

## **Выводы**

Анализируя предлагаемую конструкцию необходимо отметить что она имеет: достаточно высокий К.П.Д. 70-85%; относительно невысокую энергоемкость; достаточно высокую производительность; способность транспортирования мелкодисперсных материалов повышенной влажности; достаточно большую глубину выемки; возможность применения при очистки облицованных каналов; минимальное взмучивание ила во время работы.

Перегородки трубчатого конвейера должны иметь фрекционную связь с лентой и быть выполненные в виде пневмоблоков, что увеличивает поверхность контакта со свернутой лентой как на прямолинейных, так и на криволинейных участках трассы.

Максимальное напряжение в оболочке пневмошара (перегородки) зависит от: сжимающей силы, модуля упругости соприкасающихся тел (ленты и шара), главной кривизны трубчатой ленты по сечению.

Шаг между перегородками зависит от: допускаемой нагрузки на узел скрепления перегородки с лентой, удерживающей силы перегородки возникающей за счет обжатия шара лентой, удельного веса транспортируемого груза, площади шара по сечению, диаметра отклоняющих шкивов установленных на трассе конвейера.

С увеличением угла трения грунта по металлу оптимальное значение угла наклонной поверхности приемного короба несколько уменьшается.

Как недостаток предлагаемой конструкции следует отметить ограниченность транспортирующей способности по кусковатости груза.

**Список литературы:** 1. Гаврюков А.В., Пенчук В.А., Корольков Б.А., Гололобов Б.Д. Удерживающая способность трубчатой ленты при вертикальном транспортировании насыпных грузов. Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Вип. 2004 – 5 (47). С. 71-77. 2. Разработка и внедрение конвейер-крана и технологии возведения из монолитного железобетона в скользящей опалубке // Отчет по научно-исследовательской работе. Научный руководитель д.т.н., проф. В.А. Пономаренко. – Макеевка., 1980, - 263. 3. М.Я.Выгодский. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1976. 872с.

Сдано в редакцию 15.05.07

## **МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА НАНОРАЗМЕРНОМ УРОВНЕ**

**Гречихин Л.И., Шумский И.П.**

(Минский государственный высший авиационный колледж,  
ООО «Регула», г. Минск, Беларусь)

Самое ценное качество в научной теории заключается в том, что она объясняет саму структуру реальности.  
Дэвид Дойч

*Thus, ferromagnetism is conditioned not by the formation of domains as a consequence of the spin-spin interaction, but as a consequence of hybridization of the wave functions of the d- and s-conditions. This leads to the origination of embedded electric moments on the level of atom systems. As a consequence of dipole-dipole interaction, spontaneous alignment of magnetic moments inside clusters takes place, and the intercluster interaction leads to the*

*formation of considerable amounts of domain structures when the temperature does not exceed the Curie temperature. The Curie temperature is determined by the value of the energy of the dipole-dipole interaction. The magnetic susceptibility is determined by the number of bound dipole magnetic moments, and the magnetic permeability is determined, on the contrary, by the number of free magnetic moments. The structure determines the diverse dependence of the magnetization curves on the direction of the external magnetic field against the crystallographic axes. The coercive force is determined by the value of the binding energy: covalent, ionic and electron-dipole interaction.*

**Введение.** Намагниченность вещества в конденсированном состоянии определяется наличием круговых токов внутри вещества. Наличие круговых токов в атомных и молекулярных структурах вполне объяснимо. Такие токи возникают при орбитальном движении электронов на стационарных орбитах, а также вследствие наличия спинового механического момента у электронов и ядер. Экспериментально достаточно убедительно доказано, что это действительно так. Когда же результаты, полученные для атомных и молекулярных структур, используют для объяснения магнитных свойств веществ в конденсированном состоянии, то опытные данные объясняют в лучшем случае на качественном уровне. Это особенно четко проявилось при объяснении ферромагнетизма, ферримагнетизма, антиферромагнетизма и других магнитных свойств твердых тел.

Например, для объяснения ферромагнетизма предлагались различные физические модели. Первая модель была предложена Гейзенбергом, в которой предполагалось, что магнитные моменты локализованы на отдельных атомах. Модель Френкеля-Стонера исходит из коллективизированных электронов. В основе модели Шубина-Вонсовского-Зинера лежит  $s-d$  ( $f$ ) – обмен валентных электронов. Каждая из этих моделей позволяет понять отдельные ферромагнитные свойства того или иного типа кристалла, но не может вскрыть полностью природу ферромагнетизма во всех типах кристаллов. Наиболее плодотворной оказалась третья модель, которая позволила правильно описать магнитные свойства на атомарном уровне. Магнитные свойства конденсированного состояния эта теория в полном объеме объяснить не смогла.

