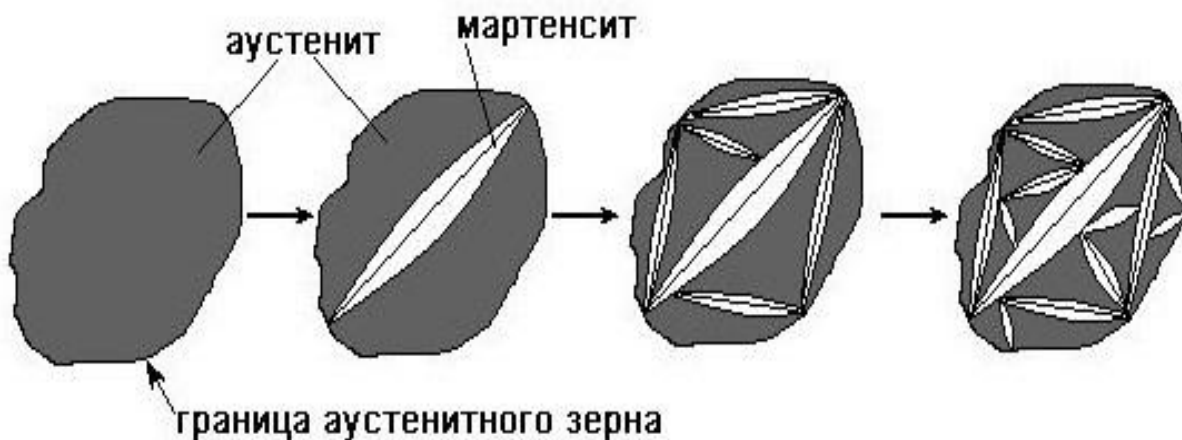
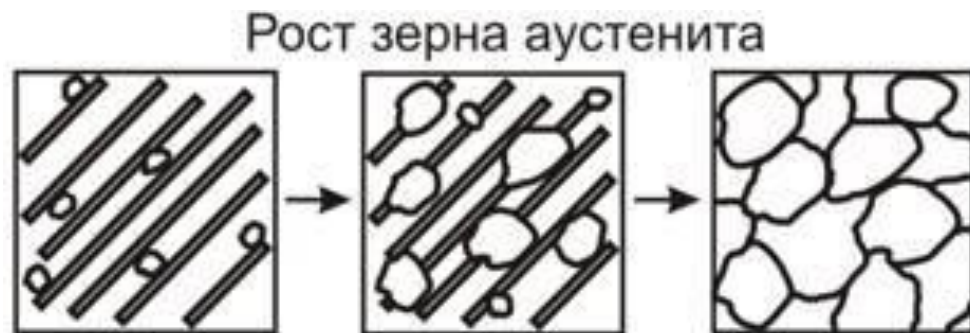
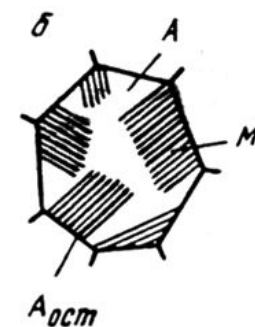
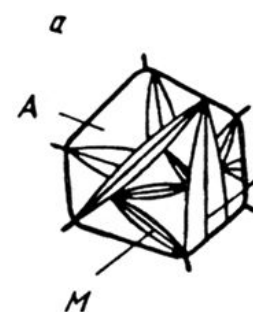


Исследование влияния состава и размера зерна аустенита на температуру фазового превращения и физико-механические свойства сплавов на основе железа



