

магнетизма металлов и сплавов, «УФН», 1988, т. 155, в. 4, с. 721; 24) Ирхин В. Ю., Кацнельсон М. И., Проблема кондовских магнетиков, «Физ. мет. и металловед.», 1991, № 1, с. 16; 25) Вонсовский С. В., Изюмов Ю. А., Курмаев Э. З., Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений, М., 1977; 26) Вонсовский С. В., Кацнельсон М. И., Трефилов А. В., Локализированное и делокализованное поведение электронов в металлах, «Физ. мет. и металловед.», 1993, т. 76, в. 3, с. 3; в. 4, с. 3.

ФЕРРОМАГНЭТИК — вещество, в к-ром ниже определенной темп-ры (Кюри точка T_C) устанавливается ферромагн. порядок магнитных моментов атомов (ионов) в неметаллич. веществах и спиновых магн. моментов коллективизированных электронов в металлич. веществах (см. Ферромагнетизм). Наиб. важными характеристиками Φ являются точка Кюри T_C , атомный магн. момент $M_{ат}$ при 0 К, уд. самопроизвольная (спонтанная) намагниченность M_0 (на 1 г) при 0 К и уд. намагниченность насыщения M_∞ (на 1 см³) при 0 К. Среди чистых хим. элементов к Φ относятся только 3 переходных 3d-металла — Fe, Co, Ni — и 6 редкоземельных металлов (РЗМ) — Gd, Tb, Dy, Ho, Er и Tm (табл. 1). В 3d-металлах и РЗМ Gd реализуется

Табл. 1.— Ферромагнитные металлы (химические элементы)

Металлы	T_C , К	$M_{ат}^*$, μ_B	M_0^{**} , Гс/г	M_∞^{***} , Гс/см ³
Fe (ОЦК)	1044	2,217	221,7	1735,2
Co (ГЦК)	1388	1,753	166,1	1471
Co (ГПУ)	1360	1,721	163,1	1445
Ni (ГЦК)	627,4	0,6157	58,57	508,8
Gd (ГПУ)	293,4	7,56	268,4	1980
Tb (ГПУ)	219	9,34	328	2713
Dy (ГПУ)	90	10,65	350,5	1991,8
Ho (ГПУ)	20	10,34	347	3054,6
Er (ГПУ)	19,6	8,3	206,9	1872,6
Tm (ГПУ)	22	7,14		

* Ат. магн. момент при 0 К; ** уд. намагниченность при 0 К; *** уд. намагниченность насыщения при 0 К.

коллинеарная ферромагн. атомная структура, а в остальных РЗМ — неколлинеарная (спиральная, циклоидальная, синусоидальная; см. Магнитная атомная структура). Самопроизвольная намагниченность 3d-элементов в осн. образуется из спиновых моментов гибридных системы коллективизированных 3d+4s-электронов, а в РЗМ 4f-элементах — из локализованных 4f-слоев и подмагнитных 6s- и 5d-электронов.

Кроме этих 9 Φ . (чистых элементов) имеется огромное число ферромагн. сплавов и соединений, как бинарных, так и более сложных (многокомпонентных) металлических и неметаллических (полупроводниковых, полуметаллич., диэлектрич., сверхпроводящих), кристаллических и аморфных. Классификацию Φ . — сплавов и соединений металлич. типа можно провести, напр., по электронной структуре атомов (ионов) их компонент.

Сплавы переходных d- и f-элементов между собой: а) сплавы 9 ферромагн. элементов (Fe—Ni, Fe—Co, Co—Ni, Fe—Co—Ni, Fe—Gd, Gd—Dy и т.д.); б) сплавы переходных ферромагн. металлов с антиферромагн. (Mn и Cr) и парамагн. переходными металлами (Fe—Cr, Fe—Mn, Co—V, Ni—Ti, Fe—Pd, Co—Pt, Gd—V, Eu—Ti и т.п.); в) сплавы переходных антиферромагн. металлов (Mn и Cr) с парамагн. переходными металлами (Cr—Pt, Mn—Pd, Cr—Pd и т.п.).