Из экспериментальных данных следует, что ферромагнетизм обусловлен возможной ориентацией постоянных магнитов целых групп атомов в одном направлении. Вследствие этого такие вещества обладают постоянной намагниченностью даже в отсутствие внешнего магнитного поля. К ферромагнитным веществам (магнетикам) относятся элементы в твердом кристаллическом состоянии, такие как: 1) переходные элементы типа железа с недостроенной  $3d$ -оболочкой ( $Fe$ ,  $Co$ ,  $Ni$ ); 2) редкоземельные элементы с достраивающейся  $4f$ -оболочкой ( $Gd$ ,  $Tb$ ,  $Dy$ ); 3) бинарные и более сложные сплавы и соединения этих элементов между собой и с другими неферромагнитными материалами (магнитные сплавы); 4) сплавы и соединения  $Cr$  и  $Mn$  с неферромагнитными материалами (гейслеровы сплавы).

Если кристалл построен не из атомов переходных элементов, то в нем возможно сохранение независящего от внешнего магнитного поля магнитного момента. При этом различают 4 основных типа кристаллов: 1) металлические кристаллы на основе переходных элементов с достраивающейся  $d$ -оболочкой; 2) металлические кристаллы с достраивающейся  $f$ -оболочкой; 3) неметаллические кристаллические соединения при наличии хотя бы одного компонента из переходных  $d$ - или  $f$ -элементов; 4) сильно разбавленные растворы парамагнитных ионов переходных  $d$ - или  $f$ -элементов в диамагнитных металлических кристаллах.

В настоящее время магнитные свойства материалов принято рассматривать на атомно-молекулярном уровне с переходом на макроуровень. Такой подход дает в ос-

новном качественное описание различных явлений, наблюдаемых в магнетиках. При рассмотрении механических свойств материалов от такой последовательности отказались и рассматривают цепочку в следующей последовательности микро-мезо-макроуровень. Мезоуровень – это кластерный подход, который подробно рассмотрен применительно к механическим и частично к электрическим свойствам различных материалов [1,2]. Применительно к магнетикам их рассмотрение на кластерном (наноуровне) не исследовано. Поэтому возникла следующая *цель*: Создать общую теорию формирования магнитных свойств различных ферромагнитных материалов на наноуровне. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть явление гибридизации возникающей в атомах с достраивающимися *d*- и *f*-оболочками и на этой основе получить величину атомарного встроенного дипольного электрического момента;
- разработать принципы формирования кластерных структур с учетом возникающего диполь-дипольного взаимодействия;
- выяснить расположение электрических дипольных моментов отдельных атомов внутри кластера и получить энергию диполь-дипольного взаимодействия между атомами внутри кластера и между кластерами;
- определить орбитальные магнитные моменты отдельных атомов в кластерных структурах различных ферромагнитных материалов;
- обосновать: а) формирование магнитных доменных структур и б) зависимость магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости от температуры и сравнить полученные зависимости с данными эксперимента.

**Образование встроенных дипольных электрических моментов у атомов с достраивающимися *d*- и *f*-оболочками.** Атомы с достраивающейся *d*-оболочкой являются железо, кобальт, никель, хром, марганец. Во всех этих элементах внешняя *s*-оболочка, кроме атома хрома, является замкнутой, а *d*-оболочка – достраивающаяся. Исходные данные указанных атомов приведены в табл.1.

Волновые функции, которые описывают состояние электронов в сложных атомных системах, были предложены Слэтером в 1940 г. [3]. Применяя эти волновые функции можно получить средние удаления электронов от ядра атома. Результаты таких расчетов приведены в табл. 1. Средние удаления от ядра атомов указанных веществ электронов *s*-состояния и *d*-состояния разные, но их волновые функции взаимно перекрываются. Вследствие этого происходит гибридизация волновых функций *s*- и *d*-состояний [4]. Результирующая волновая функция является суперпозицией волновых функций этих состояний. С учетом нормировки имеем:

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(C_s\Psi_s + C_d\Psi_d), \quad (1)$$

где  $|C_s|^2$  и  $|C_d|^2$  - соответственно вероятности обнаружить оба электрона в *s*- и *d*-состояниях. Эти вероятности можно определить, зная времена обращения электронов в *s*- и *d*-состояний, а именно:

$$P_s = \frac{\tau_s}{\tau_s + \tau_d} \left( 1 - \frac{\tau_d}{\tau_s + \tau_d} \right);$$

$$P_d = \frac{\tau_d}{\tau_s + \tau_d} \left( 1 - \frac{\tau_d}{\tau_s + \tau_d} \right). \quad (2)$$

Методика вычислений  $\tau_s$  и  $\tau_d$  описана в работе [1].