Саенков Константин Леонидович
аспирант

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



Технологическая схема изготовления образцов

Подготовка навесок порошков

Fe-(30-36)%Ni

Fe-31%Ni-(0,5-3,5)%Mn

Fe-31%Ni-(0,5-3)%Cr

Fe-31%Ni-(0,2-1)%C



Смешивание порошков, $t = 20$ ч



Прессование образцов

$P = 600$ МПа



Отжиг

$T = 700$ °С, $t = 1$ час вакуум/водород



Допрессовка образцов

$P = 600$ МПа



Отжиг

$T = 900$ °С, $t = 1$ час вакуум/водород



Допрессовка образцов

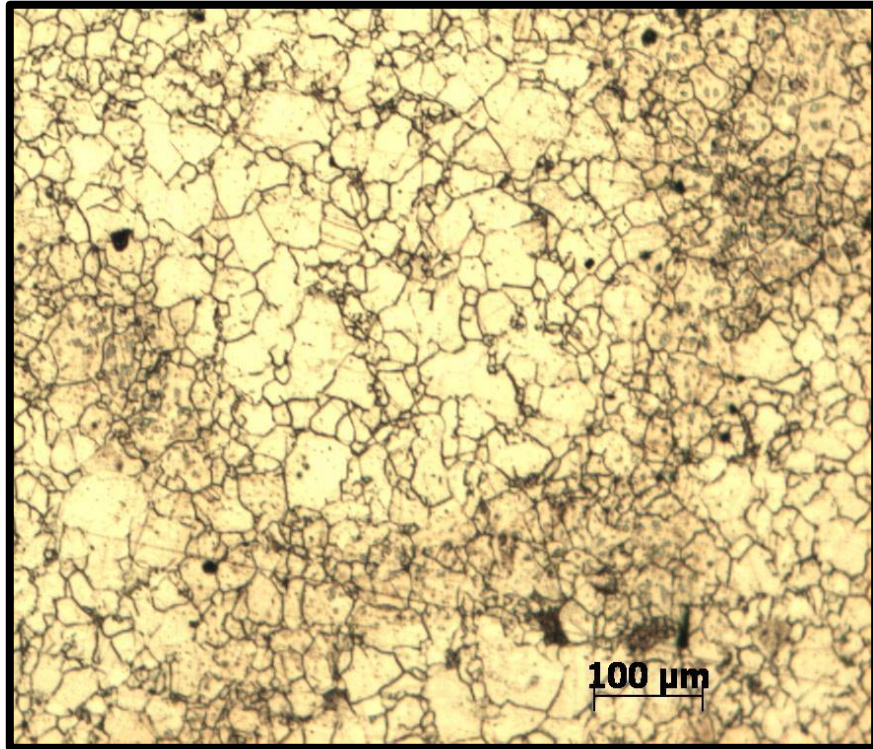
$P = 600$ МПа



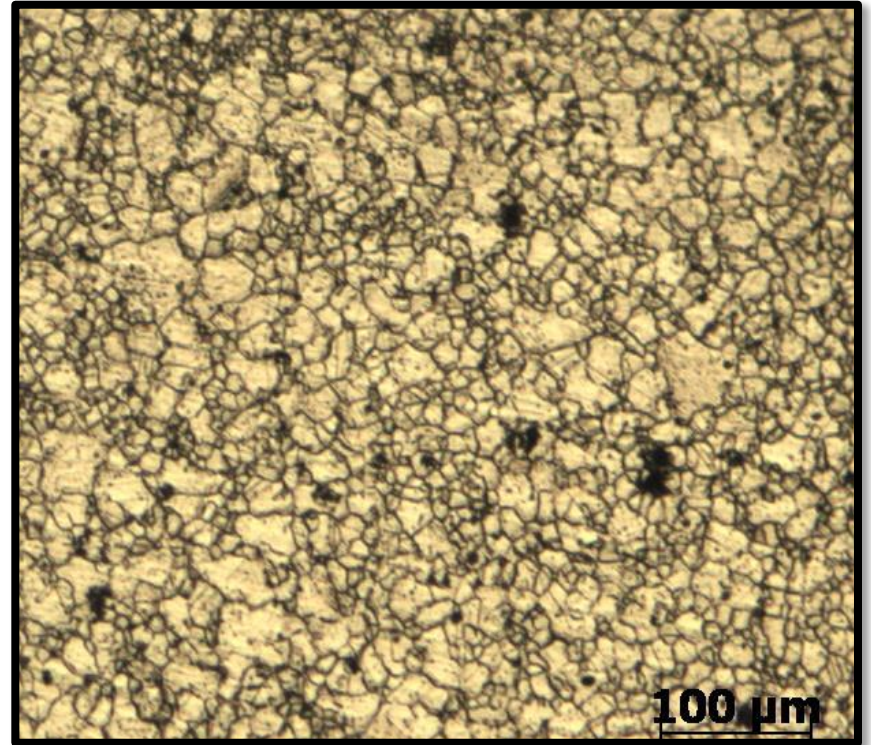
Спекание образцов

$T = 1200$ °С, $t = 20$ часов вакуум

Структура сплавов после спекания

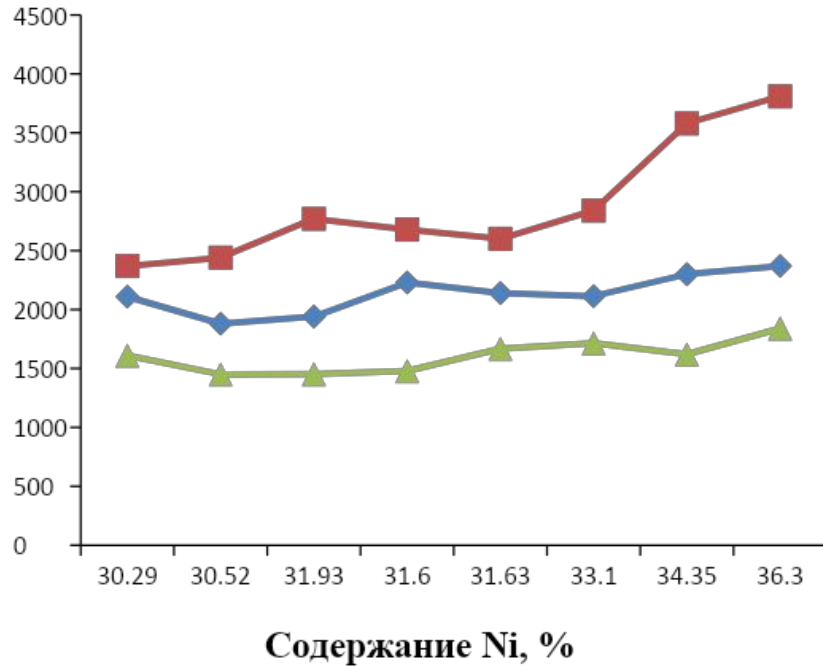


Fe-36,3%Ni

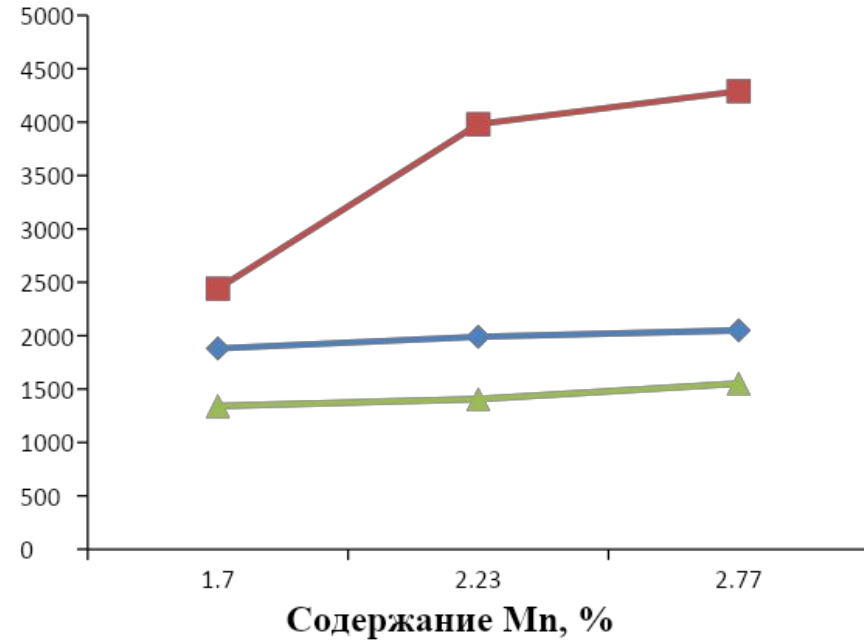


Fe-31%Ni-2,77%Mn

Определение микротвердости до и после охлаждения



- ◆ Микротвердость Аустенита после охлаждения
- Микротвердость Мартенсита
- ▲ Микротвердость до охлаждения



