

СЕКЦИЯ 5. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МЕТАЛЛОВЕДЕНИИ

УДК 669 245

А. Ф. Гибадуллина**, *А. Ю. Жиляков*, *В. А. Хотинков*, *И. Б. Половов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**Gibadullina.A@gmail.com*,

Научный руководитель – проф., д-р хим. наук *О. И. Ребрин*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ HASTELLOY G-35 И N06035

Исследована структура и состав сплавов Hastelloy G-35 от Haynes Inc. и аналог N06035 от Zhejiang Jiuli Hi-Tech Metals Co. Определены механические свойства сплавов в состоянии поставки. Построена диаграмма «температура–время–сенсibilизация» до 1000 ч.

Ключевые слова: никелевый сплав, диаграмма «температура–время–сенсibilизация», механические свойства.

A. F. Gibadullina, A. Yu. Zhilyakov, V. A. Khotinov, I. B. Polovov

STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF NICKEL-BASED SUPERALLOYS HASTELLOY G-35 AND N06035

Nickel-based superalloys Hastelloy G-35 (Haynes Inc.) and N06035 (Zhejiang Jiuli Hi-Tech Metals Co) were studied. The mechanical properties of alloys are determined. The TTP- diagrams are constructed.

Keywords: nickel alloy, Hastelloy G-35, TTP-diagram, mechanical properties.

Без материалов на основе никеля сложно представить многие отрасли промышленности: с жаропрочными сплавами связано развитие газотурбинных двигателей, коррозионностойкие отлично служат в качестве конструкционных материалов при контакте, например, с расплавами солей. Выплавкой композиций таких сплавов под различными торговыми марками занимаются многие известные производители, такие как Haynes Inc., VDM Metals, Special Metals. Интерес вызывало сравнение сплава Hastelloy G-35 от Haynes Inc. (США) и его аналога N06035, изготовленного Zhejiang Jiuli Hi-Tech Metals Co. (Китай).

Исследования проводились для образцов сортаментов «лист» и «труба». Толщина материала Hastelloy G-35 составляет 4.9 мм для сортамента «лист», 3.8 мм – для сортамента «труба», для N06035 – 5 мм и

2.7 мм, соответственно. Оба материала, относящиеся к классу коррозионно-стойких, разработаны на основе системы никель–хром–молибден, причём содержание хрома повышено. Структурой исследуемых материалов является гамма-твёрдый никелевый раствор с присутствием некоторого количества интерметаллидов и неметаллических включений. Предположительно, включения не перешли в шлак с раскислителем и образовались в слитке на стадии выплавки, а интерметаллиды образовались в процессе кристаллизации. Структура сплавов в состоянии поставки представлена на рис. 1 для Hastelloy G-35 и рис. 2 для N06035.