Так как необходимо знать вероятность одновременного пребывания электронов в *s*- и *d*-состоянии, то это должна быть совместная вероятность. При этом необходимо

учесть вероятность перехода из  $s$ -состояния в  $d$ -состояние и наоборот. Такая вероятность определяется интегралом перекрытия, вычисленного для одного силового центра

$$S = \iint \psi_s^* \psi_d dv_s dv_d. \quad (3)$$

Здесь среднее удаление между электронами  $s$ - и  $d$ -состояний соответствует радиусу внешнего валентного электрона в  $s$ -состоянии. Следовательно,

$$|C_s|^2 |C_d|^2 = P_s P_d S^2. \quad (4)$$

Если использовать эффективное главное квантовое число с привязкой к потенциалу ионизации водорода и эффективный заряд с привязкой к потенциалу ионизации водорода, то волновые функции  $s$ - и  $d$ -состояний можно представить в виде волновой функции водорода в основном состоянии, т.е.

$$\psi_s = A_s \exp(-\alpha r_s); \quad \psi_p = A_p \exp(-\beta r_p). \quad (5)$$

$$\text{Здесь } A_s = \left(\frac{\alpha^3}{\pi}\right)^{1/2}; \quad A_d = \left(\frac{\beta^3}{\pi}\right)^{1/2}; \quad \alpha = \frac{2Z_s^*}{n_s^* a_0}; \quad \beta = \frac{2Z_d^*}{n_d^* a_0}; \quad n_s^* = \sqrt{\frac{E_H}{E_s}}; \quad n_d^* = \sqrt{\frac{E_H}{E_d}},$$

где  $E_H$ ,  $E_s$ ,  $E_d$  - соответственно энергия ионизации атома водорода и исследуемого атома в  $s$ - и  $d$ -состояниях.

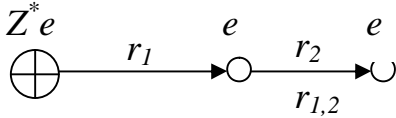


Рис. 1. Расположение валентных электронов разных состояний относительно ядра атома

Волновая функция (1) является гибридной. Гибридизация волновых функций приводит к взаимному смещению относительно ядра атома сферически симметричных  $s$ - и  $d$ -состояний. В результате возникает внутри атома встроенный дипольный электрический момент. На рис.

1 приведена схема расположения валентных электронов в заданной оболочке в разных энергетических состояниях. Приравнивая центробежную силу, обусловленную законом Кулона, центробежной силе для обоих электронов с учетом их взаимного отталкивания получаем следующее значение квадрата смещения

$$\bar{x}^2 = \frac{Z_1^* e^2}{m_e v_1^2} \cdot \frac{Z_2^*}{m_e v_2^2} \cdot \frac{r_{1,2}^2}{r_1 r_2} = \bar{r}_1 \bar{r}_2 \frac{r_{1,2}^2}{r_1 r_2}. \quad (6)$$

Полученное значение усредним по всему объему конфигурационного пространства электронного облака первого и второго электронов, а именно

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{4} \bar{r}_1 \bar{r}_2 (A_s A_p) |C_s|^2 |C_d|^2 \iint \frac{r_{1,2}^2}{r_1 r_2} |\psi_s|^2 |\psi_d|^2 d\tau_1 d\tau_2. \quad (7)$$

В интеграле (7) учтено только перекрестное значение волновых функций, так как взаимодействие электрона с самим собой не дает его смещения относительно центра атома. Тогда в случае одного силового центра получаем [5].

$$\bar{x}^2 = 24 \bar{r}_1 \bar{r}_2 |C_s|^2 |C_d|^2 \left( \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\beta}{\alpha} \right). \quad (8)$$

В соответствии с (8) электрический диполь равен

$$p_s = \sqrt{\bar{x}^2} e. \quad (9)$$

Полученные значения электрических диполей по (9) различных веществ приведены в табл. 1. Полученные значения электрических диполей, для атомов с достраиваемой  $d$ -оболочкой, достаточно хорошо коррелируют с аналогичными расчетами, выполненными Коулсоном [4] и в работе [6] другими методами.

Аналогичные расчеты были выполнены для атома гадолиния, у которого взаимодействие возникает между  $f$ - $s$  электронами.

