

**М. И. РОГАЙЛИН,
Е. Ф. ЧАЛЫХ**

**СПРАВОЧНИК
ПО УГЛЕГРАФИТОВЫМ
МАТЕРИАЛАМ**

**Михаил Иванович Рогайлин
Евгений Федорович Чалых**

**Справочник
по углеграфитовым материалам**

Редактор Э. А. Колодин

Редактор издательства С. Л. Томарченко

Технический редактор Ф. Т. Черкасская

Корректор Б. Н. Тамаркина

Переплет художника А. П. Рыбакова

М-09111. Сдано в наб. 30/VII 1973 г. Подп. в печ. 28/I 1974 г. Формат
бумаги 60×90¹/₁₆. Бумага типогр. № 3. Усл. печ. л. 13,0. Уч. изд.
л. 13,9. Тираж 3600 экз. Заказ 850. Изд. № 114. Цена 86 коп.

Издательство "Химия", Ленинградское отделение, 191186, Ленин-
град, Д-186, Невский пр., 28

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография
№ 2 им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государ-
ственном комитете Совета Министров СССР по делам изда-
тельств, полиграфии и книжной торговли,
198052, Ленинград, Д-52, Измайловский проспект, 29

**М. И. РОГАЙЛИН,
Е. Ф. ЧАЛЫХ**

**СПРАВОЧНИК
ПО УГЛЕГРАФИТОВЫМ
МАТЕРИАЛАМ**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ»
Ленинградское отделение · 1974**

Рогайлин М. И., Чалых Е. Ф.

Р59 Справочник по углеродистым материалам. Л., «Химия», 1974.

208 стр., 113 рис., 197 табл., список литературы 38 ссылок.

Графит обладает уникальными свойствами и поэтому широко применяется в самых различных областях промышленности. В справочнике представлены важнейшие сведения об отечественных углеродистых материалах. В отличие от других справочных изданий, здесь впервые собраны данные о химической аппаратуре и многочисленных углеродистых изделиях, выпускаемых электродной и электроугольной промышленностью. При этом приводятся требования технических условий и ГОСТов и фактические данные.

Справочник предназначен для инженерно-технических и научных работников заводских лабораторий, научно-исследовательских и проектных институтов и конструкторских бюро, а также многих других организаций, занимающихся разработкой и применяющих углеродистые материалы и изделия из них. Он может быть полезен преподавателям и студентам вузов.

Р $\frac{31407-182}{050(01)-1974}$ 111-73

Предисловие	5
Глава 1. Свойства графита	7
Кристаллическая структура	7
Диаграмма состояния углерода	8
Состав паровой фазы углерода	9
Скорость испарения	10
Анизотропия свойств	10
Ядеротехнические свойства	11
Термоэмиссионная характеристика	11
Смачивание и растворимость в системе графит — расплав	11
Глава 2. Свойства углеграфитовых материалов	14
Плотность	14
Пористость	16
Прочность	19
Модуль упругости	22
Коэффициент Пуассона	23
Ползучесть	24
Трение	25
Твердость	26
Теплоемкость	27
Теплопроводность	28
Термическое расширение	33
Электропроводность	36
Магнитная восприимчивость	38
Излучательная способность	38
Химические свойства	39
Глава 3. Конструкционные углеграфитовые материалы	43
Антифрикционные материалы	43
Графит для электроэрозионной обработки металлов	50
Графиты высокой плотности	51
Пористые углеродные материалы	53
Графиты марок МПГ-6 и МПГ-8	54
Графиты высокой чистоты	55
Особо чистые высокопрочные графиты с защитным покрытием	57
Особо чистый пирографит	58
Электроды и материалы для спектрального анализа	58
Стекловидный углерод	60
Конструкционные графиты общего назначения	63
Силицированный графит	67

