#### Исследование влияния состава и размера зерна аустенита на температуру фазового превращения и физико-механические свойства сплавов на основе железа



*Саенков Константин Леонидович* аспирант

Руководитель: *Оглезнева Светлана Аркадьевна* Д.т.н., профессор кафедры МКМК



#### Технологическая схема изготовления образцов



### Структура сплавов после спекания





Fe-36,3%Ni

#### Fe-31%Ni-2,77%Mn

## Определение микротвердости до и после охлаждения



#### Физико – механические свойства

Физико – механические свойства системы Fe-31%Ni-(1,7-2,77)%Mn										
Mn, %	Технология изготовления	П, %	Микро- твёрдость, МПа	Твёрдость, НВ	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Средний размер зерна, мкм				
1,7	2-кратное	5,5	1342	95	642	45±76				
2,23	прессование	6	1406	85	659	40±18				
2,7	Спекание 1200°С, вакуум, 20 ч.	6	1552	80	678	39±18				

Физико – механические свойства системы Fe-(30,2-36,3)%Ni									
Ni, %	Технология изготовления	П, %	Микро- твёрдость, МПа	Твёрдость, НВ	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Модуль Юнга, МПа	Средний размер зерна, мкм		
30,2	2-кратное	4	1610	107	54	4715	33±12		
31,93	прессование	4	1680	95	85	5215	39±14		
34,35	Спекание	5	1800	89	325	5340	45±16		
36,3	1200°С, вакуум, 20 ч.	5	1940	84	436	5490	42±12		

### Микроструктура сплава Fe-30,2%Ni до и после

охлаждения

В



Гистограмма распределения зерна по размеру



Рисунок 3 – Сплав Fe-30,2%Ni (a, б)



Гистограмма распределения зерна по размеру



Рисунок 4 – Сплав Fe-30,2%Ni после охлаждения (в, г)

а

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, РАЗМЕРА ЗЕРНА И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ Fe-Ni-Cr

Плотность и пористость Fe – 31%Ni – (0,5-3)%Cr после 20 часов спекания при t°=1200 °C

%Cr	N⁰	р,г/см <sup>3</sup>	Пористость,
	образца		%
0.5	1	7,19	11,8
	11	7,21	11,6
1	2	7,01	12,5
	22	7,24	11,2
1.5	3	6,94	14,8
	33	7,22	14,4
2	4	7,01	13,9
	44	6,72	15,5
2.5	5	7,38	10,3
	55	6,85	15,8
3	6	6,84	15,9



Зависимость микротвердости от содержания хрома

## Металлографический анализ спеченных образцов порошковых сплавов системы Fe-Ni-Cr





Размер зерна, мкм

Размер зерна, мкм

Плотность и пористость образцов после расплавления порошковой системы Fe-Ni

Nº oбразиа	ρ, г/см <sup>3</sup>	Технолог	П,%
ооразца		ия изготовле ния	
1.1	7,8	Спекание	3,8
2.2	7,5	20ч. 1200С9	7
3.3	7,9	1200С°, вакуум.	2
4.4	8	Расплавлен	0
5.5	8	ие 1560 C°,	0
6.6	7,9	аргон.	1,8
11	7,6	Спекание	7
33	8	20ч. 1200С°, вакуум.	1,7
55	8	Расплавлени	2,7
66	8	е 1560 С°, аргон. Отжиг 1200С°, вакуум.	0

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАЗМЕРА ЗЕРНА И СВОЙСТВ РАСПЛАВЛЕННЫХ СИСТЕМ Fe-Ni-Cr



расплавленных образцах порошковой системы Fe – 31%Ni – (0,5-3)%Cr

Металлографический анализ расплавленных систем Fe-Ni-Cr



Fe-31%Ni-1,5%Cr



Зависимость среднего размера зерна от содержания хрома



# Результаты определения температуры фазовых превращений



Температура начала (верхний график) и конца (нижний график) аустенитномартенситного превращения в сплавах Fe-(30,2-36,3)%Ni

Температуры начала Т, и окончания Т, аустенитно-мартенситного превращения, намагниченность насыщения М<sub>1</sub> и М<sub>2</sub>, α количество мартенсита после охлаждения, d<sub>кр</sub> критический размер зерен сплавов d<sub>кp</sub>, Ni T<sub>1</sub>K Т<sub>2</sub> К  $M_1$ M<sub>2</sub> α, % вес.% МКМ 30,2 58,2 169,2 190 43 92 1 30,5 70,2 142 186 70 70 31,93 55,2 173,3 185 72 85 3,5 34,35 109,2 111 177 114 38 36,3 134,2 135,5 170 148 26

#### Определение температур ү - а превращений Fe-Ni-C

Температуры начала T<sub>1</sub> и окончания T<sub>2</sub> аустенитно-мартенситного превращения, намагниченность насыщения M<sub>st</sub> и M<sub>fin</sub>, количество мартенсита после охлаждения, критический размер зерен сплавов d<sub>кp</sub>

Количество углерода	№ образца	Кол-во мартенсита, %	Т <sub>1</sub> , К	Т <sub>2</sub> , К	M <sub>st</sub> (emu/g)	M <sub>fin</sub> (emu/g)	d <sub>кр</sub> , мкм
0	01	77	250	87	57	142	10
0	03	87	199	57	105	156,5	6
0,13	12	29	197	44	67	116	10
0,13	15	29	190	46	68	111	8
0,19	21	20	212	23	70	112	18
0,19	23	24	207	32	69	110	10
0.21	31	14	L <sub>171</sub>	37	71	105	10