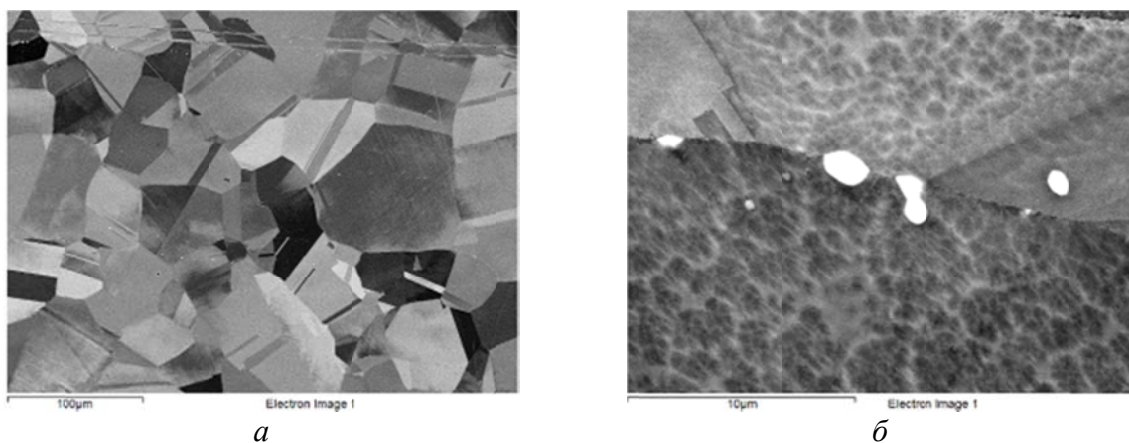


Рис. 1. Микроструктура сплава Hastelloy G35 сортамента «труба» в состоянии поставки при различных увеличениях

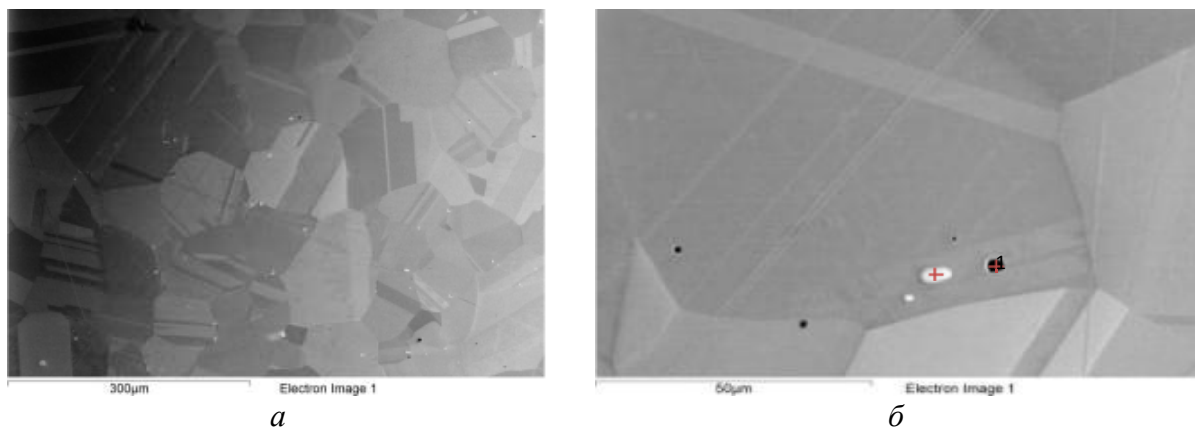


Рис. 2. Микроструктура сплава N06035 сортамента «лист» в состоянии поставки при различных увеличениях

Химический состав сплава Hastelloy G-35, представленный в Таблице 1, близок к заявленному производителем и соответствует требованиям стандартов ASTM B 575–06 [1] для сортамента «лист» и ASTM B 622–06 [2] для сортамента «труба». При анализе полученных данных необходимо учитывать, что состав сплавов может изменяться в зависимости от партии, а также качества выплавки и термической обработки сплава.

Таблица 1

Состав сплава Hastelloy G-35 согласно данным производителя и РФСА

Элемент	Ni	Cr	Mo	Fe	Mn	Al	Si	C
Данные производителя	осн.	33	8	≤ 2	≤ 0.5	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.05
Сортамент «труба»	56.2	33.7	8.6	1.2	–	0.2	0.2	–
Сортамент «лист»	57.4	33.7	8.0	0.5	–	0.3	0.3	–

Данные по химическому составу для никелевого сплава N06035 представлены в табл. 2, вышеуказанным стандартам соответствует только сортамент «труба».

