

**ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ**

В двух томах



**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ
ЭНЦИКЛОПЕДИИ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ:**

ФЕДОРЧЕНКО И. М.

(ответственный редактор)

БРАУН М. П.

ВОЛОЩЕНКО М. В.

ГРИДНЕВ В. Н.

ГРИНЕНКО Ю. А.

ЕРЕМЕНКО В. Н.

КАЗАНЦЕВ В. А.

(ответственный секретарь)

ЛАЗАРЕНКО Е. К.

ЛАРИКОВ Л. Н.

МОВЧАН Б. А.

ПАНАСЮК В. В.

САМСОНОВ Г. В.

СКОРОХОД В. В.

ТРЕСВЯТСКИЙ С. Г.

ТРЕФИЛОВ В. И.

(заместитель ответственного
редактора)

ТРОЩЕНКО В. Т.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

2

МОЛИБДЕН — ЯШМА

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
УКРАИНСКОЙ СОВЕТСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ
КИЕВ — 1977

540(03)

Э $\frac{30\ 107-000}{M222(04)-77}$ 470-77

© ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ УСЭ, 1977

М

МОЛИБДЕН (Molybdaenum; от греч. μόλυβδος — свинец), Мо — химический элемент VI группы периодической системы элементов; ат. н. 42, ат.м., 95,94. Светло-серый тугоплавкий металл. В соединениях проявляет степени окисления +2, +3, +4, +5, +6. Природный М. — смесь стабильных изотопов ^{92}Mo (15,86%), ^{94}Mo (9,12%), ^{95}Mo (15,70)%, ^{96}Mo (16,50%), ^{97}Mo (9,45%), ^{98}Mo (23,75%) и ^{100}Mo (9,62%). Получены 10 радиоактивных изотопов. Осн. минерал М. — молибденит (молибденовый блеск) до 18 в. не отличали от графита и свинцового блеска из-за их внешнего сходства. М. открыл (1778) швед. химик К.-В. Шееле, выделивший при обработке молибденита азотной к-той молибденовую к-ту. Металлический М. впервые получил (1782) швед. химик П. Гьельм восстановлением трехокси молибдена углеродом. Пром. применение М. относится к началу 20 в. (произ-во молибденовых сталей). Содержание его в земной коре $1,1 \cdot 10^{-4}\%$. Известны около 20 минералов молибдена. Из них наиболее часто встречаются в природе: молибденит, повеллит СаМоО_4 , молибдит $\text{Fe}_2(\text{МоО}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{О}$, вульфенит PbMoO_4 , молибдошеелит $\text{Са}(\text{W, Мо})\text{O}_4$, чиллагит $\text{Pb}(\text{Mo, W})\text{O}_4$, кехлинит $\text{Вi}_2(\text{МоО}_4)_2\text{O}_2$, линдгрениит $\text{Cu}_3(\text{МоО}_4)_2(\text{ОН})_2$, ильземанит $\text{МоО}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, ураномолибдат $\text{UO}_2 \cdot \text{UO}_3 \cdot 2\text{МоО}_3$, эозит $3\text{PbO} \times \text{V}_2\text{O}_4 \cdot \text{МоО}_3$, белонезит MgMoO_4 и патерзит Со МоО_4 . Пром. значение имеют молибденит, повеллит, молибдит и вульфенит. Кристаллическая решетка М. объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 3,1466 \text{ \AA}$. Атомный радиус $1,39 \text{ \AA}$ (для координационного числа 12); ионный радиус Mo^{4+} составляет $0,68 \text{ \AA}$, ионный радиус Mo^{6+} равен $0,62 \text{ \AA}$. Плотность

(т-ра 20°C) $10,22 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}}$ 2620°C ; $t_{\text{кип}}$ около 4830°C . Теплота плавления $6,6 \pm 0,7 \text{ ккал/г-атом}$; теплота сублимации $155,55 \text{ ккал/г-атом}$. Атомная теплоемкость (т-ра 25°C) $5,867$ и (т-ра 1200°C) $7,430 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$; удельная теплоемкость изменяется соответственно от $0,061$ до $0,077 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$. Коэфф. теплопроводности (в интервале т-р $927\text{—}1627^\circ \text{C}$) от $0,259$ до $0,159 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$, при т-ре -183°C равен $0,438 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$. Средний температурный коэфф. линейного расширения в интервале т-р 0°C — температура плавления составляет $\alpha_{\text{ср}} \cdot 10^6 = 5,05 + 0,31 \cdot 10^{-3} t + 0,36 \cdot 10^{-6} t^2$. Удельное электрическое сопротивление увеличивается от $5,20 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 20°C) до $81,40 \times 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$ (т-ра 2620°C), температурный коэфф. электр. сопротивления (в интервале т-р $20\text{—}2620^\circ \text{C}$) $0,00479$. Т-ра перехода в сверхпроводящее состояние $0,90\text{—}0,98 \text{ К}$. Работа выхода электронов $4,15\text{—}4,37 \text{ эв}$. Термоэдс от 10 (т-ра 480°C) до 30 мВ (т-ра 1030°C). М. парамагнитен. Мех. св-ва его зависят от предшествующей мех. и термической обработки и чистоты металла. М. высокой чистоты с низким содержанием примесей внедрения пластичен. Прочность М. на растяжение увеличивается с возрастанием степени деформации от $52,5 \text{ кгс/мм}^2$ для прутка диаметром $6,2 \text{ мм}$ до 250 кгс/мм^2 для проволоки диаметром $0,02 \text{ мм}$. Прочность на растяжение: спеченного штабика ($0,02\% \text{ O}_2$; $0,04\% \text{ N}_2$) — $50 \div 100 \text{ кгс/мм}^2$; слитка дуговой плавки ($0,003\% \text{ O}_2$; $0,001\% \text{ N}_2$; $0,0003\% \text{ H}_2$) — $57,1 \text{ кгс/мм}^2$; монокристаллического М. ($0,0008\% \text{ O}_2$; $0,0006\% \text{ N}_2$; $0,0004\% \text{ H}_2$) — 31 кгс/мм^2 ; микротвердость соответственно $150\text{—}200$; $170\text{—}200$ и $160\text{—}170 \text{ кгс/мм}^2$. Твердость поли-

