 об/мин.	—	7
35	0,54		—	—	50	—		—	11
40	0,53		—	40	60	—		—	10
45	0,56		68	41	70	—		—	10
50	0,60		66	11	100	—		—	13
55	0,59		24	5					
60	0,63		11	2					
65	0,64		8	3					
80	0,66		3	1					
Co — Ni									
Mn — Ni									
					70% вес. Ni	—	5 мин.,	—	11
					80	—	1500 об/мин.	—	5
					90	—		—	3
Fe — Ni									
0% вес. Ni	—	10 мин.,	—	4					
20	—	1500 об/мин.	—	7					
40	—		—	6					
50	—		—	8					
60	—		—	7					
70	—		—	9					
80	—		—	12					
100	—		—	10					

образцы длиной 85 или 60 мм подвергались испытанию на относительную жаропрочность при 1100° методом И. И. Корнилова. При этом методе механическая прочность оценивается по стреле изгиба образца под действием центробежной силы; менее прочные образцы дают наибольшую стрелу изгиба.

В табл. 1 приведены составы наших сплавов (по синтезу), электрическое сопротивление некоторых из них после закалки, полученные при 1100° стрелы изгибов и режимы испытания.

Для образцов железо — хром температура испытания на жаропрочность 1100° значительно превышает температуру устойчивости химического соединения FeCr (950—1000°).

Из рассмотренных кривых рис. 1 можно сделать следующие выводы.

Электросопротивление сплавов, измеренное при комнатной температуре, изменяется равномерно с изменением содержания хрома; это доказывает, что все наши сплавы находятся в состоянии однородного твердого раствора. В ходе кривых жаропрочности и параметров решетки, измеренных при комнатной температуре, не наблюдается близкой связи. Вероятно, искажение кристаллической решетки, могущее оказывать значительное влияние на механические свойства при низких и средних температурах, не имеет существенного влияния при высо-

ких температурах и поэтому не должно привлекаться к рассмотрению, как это часто делается в работах по жаростойким сплавам. В то же время выявляется много общего в ходе кривых жаропрочности и кривых плавления сплавов. Так, из кривых *a* и *z* видно, что как жаропрочность, так и температуры солидуса мало изменяются до 45—50% хрома. После этого содержания хрома наступает как быстрое возрастание температур плавления, так и уменьшение стрелы изгиба сплавов, а значит, и увеличение их жаропрочности. Вероятно, эта аналогия стала бы еще более очевидной, если бы температура испытания жаропрочности сплавов была выше 1100°.

Температуры плавления (4) и относительные жаропрочности сплавов железо — никель, кобальт — никель и марганец — никель соответственно представлены на рис. 2, 3 и 4. Из них также видно много общего в ходе кривых ликвидуса и солидуса и жаропрочности сплавов.

В наших данных по жаропрочности на изгиб сплавов железо — никель и кобальт — никель мы видим доказательство правильности теоретических указаний А. А. Бочвара (5) об изменяемости форм зависимости свойства и состава при изменении температуры. Он указал, что если различие температурных коэффициентов свойств для компонентов и растворов