Таблица 2

Состав сплава N06035 согласно данным производителя и РФСА

Элемент	Ni	Cr	Mo	Fe	P	Mn	Al	Co	Si	C	S	W
Данные производителя («лист»)	осн.	33.9	8.35	0.19	0.003	0.33	0.21	0.4	0.08	0.01	0.001	0.56
Сортамент «лист»	55.1	35.0	8.3	0.2	-	-	0.2	0.3	-	-	-	0.9
Данные производителя («труба»)	осн.	34.2	8.23	0.16	0.005	0.32	0.15	0.5	0.08	0.01	0.001	0.55
Сортамент «труба»	55.7	34.8	8.0	0.1	-	-	-	0.5	-	-	-	0.9

Для исследуемых материалов была построена диаграмма «температура–время–сенсibilизация» (рис. 3, 4), дающая наглядно оценивать фазовый состав исследуемых материалов. Построение диаграммы происходило на основании металлографического анализа образцов сортамента «лист», состаренных при различных температурах от 15 минут до 1000 часов, с помощью просвечивающей электронной микроскопии образцов, позволяющей однозначно судить о выделении избыточных фаз. На саму диаграмму были нанесены экспериментальные точки, там, где зафиксированы выделения вторых фаз в коагулированном виде, точки обозначены серым цветом, цепочечные выделения вдоль границ зерен – чёрным.

Установлено, что при температуре 650 °С через 1000 часов в Hastelloy G-35 по границам начинают выделяться избыточные фазы, сплав теряет пластичность. Повышение температуры на 50 °С сокращает критическое время в 4 раза (до 128 часов). Для аналога – материала N06035 – критическое время пребывания при температуре 600–650 °С

аналогично данным для Hastelloy G-35. Но при более высоких температурах и меньших временах выдержки Hastelloy G-35 показывает большую стабильность, что позволит в дальнейшем реализовать процесс термической обработки, заключающийся в полном растворении избыточных фаз, для N06035 такой процесс невозможен.

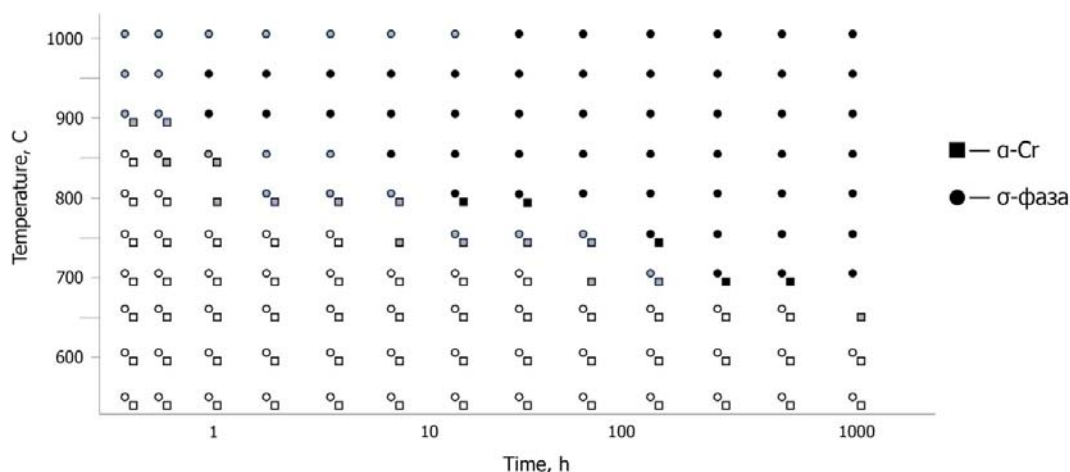


Рис. 3. Диаграмма «температура–время–сенсibilизация» сплава Hastelloy G-35 сортамента «лист»