Глава 4. Электродные изделия	68
Графитированные электроды	68
Угольные электроды	75
Блоки и плиты	79
Блоки для доменных печей	80
Угольные футеровочные блоки	82
Угольные аноды	89
Графитированные аноды	90
Угольные трубы	104
Графитированные стержни	105
Углеродистые массы и пасты	106
Глава 5. Электроугольные изделия	109
Щетки для электрических машин	109
Щетки для автотракторных электрических машин	114
Щетки для электрических бритв	117
Осветительные угли	117
Киносъемочные угли	119
Кинопроекционные угли	122
Угли для дуговых ламп в приборах	125
Светокопировальные угли	127
Угольные высокоинтенсивные электроды типа 32-1100	127
Изделия для техники связи	128
Микрофонные порошки	129
Угольные мембраны для микрофонов	131
Угольные пластины для разрядников	132
Элементные угли	133
Угли для термических целей	135
Сварочные угли	135
Угли для воздушно-дуговой резки	137
Электроды малых сечений	137
Графитовые аноды и сетки для электровакуумных приборов	138
Угольные столбы для автоматических регуляторов напряжения и тока	141
Угольно-керамические объемные электрические сопротивления	144
Прерывающие и скользящие контакты	145
Контакты для автотракторного электрооборудования	146
Угольные контактные вставки для токоприемников электроподвижного состава и троллейбусов	147
Контакты для регуляторов напряжения (вариаторов)	151
Контакты для регуляторов напряжения вибрационного типа	152
Контакты марки КШМ	153
Уплотнительные кольца	153
Глава 6. Химическая аппаратура из графитовых материалов	159
Материалы для изготовления аппаратуры	159
Теплообменная аппаратура	165
Блочные теплообменники	165
Кожухоблочные теплообменники	181
Кожухотрубчатые теплообменники	185
Оросительные теплообменники (холодильники)	188
Погружные теплообменные элементы	190
Колонны, испарители, абсорберы	193
Блоки, трубы, соединительная арматура	199
Блоки из пропитанного графита	199
Трубы из графитопласта АТМ-1	199
Фитинги (соединительная арматура)	200
Центробежный одноступенчатый насос	204
Список использованной литературы	205

Углеродистые материалы получили широкое распространение в различных отраслях промышленности — металлургической, химической, электротехнике, их используют как конструкционные и строительные материалы, в новой технике — электронике, атомной энергетике, полупроводниковой, ракетной технике, в машино-, авиа- и аппаратостроении. По отдельным видам материалов и изделий опубликовано довольно много справочной литературы. Однако разобщенность публикаций затрудняет их использование. В связи с этими обстоятельствами появилась большая потребность в справочном руководстве, в котором были бы собраны все необходимые данные об углеродистых материалах и разнообразных изделиях, выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью.

В имеющихся справочниках материалы обычно группируются по различным признакам — по области применения, распространенности, классу соединений и т. п. Составители данного справочника, считаясь с принятой в СССР организацией углеродистой промышленности, систематизировали сведения об углеродистых материалах преимущественно по промышленному признаку. Так, сведения о графитированных анодах, используемых только в электролитических процессах (электролиз поваренной соли), помещены в гл. 4 «Электродные изделия», а сведения об анодах и сетках, применяемых в электровакуумных приборах, — в гл. 5 «Электроугольные изделия».

Данные о свойствах графита и углеродистых материалах приводятся — вслед за первоисточниками — как в единицах системы СИ, так и в других единицах измерения.

Приводим переводные коэффициенты:

$$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н};$$

$$1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,81 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 9,81 \text{ МН/м}^2;$$

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2;$$

$$1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} = \text{мкОм} \cdot \text{м};$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}) = 1,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$1 \text{ ккал} = 4,19 \text{ кДж};$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Н/м}^2.$$

При составлении справочника широко использованы действующие в настоящее время ГОСТы, технические условия, а также фактические данные о выпускаемых отечественной промышленностью изделиях.