Полученным значениям встроенного дипольного электрического момента соответствует встроенный магнитный момент, определяемый по

Таблица 1. Потенциалы ионизации ( $\Theta B$ ), радиусы электронов ( $A$ ), эффективный заряд первой, второй и третьей кратности ионизации, встроенный магнитный момент ( $A \cdot m^2$ ) и встроенный дипольный электрический момент ( $D$ , в дебаях)

Элемент	Параметры										
	$\Theta_{i,1}$	$\Theta_{i,2}$	$\Theta_{i,3}$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$Z_1^*$	$Z_2^*$	$Z_3^*$	$p_m \cdot 10^2$	$p_\varepsilon$
<i>Fe</i>	7,87	16,2	30,6	1,72	1,57	1,29	0,94	1,76	2,74	2,29	2,36
<i>Co</i>	7,86	17,1	33,5	1,66	1,53	1,27	0,91	1,81	2,96	2,22	2,40
<i>Ni</i>	7,63	18,2	35,2	1,62	1,49	1,25	0,86	1,88	3,04	2,12	2,44
<i>Cr</i>	6,77	16,5	31,0	2,03	1,58	1,29	0,95	1,81	2,77	2,51	1,88
<i>Ti</i>	6,82	13,6	27,5	1,99	1,79	1,60	0,95	1,69	3,06	2,47	2,39
<i>Mn</i>	7,44	15,6	33,7	1,77	1,57	1,38	0,91	1,69	3,22	2,30	3,75
<i>Gd</i>	6,18	12,1	20,6	3,11	2,79	0,91	1,33	2,34	1,30	3,67	1,286

формуле [7]

$$p_\varepsilon = \frac{ev_e r_a}{2}, \quad (10)$$

где  $v_e = \sqrt{2\Theta_i/m_e}$  - скорость валентного электрона первой кратности ионизации на стационарной орбите,  $r_a$  - радиус нейтрального атома. Результаты вычислений по (10) приведены в табл. 1.

С учетом наличия в атомах встроенного дипольного электрического момента сравнительно большой величины вследствие гибридизации состояний электронов  $s-d(f)$  состояний уточним структуру и энергию связи атомов в кластерах различных веществ.

**Образование кластерных структур.** В расчетах использовались исходные данные по молекулам те, которые приведены в справочниках [8-10]. Ковалентная связь вычислялась по формуле, которая получена в [1] в рамках разработки двухчастичной квантовой механики твердого тела

$$E_{КОВ} = -\sum_{i=1}^3 N_i \kappa_i^2 \left[ \sum_{k=1}^3 Z_{a,k}^* \sum_{l=1}^3 Z_{b,l}^* \int \int_{(a)(b)} \rho_{e,a}(\varepsilon_k) \rho_{e,l}(\varepsilon_l) \left( \frac{H_{1,1} + H_{1,2}}{1+S} \right) d\varepsilon_k d\varepsilon_l \right], \quad (11)$$

Здесь суммирование ведется по первой, второй и третьей кратностям ионизации с учетом распределения плотности валентных электронов по энергиям и выполнения расчетов с разными эффективными главными квантовыми числами в процессе вычислений кулоновского ( $H_{1,1}$ ) обменного ( $H_{1,2}$ ) интегралов, а также интеграла перекрытия ( $S$ );  $N_i$  - количество частиц в  $i$ -м координационном слое и  $\kappa$  - коэффициент видности, который определен в [1] для различных кристаллических структур.

Доля ионной связи определялась по формуле [1]

$$E_{ИОН} = PS \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 R}, \quad (12)$$

где  $P$  – суммарная вероятность пребывания одновременно двух валентных электронов вблизи обоих взаимодействующих атомов,  $R$  – расстояние между взаимодействующими атомами.

Каждый валентный электрон взаимодействует со встроенным электрическим диполем противоположного атома. Этот вид взаимодействия оценивался по формуле [1]:

$$E_{e-d} = 2(1-S) \frac{eP_{\Delta}}{4\pi\epsilon_0 R}. \quad (13)$$

Выражение (13) выполняется для свободных атомных систем. Если системы связаны не сферически симметричным взаимодействием как это имеет место для ковалентной и ионной связей, а определенным распределением в пространстве, как это реализуется для диполь-дипольного взаимодействия, то формула (13) преобразуется к виду

$$E_{e-d} = 2(1-S) \frac{eP_{\Delta}}{4\pi R} W_c^2, \quad (13a)$$

где  $W_c = 1 - \int_0^{E_{\Delta-d} - k_b T} f(\epsilon, T) d\epsilon,$

а  $f(\epsilon, T) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\epsilon} \exp\left(-\frac{\epsilon}{k_b T}\right) -$

функция распределения Максвелла-Больцмана по энергиям.

Диполь-дипольное взаимодействие определялось с учетом структуры конденсированной фазы, а именно [1]

$$E_{d-d} = \frac{P_{\Delta,1} P_{\Delta,2} \varphi(\alpha_i, N_i)}{4\pi\epsilon_0 R_i^3}. \quad (14)$$

Здесь  $\varphi(\alpha_i, N_i)$  – множитель, определяемый структурой кристалла.

