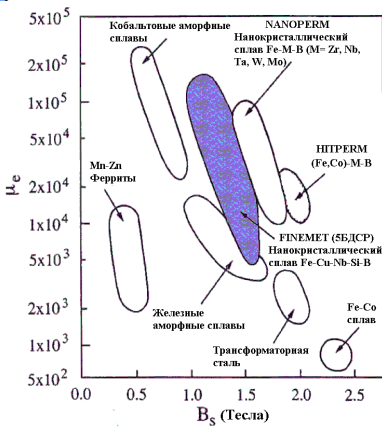


ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АМОРФНОМ СПЛАВЕ СИСТЕМЫ Fe-Cu-Nb-Si-B

P1-16

Назипов Р.А., Игнатьев А.А., Зюзин Н.А., Ибрагимов Ш.Р.



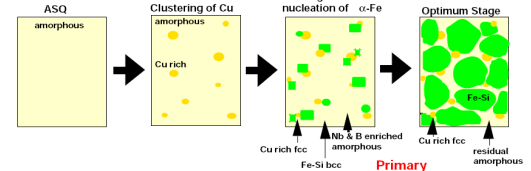
•FINEMET — сплавы с уникальными магнитными свойствами ($Fe_{73.5}Si_{13.5}Cu_1Nb_3B_0$)

[1] Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi. *J. Appl. Phys.* (10) 64 (1988) 6044.

•Аналог в России 5БДСР ($Fe_{77}Si_{13}Cu_1Nb_3B_0$)

[2] В.В. Садчиков, Е.И. Мальцев, В.В. Соснин. *Сталь.* 11 (1997) 58.

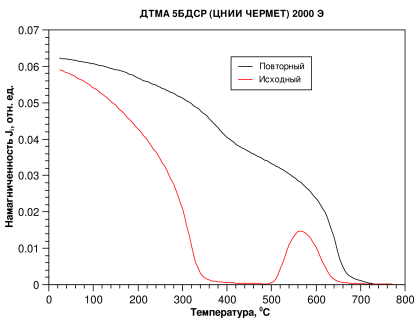
Fe-13.5Si-9B-3Nb-1Cu amorphous alloy (FINEMET)



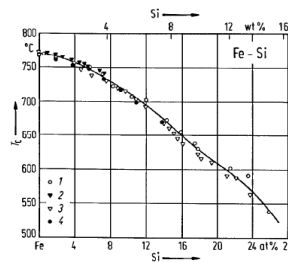
Наилучшие магнитные свойства сплава достигаются в результате отжига при определенной температуре. Формируется нанокристаллическая магнитная фаза.

[3] K. Hono and D. H. Ping, National Research Institute for Metals, a review article to be published in Materials Characterization

Дифференциально-термический магнитный анализ

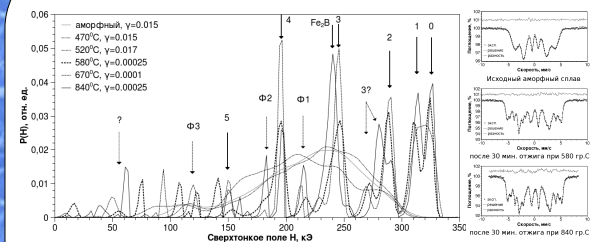


Аморфная фаза $T_c \approx 340^\circ C$
 Нанокристаллическая фаза $T_c \approx 640^\circ C$
 α -Fe(Si), концентрация Si около 16-20 at.%
 Fe_2B $T_c = 742^\circ C$, α - Fe_3O_4 $T_c = 690^\circ C$, Fe_3O_4 $T_c = 575-585^\circ C$

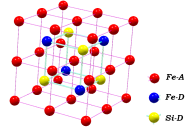


[4] 'Magnetic Alloys for Technical Applications. Soft Magnetic Alloys, Invar and Elinvar Alloys' of Volume 19 'Magnetic Properties of Metals' of Landolt-Börnstein - Group III Condensed Matter, 11, 1994 (2006), p.50