МОЛИБДЕНА СПЛАВЫ

кристаллического М. при т-рах — 189,5; 20 и 1857° С равна соответственно 373; 159,2 и 12,6 кгс/мм². Модуль норм. упругости понижается от 32 300 кгс/мм² при комнатной т-ре до 28 040 кгс/мм² при т-ре 870° С. Коэфф. сжимаемости $0,347 \cdot 10^{-6}$ см²/кг. Переходные металлы V, VI групп периодической системы и титан образуют с М. непрерывный ряд твердых растворов, металлы VII, VIII групп, цирконий и гафний — металлические соединения. С переходными элементами III группы соединений или образования твердых растворов не наблюдается. Диаграммы состояния М. с элементами I, II групп и непериодическими металлами III группы не изучены, иногда указывается на отсутствие соединений или растворимости металлов. Бериллий, цинк, бор, алюминий, галлий и германий образуют с М. соединения. Неметаллические элементы IV—VI групп также образуют соединения, наиболее важные из них — карбиды, силициды, нитриды и сульфиды. При низкой т-ре М. не взаимодействует с воздухом и кислородом, окисление начинается при т-ре 400° С и сильно зависит от зернистости порошка. Реагирует с галогенами, причем чем меньше их атомная масса, тем взаимодействие сильнее. Фтор действует на М. при комнатной т-ре, йод не взаимодействует даже при нагреве. Соляная и серная к-ты в холодном состоянии не действуют на М., реакция начинается при т-ре 110° С. Азотная к-та и «царская водка» действуют уже в холодном состоянии, быстро — при нагревании. Гидроокиси натрия и калия в холодном состоянии не реагируют с М., в расплавленном состоянии растворяют его на воздухе медленно, при наличии окислителей — быстро. В большинстве пром. месторождений молибдена содержание молибденита не превышает 1%. Руды обогащают главным образом флотацией, доводя содержание MoS₂ до 85—90%. Разложение молибденовых концентратов может быть осуществлено окислением кислородом под давлением в щелочном растворе, азотной кислотой, растворами гипохлорита натрия, хлорированием и др. Основной

промышленный способ — окислительный обжиг. Огарок, содержащий MoO₃, служит исходным материалом для выплавки ферромolibдена. Чистую трехокись MoO₃ получают возгонкой или гидрометаллургическим способом, обрабатывая огарок аммиаком, едким натром или содой. Трехокись восстанавливают до металла водородом, углеродом, углеродсодержащими газами или металлотермическим восстановлением (алюминием, кремнием). В промышленном произ-ве применяют в основном восстановление водородом, получая молибденовый порошок, к-рый превращают в компактные заготовки методами порошковой металлургии или плавкой. М. получают также термической диссоциацией дисульфид молибдена, термической диссоциацией и восстановлением галогенидов молибдена, электролизом расплавленных сред и др. М. производят в виде штабиков, проволоки, пластин, лент, фольги, жести и слитков. Около 75% производимого М. используют для легирования чугуна и сталей (конструкционных, инструментальных, быстрорежущих, нержавеющих, для штампов, антикоррозионных и жаропрочных). М. и молибдена сплавы применяют в электровакуумной, авиационной и ракетной технике, в произ-ве рентгеновских трубок, нагревательных элементов высокотемпературных печей. Покрытие молибденом (см. Молибденирование) поверхности металлических изделий повышает твердость, поверхностную прочность, коррозионную стойкость и др. Из соединений М. в технике используют дисульфид MoS₂ — эффективный смазочный материал для трущихся частей механизмов (область использования от — 40 до 350° С); молибдат Na₂MoO₄ — в произ-ве красок и лаков; трисульфид MoS₃, двуокись MoO₂ и трехокись MoO₃ — катализаторы в хим. и нефтяной пром-сти, в частности при гидрировании углей и нефти.

Лит.: Перельман Ф. М., Зворыкин А. Я. Молибден и вольфрам. М., 1968; Зеликман А. Н. Молибден. М., 1970; Молибден. Пер. с англ. М., 1959; Агте К., Вацек И. Вольфрам и молибден. Пер. с чеш. М.—Л., 1964. С. В. Шабанова.

МОЛИБДЕНА СПЛАВЫ — сплавы на основе молибдена. Отличаются

жаропрочностью, высокими модулями упругости (32 500 кгс/см²) и сдвига (13 800—15 300 кгс/мм²), относительно [малым коэфф. термического расширения, высокой коррозионной стойкостью в расплавах и парах щелочных металлов (лития, натрия, церия) и на воздухе, относительно малорастворимы в минеральных кислотах. Недостаток сплавов — высокая т-ра хладноломкости (более 100° С) в литом и рекристаллизованном состоянии, что обусловлено в основном примесями внедрения и характером распределения их в структуре. Растворимость примесей внедрения в М. с., как и в элементах VIa группы периодической системы, минимальна по сравнению с растворимостью других тугоплавких металлов. М. с. преимущественно малолегированы. Основные легирующие элементы — титан, цирконий, ниобий, вольфрам и рений, образующие с молибденом *твердые растворы* (табл.). Они повышают жаропрочность и пластичность сплавов. Азот малорастворим (0,0002%) в твердом молибдене и не оказывает на сплав вредного влияния. Наиболее вредной примесью является кислород, который образует с молибденом легколетучие и хрупкие окислы, располагающиеся на *границах зерен*, что приводит к ослаблению межзеренной связи и к резкому снижению пластичности и проч-

ности сплавов. Уменьшение содержания кислорода от 0,02 (при производстве методами порошковой металлургии и при вакуумном спекании) до 0,001% (при электроннолучевой зонной вакуумной плавке) приводит к понижению т-ры перехода от $\geq +200$ до -196° С. Легирование М. с. редкоземельными элементами очищает сплавы от кислорода, затрудняет образование *сегрегаций* примесей внедрения по границам зерен. Т-ра хладноломкости гарнисажных сплавов при введении лантана понижается до 20° С, при добавлении иттрия до -35° С. Углерод (0,06—0,1%) способствует повышению пластичности сплавов в литом, ковном и рекристаллизованном состоянии по сравнению с нелегированным металлом. Элементы VIII группы периодической системы вызывают перераспределение углерода в сплаве, предотвращают образование его сегрегаций на границах зерен и измельчают размеры карбидных включений. Прочность и пластичность М. с. улучшают введением добавок иридия, железа, никеля и др. элементов VIII группы (около 0,05—0,12%). Введение вольфрама значительно повышает жаропрочность сплавов. Т-ра рекристаллизации