- ◆ Микротвердость Аустенита после охлаждения
- Микротвердость Мартенсита
- ▲ Микротвердость до охлаждения

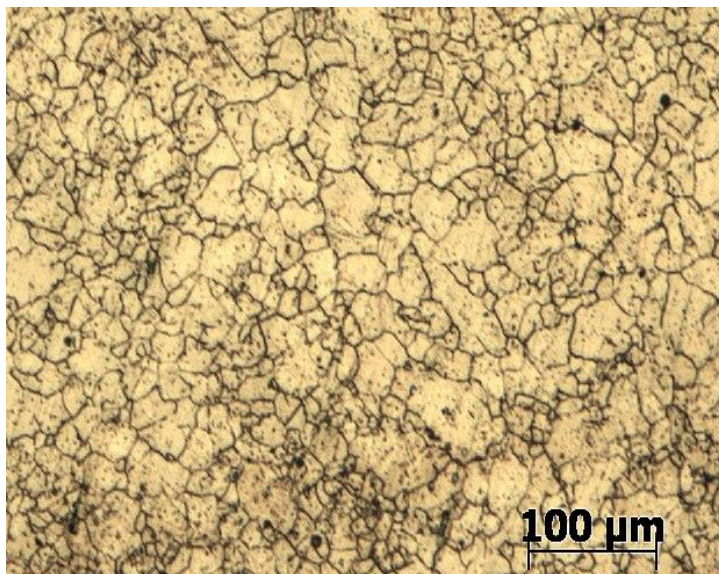
Физико – механические свойства

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 ²	Средний размер зерна, мкм
1,7	2-кратное прессование Спекание 1200°С, вакуум, 20 ч.	5,5	1342	95	642	45±76
2,23		6	1406	85	659	40±18
2,7		6	1552	80	678	39±18

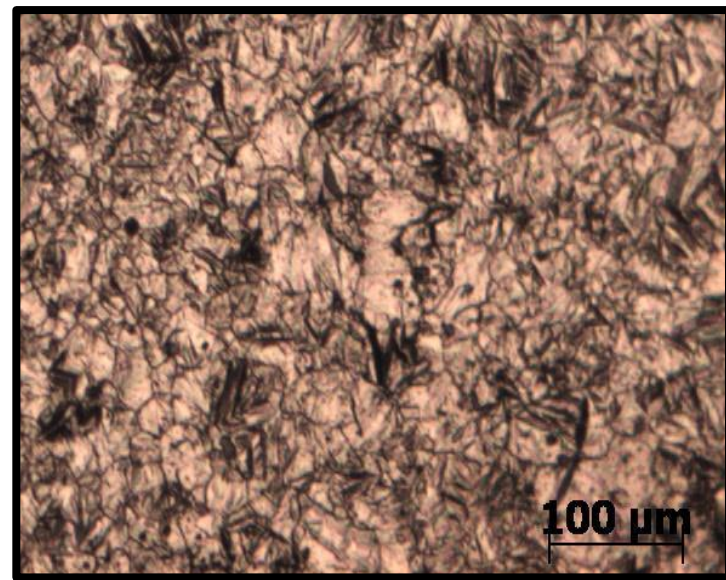
Физико – механические свойства системы Fe-(30,2-36,3)%Ni							
Ni, %	Технология изготовления	П, %	Микро-твёрдость, МПа	Твёрдость, НВ	Ударная вязкость, кДж/м ²	Модуль Юнга, МПа	Средний размер зерна, мкм
30,2	2-кратное прессование Спекание 1200°С, вакуум, 20 ч.	4	1610	107	54	4715	33±12
31,93		4	1680	95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

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

а



в



б

Гистограмма распределения зерна по размеру

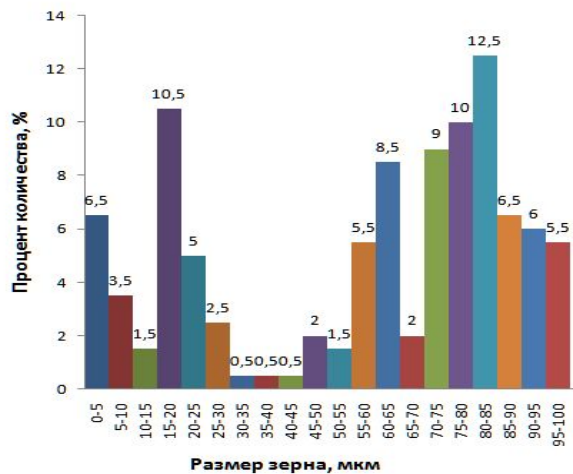


Рисунок 3 – Сплав Fe-30,2%Ni (а, б)