Например, для объемноцентрированной структуры формула (14) на одну взаимодействующую частицу принимает вид:

$$E_{d-d} = \frac{1}{16} \left( \frac{8p_{\Delta}^2}{4\pi\epsilon_0 r_a^3} - \frac{2p_{\Delta}^2}{4\pi\epsilon_0 a^3} \right) \quad (14a)$$

Аналогичные формулы были получены для других кристаллических структур. Выполненные расчеты для атомов различных веществ по (11)-(14) приведены в табл. 2

Расположение встроенных электрических моментов отдельных атомов определяется минимумом потенциальной энергии обусловленной диполь-дипольным взаимодействием. На основании этого было установлено расположение электрических моментов в различных кристаллических структурах кластерных образований. Для объемноцентрированной структуры расположение электрических моментов внутри кластера показано на рис. 1, а на рис. 2 приведено расположение встроенных дипольных электрических

моментов ГЦК и гексагональной структуры кластера. Результирующий встроенный электрический момент с учетом взаимной компенсации для кластера ОЦК структуры составляет – 5 дипольных электрических моментов отдельного атома. Соответственно для ГЦК структуры – 3 и для гексагональной – 1. Структура алмаза представляет собой два встроенных друг в друга ГЦК структур, смещенных в направлении пространствен-

<sup>2)</sup> Из [13a] следует, что по мере возрастания температуры для веществ, атомы которых обладают встроенным электрическим моментом, энергия связи электрон-дипольного взаимодействия увеличивается.

ной диагонали. Поэтому результирующий электрический момент кластера типа алмаза составит 6 дипольных электрических моментов отдельных атомов.

Таблица 2. Энергия бинарной связи различных типов взаимодействия атомов внутри кластера и между кластерами в эВ

Тип и энергия взаимодействия		Вещество						
		<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Gd</i>
Внутри кластерное	$E_{ков}$	0,380	0,388	0,432	0,505	0,255	0,355	0,054
	$E_{ион}$	0,136	0,144	0,178	0,172	0,091	0,203	0,010
	$E_{e-d}$	$0,5*W_c$	$0,5*W_c$	$0,6*W_c$	$0,4*W_c$	$0,4*W_c$	$0,5W$	$0,5*W$
	$E_{d-d}$	0,090	0,126	0,057	0,044	0,079	0,205	0,024
	$E_{рез}$	0,606	0,635	0,667	0,721	0,425	0,763	0,089
Межкластерное	$E_{ков}$	0,100	0,101	0,111	0,112	0,057	0,075	0,0054
	$E_{ион}$	0,004	0,003	0,003	0,004	0,0030	0,001	$6 \cdot 10^{-5}$
	$E_{e-d}$	$0,3*W_c$	$0,1*W_c$	$0,2*W_c$	$0,049*W$	$0,05*W$	$0,5W$	$0,04W$
	$E_{d-d}$	0,109	0,156	0,040	0,062	0,098	0,114	0,024
	$E_{рез}$	0,213	0,258	0,162	0,167	0,161	0,190	0,079
Потенциал ионизации кластера, <i>B</i>		1,46	1,44	1,39	1,25	1,53	1,00	1,91
Радиус кластера, <i>A</i>		3,78	3,75	3,72	3,81	4,38	3,90	6,65

На рис. 1 и рис. 2 центральный атом в кластере выделен, а размер кластера окаймлен пунктирным кругом.

При известном размере кластера, его энергии ионизации и величины дипольного электрического момента возможно произвести расчет энергии межкластерного взаимодействия, которое формирует решеточную структуру твердого тела.

**Межкластерное взаимодействие.** Ковалентная и ионная связь в межкластерном взаимодействии определяется по (11) и (12). При этом использовались данные по размерам и потенциалам ионизации, приведенные в табл. 2. Результаты расчета этих типов взаимодействия приведены в табл. 2. Так как размер кластера в три раза больше атомного размера, то ковалентная и ионная связь составляют небольшую величину по сравнению с межатомным взаимодействием внутри кластера.

Диполь-дипольное взаимодействие между кластерами соизмеримо с диполь-дипольным взаимодействием между атомами внутри кластера и даже равны друг другу. Вклад электрон-дипольного взаимодействия также составляет заметную величину. Получается, что результирующая энергия связи обратно пропорциональна расстоянию между кластерами в степени больше двух. Это приводит к хрупкому разрушению материалов, атомы которых обладают заметным встроенным электрическим моментом. Для марганца в основном реализуется хрупкое разрушение, кластер которого обладает мощным встроенным электрическим моментом (22,5 *D*).