Химический состав молибдена сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %				
	Mo	Ti	Zr	C	Прочие
МЧВП	Основа	—	—	0,06—0,1	—
ЦМ1	»	—	—	0,01—0,03	—
МЛТ	»	0,5	—	0,01—0,02	0,05 La
ЦМ6	»	—	0,1—0,2	<0,04	0,001—0,003 В
ЦМ3	»	—	0,3	0,025	—
ТСМ3	»	—	—	0,06—0,1	0,05—0,1 Ni
ВМ1	»	0,4	0,08—0,25	0,01	$\leq 0,6$ W
ВМ2	»	0,2	0,25—0,4	0,02	$\leq 0,2$ W
ЦМ2А	»	0,1	0,1	0,004	—
ЦМ5	»	—	0,4—0,6	0,04—0,07	—
ВМ1Д	»	0,15	0,08—0,15	0,02	—
ТСМ4	»	—	0,15—0,25	0,02—0,04	0,05—0,1 Ni
ВМ3	»	0,8—1,3	0,3—0,6	0,25—0,5	1,0—1,8 Nb
ЦМВ30	»	—	—	0,01	30 W
МР47ВП	»	—	—	—	47 Re

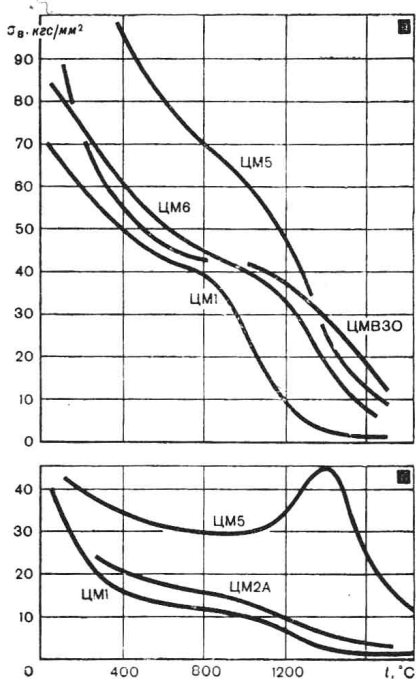
М. с. 1000—1600° С. При повышении т-ры значительная прочность сохраняется (рис.). М. с. выплавляют, как правило, в вакуумных дуговых или электроннолучевых печах. Полуфабрикаты изготовляют в виде прутков, профилей, труб, листов, фольги и проволоки. Слитки литого металла подвергают горячему прессованию при т-ре 1500° С, промежуточному отжигу в интервале т-р 1200—1500° С (в зависимости от состава сплава) и последующему деформированию прокаткой или волочением. Из М. с. изготовляютковки массой до 1,1 т. При оптимальном режиме прокатки т-ра хладноломкости при изгибе близка к т-ре жидкого азота. М. с. как жаропрочные конструкционные материалы применяют для изготовления головных частей и сопел ракет, вкладышей сопел, упорных колец силовых установок, рулей передних кромок крыльевых сверхзвуковых самолетов, радиационных щитков и деталей крепления, эксплуатируемых при высокой т-ре, деталей и узлов турбин. Применение жаропрочных М. с. в ракетных двигателях позволяет повысить рабочую т-ру на 200—300° С, увеличить их мощность. Жаропрочные М. с. используют и в атомной энергетике.

Лит.: Тугоплавкие материалы в машиностроении. Справочник. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография тугоплавких редких и радиоактивных металлов и сплавов. М., 1971; Сплавы молибдена. М., 1975; Молибден. Пер. с англ. М., 1962; Агте К., Вапек И. Вольфрам и молибден. Пер. с чеш. М.—Л., 1964; Титц Т., Уилсон Дж. Тугоплавкие металлы и сплавы. Пер. с англ. М., 1969. В. Н. Минаков.

МОЛИБДЕНИРОВАНИЕ — диффузионное насыщение поверхности металлических изделий молибденом или нанесение на них покрытий из чистого молибдена. Диффузионное М. обычно осуществляют газо- и жидкофазными способами. При газофазном способе молибден переносится газообразными галогенидами молибдена (хлоридами, фторидами и т. п.), при жидкофазном — анионами молибдена, к-рые осаждаются на поверхности катода — изделия. При газофазном способе (способе порошков) используют чистые молибдено-

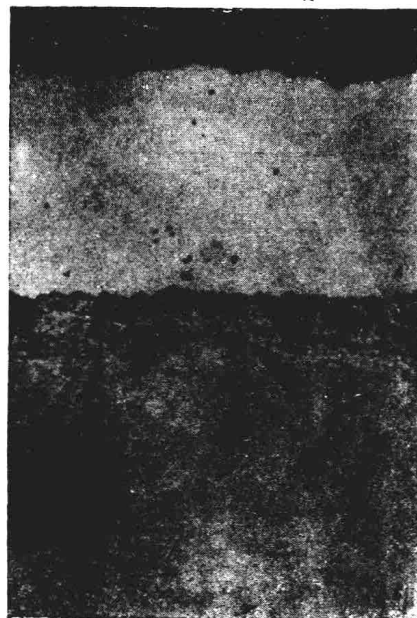
вые порошки или порошки ферро-молибдена, через к-рые пропускают чистый водород, или смесь водорода с хлорной кислотой либо смеси этих порошков с инертными наполнителями (напр., окисью алюминия) и галонидным активатором (напр., NH_4Cl). Насыщение проводят в герметичных контейнерах с плавким затвором (в воздушной среде) либо без плавкого затвора (в разреженной или защитной среде). Для М. прибегают также к электролизу расплава молибдата Na_2MoO_4 или его восстановлению, продавая через ванну чистый водород либо диссоциированный аммиак. Процесс осуществляют при температуре 1000—1300° С, продолжительность его от 6 до 24 ч. Хим. и фазовый состав, а также структура диффузионного слоя зависят от материала основы, активности насыщающей среды и режима процесса. Так, при насыщении поверхности стальных изделий в

Зависимость предела прочности на растяжение сплавов молибдена в деформированном (а) и рекристаллизованном (б) состоянии (отжиг при температуре 2000° С в течение 1 ч) от температуры.