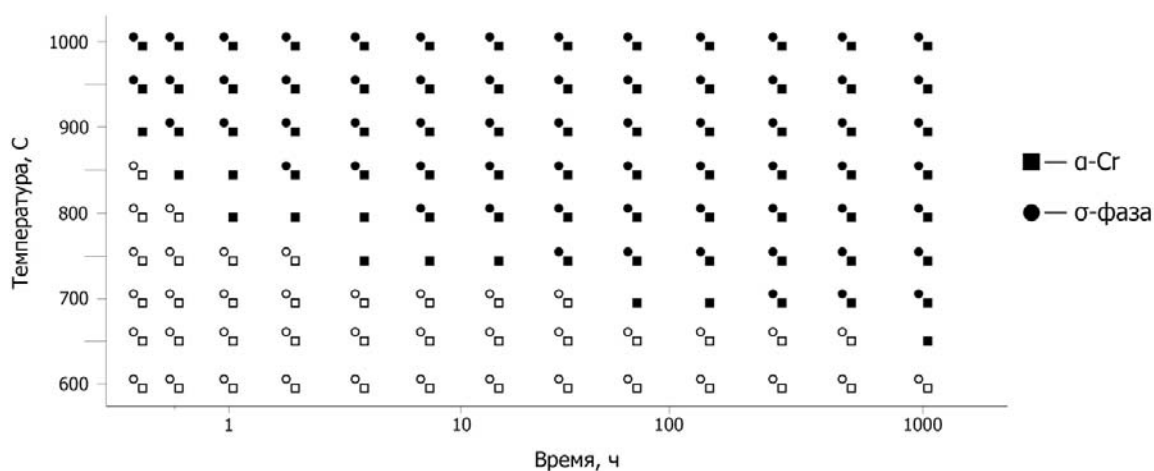


Рис. 4. Диаграмма «температура–время–сенсibilизация» сплава N06035 сортамента «лист»

Нами определены механические свойства обоих исследуемых материалов в состоянии поставки для сортамента «лист». Для проведения испытаний на растяжение на разрывной машине Instron 3382 были отобраны пропорциональные плоские образцы в соответствии с ГОСТ 1497–84 [3]. Механические свойства сплава UNS N060354 в состоянии поставки практически сравнимы со свойствами Hastelloy G-35, однако необходимо отметить меньшую прочность материала и худшую пластичность. В специальной серии экспериментов определены прочностные и

пластические свойства материала при долговременной выдержке при 600 и 650 °С, тем самым, моделируя прогнозный ресурс сплавов. Длительная высокотемпературная выдержка приводит к ожидаемому ухудшению свойств материала, следствием которого является образование сигма-фазы и альфа-хрома по границам зерен.

Таблица 3

Механические свойства сплавов Hastelloy G-35 и N06035

Материал	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
Hastelloy G-35, состояние поставки	445	806	56	55
N060354, состояние поставки	415	736	48	57
N060354, 650 °С, 512 ч	399	728	49	52
Hastelloy G-35, 650 °С, 512 ч	371	714	46	61
N060354, 650 °С, 1024 ч	410	735	45	44
Hastelloy G-35, 650 °С, 1024 ч	372	696	47	48
N060354, 600 °С, 512 ч	403	735	49	57
Hastelloy G-35, 600 °С, 512 ч	362	705	49	64
N060354, 600 °С, 1024 ч	410	723	48	59
Hastelloy G-35, 600 °С, 1024 ч	372	705	51	63

Таким образом, сравнение структуры и свойств исследуемых материалов показало, что сплав Hastelloy G-35 имеет более удовлетворительные механические характеристики и фазовую стабильность при высокотемпературном воздействии, его химический состав соответствует требованиям стандартов, в отличие от материала N06035.

ЛИТЕРАТУРА

1. ASTM B575 – 06. Standard Specification for Low-Carbon Nickel-Chromium-Molybdenum, Low-Carbon Nickel-Chromium-Molybdenum-Copper, Low-Carbon Nickel-Chromium-Molybdenum-Tantalum, and Low-Carbon Nickel-Chromium-Molybdenum-Tungsten Alloy Plate, Sheet, and Strip. 4 с.
2. ASTM B 622 – 06. Standard Specification for Seamless Nickel and Nickel-Cobalt Alloy Pipe and Tube. 6 с.
3. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. 35 с.