г

Гистограмма распределения зерна по размеру

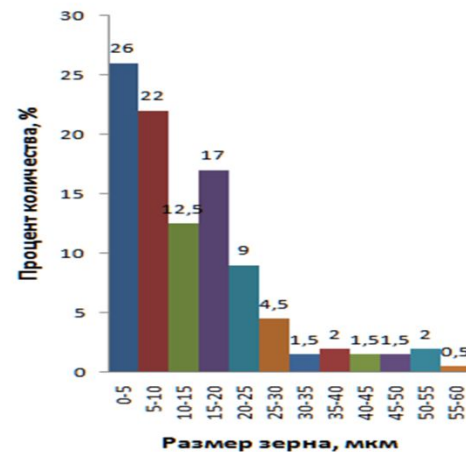
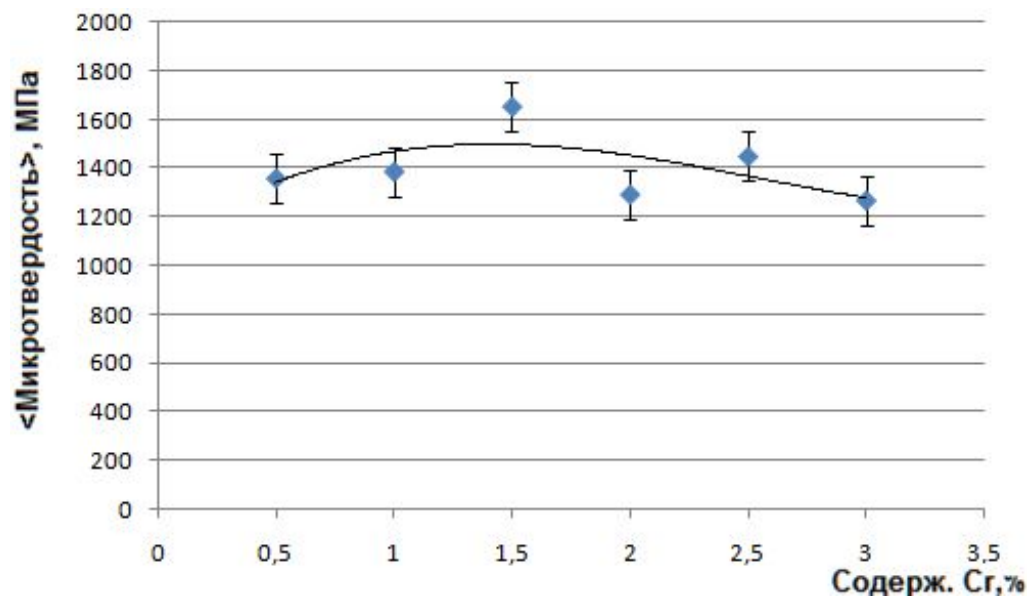


Рисунок 4 – Сплав Fe-30,2%Ni после охлаждения (в, г)

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 $t^{\circ}=1200^{\circ}\text{C}$

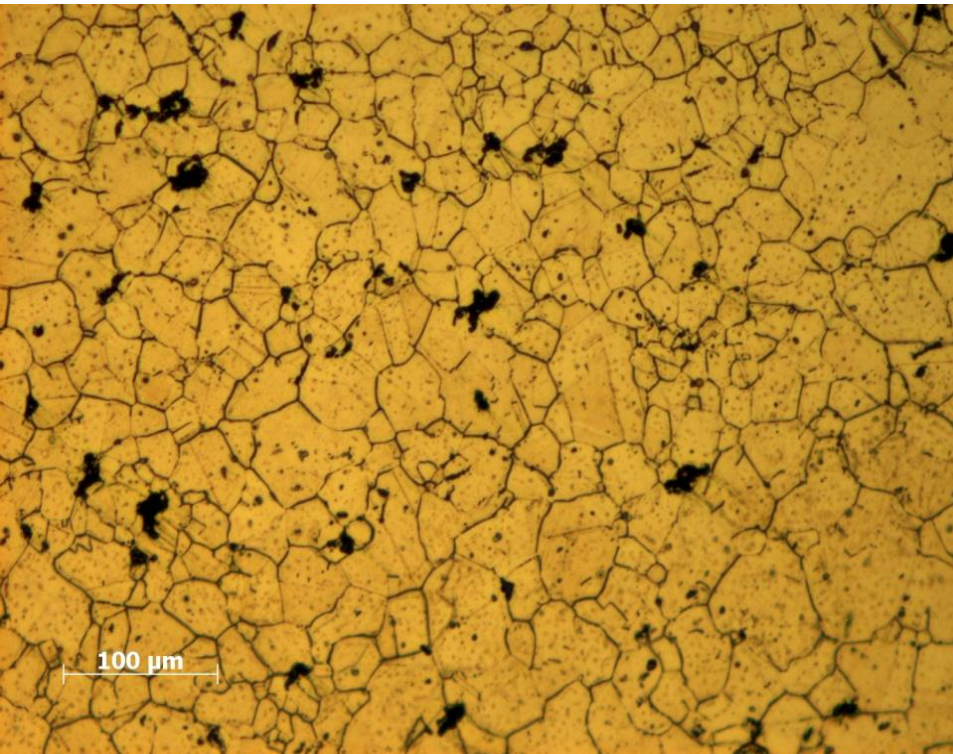
%Cr	№ образца	$\rho, \text{г/см}^3$	Пористость, %
0.5	1	7,19	11,8
	11	7,21	11,6
1	2	7,01	12,5
	22	7,24	11,2
1.5	3	6,94	14,8
	33	7,22	14,4
2	4	7,01	13,9
	44	6,72	15,5
2.5	5	7,38	10,3
	55	6,85	15,8
3	6	6,84	15,9



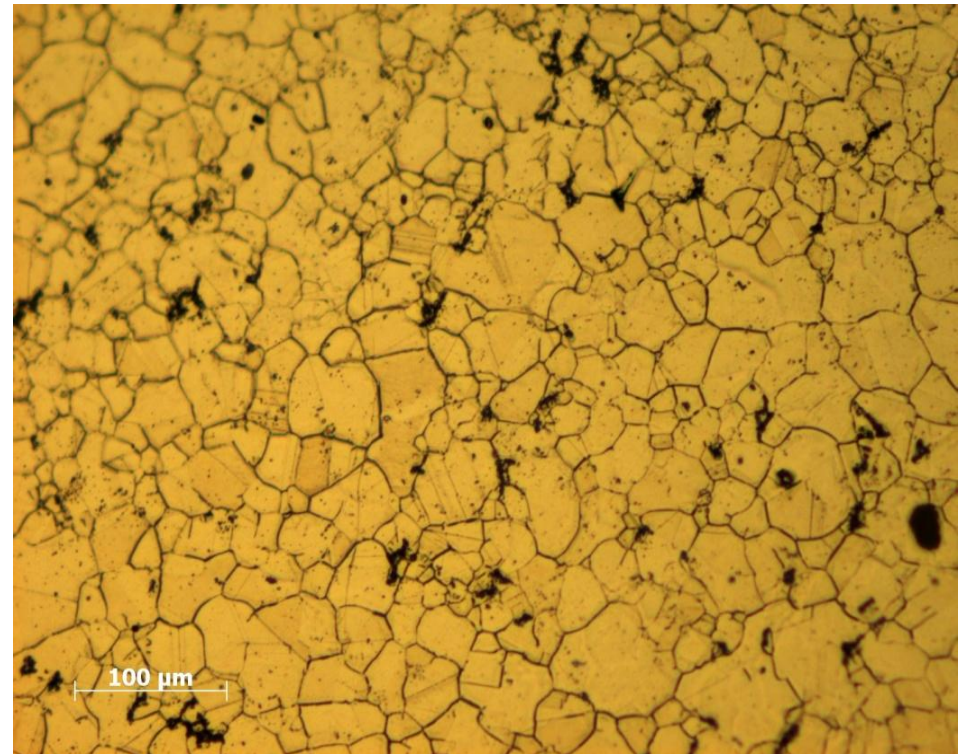
Зависимость микротвердости от содержания хрома

