

И. И. КОРНИЛОВ

**ОБ ОСНОВНЫХ ТИПАХ ДИАГРАММ СОСТАВ — ЖАРОПРОЧНОСТЬ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 7 VIII 1952)

Трудами Н. С. Курнакова и его школы разработаны десятки диаграмм состав — свойство, но большинство из этих диаграмм относится к свойствам при низких температурах. Изучению зависимости сопротивления металлических сплавов длительному действию напряжений при высоких температурах, т. е. жаропрочности, от состава и строения сплавов посвящены работы ряда советских исследователей ((¹⁻⁵) и др.).

Применением центробежного метода исследования жаропрочности сплавов нами за последние 6—7 лет накоплен большой экспериментальный материал, который дает основание сделать некоторые обобщения и предложить три основных типа диаграмм состав — жаропрочность. Эти типы диаграмм отвечают металлическим системам, состоящим из: 1) непрерывных твердых растворов с образованием соединений из них или без этих соединений; 2) ограниченных твердых растворов со значительной концентрационной протяженностью и переменной растворимостью по температуре; 3) весьма ограниченных твердых растворов или без таковых.

При построении подобных диаграмм за характеристику жаропрочности можно принять: предел длительной прочности, предел ползучести, время деформации на заданную степень удлинения или изгиба и др. На приводимых ниже диаграммах состав — жаропрочность будем откладывать по оси ординат условную величину жаропрочности.

На рис. 1 приводится первый тип подобной диаграммы, отвечающий случаю непрерывных твердых растворов и образованию из последних при пониженных температурах металлического соединения АВ.

В этом случае диаграмма состав — жаропрочность представится в виде двух кривых. Кривая I отвечает температурам испытания выше температуры образования соединения. Она показывает изменения жаропрочности обоих компонентов с концентрацией твердых растворов. В общем случае она будет проходить через пологий максимум. Такой характер диаграммы типичен для непрерывных двойных твердых растворов, не претерпевающих превращения в твердом состоянии, и когда оба компонента имеют близкие значения температур плавления. Подобными системами являются: Ag — Au, Cu — Ni, возможно, W — Mo, Ti — Zr и некоторые другие. В случае большого различия температур плавления компонентов

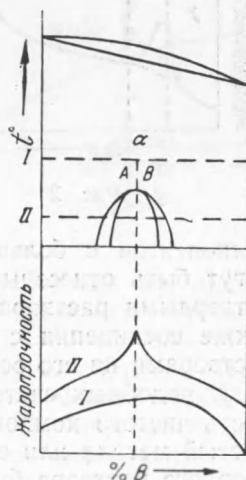


Рис. 1

характер кривой может изменяться, показывая большую жаропрочность твердых растворов, имеющих относительно высокую температуру плавления.

Образование соединения из непрерывного твердого раствора выражается на этой диаграмме изломом кривой (см. рис. 1, II). При этом состав соединения определяется точкой максимума жаропрочности в отличие от характеристик кратковременной прочности (твердости, предела прочности), которые имеют минимумы. Эта, несколько необычная, характеристика состава соединения точкой максимума жаропрочности, возможно, объясняется тем, что данные по жаропрочности получаются в условиях длительного действия напряжения при высоких температурах. Очевидно, в этих условиях, вследствие различного характера диффузионных процессов во время длительного действия напряжения в сплавах, отвечающих составу соединения или составам с избыточным содержанием того или другого компонента, будут различными скорости деформации сплавов и кривые на диаграмме состав — жаропрочность.

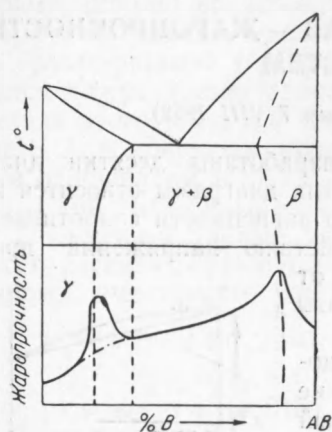


Рис. 2

Случаи, отвечающие приведенному выше типу диаграммы, отвечают системам: Mg — Cd, Fe — Ni, Ni — Mn, где образование соединений MgCd, Ni₃Fe, Ni₃Mn на диаграммах состав — жаропрочность выражается сингулярными точками максимума. Этому же типу диаграмм будут отвечать и другие системы с непрерывными твердыми растворами, в которых имеет место образование соединений (Au — Cu, Fe — Cr, Fe — V, Fe — Pt, Fe — Pd и др.).

Второй тип диаграммы отвечает системам с ограниченными твердыми растворами компонентов с большой концентрационной областью последних. Сюда могут быть отнесены системы с образованием тугоплавкого соединения и твердыми растворами на его основе, как это приведено на рис. 2, а также соединения с низкой температурой плавления, как с твердыми растворами на его основе, так и без таковых.

В подобных системах, как и в первом типе диаграммы, жаропрочность чистого компонента (независимо от того, является ли последним чистый металл или его соединение) по мере увеличения концентрации твердого раствора будет повышаться. Но наибольший скачок в повышении жаропрочности наблюдается на составах сплавов, расположенных в области предельного насыщения твердого раствора. Как показано на рис. 2, кривая жаропрочности в этой области проходит через пологий максимум как со стороны чистого металла, так и со стороны его соединения.

