

УДК 546.+548.6+542

Р.В.КАЛАГОВА, Н.И.КАЛОЕВ, Г.Г. ГРИГОРЯН, А.И. МАРТИРЯН,
Л.Г. АРУСТАМОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МОЛИБДЕНА И ЖЕЛЕЗА

Изучено взаимодействие компонентов в системе $Mo - Fe$ и установлено образование четырех интерметаллических соединений: $FeMo$, Fe_5Mo_3 , Fe_2Mo и Fe_7Mo_6 .

Установлена область образования пересыщенного раствора железа и молибдена, способного к дополнительному упрочнению за счет дисперсионного твердения. Обнаружено, что система 32 ат. % Mo и 68 ат. % Fe обладает высоким значением коэрцитивной силы за счет распада однофазного раствора при охлаждении и образовании ферромагнитных $\alpha - Fe$ и Fe_2Mo .

Среди промышленных материалов молибден обладает рядом особых технических свойств и, в первую очередь, придает сплавам на его основе высокие антикоррозионные свойства.

Этот металл повышает электросопротивление сплавов, что позволяет применять их на высоких частотах. Молибден относится к тугоплавким металлам, которые, кроме высоких температур плавления, кипения и температур рекристаллизации, имеют, как и α -железо, объемно-центрированную кубическую решетку, для которой характерно охрупчивание при определенных температурах. Для молибдена это – комнатная температура, а для железа – ниже комнатной [1]. Пластическое деформирование этих металлов должно производиться в нагретом состоянии – не ниже температуры рекристаллизации.

Сплавы на основе железа предназначаются для рабочих температур не выше $700^\circ C$ ($T_{пл.} 1539^\circ C$), на основе молибдена ($T_{пл.} 2610^\circ C$) – не выше $1200-1300^\circ C$. В любом случае при температурах выше $900^\circ C$ прочность сплавов тугоплавких металлов превосходит прочность стали аустенитного класса [1].

Соединения легирующих элементов с железом, в том числе и с молибденом, относятся к ферросплавам, которые применяются главным образом для легированных сталей с улучшенными свойствами в основном при выплавке быстрорежущих, инструментальных и нержавеющей сталей [2]. Ферросплавы и легирующие добавки получают из соответствующих руд или концентратов путем восстановления активными элементами (углерод, кремний, алюминий) или электролизом. В [3] ферромolibден получают проплавлением молибденового концентрата, железной руды, железной стружки, восстановителя с активным элементом – кальцием и флюсом.

Известно, что кристаллы α -железа отличаются ярко выраженной анизотропией магнитных свойств. Ребро куба является осью наиболее легкого намагничивания, поэтому получение текстуры куба (т.е. структуры с одинаковой ориентацией всех кристаллов) привело бы к резкому различию магнитных свойств в направлениях, перпендикулярных друг другу. У обычного технического железа магнитная проницаемость приблизительно равна $0,0012 Tm^2/A$. Получение высоких магнитных свойств на сплавах $Mo - Fe$ возможно лишь при условии высокой чистоты металлов

(особенно по углероду), при высокой дисперсности и текстурованной структуре, в соответствии с чем сплавы выплавлялись в электродуговой печи в атмосфере очищенного аргона из предварительно спрессованных молибдена и железа высокой чистоты (96, 95 и 96, 95 % масс. соответственно) [4]. Угар при выплавке сплавов составляет не более 2 ат. %.

Необходимо отметить, что в двойных металлических системах с участием переходных металлов при вводе третьего компонента образующиеся тройные соединения связаны с составом двойных фаз, что отвечает их сочетанию и предоставляет возможность рассматривать их как производные соответствующих двойных соединений [5–6].

Изучение взаимодействия компонентов в системе $Mo - Fe$ и корреляция полученных результатов с магнитными свойствами представляют возможность использования ферромолибдена и в качестве лигатуры для получения тройных и четверных специальных сплавов с особыми свойствами, к которым можно отнести высокую величину намагниченности и магнитострикцию.

При исследовании взаимодействия молибдена и железа в твердых растворах за основу был принят вариант диаграммы состояния, предложенный в [7], куда внесены изменения с учетом [8,9].

В настоящей работе взаимодействие компонентов в системе при 773 К изучалось комплексом методов физико-химического анализа [10]. Гомогенизацию проводили в течение 800 ч. при 1273 К и 800ч. при 773 К с последующей закалкой в ледяной воде.

Изменение твердости проводили на приборе ТП при нагрузке 100 Н. Рентгенофазовый анализ был выполнен при помощи дифрактометра на кобальтовом K_{α} -фильтрованном излучении.

Обсуждение результатов. В табл. 1 приводятся состав сплавов на основе молибдена и железа и результаты рентгенофазового анализа образцов, закаленных при 773 К.

Таблица 1

Фазовый состав

№ образца	Состав сплава, ат. %		Фазовый состав
	Mo	Fe	
1	0	100*	$\alpha - Fe$
2	32	68	$Fe_2Mo + \alpha - Fe$
3	33	67	Fe_2Mo
4	36	64	$Fe_5Mo_3 + Fe_7Mo_6$
5	43	57	$Fe_7Mo_6 + Fe_2Mo$
6	50	50	$Fe_7Mo_6 + Mo$
7	100	0	Mo

* Образец получен после глубокого травления.

На дифрактограмме образца состава 43 ат.% Mo и 57 ат.% Fe показано, что содержатся две системы отражений (характерные как для структурного типа W_6Fe_7 , так и для гексагональной кристаллической решетки структурного типа $MgZn_2$ (фаза Лавеса)).