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

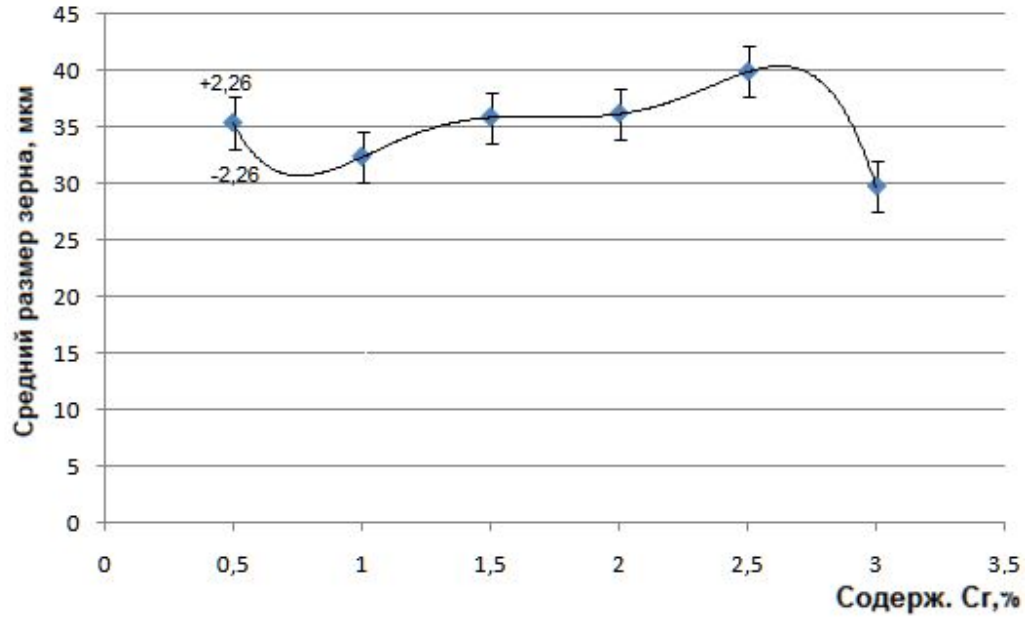
Fe – 31% Ni – 1% Cr



Fe – 31% Ni – 3% Cr

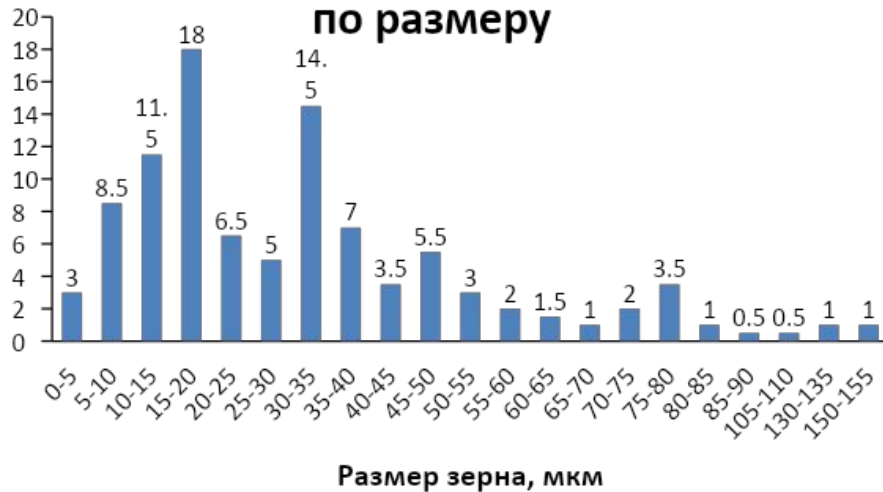


Зависимость среднего размера зерна от содержания хрома



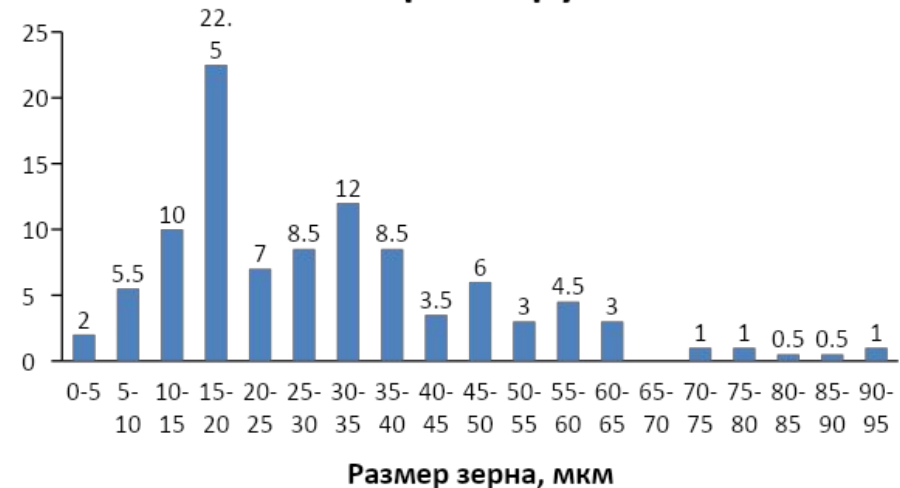
Fe – 31% Ni – 1% Cr

Гистограмма распределения зерна по размеру



Fe – 31% Ni – 3% Cr

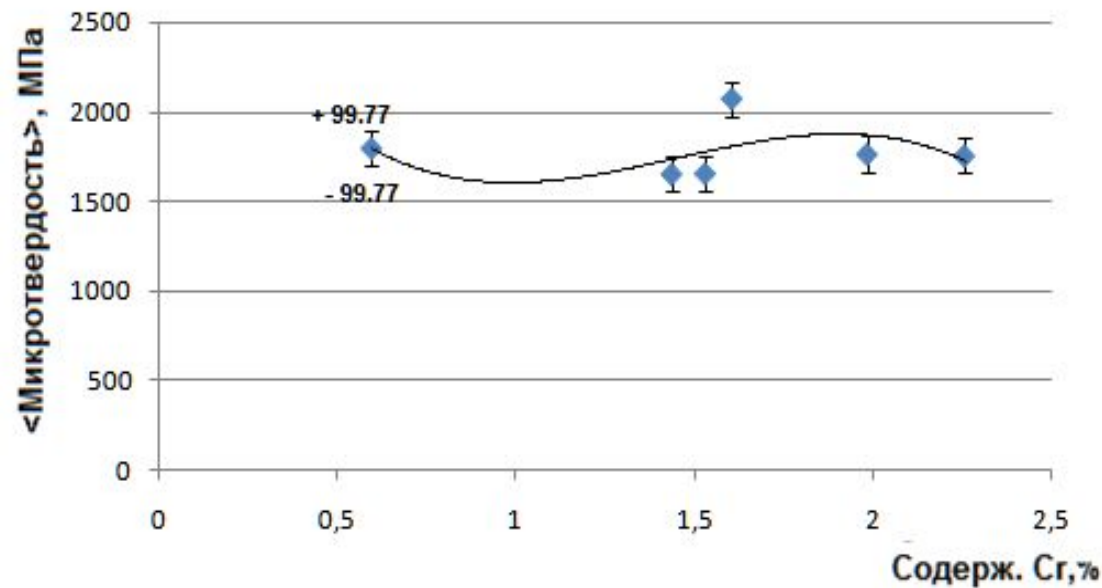
Гистограмма распределения зерна по размеру