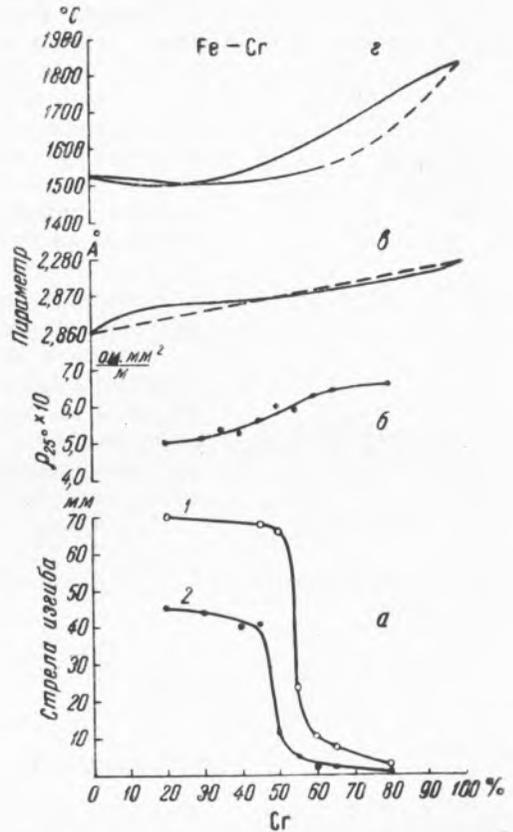


Рис. 1. Сплавы железо — хром. *a* — стрела изгиба образцов длиной 85 мм (кривая 1) и 60 мм (кривая 2); *б* — электросопротивление после закалки от 1150°; *в* — параметры решетки после быстрого охлаждения от 1000° (3); *z* — кривые солидуса и ликвидуса (3)

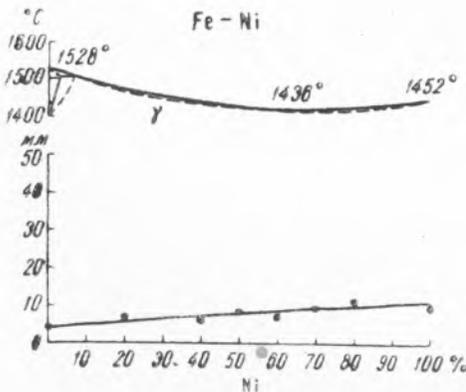


Рис. 2

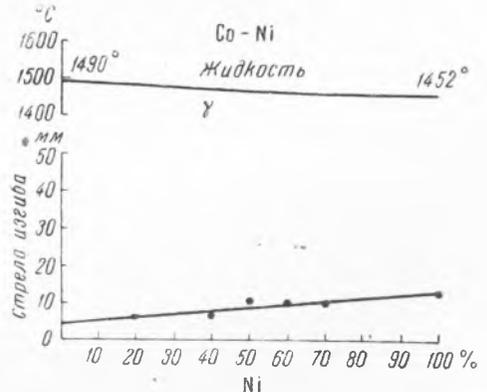


Рис. 3

сохраняется в широком интервале температур, то с ростом температуры кривые зависимости свойства и состава с максимумом могут перейти в прямые линии и даже в кривые с минимумом. В системе железо—никель и кобальт—никель при 1100° нами установлена линейная зависимость жаропрочности и состава. Для более высоких температур мы ожидаем, что жаропрочность твердых растворов в системе железо—никель будет меньше жаропрочности компонентов, как это следует из хода кривых ликвидуса и солидуса; с меньшей вероятностью следует ожидать этого для системы кобальт—никель.

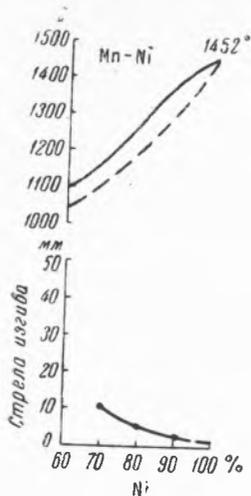


Рис. 4

При этом мы не видим противоречий между нашими рассуждениями о связи температур плавления и жаропрочности сплавов с теоретическими указаниями акад. А. А. Бочвара. Мы уверены в том, что температуры плавления компонентов и сплавов, а также температурные коэффициенты свойств имеют определенную связь, хотя для нас пока и не ясную.

Выражаю глубокую благодарность академикам Г. Г. Уразову и А. А. Бочвару и проф. ценные указания по данной работе, учтенные мною.

И. И. Корнилову за

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

Поступило  
7 IV 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. И. Френкель, Кинетическая теория жидкостей, 1945. <sup>2</sup> N. F. Mott and H. Jones, The Theory of the Properties of Metals and Alloys, 1945. <sup>3</sup> F. Adcock, J. Iron and Steel Inst., 124, II (1931). <sup>4</sup> М. Хансен, Структуры бинарных сплавов, 1941. <sup>5</sup> А. А. Бочвар, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1946).