Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 1

ХИМИЯ

И. И. КОРНИЛОВ и П. Б. БУДБЕРГ

ДИАГРАММА СОСТАВ — ЖАРОПРОЧНОСТЬ СПЛАВОВ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ НИКЕЛЬ — ВОЛЬФРАМ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 3 VI 1954)

Диаграмма состояния двойной системы никель — вольфрам исследовалась многими авторами ([1–3]), однако изменение физико-химических и механических свойств в зависимости от состава и строения сплавов, особенно при высоких температурах, не изучалось.

В настоящей работе жаропрочность сплавов двойной системы никель — вольфрам (до 50% W) исследовалась центробежным методом ([4–6]) при температуре 800° и начальном напряжении 6,4 кГ/мм². Сплавы выплавлялись в высокочастотной печи в корундизовых тиглях под слоем основного шлака. Исходными материалами служили электролитический никель чистоты 99,9% Ni и вольфрамовая проволока с содержанием 99,2% W. Перед разливкой сплава производилось его раскисление электролитическим марганцем. Цилиндрические образцы для исследования жаропрочности получались методом насасывания расплава в подогретые фарфоровые трубки ([7]).

Сплавы подвергались термической обработке в вакууме по двум режимам: одна партия образцов всех составов отжигалась при 1200° 24 часа и далее закаливалась; вторая партия образцов отжигалась: при 1200° 24 часа, при 1000° 100 час., при 800° 100 час. и после этого медленно охлаждалась до комнатной температуры в течение суток.

Химический анализ показал, что при принятом способе приготовления сплавов угар вольфрама не превышал 0,2—0,5%.

В ранее проведенных работах ([4–6]) было установлено, что наиболее объективным критерием жаропрочности сплавов при центробежном методе испытания является время достижения образцами заданной стрелы изгиба в процессе их деформации под действием центробежной силы. Чем позже достигается эта стрела изгиба, тем более жаропрочным является сплав. По результатам исследования для заданной стрелы изгиба строится изотермическая диаграмма состав — жаропрочность, являющаяся одним из видов диаграммы состав — свойство металлических систем при высоких температурах.

На рис. 1 приводится диаграмма состояния системы никель — вольфрам по данным нашего исследования ([8]). Из диаграммы видно, что область твердого раствора вольфрама в никеле простирается при низких температурах до 28—29% вольфрама, а при 800° до 30,5—31% вольфрама. Установлено, что при содержании 34—35% вольфрама и температурах 840—850° в сплавах системы образуется β_1-фаза, основой которой является соединение Ni_6W. Этим же исследованием подтверждено наличие ранее открытого в системе соединения Ni_4W, обозначенного на диаграмме как β-фаза ([2]).

На рис. 2 приводятся диаграммы состав — жаропрочность для закаленного при 1200° (*А*) и отожженного (*Б*) состояний сплавов системы.

В качестве меры жаропрочности взято время достижения образцами стрелы изгиба в 3 и 5 мм.

Ход кривых изменения жаропрочности в зависимости от состава показывает, что жаропрочность как закаленных, так и отожженных сплавов в области твердых растворов плавно возрастает с увеличением содержания вольфрама. Максимальной жаропрочностью в закаленном состоянии при 800° обладают сплавы с 28—31% W (рис. 2 *А*). Закаленные сплавы, содержащие свыше 38% (до 50%) W, имеют явно двухфазную структуру и характеризуются наименьшей жаропрочностью, несмотря на столь высокое содержание такого тугоплавкого металла, как вольфрам.

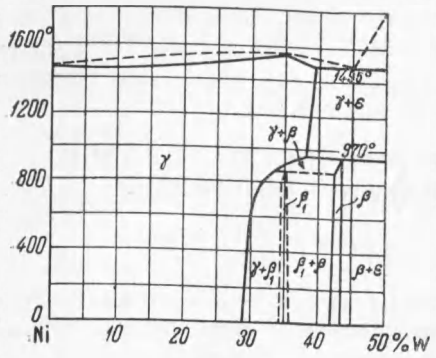


Рис. 1

Максимум жаропрочности отожженных сплавов достигается при содержании 25—28% W, т. е. в области предельного насыщения никелевого твердого раствора (рис. 1). Сплавы с максимальной жаропрочностью примыкают к границе существования двухфазной области и отвечают составам как с чисто гомогенной, так и частично с двухфазной мелкодисперсной структурой. По мере увеличения количества второй фазы β_1 и укрупнения ее частиц жаропрочность отожженных сплавов уменьшается и достигает минимального значения в районе существования соединения Ni_6W.