Результаты расчета энергий связи электрон-дипольного и диполь-дипольного взаимодействия для кластеров различных веществ приведены в табл. 2. Диполь-дипольное взаимодействие выстраивает взаимодействующие системы во вполне определенном положении в пространстве. Дипольному электрическому моменту соответствует свой магнитный момент. Валентные электроны атомов внутри кластера и самих кластеров создают орбитальный магнитный момент, который расположен перпендикулярно электрическому моменту. В результате магнитные моменты также выстраиваются во вполне определенном направлении, образуя домены внутри кластера и между

кластерами. Структура доменов соответствует рис. 1 и рис. 2. Ниже рассмотрим образование магнитных моментов в атомарных структурах и в кластерах. На основе этого выясним, как формируются доменные структуры.

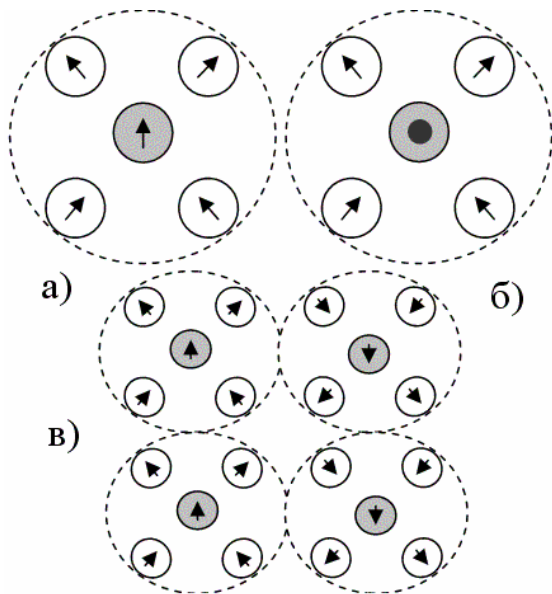


Рис. 1. Расположение встроенных электрических моментов атомов в ОЦК структуре: а) внутри кластера вид сбоку; б) внутри кластера вид сверху; в) в междоменной решеточной структуре

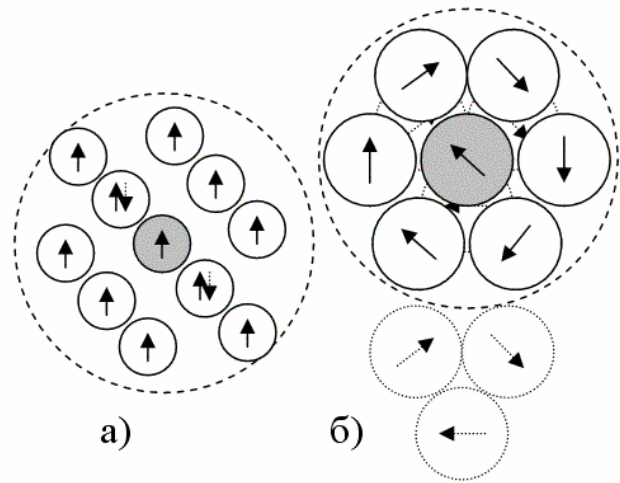


Рис. 2. Расположение встроенных электрических моментов атомов внутри кластерной структуры а) – ГЦК и б) – гексагональная. Пунктиром изображены нижний и верхний слой в гексагональной структуре

**Магнитные свойства атомов с достраивающимися  $d$ - и  $f$ - оболочками.** Электрическому дипольному моменту соответствует магнитный дипольный момент, определяемый по формуле (10). Результаты расчета магнитных моментов различных атомов приведены в табл. 1.

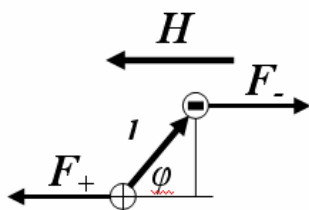


Рис. 3. Взаимодействие внешнего поля  $H$  с магнитным диполем

Диполь-дипольное взаимодействие внутри кластера выстраивает дипольные электрические моменты вдоль направления, которое обеспечивает минимум энергии взаимодействия. Магнитные моменты также выстраиваются вдоль одного направления перпендикулярно электрическому моменту. Взаимодействие магнитных моментов значительно уступает взаимодействию электрических моментов. Поэтому взаимодействием магнитных моментов в результирующей энергии связи можно пренебречь. Взаимодействие магнитных моментов с наложенным внешним магнитным полем может быть соизмеримо с диполь-дипольным взаимодействием электрических моментов. Этот тип магнитного взаимодействия следует учитывать в результирующей энергии связи.