Распределения P(H) и позиции железа в D0₃



Распределение сверхтонких полей P(H) для Мессбауэровских спектров сплава 5БДСР после отжига, при разных температурах и восстановленные при разных γ. Числа у стрелок показывают число л атомов Si в ближайшем окружении резонантного ядра, Ф1-Ф3 фазы не соответствующие позициям D0₃ структуре, также стрелой указан пик P(H) фазы Fe₂B



Средние значения сверхтонких полей в узлах D0₃ структуры

Позиция/подспектр	≈ Н, кЭ, 5БДСР	Н, кЭ, Fe-Si 14.7 ат.% [5]	средн. Н, кЭ, Finemet [6]	Н, кЭ, Finemet 923 K/1 ч [7]	Н, кЭ, [8*]
D0, A8	326	323	318	324	327
D1-D6, A7	313			312	313
A6	290	288	287	288	292
A5*	270-280				278
A5	243	243	242	244	
A4	196	193	194	196	199
A3 (C _{Si} < 26%)	150	145±3			

[5] M.B. Stearns, *Phys. Rev.* 129(3) (1963) 1136.
 [6] G. Hampel, A. Pundt, J. Hesse, *J.Phys.:Condens.Matter* 4(1992) 3195.
 [7] N. Ponpandian, A. Narayanasamy, K. Chattopadhyay, M. Manivel Raja, K. Ganesan, C.N. Chinnasamy, B. Jeyadevan *J.Appl.Phys.* 93(10) (2003) 6182.
 [8] [Ham-Morrish, 1980]

Заключение

- Из рентгеноструктурных данных можно сделать вывод, что нанокристаллиты образуются в процессе отжига в диапазоне температур 550-700° и имеют размеры порядка 25 нм. Нанокристаллиты вероятно имеют упорядочение типа D0₃ структуры, с концентрацией кремния менее 25 ат.%, т.е. меньше чем для упорядоченного («стехиометрического») Fe₃Si.
- Концентрация кремния в нанокристаллах в процессе их роста повышается до C_{Si} ≈ 18,5 ат.%. Затем, при образовании микрокристаллической структуры концентрация кремния падает до C_{Si} ≈ 14 ат. %.
- Кривая ДТМА исходного аморфного сплава показывает, что аморфная фаза имеет температуру блокировки около T_c ≈ 340°С. Рост новой ферромагнитной фазы сопровождается появлением пика намагниченности с 500°С, который исчезает при 640°С. Повторный нагрев приводит к появлению "горба" на главной кривой ДТМА, который можно связать с частичным окислением образца до Fe₃O₄. Температура блокировки ферромагнитной фазы после повторного нагрева увеличивается до 670°С, поскольку уменьшается содержание кремния. Это хорошо согласуется с данными РСА.
- Восстановленные из Мессбауэровских спектров плотности вероятности по сверхтонкому полю, позволяют утверждать, что в процессе отжига аморфного сплава 5БДСР формируется нанокристаллическая фаза твердого раствора замещения Fe-Si, упорядоченного как сверхструктура D0₃. Отжиг при более высокой температуре (выше 700°С) приводит к образованию микрокристаллической структуры, но тип упорядочения не меняется. Вид Мессбауэровских спектров качественно подтверждает, сделанные по рентгеноструктурным данным, оценки концентрации Si в нанокристаллических и микрокристаллических зернах.

АВТОРЫ БЛАГОДАРИТ:

Профессора МГУ Русакова Вячеслава Серафимовича, за проведение предварительной обработки мессбауэровских спектров и консультации по дальнейшей обработке и расшифровке полученных спектров; Ассистента КГУ Пятаева Александра Васильевича, за помощь при измерении спектров и плодотворное обсуждение проблем математической обработки Мессбауэровских спектров; Сообщества KolibriOS и Ubuntu, а также компании Canonical Ltd. и Инфра-Ресурс за предоставленные свободные программные продукты используемые в работе.