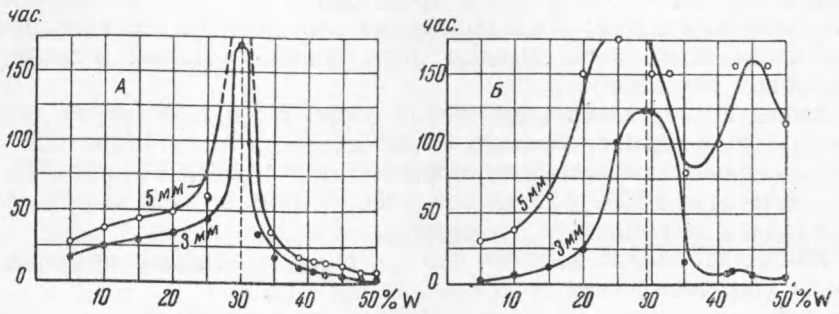


Рис. 2

Интересно отметить, что соединение Ni_4W (43,6 вес.% W) также находит отражение на диаграмме состав — жаропрочность. Соединению Ni_4W соответствует характерный максимум жаропрочности при 43—45% W, в отличие от соединения Ni_6W (34,2 вес.% W). При дальнейшем увеличении содержания вольфрама (до 50%) наблюдается вторичное снижение жаропрочности отожженных сплавов.

Из исследования следует, что диаграммы состав — жаропрочность сплавов системы никель — вольфрам после закалки и после отжига не являются аналогичными. Это объясняется различиями в физико-химическом состоянии сплавов.

Как следует из рис. 1, сплавы с содержанием до 28—30% W отвечают однородному твердому раствору и при длительном испытании на жаропрочность, независимо от предшествующей термической обработки, не претерпевают фазовых превращений. При более высоком содержании вольфрама закаленные сплавы в условиях испытания на жаропрочность при 800° подвергаются дисперсионному распаду, который на определенной стадии вызывает их упрочнение. В этом случае только сплавы,

ссставы которых расположены близко к границе насыщения твердых растворов, имеют максимальную жаропрочность. По мере увеличения содержания вольфрама процессы превращения ускоряются, чему способствует напряженное состояние сплава при испытании на жаропрочность. Вследствие развития процессов диффузии и коагуляции второй фазы увеличивается ползучесть сплавов, приводящая к значительной деформации образцов, т. е. к резкому снижению жаропрочности.

Из исследования следует также, что область максимальной жаропрочности на диаграмме состав — жаропрочность смещается в отожженных сплавах в сторону меньшего содержания вольфрама по сравнению с закаленными. Сплавы после отжига по принятому режиму (см. выше) значительно стабильнее, чем после закалки, и, как результат этого, более жаропрочны.

Установлено, что минимальной жаропрочностью в отожженном состоянии обладают сплавы, расположенные в области существования соединения Ni_6W, т. е. β_1-фазы. Последняя образуется в сплавах системы никель — вольфрам только в результате длительного отжига при 800° ([8]).

В настоящей работе длительный отжиг сплавов при 800° не производился, а поэтому испытание на жаропрочность проходило в условиях нестабильного существования β_1-фазы. Считая диффузионные процессы одним из факторов возрастания скорости ползучести, можно объяснить пониженную жаропрочность сплавов в области соединения Ni_6W.

β-Фаза на основе соединения Ni_4W, в отличие от β_1-фазы, характеризуется большей скоростью образования. Очевидно, при принятом режиме отжига сплавов этот процесс успевает завершиться, и испытание на жаропрочность при 800° сплавов, расположенных в области β-фазы, происходит в условиях стабильного существования соединения Ni_4W и твердых растворов на его основе.

Ранее было доказано, что металлические соединения, образующиеся в твердом состоянии с достаточной скоростью, на диаграмме состав — жаропрочность имеют характерный максимум ([5]). Аналогичное явление наблюдается для соединения Ni_4W и твердых растворов на его основе (см. рис. 2 *Б*).

Таким образом, в отличие от диаграммы состав — свойство металлических систем, исследуемых при комнатной температуре, при которой во времени, как правило, не протекают процессы превращения, диаграмма состав — жаропрочность характеризуется сложной зависимостью от состава, строения и степени стабильности сплавов. В этом случае во время длительного испытания развиваются диффузионные процессы, значительно влияющие на характеристику ползучести сплавов, а следовательно, на диаграмму состав — жаропрочность. Это доказано приведенными на рис. 2 *А* и *Б* диаграммами. Результаты данного исследования являются доказательством правильности физико-химической теории жаропрочности твердых растворов металлов ([4]).

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
26 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] R. Vogel, Zs. anogr. allg Chem., **116**, 231 (1921). [2] Ф. К. Гарьянов, В. И. Третьяков, ЖТФ, **15**, 1326 (1938). [3] F. Ellinger, W. Sykes, Trans. ASM, **28**, 619 (1940). [4] И. И. Корнилов, ДАН, **67**, № 6, 1037 (1949). [5] И. И. Корнилов, Изв. СФХА, **18**, 72 (1949). [6] И. И. Корнилов, Л. И. Прянхина, Т. Ф. Чуйко, Изв. СФХА, **19**, 437 (1949). [7] Н. И. Степанов, ЖРФХО, **40**, 1448 (1908). [8] П. Б. Будберг, Автореферат кандидатской диссертации, ИОНХ АН СССР, 1953.