Сплавы переходных металлов с нормальными элементами: а) сплавы переходных ферромагн. металлов с нормальными элементами (Ni—Cu, Co—Ag, Ni—Al, Ni—Si, Fe—Si, Fe—Al, Ni—N и т.п.); б) сплавы переходных антиферромагн. d-металлов (Mn и Cr) с нормальными элементами (гейслеровы сплавы): Cu₂MnM (где M—Al, Ge, Zn, Sn, As, In, Sb, Bi, Ga и др.), а также Mn₄N, ZnCMn₃, AlCMn₃, CuCMn₃, Mn—Au, Mn—P, Mn—As, Mn—Sb, Mn—Bi, Mn—S, Mn—Se, Mn—Te, Mn—C, Mn—Sn, Mn—H, Mn—V и т.п.; в) сплавы переходных парамагн. металлов с нормальными элементами:

ZrZn₂, Sc₃In (точнее, в интервале составов Sc_{0,762}In_{0,239}—Sc_{0,753}In_{0,247}) и Au₄V (в интервале составов 18,99—24,01 атомных % V) и др.

Можно также классифицировать Φ . по характеру распределения атомов (ионов) разл. компонент по разл. типам узлов кристаллич. решетки: неупорядоченные или упорядоченные сплавы, интерметаллич. соединения (Fe₂B, Fe₃S, Fe₄N, FeBe₃, MnAs, Mn₂Sb, CrTe, MnP и т.п.).

Наконец, можно различать ферромагн. сплавы и соединения по типу кристаллич. решетки [простая кубическая (ПК), объемноцентрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК), гексагональная с плотной упаковкой (ГПУ) и т.п.], а также, напр., выделять ионные соединения с металлич. проводимостью. О характере и типе обменного взаимодействия в магнетизме, благодаря к-рому вещество становится Φ ., подробнее см. в ст. Ферромагнетизм.

В Φ ., не относящихся к 9 хим. элементам, ср. атомный магн. момент, приходящийся на эфф. «молекулу» сплава или соединения, весьма сложно зависит от их состава. Определять парциальные атомные магн. моменты отд. магнитно-активных компонент как ф-ции состава позволяет магнитная нейтронография. При этом весьма существенна размерность образцов; напр., для мультислойной магнитной пленки сплава Co—Cr толщиной ~2 нм обнаружен гигантский магн. момент насыщения, при 80 К достигающий 4,80 μ_B , что более чем в 2 раза превышает соответствующую величину для Fe. В пленочных мультислоях из ферромагн. компонент Mn и Si при толщинах ~20 нм наблюдался заметный магн. момент при темп-рах ~360 °С; обнаружен также очень большой ср. атомный магн. момент на атом Fe в пленках состава Fe₁₆N₂, равный 5,5 μ_B при 5 К и 3,2 μ_B при комнатной темп-ре [8].

Кривые зависимости ср. атомных магн. моментов и точек Кюри от состава Φ . могут носить как монотонный (рис. 1, 2, 4), так и существенно немонотонный характер (рис. 3); последнее связано со структурными превращениями в сплавах. На рис. 5 показано сравнение наблюдаемых на опыте и рассчитанных теоретически полных атомных магн. моментов насыщения для разл. ферромагн. соединений (магнитно-твёрдых ма-

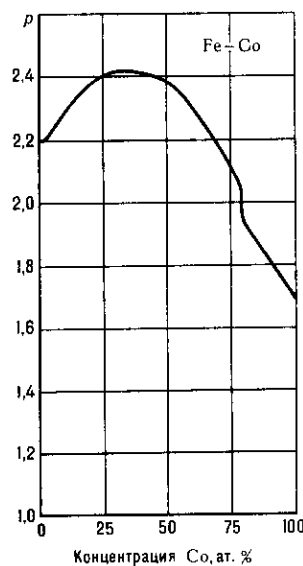


Рис. 1. Зависимость среднего атомного магнитного момента насыщения p (в единицах μ_B) сплава Fe—Co от концентрации Co (в атомных %).

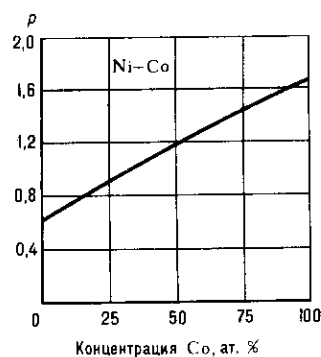


Рис. 2. Зависимость среднего атомного магнитного момента насыщения p (в единицах μ_B) сплава Ni—Co от концентрации Co (в атомных %).

териалов) $R_2Fe_{14}B$, где R—РЗМ; на рис. 6 показана аналогичная зависимость от состава для гипотетич. интерметаллидов FeT_7 (T—к.-л. переходный 4d- или 5d-металл), рассчитанная на основе феноменологич. модели Жакардино и Уокера (1965).