Гл. 2 написана М. И. Рогайлиным, остальные главы — Е. Ф. Чалых.

Авторы будут благодарны за все замечания и советы по справочнику.

Свойства графита

Графит и алмаз встречаются в природе как аллотропные модификации свободного углерода. В Периодической системе Д. И. Менделеева углерод расположен в четвертой группе элементов. Порядковый номер углерода 6, массовое число наиболее распространенного (98,892%) стабильного углерода 12. Ядро атома углерода состоит из 6 протонов и 6 нейтронов. Атомный вес природного углерода $12,01115 \pm 0,00005$. Это объясняется существованием (1,108%) также стабильного изотопа с массовым числом 13.

Кристаллическая структура

Согласно идеализированной модели, предложенной Берналом, структура графита представляет собой непрерывный ряд слоев, параллельных основной плоскости и состоящих из гексагонально связанных друг с другом атомов углерода. В природе встречаются две структурные формы графита, соответствующие двум кристаллическим модификациям, — гексагональная и ромбоэдрическая. Они различаются расположением слоев. Для гексагональной структуры характерно смещение слоев в плоскости так, что под центром и над центром каждого шестиугольника в прилегающих слоях находится атом углерода. При этом любой шестиугольник в каждом третьем слое лежит над шестиугольником в первом слое.

Ромбоэдрическая структура имеет также слои плоских шестигранных сеток. Однако эти слои сдвинуты в направлении, перпендикулярном к оси *c*, иначе, чем в гексагональном графите: каждый четвертый слой повторяет первый. Содержание ромбоэдрической модификации в естественных графитах может достигать 30%. В искусственном графите ромбоэдрическая структура, как правило, не наблюдается.

Расстояние между атомами углерода в плоскости слоя равно 1,415 А, между соседними слоями 3,3538 А. Внутри слоя каждый атом окружен тремя соседними, углы между связями равны 120°. Энергия этих связей оценивается в 170 ккал/г-ат. Четвертый, валентный электрон располагается в пространстве между базисными плоскостями. Силы взаимодействия между базисными плоскостями малы и имеют характер дисперсионных (вандерваальсовых). По различным данным, энергия связи плоскостей составляет от 1 до

4,36 ккал/г-ат, причем ее изменение с температурой незначительно — от 4 ккал/г-ат при -196°C до 3,6 ккал/г-ат при 1118°C .

Все виды искусственного и естественного графита характеризуются наличием различных устойчивых дефектов структуры, отличающих реальную от описанной выше идеализированной структуры и влияющих на многие свойства графитов. Основные типы таких дефектов: дефекты упаковки слоев (нарушение последовательности их чередования, так называемое турбостратное состояние), дефекты в связях углеродной решетки (разделение слоев на конечные кристаллиты), краевые и «дырочные» дефекты, дефекты, вызванные внедрением инородных атомов.

Объяснение большого разнообразия физических свойств различных видов углеродистых материалов следует искать в величине отдельных кристаллов и их группировке, а также в специфичности кристаллической структуры графита.

Диаграмма состояния углерода

Построение диаграммы состояния в системе углерода (рис. 1.1) затруднено чрезвычайно высокими температурами плавления и

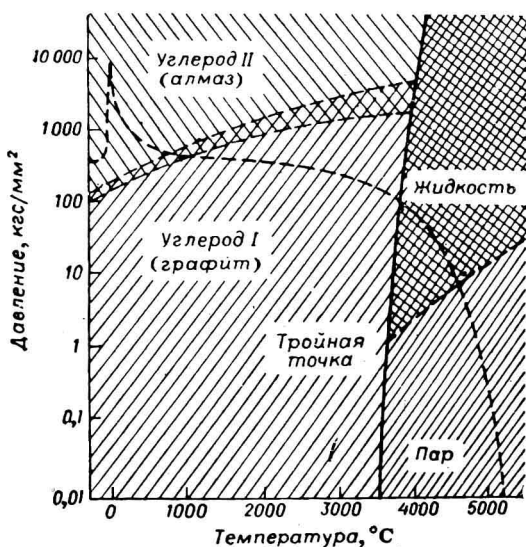


Рис. 1.1. Диаграмма состояния углерода.