При наложении внешнего магнитного поля магнитные диполи вещества выстраиваются вдоль направления приложенного магнитного поля. Возникает ориентационная поляризация магнетика. Для связанных магнитных диполей взаимодействие маг-



нитного диполя с внешним магнитным полем схематически показана на рис. 3. Энергия взаимодействия магнитного диполя с внешним полем равна произведению

$$U = -p_m B \cos \varphi. \quad (15)$$

Здесь  $p_m$  – величина магнитного дипольного момента, а  $B$  – магнитная индукция внешнего магнитного поля

Количество диполей, которые повернутся вдоль приложенного внешнего поля на телесный угол  $d\varphi$  в сферическом конусе, преодолев энергию теплового движения, в соответствии с законом Больцмана составит:

$$n(\theta) = C' \exp\left(\frac{p_m B \cos \varphi}{k_B T}\right).$$

Вдали от температуры Кюри ( $p_m B \cos \varphi / k_B T \ll 1$ ) можно закон Больцмана представить в виде ряда, ограничившись первым приближением, т.е.

$$n(\theta) = C' \left(1 + \frac{p_m B \cos \varphi}{k_B T}\right). \quad (16)$$

Проинтегрировав (16) по всем телесным углам от нуля до  $\pi$ , получим:  $C' = n_0 / 4\pi$ , где  $n_0$  – число частиц в единице объема, обладающих магнитным дипольным моментом.

Вектор магнитной поляризации по определению находится путем интегрирования следующего выражения:

$$J_m = \int_0^\pi n(\varphi) p_m \cos \varphi \cdot 2\pi \sin \varphi d\varphi = \frac{n_0 p_m^2}{3k_B T} B. \quad (17)$$

С учетом того, что  $J_m = \kappa_m H$  ( $\kappa_m$  – магнитная восприимчивость) и магнитное поле внутри магнетика  $B = B_0 + J_m = \mu_r \mu_0 H$  для магнитной восприимчивости и относительной магнитной проницаемости получаем:

$$\kappa_m = \frac{\mu_0 n_0 p_m^2}{3k_B T} W_c; \quad \mu_r = 1 + \frac{\mu_0 n_0 p_m^2}{3k_B T} (1 - W_c). \quad (18)$$

Величина  $W_c$  введенная в (13а), определяет вероятность того, что магнитный диполь является связанным. Магнитная восприимчивость определяется количеством связанных магнитных диполей, а магнитная проницаемость в слабом магнитном поле определяется количеством свободных магнитных диполей в веществе при заданной температуре.

В качестве примера рассмотрим поведение магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости для железа. Результаты представлены на рис. 4 и рис. 5 соответственно. Аналогичные зависимости получаются и для других ферромагнитных материалов.

Вычисленные значения температуры Кюри в пределах допущенных ошибок в расчетах полностью совпали с экспериментальными данными.

Разработанная теория магнетизма позволила установить предельные значения намагниченности ферромагнитных материалов. Так для железа это значение составило  $230 \text{ A} \cdot \text{m}^2 / \text{кг}$ , что достаточно убедительно совпадает с экспериментальными данными, которые приведены в справочнике [10].

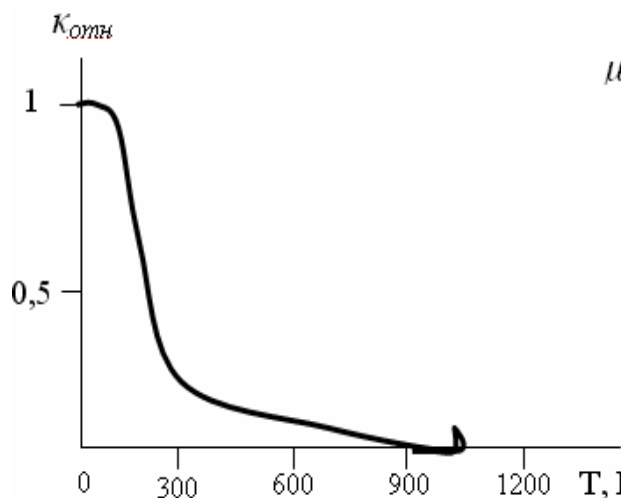


Рис. 4. Зависимость относительной магнитной восприимчивости от температуры для железа

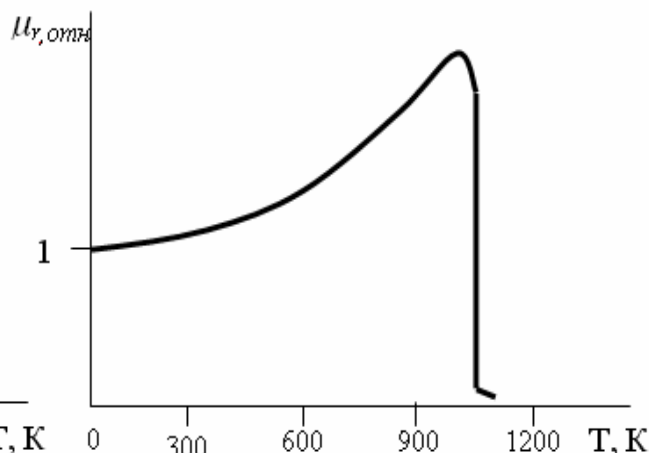


Рис. 5. Зависимость относительной магнитной проницаемости от температуры для железа

