

Н. С. РЫСИНА и Б. Н. ФИНКЕЛЬШТЕЙН

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯ СДВИГА ЖЕЛЕЗА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 4 V 1954)

Для современного металловедения большой интерес представляет изучение в широком интервале температур влияния легирующих добавок на упругие свойства металла-растворителя. Следует отметить отсутствие достаточных экспериментальных данных по концентрационной и температурной зависимости упругих свойств сплавов. Совершенно неудовлетворительно также и состояние теории в этой области металловедения. Мы исследовали влияние на модуль сдвига μ железа, содержащего 0,03% С, нескольких легирующих добавок в интервале температур от 20 до 800°.

Наиболее просто относительные значения модуля сдвига можно получить, измеряя частоту свободных крутильных колебаний f стержня из исследуемого материала. Действительно, если считать затухание малым, то так называемая крутильная жесткость для свободных крутильных колебаний малой амплитуды стержня с круговым сечением радиуса r равна $c = \frac{\mu \pi r^4}{2}$.

Модуль сдвига стержня кругового сечения радиуса r определяется из формулы

$$\mu = 8\pi L f^2 / r_4, \quad (1)$$

где L — длина стержня, I — момент инерции системы, совершающей крутильные колебания.

Таким образом, модуль сдвига μ пропорционален квадрату частоты f свободных крутильных колебаний образца; коэффициент пропорциональности зависит только от геометрии и распределения масс системы, участвующей в крутильных колебаниях.

Измерялась частота f свободных крутильных колебаний малой амплитуды проволочного образца длиной в 300 мм на приборе, позволяющем измерять одновременно также и внутреннее трение ^(1, 2). Диаметр образца был 0,7 мм; образец находился в вакуумной печи, электронный терморегулятор ЦЛА позволял поддерживать необходимую температуру с точностью до $\pm 5\%$.

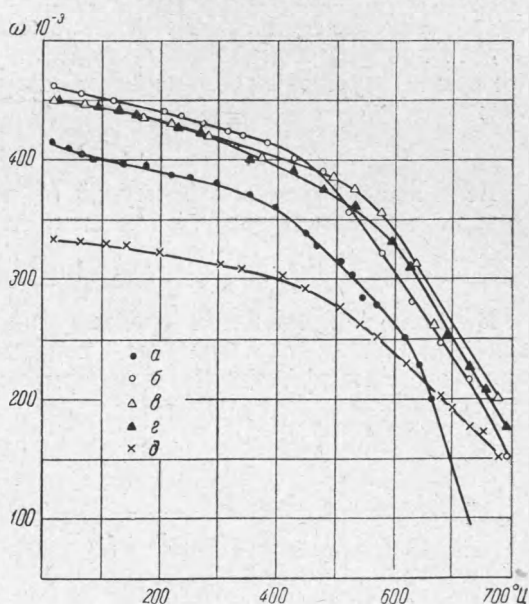


Рис. 1. Изменения модуля сдвига с температурой.
а — Fe, б — Fe + 2% Co, в — Fe + 2% Mo,
г — Fe + 1,5% Mn, д — Fe + 2% V

Относительная погрешность определения модуля при температурах ниже 400° составляет около 1%, для температур выше 500° она достигает 4%.

Для исследования были выбраны армко-железо и двойные его сплавы с ванадием, молибденом, кобальтом и марганцем. Эти сплавы используются в нашем институте для изучения механизма упрочнения и разупрочнения металлов (3). В первых трех системах содержание легирующей добавки составляло 2 вес. %; содержание марганца было равно 1,5 вес. %.

Измерения производились на образцах, подвергнутых отжигу. Чистый феррит отжигался в вакууме 100 мин. при 680°; сплавы отжигались в вакууме 1 час при 800°; во всех случаях образцы после отжига охлаждались с печью.

Результаты измерений представлены на рис. 1, изображающем температурный ход модуля сдвига чистого армко-железа и сплавов железа с ванадием, молибденом, кобальтом и марганцем. Каждая кривая отвечает средним значениям модуля, полученным на 3 образцах от одной плавки.

Модуль сдвига железа, а также железа, легированного кобальтом, ванадием или марганцем, начинает сильно уменьшаться при 360°; молибден задерживает резкое падение модуля до 480°. Выше 500° наиболее быстро падает модуль железа. При этих температурах наибольшее задерживающее действие на падение модуля оказывает ванадий.

Для количественной оценки температурного хода модуля сдвига введем температурный коэффициент γ модуля μ , определяемый соотношением

$$\gamma = d\mu / \mu dT = d \ln \mu / dT.$$

Если воспользоваться формулой (1) и пренебречь влиянием температуры на размеры подвесной системы, то

$$\gamma = d \ln f^2 / dT.$$

В табл. 1 приводятся средние значения $\gamma \cdot 10^4$ в соответствующих интервалах температуры, показывающие изменение с температурой этого коэффициента для армко-железа и исследованных нами сплавов.

Таблица 1

Температурный интервал в °Ц	С и с т е м ы				
	Fe	Fe + 2% V	Fe + 2% Mo	Fe + 2% Co	Fe + 1,5% Mn
20—40	3,75	1,51	1,68	2,20	1,68
40—80	3,10	1,52	1,68	2,21	1,68
80—120	3,13	2,30	2,27	2,78	2,27
120—160	3,15	2,32	2,87	2,81	2,87
160—200	3,20	3,10	2,90	2,85	2,90
200—240	3,25	3,16	3,50	2,87	3,50
240—280	3,93	4,00	3,57	3,50	4,76
280—320	4,75	3,25	3,60	3,55	4,85
320—360	6,78	3,29	3,67	3,60	5,60
360—400	9,10	4,18	4,32	4,85	5,70
400—440	11,62	6,80	5,40	7,50	6,50
440—480	13,72	9,70	5,20	12,90	7,35
480—520	16,20	13,80	7,10	18,00	9,00
520—560	19,10	16,60	12,40	21,00	12,30
560—600	23,80	18,90	21,30	24,50	17,50
600—640	43,10	22,90	25,00	27,20	24,90
640—680		22,40	29,80	30,50	30,50
680—720		26,60	31,60	32,30	37,00
720—760		31,00	34,00	50,00	47,80

Полученные нами экспериментальные данные показывают, что при комнатной температуре из всех исследованных добавок наибольшее повышение модуля сдвига вызывает кобальт, а наибольшее понижение — ванадий. Однако выше 500° модуль сдвига сплавов с молибденом, марганцем и кобальтом быстрее падает с возрастанием температуры, чем сплава с ванадием. Последняя легирующая добавка сильно задерживает падение модуля сдвига при высоких температурах; выше 650° модуль сплава оказывается больше, чем у железа.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии

Поступило
21 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ К. М. Розин, Б. Н. Финкельштейн, ДАН, 91, 811 (1953). ² В. С. Постников, Сборн. тр. Кемер. горн. инст., в. 1, 202 (1954). ³ Г. В. Курдюмов, В. А. Ильина и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 17, 297 (1953).