По мере пересыщения твердого раствора и заметного (под микроскопом) выделения избыточной фазы жаропрочность уменьшается. В гетерогенной области подобной системы с ограниченными твердыми растворами жаропрочность по составу изменяется линейно. Функциональная зависимость ее определяется жаропрочностью смеси двух ограниченных твердых растворов ($\alpha + \beta$). При этом можно представить, что в общем случае жаропрочность (см. рис. 2) этих гетерогенных смесей будет больше, чем жаропрочность разбавленных твердых растворов или чистых компонентов, но она будет меньше, чем жаропрочность областей предельно насыщенных твердых растворов.

Таким образом, независимо от того, имеются ли ограниченные твердые растворы на основе чистого металла или его соединения, максимальная жаропрочность отвечает области предельного насыщения. Даже самое

тугоплавкое соединение (см. рис. 2) показывает меньшую жаропрочность, чем предельно насыщенные твердые растворы на его основе. С этой точки зрения нельзя считать составы тугоплавких соединений наиболее жаропрочными в данной системе.

Наибольшее число экспериментальных данных нами накоплено по второму типу диаграмм. Этот тип диаграммы состав — жаропрочность нашел подтверждение, при определенных пределах температурного интервала испытания, на примерах многих двойных систем (Al—Mg, Ni—Cr, Ni—Al, Ni—W и др.); тройных систем (Ni—Cr—Al, Ni—Cr—Nb, Ni—Cr—Ti и др.); четверных (Ni—Cr—Al—Nb, Ni—Cr—W—Nb, Ni—Cr—W—Ti) и многих других.

Наряду со многими случаями ограниченных твердых растворов с большой концентрационной протяженностью, характерных для таких металлов, как железо, никель и др., имеются системы, в которых или образуются весьма ограниченные твердые растворы, или последние полностью отсутствуют. Подобные случаи были исследованы А. А. Бочваром (2) и рассмотрены М. В. Захаровым (4) и др. На примерах этих систем можно видеть, что чистый компонент, вследствие малой концентрации твердого раствора или полного отсутствия такового, мало или почти не упрочняется за счет образования твердого раствора. Изменение жаропрочности в подобных системах, представляющих в основном механическую смесь двух компонентов или весьма ограниченных твердых растворов, следует рассматривать в зависимости от жаропрочности чистых компонентов. В случае, если второй компонент (чистый металл или соединение) будет более жаропрочным, чем первый, очевидно, следует считать, что постепенное повышение жаропрочности металла-основы происходит по мере увеличения второй фазы.

В этом случае мы получаем третий тип диаграммы состав — жаропрочность, представленный на рис. 3. По ходу кривой можно убедиться в том, что жаропрочность в подобных системах постепенно возрастает по мере увеличения второй фазы, и сплавы с гетерогенной структурой являются более жаропрочными, чем твердые растворы с весьма ограниченной областью и, тем более, чем чистый металл.

Таковыми системами являются: Cu—Cr, Cu—Ca, Mg—Cl, изученные М. В. Захаровым (4) и др. В подобных системах имеет место образование весьма ограниченных твердых растворов и тугоплавких соединений. Последние в чистом виде или в виде ограниченных твердых растворов, являясь сами по себе высокожаропрочными компонентами, будут повышать жаропрочность металла-основы (см. рис. 3).

Приведенные выше три типа диаграмм состав — жаропрочность отвечают большинству возможных случаев взаимодействия в металлических системах и характеризуют физико-химическую природу их при высоких температурах. Они представляют более общий тип диаграмм, чем приведенные в работе М. В. Захарова (4), посвященной рассмотрению различных схем влияния добавок на жаропрочность меди.

В заключение следует сказать, что подобные типы диаграмм состав — жаропрочность справедливы только при определенных интервалах температур испытания. По мере повышения температур испытания и приближения к температурам солидуса может измениться характер диаграммы состав — жаропрочность. Это нарушение будет иметь место вследствие

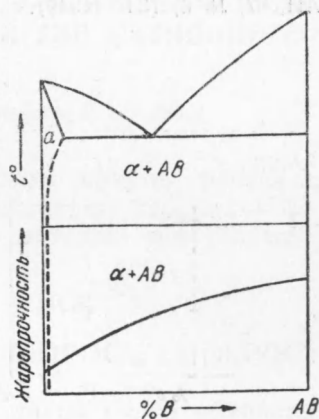


Рис. 3

различной температуры солидуса для сплавов разных составов и различного коэффициента разупрочнения и размягчения сплавов с различной температурой солидуса. Оставляя этот вопрос для самостоятельного рассмотрения, следует сказать, что в общем случае по мере повышения температуры будут более жаропрочными те составы сплавов, которые отвечают твердым растворам, а не гетерогенным сплавам с низкой температурой солидуса.

Поступило
14 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. П. Шишкин, Изв. СФХА, 10, 161; 11, 65 (1938). ² А. А. Бочвар, Изв. АН СССР, ОТН, № 5, 743 (1946). ³ И. И. Корнилов, Зав. лаб., № 1, 76 (1949). ⁴ М. В. Захаров, ДАН, 65, № 3, 337 (1949). ⁵ И. И. Корнилов, ДАН, 67, № 6, 1037 (1949).

