

К. А. ОСИПОВ

О ФАКТОРАХ ЖАРОПРОЧНОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

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

Академик А. А. Бочвар⁽¹⁾ опубликовал новую работу по теории жаропрочности металлических сплавов. Для объяснения поведения смеси фаз при высоких температурах он предложил взять за основу «положение о решающей роли характера взаимодействия сосуществующих фаз гетерогенной системы». Из этого вытекает его предположение, что высокая пластичность гетерогенных сплавов обеспечивается изменением взаимной растворимости фаз с температурой и достаточной скоростью диффузии при деформировании.

До опубликования работы А. А. Бочвара⁽¹⁾ мы экспериментально изучали жаропрочность сплавов тройных и четверных систем. При этом было установлено, что жаропрочность гетерогенных сплавов в одних системах меньше, а в других больше жаропрочности однофазных сплавов. Было ясно, что в различных системах, по каким-то причинам, многофазность по-разному влияет на жаропрочность. Сложившаяся при этом наша точка зрения на природу жаропрочности гетерогенных сплавов может, вероятно, служить дополнением, в связи с новыми экспериментальными данными, к высказанным А. А. Бочваром взглядам.

Как в гомогенных, так и в гетерогенных сплавах граница между кристаллами реально существует как переходная зона в несколько атомных расстояний. В гетерогенных сплавах структура ее может представлять большое многообразие в зависимости от характера взаимодействия сосуществующих фаз. В зоне, переходной между кристаллами твердого раствора и химических соединений, можно ожидать более упорядоченное распределение атомов и более направленные химические связи, чем между кристаллами разных твердых растворов. Эту зону можно рассматривать как неустойчивое состояние, поскольку устойчивыми образованиями в данной системе являются сосуществующие фазы. Небольшие изменения термодинамических условий будут вызывать быстрые изменения в зоне, способствовать перемещению в ней вещества. Этому перемещению способствует также поверхностное натяжение, наибольшее в зоне.

Под действием поверхностного натяжения, как указал Я. И. Френкель⁽²⁾, в кристаллических телах может происходить вязкое течение, подобное вязкому течению аморфных тел. Действием этого натяжения можно объяснить «холодное спекание» кристаллических порошков и образование кристаллических граней на первоначально сферическом монокристалле. Для чистых металлов, где не может быть взаимной растворимости фаз, экспериментально доказано⁽³⁾, что пластическая деформация при малых нагрузках и высоких температурах обусловлена вязким течением на границах кристаллов.

Вероятно, вязкое поведение переходной зоны является общим для всех металлов и сплавов; это — характерная способность зоны, и причиной ее вязкого поведения не является изменение взаимной растворимости фаз с температурой. При этом, на основании близких значений энергий активации для объемной диффузии, течения на границах зерен и крипа (⁴), можно принять, что вязкое течение в переходной зоне включает в себя такой же механизм перемещения вещества, как и в случае объемной диффузии.

Какие же факторы будут способствовать вязкому течению переходной зоны и, значит, повышать пластичность сплавов?

Без всякого сомнения, этому будут способствовать все факторы, ускоряющие диффузию на границах кристаллов. Как главнейший из них мы хотим отметить температуру плавления переходной зоны. В гетерогенных сплавах, вследствие эффекта контактного плавления, она может быть значительно ниже температур плавления сосуществующих фаз. В системах с эвтектикой она всегда ниже. В системах с перитектикой она выше температуры плавления одной из фаз. Эта температура обусловлена характером взаимодействия фаз и в свою очередь определяет температуру начала разрыхления кристаллических решеток и температуру заметного развития диффузии (выше $0,4—0,6 T_{пл}$).

В соответствии с этим можно, вероятно, сделать такой вывод: при высоких температурах (выше $0,4—0,6 T_{пл}$) гетерогенизация сплавов в системах с эвтектикой должна снижать их жаропрочность; в системах с перитектикой гетерогенные сплавы должны иметь жаропрочность большую, чем у фазы с более низкой температурой плавления, и меньшую, чем у фазы с более высокой температурой плавления.

Ясно также, что при сравнении влияния гетерогенизации на жаропрочность сплавов в различных системах надо учитывать положение в них эвтектических и перитектических температур. При этом мы ожидаем, что если испытание жаропрочности производится при температурах ниже температур заметного развития диффузионных процессов, то и в системах с эвтектикой гетерогенная смесь может обладать жаропрочностью большей, чем однородный твердый раствор.

Все другие факторы, как и температура плавления, обусловлены той же природой и характером взаимодействия сосуществующих фаз и поэтому должны быть взаимно связаны между собою. Однако они не дают такого количественного выражения этого взаимодействия, которое было бы более непосредственно связано с константой диффузии, как температура плавления. Среди них можно назвать: 1) строение и состав переходной зоны; 2) взаимная растворимость фаз и ее изменимость с температурой; 3) напряжения в переходной зоне и другие.

Мы уже говорили, что в переходной зоне между кристаллами разных твердых растворов следует скорее ожидать статического распределения атомов и отсутствия направленных химических связей. При равенстве прочих условий это будет облегчать диффузию и повышать вязкое течение на границах фаз. В случае более упорядоченного распределения атомов диффузионные процессы в переходной зоне будут протекать более медленно. Это будет иметь место при наличии в гетерогенной смеси интерметаллических фаз. Влияние последних на скорость диффузии в гетерогенных сплавах подробно рассмотрено А. А. Бочваром (¹). Им рассмотрен также и вопрос о влиянии изменчивости растворимости фаз с температурой на пластичность.

Это очень важный фактор. Только нам хотелось бы придавать абсолютной величине взаимной растворимости фаз еще большее значение, чем это делает А. А. Бочвар. От этой величины зависит скорость диффузии, и в разных системах с общим растворителем скорость диффузии обычно тем больше, чем меньше взаимная растворимость фаз (⁵);

эта зависимость скажется и при изменении взаимной растворимости с температурой. Необходимо также влияние взаимной растворимости фаз рассматривать в тесной связи с температурой плавления. Оба эти фактора тесно связаны между собой и поэтому должны рассматриваться вместе.

Напряжения в переходной зоне могут возникать как благодаря действию внешних сил, так и благодаря различию коэффициентов расширения соприкасающихся фаз. Эти напряжения, независимо от изменчивости взаимной растворимости фаз с температурой в соответствии с обычной диаграммой равновесия, могут сильно влиять на скорость диффузии, вызывая даже восходящую диффузию, как это показал С. Т. Конобеевский⁽⁶⁾.

Удельный вес отмеченных и других факторов вязкого течения межфазовых границ должен изменяться при переходе от одних реальных систем к другим. В результате будет проявляться большое многообразие в действии гетерогенизации сплавов на жаропрочность.

Выражаю глубокую благодарность академикам А. А. Бочвару и Г. Г. Уразову за их ценные указания по данной работе.

Институт кристаллографии
Академии Наук СССР

Поступило
7 VII 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Бочвар, Изв. АН СССР, ОТН, № 5, 649 (1948). ² Я. И. Френкель, ЖЭТФ, 16, в. 1 (1946). ³ Ting Sui-Ke, Phys. Rev., 71, No. 8, 533 (1947). ⁴ Ting Sui-Ke, *ibid.*, 73, No. 3, 267 (1948). ⁵ R. M. Barrer, Diffusion in and through Solids, 1941. ⁶ С. Т. Конобеевский, ЖЭТФ, 13, в. 11—12 (1943).