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

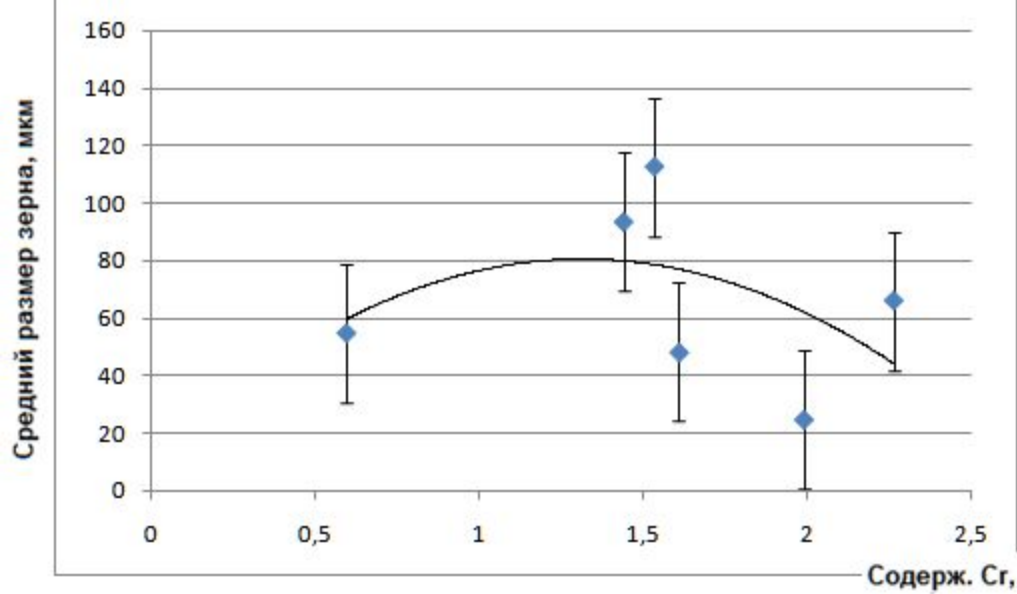
Плотность и пористость образцов после
расплавления порошковой системы Fe-Ni

№ образца	ρ , г/см ³	Технология изготовления	П, %
1.1	7,8	Спекание 20ч. 1200С°, вакуум.	3,8
2.2	7,5		7
3.3	7,9		2
4.4	8	Расплавление 1560 С°, аргон.	0
5.5	8		0
6.6	7,9		1,8
11	7,6	Спекание 20ч. 1200С°, вакуум.	7
33	8		1,7
55	8		2,7
66	8	Расплавление 1560 С°, аргон. Отжиг 1200С°, вакуум.	0