диффузионной зоне могут образовываться *твердый раствор* молибдена в альфа-железе, молибдениды Fe_2Mo и Fe_7Mo_6 , сложный карбид $\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{C}$. Микротвердость слоя молибденидов невелика ($220\text{--}600 \text{ кгс/мм}^2$), зависит от режима насыщения и последующей термообработки, микротвердость сложного карбида $\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{C}$ около 1200 кгс/мм^2 . После диффузионного М. жаростойкость, коррозионная стойкость и твердость поверхности стальных изделий изменяются, как правило, незначительно. Диффузионное М. является, как правило, промежуточной операцией *химико-термической обработки*, предшествующей, например, азотированию, цементации, силицированию и борированию. Так, азотирование молибденированного железа при т-рах 510°C (за 4 ч) и 540°C (за 25 ч) дало возможность повысить твердость поверхности до 1300 HV (до т-ры 500°C она изменялась незначительно). Диффузионное М. иногда применяют для изменения св-в поверхности изделия в нужном направлении: напр., М. изделий из

Микроструктура молибденового покрытия (А), полученного детонационным напылением на никелевый сплав (Б), $\times 340$.



нержавеющей стали марки Х18Н9Т увеличивает ее прочность и стойкость в жидком литии в 2,5—3 раза. Для нанесения покрытий из чистого молибдена используют гл. обр. газотермическое напыление, а также осаждение из газовой фазы в результате восстановления водородом галогенидов молибдена при т-ре $800\text{--}1000^\circ \text{C}$, пиролиза его галогенидов (MoCl_4 , MoCl_5 , MoBr_5) при т-ре $1300\text{--}1500^\circ \text{C}$ в вакууме или аргоне или карбонила $\text{Mo}(\text{CO})_5$ в среде водорода или без него при т-ре $350\text{--}650^\circ \text{C}$. Кроме того, применяют электроннолучевое испарение молибдена с последующей его конденсацией на покрываемой поверхности. Скорость осаждения ($3\text{--}5 \text{ мкм/мин}$) регулируют составом газовой фазы и т-рой материала основы. Режим осаждения определяет такие св-ва покрытий, как плотность, твердость, чистоту, прочность сцепления с материалом основы, а также структуру. Молибденовые покрытия (толщиной обычно $20\text{--}200 \text{ мкм}$) осаждают на жаропрочные и тугоплавкие сплавы ниобия, тантала, вольфрама и рения. Последующие силицирование, азотирование, комплексное диффузионное насыщение таких покрытий позволяют получать слои, обладающие высокой жаростойкостью. Напыление молибденовых *газопламенных* покрытий, *плазменных* покрытий или *детонационных* покрытий (рис.) используют гл. обр. для получения подслоя, что дает возможность увеличить прочность сцепления с материалом основы других напыленных покрытий — карбидных, окисных и др. М. применяют в электро- и радиотехнике, электронике, ядерной технике, ракетостроении и др. Лит.: Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Дубинин Г. Н. [и др.]. Молибденирование для повышения стойкости стали Х18Н9Т в жидком литии. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1970, № 10; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Получение покрытий высокотемпературным распылением. М., 1973; Осаждение из газовой фазы. Пер. с англ. М., 1970. А. П. Эпик. **МОЛИБДЕНИТ**, MoS_2 — минерал класса *сульфидов*. Синоним: *молибденовый блеск*. Хим. со-

став (%): Мо — 60; S — 40. Обычно содержит примесь рения (до 0,33%), а также незначительные количества селена, теллура, висмута, осмия и золота. Структура слоистая, сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-бипирамидальный. Образует обычно чешуйчатые и листоватые агрегаты. Кристаллы характеризуются таблитчатым габитусом, реже они короткопризматические, боченкоподобные. Главные формы кристаллов: {0001}, {1010}, {1011}. Редко встречаются двойники по (0001), а также параллельные сростки. Отмечаются полисинтетические двойники. М. изредка образует скрытокристаллические почковидные агрегаты. Спайность весьма совершенная по (0001) (см. *Спайность минералов*). Плотность 4,7—5,0 г/см³. Твердость 1. Цвет (см. *Цвет минералов*) свинцово-серый; черта серая с зеленоватым оттенком. Блеск металлический (см. *Блеск минералов*). Непрозрачный. Эластичный. Проводник электричества, при нагревании его электропроводность увеличивается. На плоскости (0001) электропроводность в 10³ раз выше, чем вдоль оси с. Установлены фотоэлектрический эффект и сильная магнитная ани-

зотропия. В ИК-лучах прозрачный. Одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 4,336$; $n_p = 2,035$; $n_g - n_p = 2,301$. В отраженном свете серовато-белый. Сильно анизотропный. Наблюдается цветной эффект анизотропии в серовато-желтых и синеватых тонах. М. чаще всего связан с гидротермальными средне- и высокотемпературными жилами и контактово-метасоматическими образованиями. В парагенезисе с ним встречаются кварц, вольфрамит, пирит и др. Иногда М. содержится в кислых изверженных породах и пегматитах. Изредка выделения его связаны с низкотемпературными гидротермальными процессами. М. получают взаимодействием серы или сероводорода с горячей молибденовой к-той, нагреванием смеси молибдата аммония с избытком серы, сплавлением молибдата аммония с серой и поташем. М. — единственная пром. молибденовая руда. Очищенный М. (дисульфид молибдена) применяют как добавку в смазки, антифрикционные и фрикционные материалы для снижения коэффициента трения и стабилизации этого процесса. М. используют также в электротехнике и хим. произ-ве, приборостроении.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 1. М., 1960; Бетехтин А. Г. Курс мине-

Химический состав, термическая обработка и свойства молибденовых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Прочие
30ХМА	0,26—0,33	0,40—0,70	0,17—0,37	0,80—1,10	0,15—0,25	≤0,4 Ni
40ХНМА	0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	0,60—0,90	0,15—0,25	1,25— —1,75 Ni
38ХМЮА	0,35—0,42	0,30—0,60	0,17—0,37	1,35—1,85	0,15—0,25	≤0,4 Ni, 0,70— —1,10 Al
18Х2Н4МА	0,15—0,22	0,40—0,70	0,17—0,37	1,45—1,75	0,20—0,30	3,25— —3,75 Ni
25Х1МФ	0,22—0,29	0,40—0,70	0,17—0,37	1,50—1,80	0,25—0,35	0,15—0,30V
5ХНМ	0,50—0,60	0,50—0,80	≤0,35	0,50—0,80	0,15—0,30	1,40— —1,80 Ni