сублимации углерода. До настоящего времени экспериментально проверена только часть диаграммы. Однако граница между областью стабильности графита и его парами при низких давлениях установлена точно. Линия равновесия графит — пар показывает, что давление паров углерода быстро возрастает от 1 ат при $3640 \pm 25 \text{ K}$ до 105 ат при 4000 K. По мере увеличения давления

температура испарения быстро возрастает. Температура тройной точки (графит — жидкость — пар) составляет 4020 ± 50 К при давлении 125 ± 15 ат. Граница между областями стабильности алмаза и графита установлена еще менее точно и имеет мало прямых экспериментальных подтверждений. На диаграмме состояния эта неопределенность характеризуется областью, ограниченной пунктирными линиями, расположенными между областями стабильности алмаза и графита. Эти линии были рассчитаны термодинамическими методами с использованием экспериментальных значений плотности, сжимаемости, коэффициента термического расширения графита и алмаза.

Вторая тройная точка соответствует равновесию алмаз — графит — жидкий углерод. Определена она не очень точно и находится при температуре ~ 4100 К и давлении $125\,000$ — $130\,000$ ат. Пунктирная кривая, пересекающая диаграмму, ограничивает область экспериментальных исследований.

Состав паровой фазы углерода

Установлено, что углерод в газообразном состоянии находится как в виде атомов, так и в виде многоатомных частиц: C_2 , C_3 , C_4 , C_5 и более сложных. Энергии, необходимые для отрыва атомов углерода от молекул разной сложности, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Энергия отщепления атомов углерода от газообразных молекул, энергия диссоциации молекул и энергия связи в молекулах углерода

Реакция	ΔH_0° , ккал/г-ат	D_0 , ккал/моль	$-E_0$, ккал/г-ат	Реакция	ΔH_0° , ккал/г-ат	D_0 , ккал/моль	$-E_0$, ккал/г-ат
$C_2 = 2C$	143,17	143,17	71,59	$C_7 = C_6 + C$	193,60	939,07	134,15
$C_3 = C_2 + C$	177,59	320,76	106,92	$C_8 = C_7 + C$	132,10	1071,17	133,90
$C_4 = C_3 + C$	128,11	448,87	112,22	$C_9 = C_8 + C$	187,90	1259,07	139,90
$C_5 = C_4 + C$	166,60	615,47	123,09	$C_{10} = C_9 + C$	134,30	1393,37	139,34
$C_6 = C_5 + C$	130,00	745,47	124,25				

В зависимости от температурных условий состав паровой фазы углерода может изменяться. При температурах ниже 2000 К преобладает атомарный углерод. С повышением температуры содержание его резко уменьшается и при температуре около 2500 К насыщенный пар над графитом состоит преимущественно из молекул углерода. В табл. 1.2 приведены данные о равновесном давлении

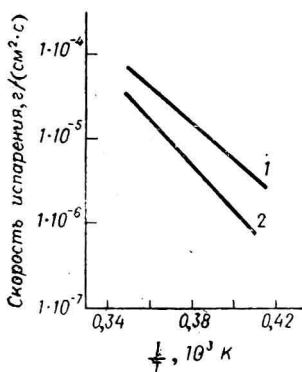
пара над графитом, из которых следует, что оно определяется трехатомными молекулами, относительное содержание которых резко увеличивается с ростом температуры.

