

А. М. БОРЗДЫКА

## О ВЛИЯНИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО АУСТЕНИТА

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 14 IX 1948)

Еще до войны автором было предпринято систематическое изучение влияния легирующих элементов на теплоустойчивые (жаропрочные) свойства железохромоникелевых сплавов (1). В качестве основного критерия была принята ползучесть как свойство, имеющее преобладающее значение для длительной службы сплавов в условиях высоких температур. Поскольку испытания на ползучесть проводились длительным («классическим») методом, эти исследования потребовали значительного времени и были завершены только в 1947 г.

Настоящее сообщение касается сплавов, принадлежащих к области тройных твердых гамма-растворов системы Fe—Cr—Ni. Основной химический состав таких сплавов колеблется в достаточно широких пределах, а именно: 15—17% Fe, 10—28% Cr и 8—60% Ni.

Проведенные исследования показали, что при условии приведения структурных и технологических факторов к одному знаменателю, содержание основных компонентов оказывает на ползучесть тройного твердого раствора влияние значительно меньшее, чем это можно было бы ожидать на основании результатов кратковременных испытаний.

Если рассматривать сопротивляемость ползучести (при постоянной температуре) серии железохромоникелевых сплавов с постоянным содержанием хрома и возрастающим содержанием никеля, то эта зависимость может быть выражена кривой «напряжение ползучести — содержание никеля». Такая кривая, представляющая собой частный случай разработанных акад. Н. С. Курнаковым кривых «состав — свойство», построена на рис. 1 для разреза с 20% хрома, при температурах 600 и 700°С, причем в качестве «предела ползучести» взято напряжение для скорости удлинения  $10^{-6}$  мм/мм в час. Начиная с 8—10% Ni, т. е. с момента перехода в область твердых гамма-растворов, кривая идет совсем горизонтально.

На рис. 2 даны аналогичные кривые для хрома при постоянном (15%) содержании никеля. Очевидно, что хром оказывает значитель-

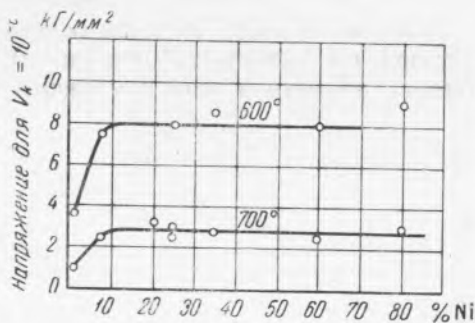


Рис. 1. Влияние никеля на сопротивление ползучести Fe—Cr—Ni сплавов с 20% Cr

но большее влияние, чем никель. Все же влияние и этого элемента в области гамма-растворов невелико. Так, изменения в абсолютной величине предела ползучести при повышении содержания хрома от 10 до 25% не превышают 2 кг/мм<sup>2</sup> при 600° и 1 кг/мм<sup>2</sup> при 700°.

Таблица 1

Элемент	Атомный диаметр, Å	Различие по сравнению с Fe в %	Кристаллическая решетка
Гамма-железо . . . . .	2,54	—	Кубическая гранецентрированная
Хром . . . . .	2,57	1	Кубическая объемноцентрированная
Марганец . . . . .	2,60	2	Сложная
Никель . . . . .	2,49	2	Кубическая гранецентрированная
Кобальт . . . . .	2,50	2	То же
Молибден . . . . .	2,80	10	Кубическая объемноцентрированная
Вольфрам . . . . .	2,82	11	То же
Ниобий . . . . .	2,94	15	То же
Титан . . . . .	2,93	15	Гексагональная

Незначительность влияния основных компонентов тройного твердого раствора на ползучесть, повидимому, находится в связи с близостью атомных диаметров этих компонентов (табл. 1).

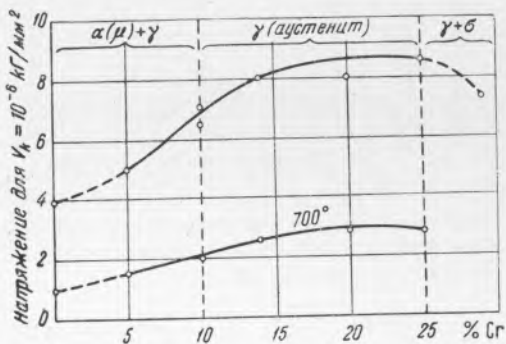


Рис. 2. Влияние хрома на сопротивление на ползучесть Fe—Cr—Ni сплавов с 15% Ni

В самом деле, упрочняющее влияние атомов растворяемого элемента связано с величиной деформации, которую они создают в кристаллической решетке растворителя. Чем ближе атомные объемы растворителя и растворяемого вещества, тем более похоже влияние растворенного атома на влияние того атома, который им заменен, тем меньше остаточные напряжения в решетке и тем меньше усилие способно вызвать скольжение<sup>(2)</sup>, а следовательно, и пластическую деформацию — ползучесть.