С. А. Галий.
МОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная молибденом. Используется с начала 20 в. Различают М. с. (табл.) конструкционную (улучшаемую, цементуемую), инструментальную и с особыми физ. и хим. св-вами (жаропрочную, нержавеющую, магнитную). Молибден частично растворяется в феррите, а также образует карбиды типа $(Mo, M)_3C$, $(Mo, M)_2C$, $(Mo, M)_{23}C_6$ и $(Mo, M)_6C$, где М — атомы железа или легирующих элементов, замещающие часть атомов молибдена. Карбид $(Mo, M)_{23}C_6$ образуется преим. в сталях, легированных, кроме молибдена, хромом. Молибден значительно увеличивает прокаливаемость, измельчает природное зерно металла, благоприятно влияет на мн. эксплуатационные характеристики стали. В конструкционных улучшаемых сталях (0,3—0,5% С) он способствует улучшению на большую глубину, повышению стойкости против отпуски, уменьшению склонности к отпускной хрупкости второго рода. Достаточно небольшого (0,2—0,3%) количества молибдена, чтобы избежать отпускной хрупкости при медленном охлаждении после отпуска марганцевой, хромистой и хромоникелевой сталей. Молибденовые улучшаемые стали характеризуются

также более высокой вязкостью при низкой т-ре. Наиболее широко применяют улучшаемые стали марок 30ХМА, 40ХНМА и 38ХМЮА. Сталь марки 38ХМЮА упрочняют азотированием. Из конструкционных улучшаемых М. с. изготовляют высоконагруженные болты, шпильки, валы, оси, шестерни и др. изделия. В конструкционных низкоуглеродистых цементуемых сталях молибден, подобно хрому, значительно повышает содержание углерода в поверхностной зоне. Однако макс. концентрация углерода в них несколько ниже, чем в хромистой стали, и достигает 1,9% при содержании молибдена около 3%. Молибденовая цементуемая сталь менее склонна к образованию карбидов по границам зерен, чем хромистая. Чаще всего молибден добавляют в цементуемые стали вместе с хромом и никелем (сталь марки 18Х2Н4МА). Легирование хромоникелевых сталей молибденом повышает стойкость переохлажденного аустенита, а следовательно, и прокаливаемость (критический диаметр достигает 100 мм и более), вследствие чего их закаляют на воздухе для уменьшения коробления. Из конструкционной цементуемой стали марки 18Х2Н4МА

Термическая обработка	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	φ , %	a_H , кгс·м/см ²	НВ
Закалка в масле при т-ре 850—880 °С; отпуск при т-ре 560 °С; охлаждение на воздухе	≥ 75	≥ 95	≥ 12	≥ 50	≥ 9	—
Закалка в масле при т-ре 830—860 °С; отпуск при т-ре 500—600 °С; охлаждение на воздухе	≥ 85	≥ 100	≥ 12	≥ 55	≥ 10	~350
Закалка в масле при т-ре 930—950 °С; отпуск при т-ре 600—675 °С; охлаждение на воздухе	≥ 85	≥ 100	≥ 15	≥ 50	≥ 9	~350
Закалка на воздухе при т-ре 950 °С; отпуск при т-ре 200 °С; охлаждение на воздухе	≥ 85	≥ 115	≥ 10	≥ 45	≥ 10	—
Закалка в масле при т-ре 880—900 °С; отпуск при т-ре 640—660 °С; охлаждение на воздухе	≥ 75	≥ 90	≥ 14	≥ 50	≥ 6	—
Закалка в масле при т-ре 800—860 °С; отпуск при т-ре 500—580 °С; охлаждение на воздухе	—	≥ 120	≥ 10	≥ 40	≥ 4	~350

МОЛИБДЕНОВЫЙ ПОРОШОК

изготавливают высоконагруженные изделия (напр., зубчатые колеса, колечные валы, оси). В *инструментальных сталях* молибден улучшает красностойкость, прокаливаемость, *износостойкость*, повышает стойкость их против отпуска, *жаропрочность*, устраняет отпускную хрупкость. Молибденовые низколегированные стали (марок 5ХНМ, 5ХГМ) применяют для изготовления горячих штампов, *закалку* к-рых даже при относительно больших размерах осуществляют в масле или в струе сжатого воздуха. Из стали марки Х12М изготавливают холодные штампы, накатные ролики, валки, глазки для калибрования и др. Молибден (от 0,6 до 1,0, а иногда до 2%) добавляют в *быстрорежущую сталь* для значительного повышения производительности резания, им заменяют часть вольфрама. По сравнению с вольфрамовыми у молибденовольфрамовых быстрорежущих сталей худшие технологические (большая склонность к росту зерна, к обезуглероживанию), но лучшие мех. св-ва. Из молибденовых быстрорежущих сталей изготавливают режущий инструмент. Повышенная жаропрочность молибденовых *жаропрочных сталей* обусловлена тем, что молибден повышает т-ру рекристаллизации феррита и способствует образованию тонкодисперсных спец. карбидов (напр., Mo_2C) при рабочей т-ре 450—600° С. Трубы паронагревателей, паропроводов и коллекторов энергетических установок, арматуру паровых котлов и турбин, эксплуатируемых при т-ре 500—580° С и подверженных *ползучести*, но малонагруженных, изготавливают из низкоуглеродистых молибденовых, хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей марок 15М, 12ХМ, 12МФ и 25Х1МФ. Детали и узлы, эксплуатируемые при больших напряжениях и т-ре, изготавливают из сложнолегированных сталей мартенситного класса марки 15Х11МФ. Для получения оптимальной жаропрочности молибденовые жаропрочные стали подвергают *нормализации* или *закалке* с последующим старением (см. *Старе-*

ние металлов). В аустенитных сталях молибден повышает жаропрочность вследствие выделения интерметаллидов (при ~ 6% Мо). Эти стали применяют для изготовления изделий, эксплуатируемых в нагруженном состоянии до температуры 800° С. *Нержавеющие стали* марок Х17Н13М2Т и Х18Н12М3Т стойки против коррозии в органических и серной к-тах, в морской воде, а особенно против воздействия *галоидов*, что сказывается прежде всего в уменьшении точечной коррозии. Из низкоуглеродистых (менее 0,06% С) аустенитных сталей марок 0Х23Н28М2Т и 0Х23Н28М3Д3Т изготавливают сварные конструкции и узлы, стойкие против действия горячих фосфорной и серной к-т. Недостаток этих сталей — большая чувствительность к *межкристаллитной коррозии*, зависящая от содержания углерода. В *магнитных сталях* (марки ЕХ9К15М) молибден увеличивает *коэрцитивную силу*. Лит.: Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. Справочник. М., 1956; Шмыков А. А. Справочник термиста. М., 1961; Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. М., 1968; Гудремон Э. Специальные стали, т. 2. Пер. с нем. М., 1966. А. В. Бильченко.

МОЛИБДЕНОВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы молибдена различной формы. М. п. содержит примеси (0,001—0,002%) калия, натрия, вольфрама, алюминия, кальция, железа, никеля, хрома, кремния, магния и меди. Содержание углерода — 0,001 ÷ 0,01%, азота — 0,002 ÷ 0,003%, кислорода — 0,05 ÷ 0,2%. Насыпная масса М. п. (при свободной насыпке) 0,9 ÷ 1,4 г/см³, масса утряски 1,6 ÷ 2,2 г/см³, уд. поверхность 1,0—1,5 м²/г, размер частиц 0,1—6,0 мкм. Произ-во М. п. основано на восстановлении чистой трехокиси молибдена (получаемой термическим разложением парамолибдата аммония) водородом. Процесс протекает в две стадии: $\text{MoO}_3 + \text{H}_2 = \text{MoO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, $\Delta H_{298}^0 = -20,3 \text{ ккал/моль}$; $\text{MoO}_2 + 2\text{H}_2 = \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$, $\Delta H_{298}^0 = +22,5 \text{ ккал/моль}$. Первая стадия восстановления (температура до 650° С) — экзотермическая, при к-рой значения констант равновесия реакции столь велики ($K_p = 1,7 \cdot 10^6$ при

т-ре 400° С), что реакция практически необратима и может протекать в сильно увлажненном водороде. Вторая стадия (т-ра 850—950° С) протекает с поглощением тепла, значения констант равновесия реакции низкие ($K_p = 0,55$ при т-ре 927° С), поэтому полное восстановление возможно лишь при использовании хорошо осушенного водорода. Восстановление проводят в многотрубных печах с непрерывным автоматическим продвижением лодочек вдоль труб; для первой стадии восстановления используют также барабанные вращающиеся печи. В зависимости от режима продвижения лодочек в выгружаемом из печи порошке содержание кислорода составляет 0,4—1,5%. Иногда вводят третью стадию восстановления (т-ра 1000—1100° С), что позволяет снизить содержание кислорода до 0,05—0,2%. Средний размер частиц порошка определяется в основном условиями (т-рой) первой стадии восстановления. Менее распространены способы получения порошка восстановлением молибдена из галогенидов водородом и термической диссоциацией карбонила молибдена. Восстановление галогенидов водородом в «факеле» дает возможность получить высокодисперсные порошки, восстановление в «кипящем слое» приводит к образованию порошков с частицами сферической формы размером 100—500 мкм. Из М. п. методами порошковой металлургии или плавкой (дуговой, электроннолучевой) изготовляют заготовки металлического молибдена.

Лит.: Зеликман А. Н. Молибден. М., 1970; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973; Агте К., Вацек И. Вольфрам и молибден. Пер. с чеш. М.—Л., 1964.

А. Н. Зеликман.

МОНЕЛЬ-МЕТАЛЛ [по имени канадского изобретателя и промышленника А. Монеля (А. Monell)] — сплав никеля с медью, легированный железом, марганцем и др. элементами. Разработан (1905) в Канаде. В СССР изготовляют М.-м. марки НМЖМц 28-2,5-1,5 (27 — 29% Cu, 2 — 3% Fe, 1,2—1,8% Mn, остальное никель). М.-м. характеризуется высокой прочностью и хорошей пластичностью в холодном и горячем состоянии, значительной коррозионной стойкостью (в воде, на воздухе,

во мн. кислотах и крепких щелочах). Удельная плотность 8,8 г/см³; предел прочности на растяжение 50 кгс/мм²; относительное удлинение 35%; $HV = 135 \div 210$. Полуфабрикаты из М.-м. изготовляют в виде листов, плит, лент, прутков и проволоки. М.-м. используют для изготовления деталей в хим., газовой, нефтяной пром-сти, судо-, машино- и аппаратостроении.

Лит.: Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. М., 1975.

З. А. Климак.

МОНОКОРУНД — искусственный корунд в виде монокристаллов гексагональной системы; разновидность электрокорунда. Отличается от корунда более совершенным строением. Содержит в зерне около 97% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Твердость по Моосу 9. Плотность 3,99 г/см³. Т-ра плавления 2050° С. Показатели преломления: $n_0 = 1,768$; $n_e = 1,760$. М. получают из бокситов окисьюсульфидным методом, сплавляя их в электр. печи с сернистым железом и восстановителем (антрацитом или коксом). Образующийся в расплаве раствор окиси алюминия при остывании кристаллизуется в виде правильно развитых кристаллов корунда. Оптимальным для получения М. является содержание в расплаве 4—7% сульфидов алюминия и менее 3% сульфидов кальция. М. используют преим. как абразивный материал, реже — для изготовления огнеупорных и электроизоляционных изделий. М. выпускают зернистостью от № 5 до № 80 в соответствии с ГОСТом 3647—71.

Лит.: Филоненко Н. Е., Лавров И. В. Петрография искусственных абразивов. М.—Л., 1958; Применение и обработка синтетического корунда. М., 1966.

Е. П. Мухачук.

