

И. И. КОРНИЛОВ, Р. С. МИНЦ и С. Д. ОНОПРИЕНКО

ДИАГРАММА СОСТАВ — ЖАРОПРОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ Ni — Al

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 29 XI 1952)

Диаграмма состояния системы Ni — Al на всем ее протяжении изучена Александером и Воганом⁽¹⁾ и, более современными методами, до 25 вес. % Al Шраммом⁽²⁾. Установлено, что Ni и Al образуют между собой ряд химических соединений: Ni₃Al, NiAl, Ni₂Al₃ и NiAl₃. Растворимость Al в Ni (γ -твердый раствор) с повышением температуры значительно возрастает. Так, при комнатной температуре в Ni растворяется 4 вес. %, а при 1200° 11 вес. % Al. Ближайшее к Ni соединение Ni₃Al (γ') образуется инконгруентно при 1362°, имеет решетку границентрированного куба и дает узкую область твердых растворов как с Ni (фаза γ), так и с металлическим соединением NiAl (фаза β). Соединение NiAl плавится без разложения при 1638°, имеет решетку объемноцентрированного куба и широкую область твердых растворов.

Исследования, посвященные системе Ni — Al, не содержат систематических данных о свойствах сплавов. Упоминается лишь о высокой жаростойкости, кислотоупорности и хрупкости соединения Ni — Al.

Большое практическое значение данной системы в части, прилегающей к никелевой стороне, с необходимостью ставит на очередь вопрос об изучении ряда физико-химических и механических свойств сплавов этой системы. В связи с систематическим изучением диаграммы состояния тройной системы Ni — Cr — Al нами было проведено изучение диаграмм состав — свойство системы никель — алюминий как одной из сторон концентрационного треугольника тройной системы Ni — Cr — Al. В настоящей работе рассматривается жаропрочность сплавов Ni — Al в связи с составом и строением системы.

Для приготовления сплавов применялись электролитический никель и лигатура Ni — Al, по составу близкая к соединению NiAl. Плавка сплавов производилась в высокочастотной печи в корундовых тиглях под флюсом, состоящим из окислов Al, Mg, Ca. Навеска составляла 100 г. Образцы в виде палочек диаметром 3 и 4 мм, длиной 50—100 мм готовились методом насасывания в нагретые фарфоровые трубочки (метод Степанова); оставшийся в тигле металл отливался в плоскую железную изложницу размером 10 × 20 × 30 мм. Плоские образцы служили для исследования структуры и измерения твердости, палочки — для испытания на жаропрочность.

Свойства сплавов определялись после закалки и отжига. Закалка после 24-часового гомогенизационного отжига производилась в охлаждающую смесь воды, соли (NaCl) и льда (—6°). Отжиг со ступенчатым охлаждением проводился по следующему режиму: 1100° 24 часа, 1000° 24 часа, 800° 48 час. и 500° ($\pm 100^\circ$) 7 час. (общее время отжига 103 часа). Колебания температуры при 500° производились для ускорения коагуляции выделяющейся фазы.

Исследование микроструктуры в закаленном и отожженном состояниях показало наличие всех фаз, указанных в работе (2). Твердость сплавов в отожженном и закаленном состоянии, измеренная на приборе Виккерса алмазной пирамидой при нагрузке 30 кг, в общих чертах повторяет ход кривой, полученной в работе (2).

Жаропрочность сплавов испытывалась по методу И. И. Корнилова (3, 4) на центробежной машине при 800° (400 час.) и 850° (50 час.). Напряжение увеличивалось от 2,5 до 12 кг/мм². Образцы диаметром 3 и 4 мм (различные серии), длиной 52—70 мм (в зависимости от удельного веса), зажатые в специальный зажим, помещались в нагревательную печь, где вращались с расчетной скоростью, связанной с заданным напряжением. При этом образцы изгибались. В качестве характеристики относительной жаропрочности принято время достижения заданной стрелы изгиба, в данном случае 3 и 5 мм.

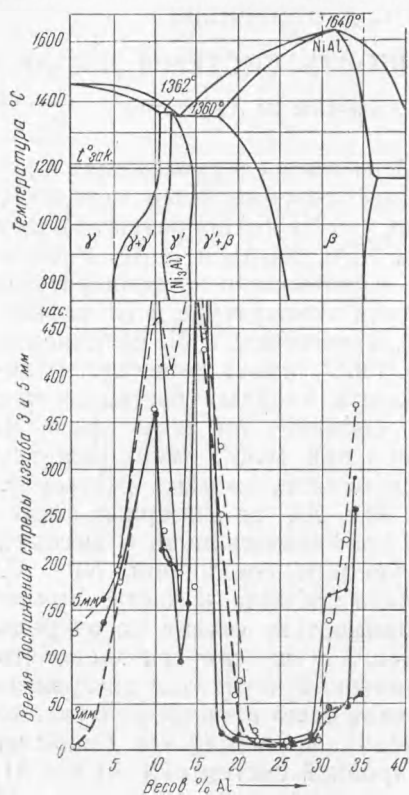


Рис. 1

Кривые состав — жаропрочность (рис. 1) показывают, что с увеличением содержания Al до 10 вес. % жаропрочность сплавов как в отожженном, так и в закаленном исходном состоянии резко возрастает, причем для закаленного состояния возрастание жаропрочности значительнее. Максимум жаропрочности при содержании 10% Al объясняется достижением области предельного насыщения твердых растворов алюминия в никеле при высоких температурах. Добавочное увеличение жаропрочности закаленных сплавов можно объяснить фиксированием большей концентрации твердого раствора при закалке и большим временем последующего его распада и коагуляции избыточной фазы.