Таблица 1.2
Равновесное давление паров углерода

T, K	C	C ₁	C ₂	C ₃
1700	$9,13 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,62 \cdot 10^{-16}$	$7,83 \cdot 10^{-14}$
1800	$1,99 \cdot 10^{-12}$	$2,30 \cdot 10^{-13}$	$4,17 \cdot 10^{-15}$	$1,71 \cdot 10^{-12}$
1900	$3,08 \cdot 10^{-11}$	$2,75 \cdot 10^{-12}$	$7,54 \cdot 10^{-14}$	$2,72 \cdot 10^{-11}$
2000	$3,65 \cdot 10^{-10}$	$2,08 \cdot 10^{-11}$	$1,03 \cdot 10^{-12}$	$3,27 \cdot 10^{-10}$
2200	$2,55 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-9}$	$0,21 \cdot 10^{-11}$	$2,33 \cdot 10^{-8}$
2400	$8,52 \cdot 10^{-7}$	$3,71 \cdot 10^{-8}$	$3,77 \cdot 10^{-9}$	$8,10 \cdot 10^{-7}$
2600	$1,67 \cdot 10^{-5}$	$5,59 \cdot 10^{-7}$	$8,82 \cdot 10^{-8}$	$1,60 \cdot 10^{-5}$
2800	$2,13 \cdot 10^{-4}$	$5,95 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-6}$	$2,07 \cdot 10^{-4}$
3000	$1,89 \cdot 10^{-3}$	$4,61 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$

Скорость испарения

Зависимость скорости испарения графита в вакууме (10^{-3} — 10^{-4} мм рт. ст.) от температуры может быть выражена формулой:



$$\lg W = 9,072 - \frac{38\,650}{T}$$

На рис. 1.2 приведены скорости испарения графитов некоторых промышленных марок.

Анизотропия свойств

В монокристалле природного графита имеются два основных направления, по которым его свойства резко различны: одно направление — вдоль слоя графита, другое — перпендикулярно плоскости слоя. В направлении вдоль слоя (по оси *a*) электро- и теплопроводность, например, значительно выше, чем в перпендикулярном к слою (по оси *c*).

Рис. 1.2. Зависимость скорости испарения графита в вакууме (10^{-3} — 10^{-4} мм рт. ст.) от температуры:

1 — ГЭ; 2 — ГМЗ и ППГ.

Атомы углерода в кристалле графита совершают колебания около своих положений равновесия. При этом, в соответствии с силовыми постоянными, частоты их колебаний в двух взаимно перпендикулярных направлениях различны. Предельная частота колебаний атомов вдоль слоя (по оси *a*) будет намного больше, чем в направ-

влении оси c . Следовательно, слоистый кристалл графита будет обладать не одной дебаевской характеристической температурой, а двумя, соответствующими двум предельным частотам.

Ядернотехнические свойства

Ядернотехнические свойства графитов, используемых в атомной энергетике, должны обеспечивать эффективную работу атомных реакторов. Ниже приводятся наиболее важные данные, относящиеся к чистым графитам:

Макроскопическое сечение захвата	0,000299 см ⁻¹
Макроскопическое сечение рассеяния	0,385 см ⁻¹
Замедляющая способность	0,0608 см ⁻¹

Термоэмиссионная характеристика

Зависимость плотности тока эмиссии от температуры выражается уравнением:

$$\lg i = \lg A + 2 \lg T - \frac{5040}{T} \varphi$$

где i — плотность тока эмиссии, А/см²; A — постоянная Ричардсона, А/(см²·К); φ — работа выхода электрона, эВ.

Работа выхода электрона $\varphi = 4,7$ эВ
Постоянная Ричардсона $A = 60$ А/(см²·К)

Приводим данные о порядке значений плотности тока эмиссии при различных температурах (следует учитывать, что термоэмиссионные характеристики сильно меняются в зависимости от состояния поверхности, прежде всего от присутствия даже тончайших пленок окислов и других примесей).

Температура T , К	1000	1500	2000
Плотность тока эмиссии i , А/см ²	10^{-8}	5	$2 \cdot 10^3$

Смачивание и растворимость в системе графит—расплав

Для характеристики взаимодействия между графитом и жидкими металлами и сплавами приводятся данные о краевых углах смачивания θ , работе адгезии W_a , поверхностная энергия $\sigma_{ж}$ (табл. 1.3 и 1.4). Как видно из этих данных, взаимодействие между графитом и расплавами усиливается при введении в последние карбидообразующих добавок. Кроме того, показателем

Таблица 1.3

Взаимодействие между графитом и жидкими металлами

Жидкие металлы	Температура, °C	Краевой угол смачивания θ , °	Поверхностная энергия $\sigma_{ж}$, эрг/см ²	Работа адгезии W_a , эрг/см ²	Среда
Cu	1100	140	1340	315	Вакуум
Cu + 10,2% Ti	1150	0	1330	2660	»
Cu + 0,6% Cr	1150	84	1330	1380	»
Cu + 6,1% Cr	1150	40	1330	2330	»
Cu + 12,0% Cr	1150	23	1330	2535	»
Cu + 24% Mn	1200	70	1325	1780	»
Cu + 5,0% Co	1300	138	1315	340	»
Cu + 5,0% Ni	1300	140	1315	310	»
Cu + 10% Ni	1500	139	1295	345	Гелий
Cu + 20% Ni	1500	134	1295	400	»
Sn	1000	149	450	65	Вакуум
Sn + 0,9% Ti	1150	76	1330	560	»
Sn + 7,1% Ti	1150	5	1330	900	»
Pb	800	138	420	75	»
Ag	980	136	925	255	»
Ag + 0,1% Ti	1000	85	910	990	»
Ag + 1,0% Ti	1000	7	910	1810	»
Bi	800	136	355	95	Водород
Sb	900	140	360	85	»
In	800	141	495	105	Вакуум
Ga	1000	137	640	170	»
Ge	1000	139	660	100	»

Таблица 1.4

Взаимодействие между графитом и переходными жидкими металлами

Жидкие металлы	Температура, °C	Краевой угол смачивания θ , °	Среда	Жидкие металлы	Температура, °C	Краевой угол смачивания θ , °	Среда
Fe	1425;	60	Вакуум	Ti	1725	0	Вакуум
	1539	60	»	Ni	1455	50	»
	1550	37	Водород		1500	90	»
Fe + 4,3% C	1539	90	Вакуум		1500	68	Водород
Fe + 5,0% C	1539	130	»	Ni + 2,3% C	1455	145	Вакуум
Чугун (3,5% C,	1140	108	Аргон	Co	1425	82	»
1,14% Si,					1495	35	»
0,57% Mn,				Co + 2,7% C	1495	130	»
0,03% S,				Zr	1900	0	»
0,03% P)				Nb	2700	60	»
Чугун (3,3% C,	1140	104	»				
2% Si, 0,75% P,							
1% Mn,							
0,053% S)							

интенсивности взаимодействия углерода с жидкими металлами может служить его предельная растворимость (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Предельная растворимость углерода в жидких металлах

Жидкие металлы	Содержание углерода, ат. %	Температура, °C	Жидкие металлы	Содержание углерода, ат. %	Температура, °C
Fe	20,2	1500	Pt	16,5	1734
Cu	$0,053 \cdot 10^{-4}$	1100	Co	13,9	1500
	$0,2 \cdot 10^{-4}$	1600	Cd	Следы	767
Zn	Следы	907	Mn	24,9	1365
Sn	»	2270		27,2	1460
Pb	1,58	1555	As	Следы	615
Ag	$1 \cdot 10^{-4}$	1660	Ru	29,8	2450
Ni	9,6—11,8	1500	Rh	16,0	1966
Hg	Следы	357	Bi	0,4	1490
Au	»	2970	Os	40,0	5503
			Ir	16,3	2440

Свойства углеграфитовых материалов

Углеграфитовые материалы изготавливаются из шихты — механической смеси, содержащей приблизительно 75% полидисперсного кокса-наполнителя и 25% каменноугольного пека-связующего *. Свойства углеграфитовых материалов характеризуются анизотропией, которая обусловлена, с одной стороны, гексагональной поликристаллической структурой искусственного графита, и, с другой, анизометрией частиц кокса-наполнителя. При формировании исходной массы путем выдавливания (прошивные заготовки) продолговатые частицы ориентируются наибольшими осями параллельно оси прессования, а при формировании в пресс-форме (прессованные заготовки) частицы ориентируются длинной осью перпендикулярно движению плунжера. В результате формирования развивается преимущественная ориентация частиц наполнителя, приводящая после термической обработки к образованию определенной структуры и в конечном счете к различию свойств в направлении, параллельном и перпендикулярном оси прессования. В связи с этим для свойств углеграфитовых материалов обычно приводят два значения, одно из которых характеризует то или иное свойство в направлении, перпендикулярном оси прессования, а второе — в параллельном. Следует указать, что материалы, формируемые выдавливанием, показывают большую степень анизотропии, чем прессованные в пресс-форму.

Плотность

Искусственный графит характеризуют по плотности несколькими показателями: рентгенографической плотностью, пикнометрической (или истинной) и кажущейся плотностью.

Плотность идеального графита, рассчитанная на основании данных рентгеноструктурного анализа, равна $2,265 \text{ г/см}^3$. Однако даже естественный графит с высокоупорядоченной структурой обычно имеет более низкую плотность, что связано с нарушением структуры. На рис. 2.1 приведена зависимость рентгенографической плотности графита от среднего межслоевого расстояния. Рентгенографическую плотность можно принять за характеристику совер-

* Характеристика выпускаемых отечественной промышленностью марок углеграфитовых конструкционных материалов имеется в гл. 3.

шенства кристаллической структуры графита. Для различных видов искусственного графита она обычно составляет 2,16—2,23 г/см³.

Таблица 2.1

Параметры кристаллической решетки и рентгенографическая плотность углеродистых материалов

Материал	c , Å	a , Å	c/a	Средний размер кристаллита, L_a , Å	Плотность, г/см ³
Цейлонский графит	6,72	2,46	2,73	1000	2,26
Электродный графит	6,74	2,45	2,75	500	2,27
Пиролитический графит	6,84	2,45	2,79	150	2,24
Металлургический кокс	7,1	2,42	2,93	20	2,21
Стеклоуглерод	7,2	2,41	2,99	16	2,20
Древесный уголь	10,6	2,31	4,60	6	1,63

В табл. 2.1 приведены параметры кристаллической решетки и рентгенографическая плотность некоторых структурных модификаций углерода. Как видно из таблицы, плотность углерода, полученного из различных исходных материалов, сильно отличается от теоретической.

Наиболее часто используемый на практике показатель — пикнометрическая плотность, определяемая методом гидростатического взвешивания (погружением в керосин), для различных материалов, термически обработанных при 3000 °С, приведена в табл. 2.2. Величина пикнометрической плотности всегда несколько ниже рентгенографической. Это объясняется наличием в графите пор, недоступных для пикнометрической жидкости («закрытых пор»). Истинная плотность углеграфитовых



Рис. 2.1. Зависимость рентгенографической плотности графита от среднего межслоевого расстояния.

Таблица 2.2

Пикнометрическая плотность углеродистых материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Материал	Плотность, г/см ³
Активный уголь	1,46	Битуминозный уголь	2,09
Древесный уголь из мягких пород	1,60	Антрацит	2,09
Целлюлозный кокс	1,68	Пековый кокс	2,14
Кокс из древесных смол	1,70	Лигнит	2,18
Древесный уголь из твердых пород	1,87	Печная сажа	2,18
Ацетиленовая сажа	2,04	Ретортный уголь	2,23
		Нефтяные коксы	2,20—2,26
		Природный графит	2,26