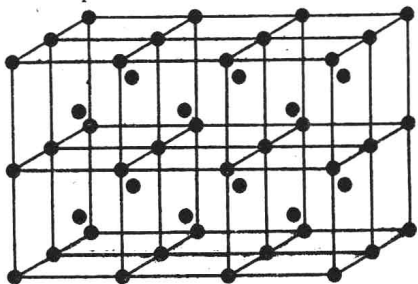
МОНОКРИСТАЛЛ (от греч. *mónos* — один, единственный) — кристалл, в объеме которого атомы (ионы) расположены периодически в соответствии с типом кристаллической решетки. В природе встречаются М. некоторых минералов (каменной соли, кварца, алмаза и др.) с различ-

ной степенью совершенства. М. мн. веществ выращивают искусственно — кристаллизацией из газовой, жидкой или твердой фазы. Если М. выращивают в условиях, когда препятствий свободному росту по всем направлениям нет, он принимает форму полиэдра, симметрия к-рого связана с типом кристаллической решетки. Применяя спец. методы, выращивают достаточно совершенные М. любой необходимой формы. Реальные М. содержат точечные дефекты (*вакансии*, междоузельные атомы, атомы примесей и т. д.), что приводит к некоторым отклонениям от строгой периодичности в пространственном расположении атомов, а также линейные и плоские дефекты, вызывающие еще более значительные отклонения от идеальной (совершенной) структуры (см. *Дефекты в кристаллах*). Строго периодическим расположением атомов (рис.) обладали бы лишь идеальные М. По степени совершенства реальные М. подразделяют на немозаичные (почти идеальные) и мозаичные. Наиболее совершенные немозаичные М. содержат только точечные дефекты; в менее совершенных немозаичных М. есть *дислокации* и ограниченные частичными дислокациями дефекты упаковки. Дифракция рентгеновских лучей на таких М. описывается динамической теорией рассеяния. Мозаичные М., состоящие из *блоков мозаики*, несколько разориентированных по отношению друг к другу (на углы до нескольких десятков минут), при малых размерах блоков (10^{-5} см и менее) рассеивают рентгеновские лучи в соответствии с кинематической теорией рассеяния. Увеличение углов разориентации между блоками до величины порядка десятков градусов приводит к поликристаллическому состоянию (см. *Поликристаллы*). Мн. параметры, характеризующие св-ва М. (температурный коэфф. линейного расширения, магнитная проницаемость, модуль упругости и др.), в общем не одинаковы по различным кристаллографическим направлениям. Характер *анизотропии* свойств М. определяется симметрией кристаллической

решетки и может быть проанализирован в тензорной форме. Многие св-ва М. (электрические, оптические, прочностные и др.) в значительной степени зависят от его совершенства и содержащихся в нем примесей. М. обладают особыми физ. св-вами. Так, М. алмаза и боразона отличаются высокой *твердостью*, М. кварца является *пьезоэлектрическим материалом*. Под влиянием внешних воздействий (света, т-ры, давления, мех. напряжений и др.) М. изменяют свои св-ва. Наиболее совершенные М. применяют в полупроводниковой технике, квантовой электронике, вычислительной технике и др. Лит.: Козлова А. Г. Рост и морфология кристаллов. М., 1972; Сомов А. И., Тихоновский М. А. Эвентические композиции. М., 1975; Хонигман Б. Рост и форма кристаллов. Пер. с нем. М., 1961; Лейбфрид Г. Микроскопическая теория механических и тепловых свойств кристаллов. Пер. с нем. М.—Л., 1963; Най Дж. Физические свойства кристаллов. Пер. с англ. М., 1967; Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. Пер. с англ. М., 1974.

Л. В. Тихонов.
МОНООКИСЬ КРЕМНИЯ, SiO — низшее соединение кремния с кислородом. Аморфный порошок желтовато-коричневого цвета. Плотность $2,24 \text{ г/см}^3$; $\Delta H_{298}^0 = -99\,500 \pm 5000 \text{ кал/моль}$; $S_{298}^0 = 11,1 \pm 1,5 \text{ э. е.}$ Твердая М. к. находится в метастабильном состоянии. Термодинамически стабильна в виде пара при т-ре около 1400°C . В паровой фазе монокисль обнаружен димер Si_2O_2 . В компактном состоянии М. к. устойчива по отношению к кислороду вследствие образования защитной поверхностной пленки из *двуокиси кремния*. При взаимодействии М. к. с водой ($\text{SiO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{H}_2$)

Идеальное расположение атомов в монокристалле с объемноцентрированной кубической решеткой.



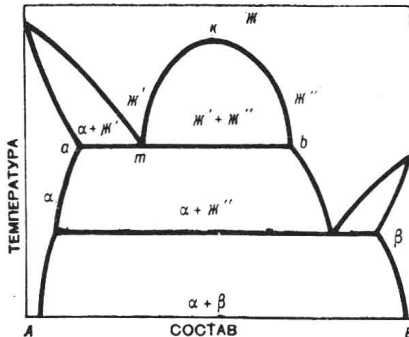
пленка из двуокиси кремния также препятствует дальнейшему протеканию реакции. М. к. растворима в щелочах ($\text{SiO} + 2\text{MOH} \rightarrow \text{H}_2 + \text{M}_2\text{SiO}_3$), кислотостойка, полностью растворима только в плавиковой кислоте с добавками окислителей. В виде тонких ($2000 \div 9000 \text{ \AA}$) пленок, полученных испарением компактной монооксида (или микрогетерогенной смеси $\text{Si} + \text{SiO}_2$), обладает высокой стабильностью электрофиз. характеристик. Однако воспроизводимость ее параметров зависит от условий осаждения, в частности от скорости напыления и величины p_{O_2} в камере, которые влияют на состав конечного продукта. Диэлектрическая проницаемость $4,1 \div 5,8$; диэлектрические потери $\text{tg } \delta = 0,001 \div 0,005$ ($f = 1 \text{ кгц}$); уд. емкость $\sim 10^4 \text{ нф/см}^2$, температурный коэфф. емкости $2,5 \cdot 10^{-4} \div 5,2 \cdot 10^{-5}$ (температура $20-170^\circ \text{C}$); электр. прочность $(1,5 \div 3,7) \cdot 10^6 \text{ в/см}$; сопротивление утечки на постоянном токе $R_g > 5 \cdot 10^9 \text{ ом}$. М. к. получают возгонкой смеси кремния и двуокиси кремния в вакууме при $t = 1250-1300^\circ \text{C}$, а также восстановлением двуокиси кремния углем ($\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{SiO} + \text{CO}$) или карбидом кремния ($\text{SiO}_2 + \text{SiC} \rightarrow \text{Si} + \text{SiO} + \text{CO}$) в дуговой печи. Тонкие моноокисные пленки применяются для создания оптических покрытий, в качестве пассивирующего слоя (см. Пассивирование) и диэлектрика в тонкопленочных микроэлектронных устройствах. Порошок

М. к. с добавками окиси алюминия и окиси магния используют как абразивный материал.