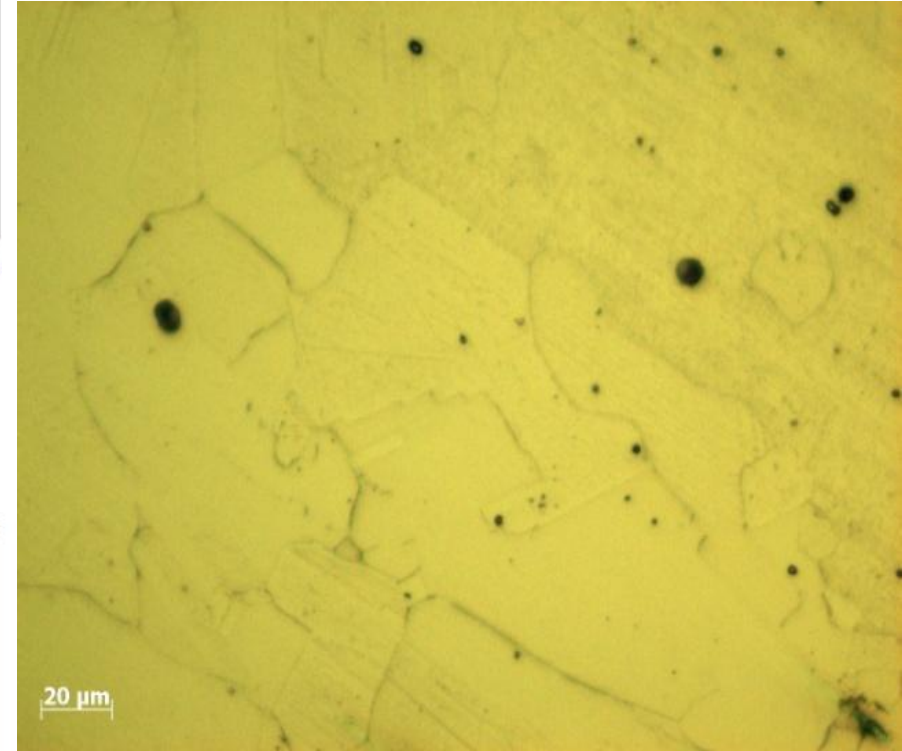
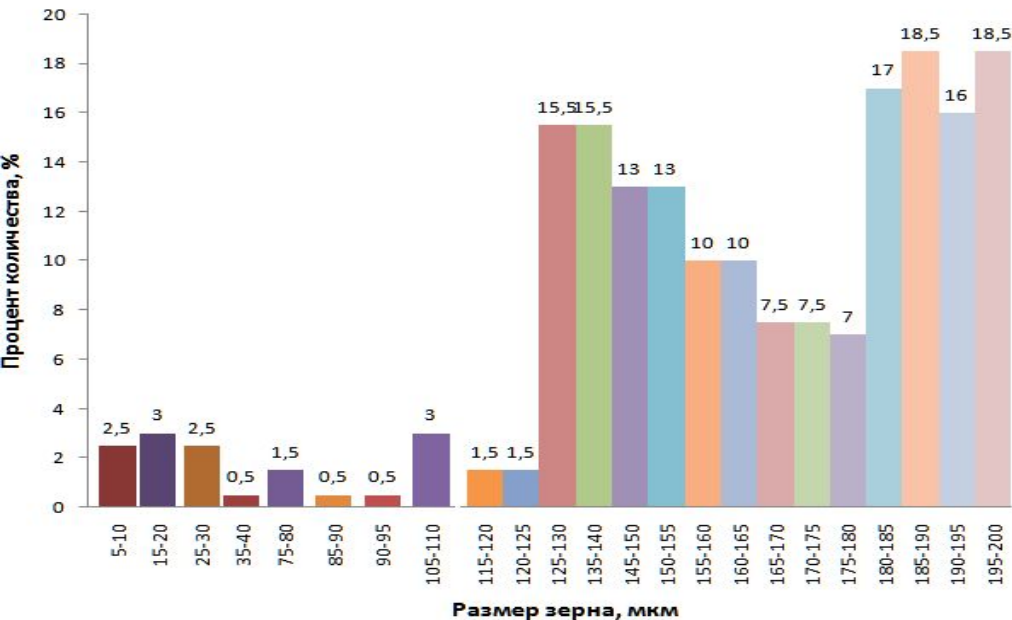
Зависимость микротвердости
от содержания хрома в
расплавленных образцах
порошковой системы
Fe – 31%Ni – (0,5-3)%Cr

Металлографический анализ расплавленных систем Fe-Ni-Cr



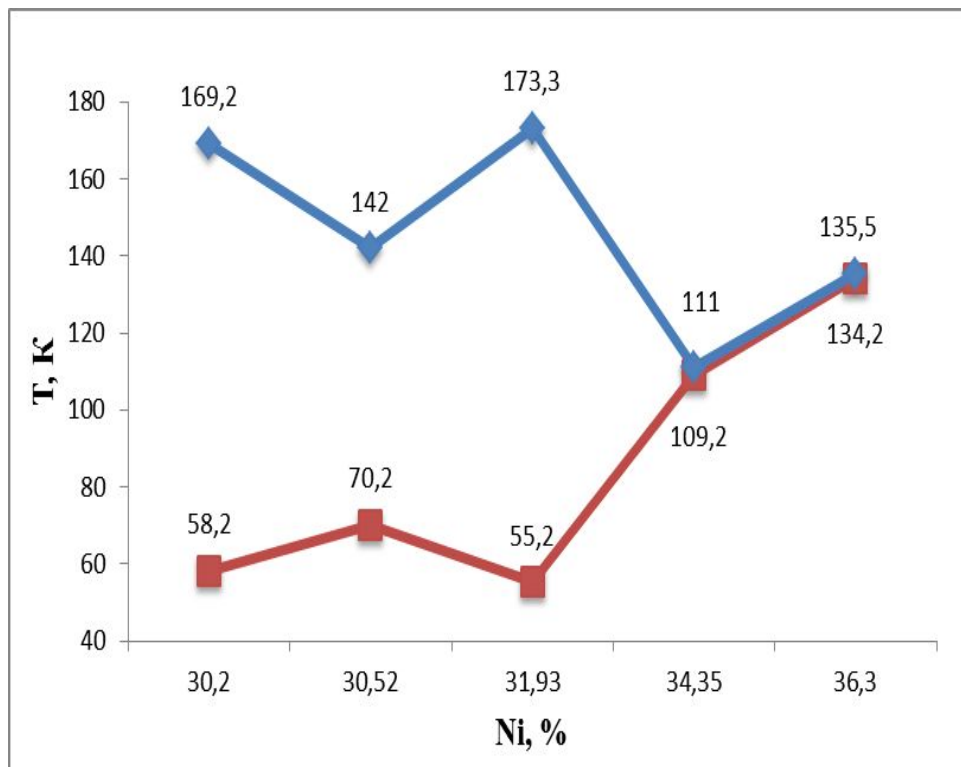
Зависимость среднего размера зерна от содержания хрома