Также безусловное значение должна иметь изоморфность кристаллических решеток. Вряд ли можно ожидать повышения сопротивляемости ползучести твердого гамма-раствора путем его легирования элементами, имеющими, подобно гамма-железу, гранецентрированную кубическую решетку. Напротив, элементы, обладающие кристаллической решеткой, не изоморфной гамма-железу, упрочняют хромоникелевый аустенит как при нормальной, так и при высоких температурах. Это подтверждается на примере хрома и никеля. Несмотря на незначительную и приблизительно одинаковую разницу в атомных диаметрах между этими элементами и гамма-железом (табл. 1), хром, в отличие от никеля, все же оказывает некоторое упрочняющее действие на твердый гамма-раствор (рис. 2), именно в силу его неизоморфности с гамма-железом<sup>(3)</sup>. Аналогичным образом можно объяснить ранее установ-

ленный <sup>(4)</sup> факт несколько большей теплоустойчивости хромомарганцового аустенита сравнительно с хромоникелевым.

Рассмотрим вкратце влияние легирующих элементов, добавляемых к промышленным железохромоникелевым сплавам с целью повышения их теплоустойчивости. Такими элементами в первую очередь являются: вольфрам, молибден, титан и ниобий. Для примера на рис. 3 представлены кривые, иллюстрирующие характер влияния на сопротивляемость ползучести аустенитного сплава титана.

При оценке влияния этих элементов обычно исходят из их карбидообразующей способности и роли в процессах дисперсионного твердения. То, что положительное влияние перечисленных элементов связано с дисперсионным твердением, не подлежит сомнению <sup>(5)</sup>. Но не только этим определяется их упрочняющее действие.

Все перечисленные элементы, в противоположность хрому, никелю и кобальту, значительно отличаются от гамма-железа по своим атомным диаметрам (разница 10—15%) (табл. 1). Это обстоятельство не может быть случайным. В соответствии с вышеизложенным, при возрастании разницы в атомных диаметрах сплавляемых элементов критическое скалывающее напряжение увеличивается, а следовательно, повышается также сопротивляемость сплава ползучести. Неизоморфность же кристаллических решеток этих четырех элементов гамма-железу способствует еще большему упрочнению высоколегированного аустенита.

Исходя из высказанных соображений, могут быть объяснены некоторые факты, оставшиеся до сих пор не вполне выясненными, например повышение теплоустойчивости не подверженных дисперсионному твердению малоуглеродистых железохромоникелевых сплавов при легировании их вольфрамом или молибденом.

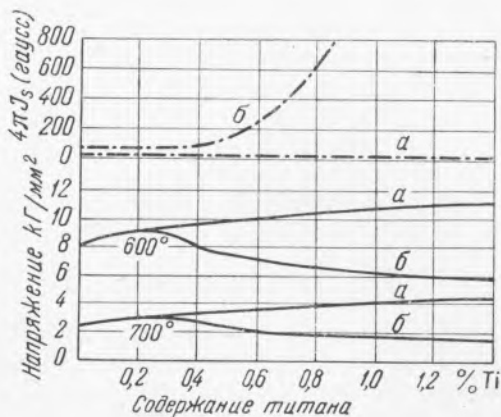


Рис. 3. Влияние титана на сопротивление ползучести: а — стали 14/14, б — стали 18/8

Поступило  
3 VII 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. М. Борздыка, Изв. сектора физико-химич. анализа АН СССР, **16**, в. 2, 116 (1946). <sup>2</sup> Ф. Зейтц, Физика металлов, 1947, стр. 147. <sup>3</sup> А. П. Гуляев, Сталь, № 2, № 10 (1947). <sup>4</sup> А. М. Борздыка, ДАН, **59**, № 2 (1948). <sup>5</sup> А. М. Борздыка, Изв. АН СССР, ОХН, № 2, 153 (1948).