Лит.: Гельд П. В., Есин О. А. Процессы высокотемпературного восстановления. Свердловск, 1957; Торопов Н. А., Барзаковский В. П. Высокотемпературная химия силикатных и других окисных систем. М.—Л., 1963. Я. А. Угай.

МОНОТЕКТИКА (от греч. *mónos* — один и *traktós* — расплавленный), монотектическое превращение — реакция распада в двухкомпонентных системах жидкой фазы на твердую и жидкую иного состава. В ходе монотектической реакции из жидкой фазы J'_m при отводе тепла образуется твердая фаза α_a и жидкая фаза J''_b (рис.). Если давление постоянно, эта обратимая реакция протекает изотермически и осуществляется в сплавах, составы к-рых на диаграмме состояния лежат в пределах монотектической горизонтали ab . При охлаждении расплавов, составы которых определяются отрезком tb , монотектической реакции предшествует распад однородной жидкости на жидкости J' и J'' . Их состав описывается бинальной кривой mbk . При монотектической температуре, соответствующей изотерме ab , в равновесии находятся жидкости состава точек m и b (J'_m и J''_b) и твердая фаза состава точки a (α_a). В процессе кристаллизации из жидкого расплава состава точки m выделяются дендритообразные кристаллы твердой фазы α . При медленной (равновесной) кристаллизации сплавов, составы к-рых лежат в интервале отрезка tb , происходит разделение жидкого расплава на два несмешивающихся слоя составов точек m и b , в каждом из к-рых дальнейшее затвердевание происходит обособленно. Ниже монотектической t -ры из жидкости J'' происходит выделение фазы α с последующей кристаллизацией жидкости по эвтектическому (как изображено на рис.) или др. типу. В трехкомпонентной системе при постоянном давлении монотектическое равновесие устанавливается между дву-

Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с монотектикой.



мя жидкостями и двумя твердыми фазами. См. также *Монотектоид*.

Лит.: Аносов В. Я., Погодин С. А. Основные начала физико-химического анализа. М.—Л., 1947; Штейнберг С. С. Металловедение, т. 1. Свердловск—М., 1952; Петров Д. А. Тройные системы. М., 1953; Райнз Ф. Диаграммы фазового равновесия в металлургии. Пер. с англ. М., 1960. А. К. Шурин.

МОНОТЕКТОИД (от греч. *μόνος* — один, *τήκτός* — расплавленный и *εἶδος* — вид), монотектоидное превращение — реакция распада в двухкомпонентных системах твердой фазы на две другие твердые фазы различного состава, одна из к-рых при повышенной т-ре дает ряд *твердых растворов* с исходной фазой. В ходе монотектоидной реакции из твердой фазы β'_m при отводе тепла образуются твердые фазы α_a и β''_b (рис.). Монотектоидная реакция обратима и, если давление постоянно, протекает изотермически при монотектоидной т-ре, изображаемой на *диаграмме состояния* изотермой *ab*. При охлаждении расплавов, составы к-рых определяются отрезком *mb*, монотектоидной реакции предшествует распад однородного твердого раствора β на твердые растворы β' и β'' . Их состав описывается бинодальной кривой *mkb*. Находящиеся в равновесии фазы имеют составы точек *a*, *m* и *b* (α_a , β'_m и β''_b). Структура сплава, образовавшаяся в результате монотектоидного превращения, аналогична структуре *зетектоида*, отличаясь от нее лишь тем, что у исходной фазы β'_m и одной из образующихся фаз β''_b однотипны кристаллические решетки.

Лит.: Петров Д. А. Тройные системы. М., 1953. А. К. Шурин.

МОНТМОРИЛЛОНИТ [от назв. города Монморийон (Montmorillon) во Франции] — минерал класса *силикатов*; магневая разновидность монтмориллонит-бейделлитового изоморфного ряда. Состав ряда изменяется от силиката кальция, натрия, магния и железа собственно монтмориллонита — $(\text{Ca}, \text{Na}) (\text{Mg}, \text{Fe})_2 \times (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$ до алюмо-

силиката натрия, кальция, алюминия и магния бейделлита — $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Al}, \text{Mg})_2 (\text{OH})_2 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$. Употребляется также как групповое название минералов со структурой монтмориллонита. В результате изоморфных (см. *Изоморфизм*) замещений образуются разновидности: нонтронит — $\text{Fe}_2 (\text{OH})_2 \times [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$, сапонит — $\text{Mg}_3 (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$, сокониит — $(\text{Al}, \text{Zn})_2 (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times \times n \text{H}_2\text{O}$, волконскит — $(\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Cr}, \text{Al})_3 (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times \times n \text{H}_2\text{O}$ и гекторит — $(\text{Mg}, \text{Li})_2 (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n \text{H}_2\text{O}$. Хим. состав (%): SiO_2 — $33,00 \div 56,00$; Al_2O_3 — $0,14 \div 29,90$; CaO — $0,16 \div 3,52$; Na_2O — $0,11 \div 3,04$; MgO — $0,23 \div 31,61$; Fe_2O_3 — $0,03 \div 29,46$; FeO — $0,19 \div 0,95$; H_2O — $11,96 \div 26,00$. Спнгония моноклиная. Кристаллическая структура слоистая, состоит из трехслойных пакетов, содержащих два кремнекислородных тетраэдрических слоя, разделенных октаэдрическим слоем. Связь между пакетами очень слабая, вследствие чего молекулы воды и др. полярных жидкостей, а также обменные катионы могут входить в межпакетное пространство, вызывая расширение решетки по оси *c*, что определяет специфические св-ва минерала. Между силикатными слоями находятся адсорбированные обменные катионы (кальция, магния, натрия и т. д.), к-рые компенсируют излишний отрицательный заряд, возникший в результате замещений в его кристаллической решетке Si^{+4} на Al^{3+} , Al^{3+} на Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}

Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с монотектоидом.

