

УДК 539.53; 669.24

Микротвердость тройных твердых растворов Ni-Cu-Nb на основе никеля

В.В. Леонов**Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 16.09.2009, received in revised form 06.10.2009, accepted 20.10.2009

Исследована микротвердость HV, ГПа тройных твердых растворов Ni-Cu-Nb на основе никеля от состава (X, ат.%). Получена линейная зависимость $HV = 0,61 + 0,074Cu + 0,182XNb$.

Ключевые слова: микротвердость, твердый раствор, никель.

Микротвердость HV – одно из свойств твердых простых веществ и их сплавов. Ее часто исследуют в бинарных системах [1, 2, 3]. В настоящей работе исследована микротвердость трехкомпонентного твердого раствора на основе никеля Ni-Cu-Nb. При этом устанавливались зависимости микротвердости от химического состава не только в бинарных системах Ni-Cu и Ni-Nb, но и оценивались результаты взаимного влияния двух примесей. В качестве растворителя выбрали никель, который часто является одним из основных компонентов жаропрочных и нержавеющей сталей. Растворимость ниобия в никеле достигает 14 ат. %, а никель с медью образует непрерывный ряд твердых растворов [4]. Тройная система Ni-Cu-Nb имеет соответствующую область твердых растворов на основе никеля.

Сплавы готовили сплавлением порошков компонентов электрической дугой в аргоне. Слиток шлифовали, полировали, отжигали при 800-900 °С в течение 3-4 часов. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3 в 20 точках, ошибка измерения 1-3 %.

Составы образцов находятся в пределах области твердых растворов в системе на основе никеля. Составы измеряемых сплавов располагаются на прямой, проходящей через угол никеля в тройной системе, что соответствует постоянному отношению Cu/Nb. Отношение $X_{Cu}/(X_{Cu} + X_{Nb})$ изменялось через 10 ат. % от одной линии к другой (от одной серии к другой), где X – концентрация ат. %. Общее число проанализированных составов 55. Эти образцы покрывали весь угол у никеля в тройной диаграмме.

Результаты измерения приведены в табл. 1, на основании которых строили линейные зависимости микротвердости от суммы концентраций примесей:

$$HV = a + b(X_{Cu} + X_{Nb}). \quad (1)$$

* Corresponding author E-mail address: leonovvv@inbox.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Таблица 1. Зависимость микротвердости, ГПа, тройных сплавов системы Ni-Cu-Nb от состава, ат. %

$XCu + XNb$	Отношение $XCu/(XCu + XNb)$										
	= 0	= 0,1	= 0,2	= 0,3	= 0,4	= 0,5	= 0,6	= 0,7	= 0,8	= 0,9	= 1
2	1,09	0,99	0,88	1,00	0,71	0,78	0,88	0,97	0,91	0,62	0,88
3	1,19	1,14	1,07	1,16	0,99	1,04	0,87	0,89	0,79	0,85	0,85
4	1,34	1,36	1,48	1,19	1,25	1,08	1,03	1,04	0,86	0,90	0,87
5	1,44	1,55	1,33	1,33	1,13	1,21	1,19	1,06	1,13	1,06	0,99
6	1,42	1,90	1,55	1,59	1,43	1,46	1,34	1,26	1,15	1,18	1,15

Таблица 2. Зависимость микротвердости, ГПа, тройных сплавов системы Ni-Cu-Nb от состава, ат. %

Отношение $XCu/(XCu + XNb)$	$HV = HV_0 + b(XCu + XNb)$	Достоверность
= 0	$HV = 0,61 + 0,162(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,274$
= 0,1	$HV = 0,61 + 0,197(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,962$
= 0,2	$HV = 0,61 + 0,162(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,805$
= 0,3	$HV = 0,61 + 0,158(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,898$
= 0,4	$HV = 0,61 + 0,126(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,805$
= 0,5	$HV = 0,61 + 0,129(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,921$
= 0,6	$HV = 0,61 + 0,114(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,927$
= 0,7	$HV = 0,61 + 0,104(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,607$
= 0,8	$HV = 0,61 + 0,088(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,629$
= 0,9	$HV = 0,61 + 0,084(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,822$
= 1,0	$HV = 0,61 + 0,082(XCu + XNb)$	$R^2 = 0,696$
Среднее	$HV = 0,61 + b(XCu + XNb)$	
$b = 0,182 - 0,108[XCu/(XCu + XNb)], R^2 = 0,899$		
Итоговое $HV = 0,61 + 0,074XCu + 0,182XNb$		

Коэффициент пропорциональности b в этих уравнениях зависит от отношения концентраций примесей (табл. 2). Эту зависимость строили как линейную и полиномиальную, описывали уравнением, которое приведено внизу табл. 2. Здесь же приведены расчетные уравнения и итоговое уравнение зависимости микротвердости трехкомпонентного твердого раствора от концентрации (ат. %) двух примесей.

Следует пояснить, что зависимости (1) строили 2 раза. Сначала строили линейные зависимости по первичным результатам измерений. Определяли коэффициент a для каждой серии, а

затем находили средний $a_{cp} = HV_0$, который равен микротвердости чистого никеля. Второе построение вели при фиксированном $a_{cp} = HV_0$, и только после этого строили зависимость

$$b = c + e[XCu/(XCu + XNb)]. \quad (2)$$

Для краткости приводим полученные результаты в виде уравнений, без графиков. Как видим, линейные уравнения

$$HV = HV_0 + b(XCu + XNb) \quad (3)$$

имеют большую достоверность аппроксимации R^2 . Уравнение (2) также линейное, хотя достоверность меньше, но находится в пределах ошибки измерения микротвердости.

Линейность (аддитивность) изменения коэффициента b указывает на отсутствие взаимодействия компонентов Cu и Nb в твердом растворе на основе никеля. И как следствие этого, получаем итоговое уравнение линейным:

$$HV = HV_0 + (c + e)XCu + cXNb = 0,61 + 0,074Cu + 0,182XNb. \quad (4)$$

Следовательно, очень легко прогнозировать микротвердость тройного твердого раствора при разных концентрациях компонентов. Например, можно описывать уравнением изменение микротвердости в бинарной системе ($XMei = 0$) или при постоянной концентрации одного компонента ($XMei = A$).

Список литературы

1. Глазов В.М. Микротвердость металлов и полупроводников/ В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
2. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов/ В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
3. Боярская Ю.С. Деформирование кристаллов при испытаниях на микротвердость/ Ю.С. Боярская. – Кишинев: Штиинца, 1972. – 234 с.
4. Хансен М. Структуры двойных сплавов/ М. Хансен, К. Андерко. – М.: Металлургия, 1962. – 1487 с.

Microhardness of Trile Solid Solution Ni-Cu-Nb on Nickel Basis

Victor V. Leonov
Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

The microhardness HV, ГПа of trile solid solution Ni-Cu-Nb on nickel basis from composition (X, at. %) was investigated. Linear equation $HV = 0,61 + 0,074Cu + 0,182XNb$ was determined.

Keywords: microhardness, solid solution, nickel.