### Вывод

Таким образом, ферромагнетизм обусловлен не образованием доменов вследствие спин-спинового взаимодействия, а возникает вследствие гибридизации волновых функций  $d(f)$ - и  $s$ -состояний. Это приводит к возникновению встроенных электрических моментов на уровне атомарных систем. Вследствие диполь-дипольного взаимодействия происходит выстраивание магнитных моментов самопроизвольно внутри кластеров, а межкластерное взаимодействие приводит к образованию доменных структур в значительных объемах, когда температура не превосходит температуру Кюри. Температура Кюри определяется величиной энергии диполь-дипольного взаимодействия между атомами внутри кластера и между кластерами. Магнитная восприимчивость определяется количеством связанных дипольных магнитных моментов, а магнитная проницаемость – наоборот определяется количеством свободных магнитных моментов при заданной температуре. Структурное строение определяет различную зависимость кривых намагничивания от направления внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей. Коорцетивная сила определяется величиной энергии связи: ковалентной, ионной и электрон-дипольным взаимодействием.

**Список литературы:** 1. Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с. 2. Гречихин Л.И. Электрические свойства твердых тел и материалов. //Сб. трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005 г. в 5-и томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Т. 1. С. 212-217. 3. Slater J.C. Wave Functions in a Periodic Potential // Phys. Rev. 1937, V. 51, №10. P. 846-851. 4. Коулсон Ч. Валентность. – М.: Мир, 1965. – 426 с. 5. Гомбаш П. Проблема многих частиц в квантовой механике. –М.: Изд.-во Иностр. лит., 1952. – 279 с. 6. Гречихин Л.И. Общие принципы формирования конструкционных материалов на основе углерода // Материалы, технологии инструменты, 2006, № 11, с. 41 – 45. 7. Гречихин Л.И. Физика. Электричество и магнетизм. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2007. – 283 с. 8. Радциг Ф.Ф., Смирнов Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с. 9. Братцев В.Ф. Таблицы атомных волновых функций – М.-Л.: Наука, 1966. – 192 с. 10. Физические величины: Справочник /А.П. Бабичев, Н.А. Ба-

## НАПРАВЛЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Григорьева Н.С.

(Луцкий государственный технический университет, г. Луцк, Украина)

*From the given the mechanism of the directed upgrading the assemble products is described. Such mechanism includes such stages: designed to set the required indexes of quality in a project of products, technological is making of details products and their automatic assembling. Separate measures implementation of which results in the increase of indexes quality of products are selected.*

**Введение.** В существующих условиях производства при рыночной экономике главным является конкурентоспособность выпускаемых изделий, определяемая высоким качеством и привлекательной ценой. Сложилось так, что выделились два подхода к обеспечению качества изделий, один теоретико-практический и второй – чисто бумажный, бюрократический. Если при первом подходе основополагающим являются теоретические основы повышения качества и их практическое внедрение в производство, то при втором – многочисленные бумажные инструкции, процедуры, правила и т.п. Меньшая, более талантливая часть разработчиков и исследователей, представляют первое направление, большая, не способная на такие разработки, выбрасывает на-гора бумажную продукцию. Исходя из опыта, истина лежит посередине между первым и вторым направлениями, хотя и второе направление должны представлять специалисты, а не бюрократы. При этом известно, что в мире существует ряд стран, например *Япония, США* и другие, не имеющие подобных систем качества, в которых качество выпускаемых изделий значительно выше качества изделий стран *Европы*, пропагандирующих и продвигающих многочисленные серии стандартов. Это подтверждает мнение о забюрократизированности Европы.

Среди разных методов повышения качества изделий достаточно большое значение имеют методы унификации, типизации и модуляризации, обеспечивающие разнообразие изделий при минимальных затратах и необходимом количестве. Для достижения этого необходимо широкое применение технического, математического, информационного, программного и других видов обеспечений, которые будут использоваться в будущем компьютерно-интегрированном (*CIM – Computer Integrated Manufacturing*) сборочном производстве и его системах *CIMS (Computer Integrated Manufacturing Systems)*.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Конструкционным, технологическим и эксплуатационным вопросам сборочных соединений, определяющих качество сборки, посвящено много публикаций [1,2,3], однако проблема остается всегда важной и актуальной, поскольку сборка определяет качество изделия в целом. Значительно меньше работ по направленному формированию показателей качества собираемых изделий [4].

К основным недостаткам традиционной методики повышения качества изделий относится, во-первых, частичность решения обеспечения качества продукции. К примеру, выбирался какой-нибудь показатель качества, чаще всего точность или