Температура начала (верхний график) и конца (нижний график) аустенитно-мартенситного превращения в сплавах Fe-31%Ni с различным содержанием углерода

#### Определение температур ү - а превращений Fe-Ni-Cr

Температуры начала  $\rm T_1$ и окончания  $\rm T_2$ аустенитно-мартенситного превращения, намагниченность насыщения  $\rm M_{st}$ и  $\rm M_{fin}$ , количество мартенсита после охлаждения

		· · · · · ·						1	·	1	
		N⁰	Содержание	Т <sub>1</sub> , К	Т <sub>2</sub> , К		M <sub>st</sub>	M <sub>fin</sub>	$d_{cp}$ , мкм		
		образц	хрома, %				emu/g)	(emu/g)			
		a									
		3	1,438	217	56		95	140	93,33		
		5	2,26	210	57		58	120	66,16		
		6	1,607	205	43		59	105	48,18		
			1 097	100	33		61	101	24,89		
200			• <u>*</u> +			2	50				
100						- 1	00				
50							50		X		<b>-</b>
0	(						0	1 1		L.	
0	0,5	1	1,5 2	2,5	r.%		0	20 40	60	80	100
Тем	пература	начала (ве	ерхний график) и	и конца	.,		Температ	гура начала (н	зерхний графи	<b>1к) и ко</b> г	нца
(нижнии график) аустенитно-мартенситного (н							(нижний	й график) аус	генитно-март	енситно	ого
прен	зращения	в сплавах	re-31% N1 c pa3J	ичным		П	ревращен	ния в сплавах	. Fe-31% N1 B 3	ависим	ости
		содержан	ным хрома					от среднего	размера зерн	a	

T,K

#### Выводы

- 1) При исследовании порошковой системы сплавов Fe-(30-36)%Ni, установлено, что при повышении концентрации никеля, наблюдается понижение твердости до 20%, а значения предела текучести и модуля продольной упругости (Юнга) возрастают до 20%. Микротвердость аустенита и мартенсита после охлаждения их в жидком азоте повышалась, с увеличением концентрации никеля. Испытания на маятниковом копре сплавов при отрицательных температурах (-190°C) показали повышение ударной вязкости до 350 кДж/м<sup>2</sup>, при комнатной температуре в сплавах 31,6-35,8% никеля 800-870 кДж/м<sup>2</sup>, при увеличении содержания Ni с 30,2 до 36,3 %.
- 2) Снимки микроструктуры спеченных образцов показали, что во всех сплавах сформировалась полностью аустенитная гомогенная структура. При исследовании влияния добавления к железо-никелевому сплаву марганца установлено, что при увеличении концентрации марганца с 1,7 до 2,77 % - зерна измельчаются в среднем на 5-7 мкм. Средний размер зерен для сплавов с никелем и сплавов с марганцем составил 38 мкм и 42 мкм. При исследовании структурно - фазового состава сплавов, установлено, что увеличение марганца и никеля способствует уменьшению среднего размера зерна.
- 3) При понижении концентрации никеля, обнаружено увеличение температурного интервала аустенитно – мартенситного превращения, связанное с широким значением диаметра зерна, и зависимость температуры аустенитномартенситного превращения от критического размера зерна, что укладывается в рамки динамической волновой теории превращения.

- 4) Содержание хрома от 0,5 до 2,5 % не повлияло на размер зерна; при содержании хрома 3 % средний размер зерна уменьшался.
- 5) Микротвердость повышалась при увеличении содержания хрома от 0,5 до 1,5 %, затем снижалась.
- 6) Методом рентгенофазового анализа образцов сплавов Fe-31%Ni-Cr с содержанием хрома 0,5 и 3% соответственно, установлено образование аустенитных твердых растворов хрома и никеля в достаточной степени гомогенности, а также отсутствие кислорода и других вредных примесей
- 7) Пористость большинства расплавленных образцов была нулевой. Микротвердость не зависела от химического состава расплавленных образцов.
- 8) Исследование микроструктуры показало, что с увеличением содержания хрома до 1,5 % увеличивается размер зерна, затем уменьшается.
- 9) Рентгенофазовый анализ образцов сплавов Fe-31%Ni-Cr, полученных путем плавления порошковых систем с содержанием хрома 0,5 и 1,67% соответственно, показал формирование более гомогенных твердых растворов.
- 10) Экспериментальные исследования показали, что хром повышает устойчивость аустенита в сплаве, (так как понижается температура превращения) с уменьшением размера зерна превращение замедляется, что согласуется с классической теорией.
- 11) В результате исследования температуры фазового превращения в сплаве Fe-31%Ni- Cr было выявлено, что температура превращения понижается при уменьшении размера зерна и увеличении содержания хрома.
- 12) В сплавах системы Fe 31% Ni-(0,13-0,21)%C, установлено, что влияние углерода на фазовое превращение согласуется с классическими представлениями (повышение содержания углерода в никелевых сталях повышает устойчивость аустенита) и не противоречит динамической волновой теории, поскольку зеренная структура порошковых сплавов очень неоднородна, то существуют зерна с критическим размером, в которых превращение не произошло.