Гистограмма распределения зерна по размеру



Fe-31%Ni-1,5%Cr

Результаты определения температуры фазовых превращений



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

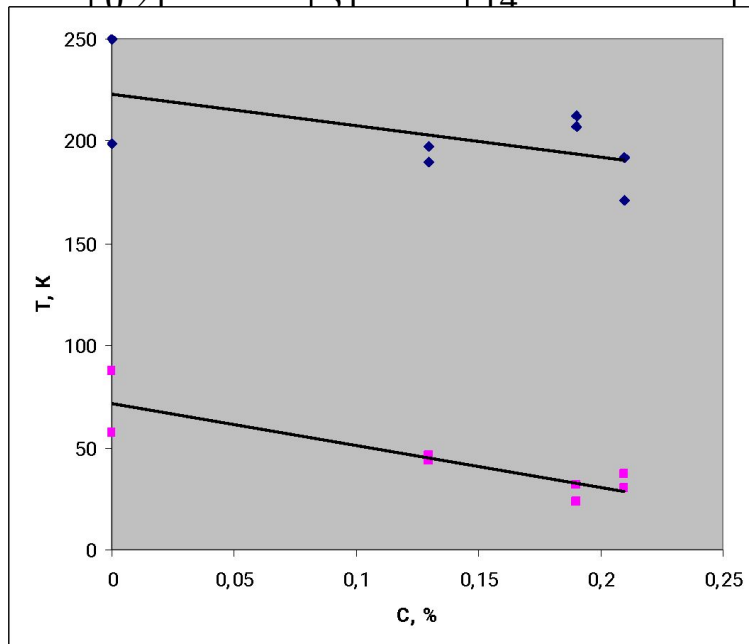
Температуры начала T_1 и окончания T_2 аустенитно-мартенситного превращения, намагниченность насыщения M_1 и M_2 , α - количество мартенсита после охлаждения, $d_{кр}$ - критический размер зерен сплавов

Ni вес. %	T_1 , K	T_2 , K	M_1	M_2	α , %	$d_{кр}$, 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 γ - α превращений Fe-Ni-C

Температуры начала T_1 и окончания T_2 аустенитно-мартенситного превращения, намагниченность насыщения M_{st} и M_{fin} , количество мартенсита после охлаждения, критический размер зерен сплавов $d_{кр}$

Количество углерода	№ образца	Кол-во мартенсита, %	T_1 , К	T_2 , К	M_{st} (emu/g)	M_{fin} (emu/g)	$d_{кр}$, 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	171	37	71	105	10

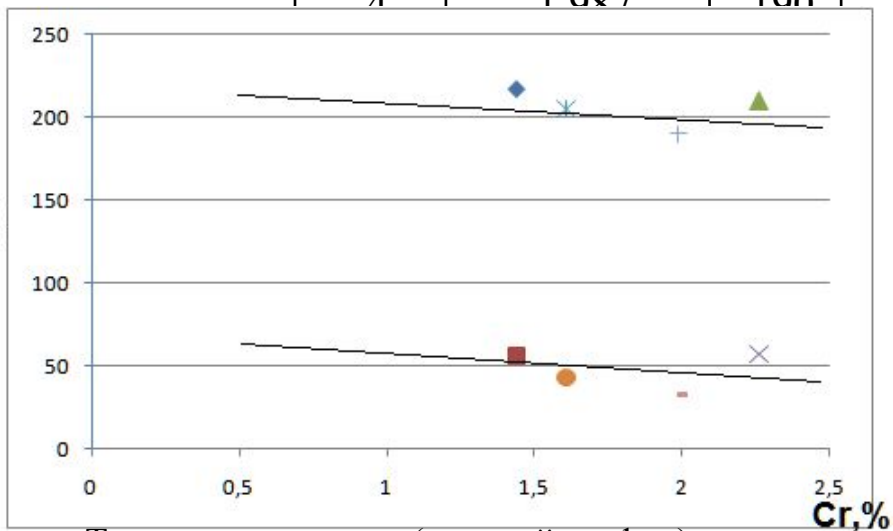


Температура начала (верхний график) и конца (нижний график) аустенитно-мартенситного превращения в сплавах Fe-31%Ni с различным содержанием углерода

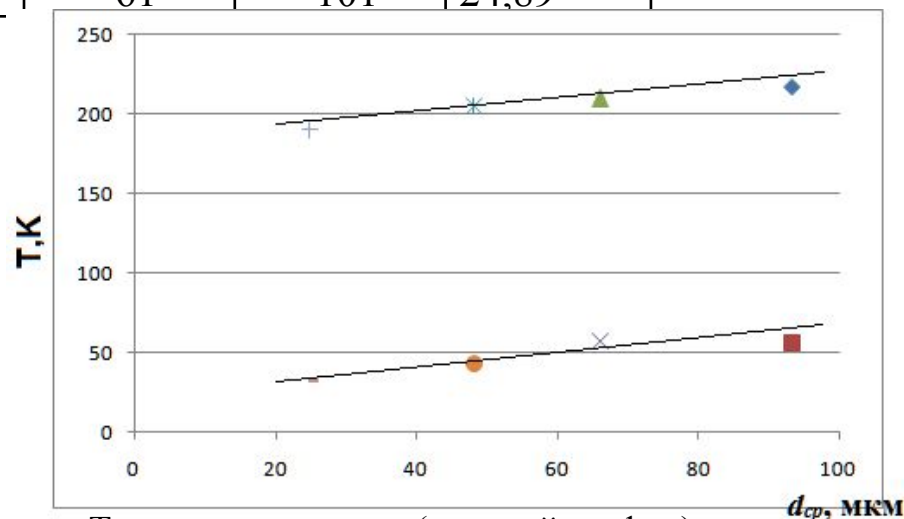
Определение температур γ - α превращений Fe-Ni-Cr

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

№ образц а	Содержание хрома, %	T_1 , К	T_2 , К	M_{st} (emu/g)	M_{fin} (emu/g)	d_{cp} , мкм
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
4	1,027	100	33	61	101	24,89



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



Температура начала (верхний график) и конца (нижний график) аустенитно-мартенситного превращения в сплавах Fe-31%Ni в зависимости от среднего размера зерна

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°С) показали повышение ударной вязкости до 350 кДж/м², при комнатной температуре в сплавах 31,6-35,8% никеля 800-870 кДж/м², 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 аустенитно-мартенситного 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.