После первого подъема кривой жаропрочности происходит значительное снижение ее в двухфазной области $\gamma + \gamma'$; минимум жаропрочности отвечает составу соединения Ni_3Al . Жаропрочность соединения Ni_3Al возрастает по мере достижения пограничных областей твердых растворов на его основе как в сторону с избытком никеля, так и в области, богатой Al. Твердые растворы соединения Ni_3Al предельного насыщения показывают максимумы жаропрочности.

При переходе из области предельного насыщения твердых растворов попадаем в двухфазную область $\gamma' + \beta$, где β является твердым раствором на основе соединения NiAl; сразу же наблюдается резкое снижение жаропрочности сплава. На диаграмме состав — жаропрочность кривая в этой области имеет минимальное значение, а в двухфазной области $\gamma' + \beta$ изменяется почти линейно. В пограничной области твердого раствора β намечается дальнейшее повышение жаропрочности сплавов в зависимости от состава. Но в связи с высокой хрупкостью сплавов в области твердых растворов β и соединения NiAl нам не удалось подробно изучить жаропрочность сплавов этой области.

Исследование микроструктуры сплавов показало, что сплав, почти точно отвечающий составу металлического соединения Ni_3Al , имеющий



Рис. 2

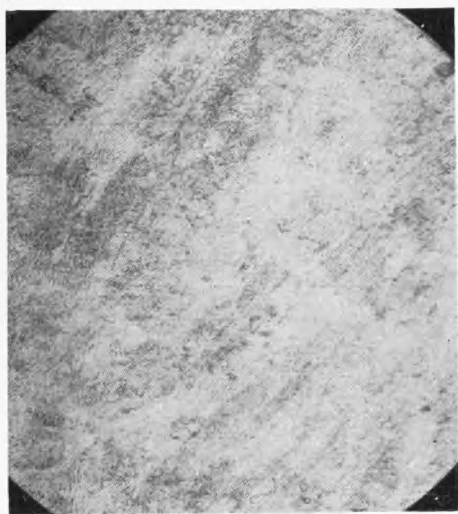


Рис. 3



Рис. 4

при 150-кратном увеличении полиэдрическую структуру гомогенного твердого раствора, при 950-кратном увеличении показал пластинчатость строения зерен (рис. 2).

Наличие большого количества линий скольжения на плоскости шлифа может быть связано с высокой способностью соединения Ni_3Al к деформации по этим плоскостям. Можно предположить, что деформация сплава при приложении напряжений происходит по плоскостям, которые так отчетливо различимы на микрофотографии. Сплавы, показавшие высокую жаропрочность, имеют после испытания на жаропрочность при 800° в течение 400 час. микроструктуру мелкодисперсного распада пересыщенных твердых растворов (рис. 3). Такого рода сплавы из области максимального насыщения твердых растворов отвечают максимальной жаропрочности сплавов. Первая стадия гомогенного распада, где еще нет микроскопически наблюдаемой второй фазы, вызывает упрочнение этого твердого раствора предельного насыщения. Сплавы же с явно гетерогенной структурой, как это показано на рис. 4, отвечают весьма низким значениям жаропрочности.

Выводы

Изучение диаграммы состав — жаропрочность сплавов системы $Ni - Al$ (до 30 вес. % Al) приводит к следующим выводам.

1. Жаропрочность твердых растворов алюминия в никеле постепенно повышается по мере увеличения концентрации алюминия. Наибольшей жаропрочностью обладают сплавы из области предельного насыщения твердых растворов.

2. Наименьшей жаропрочностью обладают гетерогенные — двухфазные сплавы области $\gamma + \gamma'$ и $\gamma + \beta$.

3. Соединение Ni_3Al как химический индивид характеризуется сингулярным минимумом жаропрочности; твердые растворы на его основе, богатые Ni или Al , имеют более высокую жаропрочность, чем жаропрочность соединения Ni_3Al .

4. Максимальная жаропрочность и в случае ограниченных твердых растворов на основе металлического соединения (Ni_3Al) достигается в области максимального насыщения этих молекулярных твердых растворов (5).

5. Диаграмма состав — жаропрочность $Ni - Al$ в изученном интервале температур позволяет по характеру изменения кривых свойства по составу определять физико-химическую природу и границы фазовых областей на диаграмме состояния $Ni - Al$.

6. Приведенные в работе данные по диаграмме состав — жаропрочность системы $Ni - Al$ подтверждают правильность типов диаграмм состав — жаропрочность (6).

Институт общей и неорганической химии
Академии наук СССР

Поступило
20 XI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. O. Alexander, N. B. Voughan, J. Inst. Met., **61**, 250 (1937). ² J. Schramm, Z. Metallkunde, **33**, 347 (1941). ³ И. И. Корнилов, Зав. лаб., **15**, № 1, 76 (1949). ⁴ И. И. Корнилов, Изв. сект. ФХА, **18**, 72 (1949); **19**, 437 (1949). ⁵ И. И. Корнилов, ДАН, **81**, № 4, 597 (1951). ⁶ И. И. Корнилов, ДАН, **84**, № 4, 757 (1952).