

Н. Ф. ЛАШКО

К ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЯ Ni — Si

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 28 IX 1951)

Диаграмма состояния Ni — Si изучена недостаточно. Остаются неясными вопросы, касающиеся областей существования фаз системы. Не выяснены даже возможные фазы, существующие в системе Ni — Si. Бесспорно установлено наличие трех фаз: Ni_2Si , Ni_3Si_2 , $NiSi$. Наибольшие разногласия возникли по поводу существования соединения, отвечающего составу Ni_3Si .

По данным Гюртлера (1), фаза Ni_3Si существует. Другие исследователи отрицают наличие этой фазы в системе Ni — Si или ставят под сомнение возможность ее существования (2). Отрицание возможного существования фазы Ni_3Si основано, главным образом, на результатах опытов Вигуру (3) и Фрилля (4), которые утверждали, что в остатках сплавов Ni — Si, содержащих до 17,8% Si,

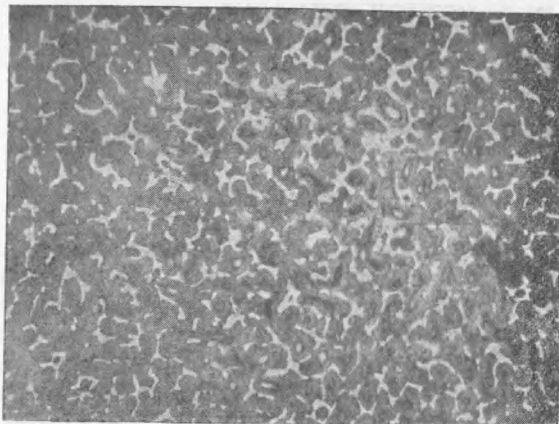


Рис. 1. Исходное состояние. $\times 35$

где можно было ожидать наличия Ni_3Si , после растворения твердого раствора они находили только соединение Ni_2Si .

В данном исследовании доказывается наличие интерметаллидного соединения Ni_3Si . Для опытов были взяты сплавы, выплавленные в высокочастотной индукционной печи, содержавшие 2, 4 и 7% Si.

Сплав с 2% Si после литья в земляную форму оказался однородным.

Сплав с 4% Si после литья был двухфазным, но после отжига при 1000° в течение 1 часа стал однородным. Сплав, содержащий 7% Si и 92% Ni (остальное примеси), — двухфазный вплоть до начала расплавления. Типичная структура сплава с 7% Si после литья показана на рис. 1. Видны дендриты неоднородного твердого раствора, между осями которого залегает белая слабо травящаяся фаза. Приведенная структура типична для сплавов, имеющих эвтектику. Центральная часть осей дендритов светлая, периферии дендритов покрыты мелкими выделениями второй фазы. На этом примере можно наглядно проследить последовательность кристаллизации сложного сплава. Первым кристаллизуется твердый раствор, содержащий небольшое количество второго элемента, обладающего высокой температурой плавления. По мере роста

дендритов твердого раствора кристаллизуются участки его, более насыщенные вторым элементом, обладающие пониженной температурой затвердевания. Так как растворимость кремния в никеле изменяется с температурой, то с дальнейшим охлаждением сплава в процессе затвердевания периферийные участки дендритов твердого раствора оказываются пересыщенными, и в них выделяется вторая фаза. В междендритном пространстве кристаллизуется наиболее легкоплавкая часть — эвтектика, вторым участником которой является белая слабо травящаяся фаза.

Нагрев до 600 и 700° приводит к частичному растворению внутри дендритов твердого раствора выделившейся фазы, в результате чего

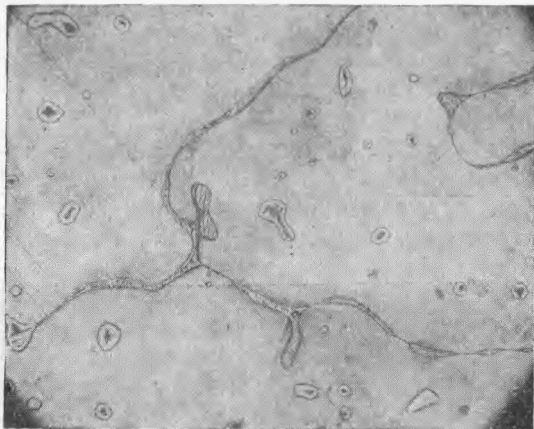


Рис. 2. Отпуск 1150°. × 80

между осями дендритов твердого раствора. Температура 1150° отвечает началу расплавления сплава, что отчетливо видно по образованию явно выраженной эвтектики по границам зерен (см. рис. 2). Следовательно, максимальная растворимость кремния и никеля меньше 7%.

При анодном растворении твердого раствора была выделена вторая фаза. Рентгеновское исследование показало, что вторая фаза имеет гранцентрированную решетку сверхструктурного типа (типа Cu_3Au) с параметром 3,50 кХ. Сверхструктурные линии на рентгенограммах обнаружены после всех нагревов вплоть до 1150°. Сверхструктурные линии, слегка размытые после литья, становятся более четкими при повышении температуры.

Расчет одной из рентгенограмм представлен в табл. 1. На рентгенограмме обнаружены лишние слабые линии, отвечающие, по видимому, нерастворимым неметаллическим включениям, видимым на микроструктуре. Параметр решетки, в пределах точности определения (до 0,005 кХ), не зависит от температуры нагрева сплава. На рис. 3 (см. вклейку к стр. 613) приведены рентгенограммы осадков, полученных при электролитическом осаждении.

Приведенные данные убеждают в том, что вторая фаза сплава с 7% Si является интерметаллическим соединением Ni_3Si со сверхструктурной решеткой типа Cu_3Au . Сверхструктура остается ненарушенной вплоть до температуры плавления сплава. Интерметаллид Ni_3Si до 1150° по своим свойствам почти не изменяется, что видно по неизменяемости параметра его решетки и твердости.

Микротвердость фазы Ni_3Si и твердого раствора определялась на приборе М. М. Хрушова. Твердость интерметаллида практически не изменяется от температуры нагрева. Твердость твердого раствора равна $\sim 220 H_V$, а фазы $\sim 400 H_V$.

центральная светлая часть дендритов расширяется. Нагрев до 900° приводит к еще большему расширению светлых участков твердого раствора, свободных от второй фазы. При этой температуре площадь шлифа, занимаемая светлой слабо травящейся фазой, залегающей между осями дендритов, также уменьшается.

Нагрев при 1000° почти полностью переводит мелкие выделения второй фазы в твердый раствор. Нагрев при 1150° приводит к резкому уменьшению количества второй фазы, расположенной



Рис. 3. Нагрев 1150°

Таблица 1

Расчет рентгенограммы фазы Ni_3Si , выделенной из сплава Ni—Si с 7% Si (излучение K_α и K_β Cu)

| №№ п/п | (hkl) | Интенсив- ность | Излу- чение | $\sin^2 \vartheta$ | Параметр в кХ | Примечание |
|-----------|-------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | (001) | слаб. | α | 0,0483 | 3,49 | Сверхструктурн. линия |
| 2 | (011) | " | α | 0,0955 | 3,50 | " |
| 3 | (111) | оч. слаб. | β | 0,1204 | | |
| 4 | (111) | сильн. | α | 0,1440 | 3,50 | |
| 5 | (002) | оч. слаб. | β | 0,1577 | | |
| 6 | (002) | средн. | α | 0,1935 | 3,49 ₄ | |
| 7 | ? | о. о. слаб. | α | 0,2291 | | |
| 8 | (012) | оч. слаб. | α | 0,2410 | 3,50 ₁ | Сверхструктурн. линия |
| 9 | (112) | " " | α | 0,2887 | 3,50 ₄ | " |
| 10 | (022) | " " | β | 0,3159 | | |
| 11 | (022) | средн. | α | 0,3879 | 3,49 ₂ | |
| 12 | (003) | оч. слаб. | α | 0,4356 | 3,49 ₅ | Сверхструктурн. линия |
| | (113) | | β | | | |
| 13 | (113) | средн. | α | 0,5331 | 3,49 ₂ | |
| 14 | (222) | ср. слаб. | α | 0,5799 | 3,49 ₇ | |
| 15 | (123) | оч. слаб. | α | 0,7129 | 3,49 ₇ | Сверхструктурн. линия |
| 16 | (004) | ср. слаб. | α | 0,7752 | 3,49 ₅ | |
| 17 | ? | оч. слаб. | α | 0,7896 | | |
| 18 | ? | о. о. слаб. | α | 0,8410 | | |
| 19 | (331) | средн. | α_1 | 0,9174 | 3,49 ₈ | |
| 20 | (331) | " | α_2 | 0,9222 | 3,49 ₈ | |

Следовательно, можно считать установленным, что в двойных сплавах Ni—Si существует упорядоченное химическое соединение с гранцентрированной решеткой сверхструктурного типа. Упорядоченное строение решетки не исчезает вплоть до температуры плавления; следовательно, эта фаза возникает из жидкого состояния.

При добавлении в сплав никеля с 7% Si хрома образуется фаза $Ni_3(Si, Cr)$ на основе соединения Ni_3Si . При этом увеличивается параметр решетки. Так в сплаве, содержащем 7% Si и 14% Cr, параметр решетки равен 3,51₃ кХ. Сверхструктурных линий нет. Это указывает на то, что хром, входящий в твердый раствор $Ni_3(Si, Cr)$, «размывает» сверхструктурную решетку.

Поступило
21 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Guertler, Handb. d. Metallographie, 1, 2 Teil, Berlin, 1917, S. 676.
² М. Гансен, Структуры бинарных сплавов, 1941, стр. 907. ³ E. Vigouroux, C. R., 142, 1270 (1905). ⁴ R. Frilley, Rev. de Métallurgie, 8, 484 (1911).