Из диаграммы состояния системы $Mo - Fe$ (см. рис.) видно, что молибден сужает γ -область (γ -железо обычно реализуется в области от 1179 до 1665 К) и замыкает систему при 3% молибдена. Установлено, что образование интерметаллических соединений $FeMo$ (σ -фаза) и Fe_5Mo_3 (R -фаза) происходит по перитекти-

ческой реакции, а в твердом состоянии по перитектоидным реакциям образуются еще две фазы, отвечающие составам Fe_2Mo (λ -фаза) и Fe_7Mo_6 (μ -фаза). Кристаллографические данные приведены в табл. 2.

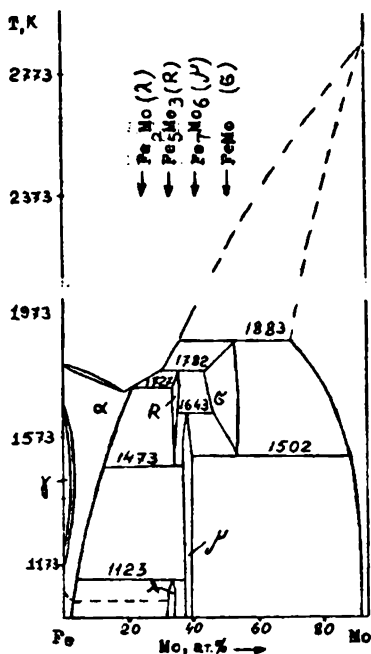


Диаграмма состояния системы $Mo - Fe$.

Таблица 2

Кристаллографические характеристики системы $Mo - Fe$

Система	ИМС	Способ образования	Т, К	Структура		Периоды решетки		
				система	тип	a	α	c
$Fe - Mo$	R -фаза Fe_5Mo_3	перитектический	1782	ромбоздри- ческая гексаго- нальная	-	0,9016 1,0910	74,46	- 1,9354
	σ -фаза $FeMo$	перитектический	1883	тетраго- нальная	$\beta - U$	0,9218	30,62	0,4813
	μ -фаза Fe_7Mo_6	перитектоидная	1643	ромбоздри- ческая	-	0,9001		-
	λ -фаза Fe_2Mo	перитектоидная	1123	гексаго- нальная	Fe_7W_6 $MgZn_2$	0,4754 0,4745		2,5710 0,7734

Полученные сплавы с содержанием молибдена до 30–40 ат.% относятся к безуглеродным дисперсионно-твердеющим сплавам и при вышеуказанных условиях гомогенизации и закалки обладают высокой коэрцитивной силой H_c . Повышение H_c до 20000 А/М² в системе 32 ат.% Mo и 68 ат.% Fe связано с распадом однофазового сплава в процессе охлаждения с образованием высокодисперсных ферро-

магнитных фаз: $\alpha - Fe$ и Fe_2Mo . Высокие значения H_c , иначе говоря, магнитной твердости, связаны также с легированием железа сверх предела растворимости. Значения твердости варьируются в интервале 1600-1800 МН/м².

Кафедра катализа

Поступила 29.05. 1998

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1966, с. 349-364.
2. Циммерман Р., Гюнтер К. *Металлургия и материаловедение* (Пер. с нем. под ред. Полунина П.И.), М.: *Металлургия*, 1982, с. 308-312.
3. Авт. свид-во СССР №572523, кл. С 22с 33/00.
4. Калагова Р.В., Калоев Н.И., Соколовская Е.М. – *Цветная металлургия*, 1986, №2, с. 122-124.
5. Марков В.Я. – *Металлы*, 1966, №1, с. 156.
6. Agamsted R., Schubert K. – *Mettalkund.* 1965, v 56, p. 93.
7. Кубашевски О. *Диаграммы состояния двойных систем на основе железа* – М.: *Металлургия*, 1985, 180 с.
8. Hidedxy E. Equilibrium diagram of binar $Mo - Fe$ system in the steel melting temperatures range. – *J. Iron and Steel Inst. Jap.*, 1979, v. 65, №11, p. 170-174.
9. Yoshiynki U., Eyl J., Toshisada M. Iron - Molybdenium Phase Diagram in the temperature range of 1360 to 1622 °C. – *J. Iron and Steel Inst. Jap.*, 1983, v. 69, №6, p. 556-563.
10. Михеева В.И. *Метод физико-химического анализа в неорганическом синтезе*. М.: *Наука*. 1975, 271 с.

Ռ. Վ. ԿԱԼԱԳՈՎԱ, Ն.Ի. ԿԱԼՈՅԵՎ, Գ.Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա.Ի. ՄԱՐՏԻՐՅԱՆ, Լ.Գ. ԱՌՈՒՏԱՄԱՌՎԱ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՎ ԵՐԿԱԹԻ ՀԻՄՔՈՎ ՊԻՆԴ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ուսումնասիրված է $Mo - Fe$ համակարգում բաղադրիչների փոխազդեցությունը, պարզված է չորս ինտերմետաղական միացությունների ($FeMo$, Fe_5Mo_3 , Fe_2Mo , Fe_7Mo_6) առաջացումը: Որոշված է երկաթի և մոլիբդենի գերհագեցած լուծույթի առաջացման շերտը, պարզված է ի հաշիվ դիսպերսիոն պնդացման լրացուցիչ կարգավորվածության ընդունակությունը:

Հայտնաբերված է, որ Mo 32 ատոմ.%, Fe 68 ատոմ.% պարունակող համակարգը ունի մեծ կոերցիտիվ ուժ՝ ի հաշիվ սառեցման ընթացքում լուծույթի քայքայման և $\alpha - Fe$ ու Fe_2Mo ֆերոմագնիսների առաջացման: