Алюминий - химический элемент третей группы периодической системы Д.И. Менделеева.

|  |  |
| --- | --- |
| Плотность, (кг/м3) | 2,7 |
| Температура плавления Тпл, ° С | 660 |
| Температура кипения Ткип, ° С | 2 327 |
| Скрытая теплота плавления, Дж/г | 393,6 |
| Теплопроводность l, Вт/м •град (при 20 ° С) | 228 |
| Теплоемкость Ср, Дж/(г · град) (при 0–100 ° С) | 0,88 |
| Коэффициент линейного расширения α × 106, 1/° С (при° С) | 24,3 |
| Удельное электросопротивление ρ × 108, Ом× м (при 20 ° С) | 2,7 |
| Предел прочности σ в, МПа | 40–60 |
| Относительное удлинение δ, % | 40–50 |
| Твердость по Бринеллю НВ | 25 |
| Модуль нормальной упругости E, ГПа | 70 |

Марки и химический состав (%) первичного алюминия (ГОСТ 11069–74)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение марок | Al,  не менее | Примеси, не более | | | | | |
| Fe | Si | Cu | Zn | Ti | сумма |
| Алюминий особой чистоты | | | | | | | |
| А999 | 99,999 | – | – | – | – | – | 0,001 |
| Алюминий высокой чистоты | | | | | | | |
| А995 | 99,995 | 0,0015 | 0,0015 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,005 |
| А99 | 99,99 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,010 |
| А97 | 99,97 | 0,015 | 0,015 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0,03 |
| А95 | 99,95 | 0,025 | 0,020 | 0,010 | 0,005 | 0,002 | 0,05 |
| Алюминий технической чистоты | | | | | | | |
| А85 | 99,85 | 0,08 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,008 | 0,15 |
| А8 | 99,8 | 0,12 | 0,10 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,20 |
| А7 | 99,7 | 0,16 | 0,15 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,30 |
| А7Е\*\*\* | 99,7 | 0,20 | 0,08 | 0,01 | 0,04 | 0,01\* | 0,30 |
| А6 | 99,6 | 0,25 | 0,18 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,40 |
| А5Е | 99,5 | 0,35\*\* | 0,10 | 0,02 | 0,04 | 0,015\* | 0,50 |
| А5 | 99,5 | 0,30 | 0,25 | 0,02 | 0,06 | 0,02 | 0,50 |
| А0 | 99,0 | 0,50 | 0,5 | 0,02 | 0,08 | 0,02 | 1,0 |

\*Для суммы титана, ванадия, хрома и марганца.

\*\* Допускается массовая доля железа не менее 0,18 %.

\*\*\*«Е» — в марках с гарантированными электрическими характеристиками.

Алюминий технической чистоты, применяемый для изготовления полуфабрикатов и изделий путем деформации, входит в ГОСТ 4784-74

Химический состав (%) технического алюминия

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка | | | Al,не менее | Примеси, не более | | | | | | | |
| Российская | | Между–народная | Cu | Mg | Mn | Fe | Si | Zn | Ti | Cr |
| Буквенная | Цифровая |
| АД000 | – | 1080А | 99,80 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,15 | 0,15 | 0,06 | 0,02 | – |
| АД00 | 1010 | 1070А | 99,70 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,25 | 0,20 | 0,07 | 0,03 | – |
| АД00Е | 1010Е | 1370 | 99,70 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,25 | 0,10 | 0,04 | \* | 0,01 |
| АД0 | 1011 | 1050 | 99,50 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,40 | 0,25 | 0,07 | 0,05 | – |
| АД0Е | 1011Е | 1350 | 99,50 | 0,05 | – | 0,01 | 0,40 | 0,10 | 0,05 | \*\* | 0,01 |
| АД1 | 1013 | 1230 | 99,30 | 0,05 | 0,05 | 0,025 | 0,30 | 0,30 | 0,10 | 0,15 | – |
| АД | 1015 | 1200 | 98,80 | 0,05 | – | 0,05 | Fe + Si: 1,0 | | 0,10 | 0,05 | – |
| АД1пл | – | – | 99,30 | 0,02 | 0,05 | 0,025 | 0,30 | 0,30 | 0,10 | 0,15 | – |

\* B: 0,02 %; Ti + V: 0,02 %

\*\*B: 0,05 %; Ti + V: 0,02 %

Гарантируемые механические характеристики (не менее) листов из АД0, АД1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Состояние | Толщина листа, мм | σв, МПа | δ, % |
| М | 0,5 | 160 | 20 |
| От 0,6 до 0,9 | 160 | 25 |
| От 1,0 до 10,0 | 160 | 28 |
| Н\* | От 0,5 до 0,8 | 145 | 3 |
| От 0,9 до 4,0 | 145 | 4 |
| От 4,1 до 10,0 | 130 | 5 |
| ГК | От 5,0 до 10,5 | 70 | 15 |

**АЛЮМИНИЙ,** химический элемент III группы периодической системы, атомный номер 13, относительная атомная масса 26,98. В природе представлен лишь одним стабильным нуклидом 27Al. Искусственно получен ряд радиоактивных изотопов алюминия, наиболее долгоживущий – 26Al имеет период полураспада 720 тысяч лет.

**Алюминий в природе.** В земной коре алюминия очень много: 8,6% по массе. Он занимает первое место среди всех металлов и третье среди других элементов (после кислорода и кремния). Алюминия вдвое больше, чем железа, и в 350 раз больше, чем меди, цинка, хрома, олова и свинца вместе взятых! Как писал более 100 лет назад в своем классическом учебнике *Основы химии* Д.И. Менделеев, из всех металлов «алюминий есть самый распространенный в природе; достаточно указать на то, что он входит в состав глины, чтоб ясно было всеобщее распространение алюминия в коре земной. Алюминий, или металл квасцов (alumen), потому и называется иначе глинием, что находится в глине».

Важнейший минерал алюминия – боксит, смесь основного оксида AlO(OH) и гидроксида Al(OH)3. Крупнейшие месторождения боксита находятся в Австралии, Бразилии, Гвинее и на Ямайке; промышленная добыча ведется и в других странах. Богаты алюминием также алунит (квасцовый камень) (Na,K)2SO4·Al2(SO4)3·4Al(OH)3, нефелин (Na,K)2O·Al2O3·2SiO2. Всего же известно более 250 минералов, в состав которых входит алюминий; большинство из них – алюмосиликаты, из которых и образована в основном земная кора. При их выветривании образуется глина, основу которой составляет минерал каолинит Al2O3·2SiO2·2H2O. Примеси железа обычно окрашивают глину в бурый цвет, но встречаются и белая глина – каолин, которую применяют для изготовления фарфоровых и фаянсовых изделий.

Изредка встречается исключительно твердый (уступает лишь алмазу) минерал корунд – кристаллический оксид Al2O3, часто окрашенный примесями в разные цвета. Его синяя разновидность (примесь титана и железа) называется сапфиром, красная (примесь хрома) – рубином. Разные примеси могут окрашивать так называемый благородный корунд также в зеленый, желтый, оранжевый, фиолетовый и другие цвета и оттенки.

Еще недавно считалось, что алюминий как весьма активный металл не может встречаться в природе в свободном состоянии, однако в 1978 в породах Сибирской платформы был обнаружен самородный алюминий – в виде нитевидных кристаллов длиной всего 0,5 мм (при толщине нитей несколько микрометров). В лунном грунте, доставленном на Землю из районов морей Кризисов и Изобилия, также удалось обнаружить самородный алюминий. Предполагают, что металлический алюминий может образоваться конденсацией из газа. Известно, что при нагревании галогенидов алюминия – хлорида, бромида, фторида они могут с большей или меньшей легкостью испаряться (так, AlCl3 возгоняется уже при 180° C). При сильном повышении температуры галогениды алюминия разлагаются, переходя в состояние с низшей валентностью металла, например, AlCl. Когда при понижении температуры и отсутствии кислорода такое соединение конденсируется, в твердой фазе происходит реакция диспропорционирования: часть атомов алюминия окисляется и переходит в привычное трехвалентное состояние, а часть – восстанавливается. Восстановиться же одновалентный алюминий может только до металла: 3AlCl  2Al + AlCl3. В пользу этого предположения говорит и нитевидная форма кристаллов самородного алюминия. Обычно кристаллы такого строения образуются вследствие быстрого роста из газовой фазы. Вероятно, микроскопические самородки алюминия в лунном грунте образовались аналогичным способом.

Название алюминия происходит от латинского alumen (род. падеж aluminis). Так называли квасцы, двойной сульфат калия-алюминия KAl(SO4)2·12H2O), которые использовали как протраву при крашении тканей. Латинское название, вероятно, восходит к греческому «халмэ» – рассол, соляной раствор. Любопытно, что в Англии алюминий – это aluminium, а в США – aluminum.

Во многих популярных книгах по химии приводится легенда о том, что некий изобретатель, имя которого история не сохранила, принес императору Тиберию, правившему Римом в 14–27 н.э., чашу из металла, напоминающего цветом серебро, но более легкого. Этот подарок стоил жизни мастеру: Тиберий приказал казнить его, а мастерскую уничтожить, поскольку боялся, что новый металл может обесценить серебро в императорской сокровищнице.

Эта легенда основана на рассказе Плиния Старшего, римского писателя и ученого, автора *Естественной истории* – энциклопедии естественнонаучных знаний античных времен. Согласно Плинию, новый металл был получен из «глинистой земли». А ведь глина действительно содержит алюминий.

Современные авторы почти всегда делают оговорку, что вся эта история – не более чем красивая сказка. И это не удивительно: алюминий в горных породах чрезвычайно прочно связан с кислородом, и для его выделения необходимо затратить очень много энергии. Однако в последнее время появились новые данные о принципиальной возможности получения металлического алюминия в древности. Как показал спектральный анализ, украшения на гробнице китайского полководца Чжоу-Чжу, умершего в начале III в. н.э., сделаны из сплава, на 85% состоящего из алюминия. Могли ли древние получить свободный алюминий? Все известные способы (электролиз, восстановление металлическим натрием или калием) отпадают автоматически. Могли ли в древности найти самородный алюминий, как, например, самородки золота, серебра, меди? Это тоже исключено: самородный алюминий – редчайший минерал, который встречается в ничтожных количествах, так что древние мастера никак не могли найти и собрать в нужном количестве такие самородки.

Однако возможно и другое объяснение рассказа Плиния. Алюминий можно восстановить из руд не только с помощью электричества и щелочных металлов. Существует доступный и широко используемый с древних времен восстановитель – это уголь, с помощью которого оксиды многих металлов при нагревании восстанавливаются до свободных металлов. В конце 1970-х немецкие химики решили проверить, могли ли в древности получить алюминий восстановлением углем. Они нагрели в глиняном тигле до красного каления смесь глины с угольным порошком и поваренной солью или поташом (карбонатом калия). Соль была получена из морской воды, а поташ – из золы растений, чтобы использовать только те вещества и методы, которые были доступны в древности. Через некоторое время на поверхности тигля всплыл шлак с шариками алюминия! Выход металла был мал, но не исключено, что именно этим путем древние металлурги могли получить «металл 20 века».

**Свойства алюминия.** По цвету чистый алюминий напоминает серебро, это очень легкий металл: его плотность всего 2,7 г/см3. Легче алюминия только щелочные и щелочноземельные металлы (кроме бария), бериллий и магний. Плавится алюминий тоже легко – при 600° С (тонкую алюминиевую проволоку можно расплавить на обычной кухонной конфорке), зато кипит лишь при 2452°С. По электропроводности алюминий – на 4-м месте, уступая лишь серебру (оно на первом месте), меди и золоту, что при дешевизне алюминия имеет огромное практическое значение. В таком же порядке изменяется и теплопроводность металлов. В высокой теплопроводности алюминия легко убедиться, опустив алюминиевую ложечку в горячий чай. И еще одно замечательное свойство у этого металла: его ровная блестящая поверхность прекрасно отражает свет: от 80 до 93% в видимой области спектра в зависимости от длины волны. В ультрафиолетовой области алюминию в этом отношении вообще нет равных, и лишь в красной области он немного уступает серебру (в ультрафиолете серебро имеет очень низкую отражательную способность).

Чистый алюминий – довольно мягкий металл – почти втрое мягче меди, поэтому даже сравнительно толстые алюминиевые пластинки и стержни легко согнуть, но когда алюминий образует сплавы (их известно огромное множество), его твердость может возрасти в десятки раз.

Характерная степень окисления алюминия +3, но благодаря наличию незаполненных 3*р*- и 3*d*-орбиталей атомы алюминия могут образовывать дополнительные донорно-акцепторные связи. Поэтому ион Al3+ с небольшим радиусом весьма склонен к комплексообразованию, образуя разнообразные катионные и анионные комплексы: AlCl4–, AlF63–, [Al(H2O)6]3+, Al(OH)4–, Al(OH)63–, AlH4– и многие другие. Известны комплексы и с органическими соединениями.

Химическая активность алюминия весьма высока; в ряду электродных потенциалов он стоит сразу за магнием. На первый взгляд такое утверждение может показаться странным: ведь алюминиевая кастрюля или ложка вполне устойчивы на воздухе, не разрушаются и в кипящей воде. Алюминий, в отличие от железа, не ржавеет. Оказывается, на воздухе металл покрывается бесцветной тонкой, но прочной «броней» из оксида, которая защищает металл от окисления. Так, если внести в пламя горелки толстую алюминиевую проволоку или пластинку толщиной 0,5–1 мм, то металл плавится, но алюминий не течет, так как остается в мешочке из его оксида. Если лишить алюминий защитной пленки или сделать ее рыхлой (например, погружением в раствор ртутных солей), алюминий тут же проявит свою истинную сущность: уже при комнатной температуре начнет энергично реагировать с водой с выделением водорода: 2Al + 6H2O  2Al(OH)3 + 3H2. На воздухе лишенный защитной пленки алюминий прямо на глазах превращается в рыхлый порошок оксида: 2Al + 3O2  2Al2O3. Особенно активен алюминий в мелкораздробленном состоянии; алюминиевая пыль при вдувании в пламя моментально сгорает. Если смешать на керамической пластинке алюминиевую пыль с пероксидом натрия и капнуть на смесь водой, алюминий также вспыхивает и сгорает белым пламенем.

Очень высокое сродство алюминия к кислороду позволяет ему «отнимать» кислород от оксидов ряда других металлов, восстанавливая их (метод алюминотермии). Самый известный пример – термитная смесь, при горении которой выделяется так много тепла, что полученное железо расплавляется: 8Al + 3Fe3O4  4Al2O3 + 9Fe. Эта реакция была открыта в 1856 Н.Н.Бекетовым. Таким способом можно восстановить до металлов Fe2O3, CoO, NiO, MoO3, V2O5, SnO2, CuO, ряд других оксидов. При восстановлении же алюминием Cr2O3, Nb2O5, Ta2O5, SiO2, TiO2, ZrO2, B2O3 теплоты реакции недостаточно для нагрева продуктов реакции выше их температуры плавления.

Алюминий легко растворяется в разбавленных минеральных кислотах с образованием солей. Концентрированная азотная кислота, окисляя поверхность алюминия, способствует утолщению и упрочнению оксидной пленки (так называемая пассивация металла). Обработанный таким образом алюминий не реагирует даже с соляной кислотой. С помощью электрохимического анодного окисления (анодирования) на поверхности алюминия можно создать толстую пленку, которую нетрудно окрасить в разные цвета.

Вытеснение алюминием из растворов солей менее активных металлов часто затруднено защитной пленкой на поверхности алюминия. Эта пленка быстро разрушается хлоридом меди, поэтому легко идет реакция

3CuCl2 + 2Al  2AlCl3 + 3Cu,

которая сопровождается сильным разогревом. В крепких растворах щелочей алюминий легко растворяется с выделением водорода:

2Al + 6NaOH + 6Н2О  2Na3[Al(OH)6] + 3H2

(образуются и другие анионные гидроксо-комплексы). Амфотерный характер соединений алюминия проявляется также в легком растворении в щелочах его свежеосажденного оксида и гидроксида. Кристаллический оксид (корунд) весьма устойчив к действию кислот и щелочей. При сплавлении со щелочами образуются безводные алюминаты:

Al2O3 + 2NaOH  2NaAlO2 + H2O.

Алюминат магния Mg(AlO2)2 – полудрагоценный камень шпинель, обычно окрашенный примесями в самые разнообразные цвета.

Бурно протекает реакция алюминия с галогенами. Если в пробирку с 1 мл брома внести тонкую алюминиевую проволоку, то через короткое время алюминий загорается и горит ярким пламенем. Реакция смеси порошков алюминия и иода инициируется каплей воды (вода с иодом образует кислоту, которая разрушает оксидную пленку), после чего появляется яркое пламя с клубами фиолетовых паров иода. Галогениды алюминия в водных растворах имеют кислую реакцию из-за гидролиза: AlCl3 + H2O Al(OH)Cl2 + HCl.



Реакция алюминия с азотом идет только выше 800° С с образованием нитрида AlN, с серой – при 200° С (образуется сульфид Al2S3), с фосфором – при 500° С (образуется фосфид AlP). При внесении в расплавленный алюминий бора образуются бориды состава AlB2 и AlB12 – тугоплавкие соединения, устойчивые к действию кислот. Гидрид (AlH)х (х = 1,2) образуется только в вакууме при низких температурах в реакции атомарного водорода с парами алюминия. Устойчивый в отсутствие влаги при комнатной температуре гидрид AlH3 получают в растворе безводного эфира: AlCl3 + LiH  AlH3 + 3LiCl. При избытке LiH образуется солеобразный алюмогидрид лития LiAlH4 – очень сильный восстановитель, применяющийся в органических синтезах. Водой он мгновенно разлагается: LiAlH4 + 4H2O  LiOH + Al(OH)3 + 4H2.

**Получение алюминия.** Документально зафиксированное открытие алюминия произошло в 1825. Впервые этот металл получил датский физик Ганс Христиан Эрстед, когда выделил его при действии амальгамы калия на безводный хлорид алюминия (полученный при пропускании хлора через раскаленную смесь оксида алюминия с углем). Отогнав ртуть, Эрстед получил алюминий, правда, загрязненный примесями. В 1827 немецкий химик Фридрих Вёлер получил алюминий в виде порошка восстановлением гексафторалюмината калием:

Na3AlF6 + 3K  Al + 3NaF + 3KF.

Позднее ему удалось получить алюминий в виде блестящих металлических шариков. В 1854 французский химик Анри Этьен Сент-Клер Девилль разработал первый промышленный способ получения алюминия – восстановлением расплава тетрахлоралюминиата натрием: NaAlCl4 + 3Na  Al + 4NaCl. Тем не менее, алюминий продолжал оставаться чрезвычайно редким и дорогим металлом; он стоил ненамного дешевле золота и в 1500 раз дороже железа (сейчас – только втрое). Из золота, алюминия и драгоценных камней была сделана в 1850-х погремушка для сына французского императора Наполеона III. Когда в 1855 на Всемирной выставке в Париже был выставлен большой слиток алюминия, полученный новым способом, на него смотрели, как на драгоценность. Из драгоценного алюминия сделали верхнюю часть (в виде пирамидки) памятника Вашингтону в столице США. В то время алюминий был ненамного дешевле серебра: в США, например, в 1856 он продавался по цене 12 долл. за фунт (454 г), а серебро – по 15 долл. В изданном в 1890 1-м томе знаменитого Энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона говорилось, что «алюминий до сих пор служит преимущественно для выделки... предметов роскоши». К тому времени во всем мире ежегодно добывалось всего 2,5 т. металла. Лишь к концу 19 в., когда был разработан электролитический способ получения алюминия, его ежегодное производство начало исчисляться тысячами тонн, а в 20 в. – млн. тонн. Это сделало алюминий из полудрагоценного широко доступным металлом.

Современный способ получения алюминия был открыт в 1886 молодым американским исследователем Чарлзом Мартином Холлом. Химией он увлекся еще в детстве. Найдя старый учебник химии своего отца, он начал усердно штудировать его, а также ставить опыты, однажды даже получил нагоняй от матери за порчу обеденной скатерти. А спустя 10 лет он сделал выдающееся открытие, прославившее его на весь мир.

Став в 16 лет студентом, Холл услышал от своего преподавателя, Ф.Ф.Джуэтта, что если кому-нибудь удастся разработать дешевый способ получения алюминия, то этот человек не только окажет огромную услугу человечеству, но и заработает огромное состояние. Джуэтт знал, что говорил: ранее он стажировался в Германии, работал у Вёлера, обсуждал с ним проблемы получения алюминия. С собой в Америку Джуэтт привез и образец редкого металла, который показал ученикам. Неожиданно Холл заявил во всеуслышание: «Я получу этот металл!»

Шесть лет продолжалась упорная работа. Холл пытался получать алюминий разными методами, но безуспешно. Наконец, он попробовал извлечь этот металл электролизом. В то время электростанций не было, ток приходилось получать с помощью больших самодельных батарей из угля, цинка, азотной и серной кислот. Холл работал в сарае, где устроил маленькую лабораторию. Ему помогала сестра Джулия, которая очень интересовалась опытами брата. Она сохранила все его письма и рабочие журналы, которые позволяют буквально по дням проследить историю открытия. Вот выдержка из ее воспоминаний:

«Чарлз всегда был в хорошем настроении, и даже в самые плохие дни был способен посмеяться над судьбой незадачливых изобретателей. В часы неудач он находил утешение за нашим стареньким пианино. В своей домашней лаборатории он работал по-многу часов без перерыва; а когда он мог ненадолго оставить установку, то мчался через весь наш длинный дом, чтобы немного поиграть... Я знала, что, играя с таким обаянием и чувством, он постоянно думает о своей работе. И музыка ему в этом помогала.»

Самым трудным было подобрать электролит и защитить алюминий от окисления. Через шесть месяцев изнурительного труда в тигле, наконец, появилось несколько маленьких серебристых шариков. Холл немедленно побежал к своему бывшему преподавателю, чтобы рассказать об успехе. «Профессор, я получил его!», – воскликнул он, протягивая руку: на ладони лежал десяток маленьких алюминиевых шариков. Это произошло 23 февраля 1886. А спустя ровно два месяца, 23 апреля того же года, француз Поль Эру взял патент на аналогичное изобретение, которое он сделал независимо и почти одновременно (поразительны и два других совпадения: и Холл, и Эру родились в 1863 и умерли в 1914).

Сейчас первые шарики алюминия, полученные Холлом, хранятся в Американской Алюминиевой компании в Питтсбурге как национальная реликвия, а в его колледже стоит памятник Холлу, отлитый из алюминия. Впоследствии Джуэтт писал: «Моим самым важным открытием было открытие человека. Это был Чарлз М.Холл, который в возрасте 21 года открыл способ восстановления алюминия из руды, и таким образом сделал алюминий тем замечательным металлом, которым теперь широко пользуются во всем мире». Пророчество Джуэтта сбылось: Холл получил широкое признание, стал почетным членом многих научных обществ. Но личная жизнь ему не удалась: невеста не хотела смириться с тем, что ее жених все время проводит в лаборатории, и расторгла помолвку. Холл нашел утешение в родном колледже, где он проработал до конца жизни. Как писал брат Чарлза, «колледж был для него и женой, и детьми, и всем остальным – всю его жизнь». Колледжу Холл завещал и б?льшую часть своего наследства – 5 млн. долл. Умер Холл от лейкемии в возрасте 51 года.

Метод Холла позволил получать с помощью электричества сравнительно недорогой алюминий в больших масштабах. Если с 1855 до 1890 было получено лишь 200 тонн алюминия, то за следующее десятилетие по методу Холла во всем мире получили уже 28 000 т этого металла! К 1930 мировое ежегодное производство алюминия достигло 300 тыс. тонн. Сейчас же ежегодно получают более 15 млн. т. алюминия. В специальных ваннах при температуре 960–970° С подвергают электролизу раствор глинозема (технический Al2O3) в расплавленном криолите Na3AlF6, который частично добывают в виде минерала, а частично специально синтезируют. Жидкий алюминий накапливается на дне ванны (катод), кислород выделяется на угольных анодах, которые постепенно обгорают. При низком напряжении (около 4,5 В) электролизеры потребляют огромные токи – до 250 000 А! За сутки один электролизер дает около тонны алюминия. Производство требует больших затрат электроэнергии: на получение 1 тонны металла затрачивается 15000 киловатт-часов электроэнергии. Такое количество электричества потребляет большой 150-квартирный дом в течение целого месяца. Производство алюминия экологически опасно, так как атмосферный воздух загрязняется летучими соединениями фтора.

**Применение алюминия.** Еще Д.И. Менделеев писал, что «металлический алюминий, обладая большою легкостью и прочностью и малою изменчивостью на воздухе, очень пригоден для некоторых изделий». Алюминий – один из самых распространенных и дешевых металлов. Без него трудно представить себе современную жизнь. Недаром алюминий называют металлом 20 века. Он хорошо поддается обработке: ковке, штамповке, прокату, волочению, прессованию. Чистый алюминий – довольно мягкий металл; из него делают электрические провода, детали конструкций, фольгу для пищевых продуктов, кухонную утварь и «серебряную» краску. Этот красивый и легкий металл широко используют в строительстве и авиационной технике. Алюминий очень хорошо отражает свет. Поэтому его используют для изготовления зеркал – методом напыления металла в вакууме.

В авиа- и машиностроении, при изготовлении строительных конструкций, используют значительно более твердые сплавы алюминия. Один из самых известных – сплав алюминия с медью и магнием (дуралюмин, или просто «дюраль»; название происходит от немецкого города Дюрена). Этот сплав после закалки приобретает особую твёрдость и становится примерно в 7 раз прочнее чистого алюминия. В то же время он почти втрое легче железа. Его получают, сплавляя алюминий с небольшими добавками меди, магния, марганца, кремния и железа. Широко распространены силумины – литейные сплавы алюминия с кремнием. Производятся также высокопрочные, криогенные (устойчивые к морозам) и жаропрочные сплавы. На изделия из алюминиевых сплавов легко наносятся защитные и декоративные покрытия. Легкость и прочность алюминиевых сплавов особенно пригодились в авиационной технике. Например, из сплава алюминия, магния и кремния делают винты вертолетов. Сравнительно дешевая алюминиевая бронза (до 11% Al) обладает высокими механическими свойствами, она устойчива в морской воде и даже в разбавленной соляной кислоте. Из алюминиевой бронзы в СССР с 1926 по 1957 чеканились монеты достоинством 1, 2, 3 и 5 копеек.

В настоящее время четвертая часть всего алюминия идет на нужды строительства, столько же потребляет транспортное машиностроение, примерно 17% часть расходуется на упаковочные материалы и консервные банки, 10% – в электротехнике.

Алюминий содержат также многие горючие и взрывчатые смеси. Алюмотол, литая смесь тринитротолуола с порошком алюминия, – одно из самых мощных промышленных взрывчатых веществ. Аммонал – взрывчатое вещество, состоящее из аммиачной селитры, тринитротолуола и порошка алюминия. Зажигательные составы содержат алюминий и окислитель – нитрат, перхлорат. Пиротехнические составы «Звездочки» также содержат порошкообразный алюминий.

Смесь порошка алюминия с оксидами металлов (термит) применяют для получения некоторых металлов и сплавов, для сварки рельсов, в зажигательных боеприпасах.

Алюминий нашел также практическое применение в качестве ракетного топлива. Для полного сжигания 1 кг алюминия требуется почти вчетверо меньше кислорода, чем для 1 кг керосина. Кроме того, алюминий может окисляться не только свободным кислородом, но и связанным, входящим в состав воды или углекислого газа. При «сгорании» алюминия в воде на 1 кг продуктов выделяется 8800 кДж; это в 1,8 раза меньше, чем при сгорании металла в чистом кислороде, но в 1,3 раза больше, чем при сгорании на воздухе. Значит, в качестве окислителя такого топлива можно использовать вместо опасных и дорогостоящих соединений простую воду. Идею использования алюминия в качестве горючего еще в 1924 предложил отечественный ученый и изобретатель Ф.А.Цандер. По его замыслу можно использовать алюминиевые элементы космического корабля в качестве дополнительного горючего. Этот смелый проект пока практически не осуществлен, зато большинство известных в настоящее время твердых ракетных топлив содержат металлический алюминий в виде тонкоизмельченного порошка. Добавление 15% алюминия к топливу может на тысячу градусов повысить температуру продуктов сгорания (с 2200 до 3200 К); заметно возрастает и скорость истечения продуктов сгорания из сопла двигателя – главный энергетический показатель, определяющий эффективность ракетного топлива. В этом плане конкуренцию алюминию могут составить только литий, бериллий и магний, но все они значительно дороже алюминия.

Широкое применение находят и соединения алюминия. Оксид алюминия – огнеупорный и абразивный (наждак) материал, сырье для получения керамики. Из него также делают лазерные материалы, подшипники для часов, ювелирные камни (искусственные рубины). Прокаленный оксид алюминия – адсорбент для очистки газов и жидкостей и катализатор ряда органических реакций. Безводный хлорид алюминия – катализатор в органическом синтезе (реакция Фриделя – Крафтса), исходное вещество для получения алюминия высокой чистоты. Сульфат алюминия применяют для очистки воды; реагируя с содержащимся в ней гидрокарбонатом кальция:

Al2(SO4)3 + 3Ca(HCO3)2  2AlO(OH) + 3CaSO4 + 6CO2 + 2H2O,

он образует хлопья оксида-гидроксида, которые, оседая, захватывают, а также сорбируют на поверхности находящиеся в воде взвешенные примеси и даже микроорганизмы. Кроме того, сульфат алюминия применяют как протраву при крашении тканей, для дубления кожи, консервирования древесины, проклеивания бумаги. Алюминат кальция – компонент вяжущих материалов, в том числе портландцемента. Иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ) YAlO3 – лазерный материал. Нитрид алюминия – огнеупорный материал для электропечей. Синтетические цеолиты (они относятся к алюмосиликатам) – адсорбенты в хроматографии и катализаторы. Алюминийорганические соединения (например, триэтилалюминий) – компоненты катализаторов Циглера – Натты, которые используются для синтеза полимеров, в том числе синтетического каучука высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

Тихонов В.Н. *Аналитическая химия алюминия*. М., «Наука», 1971

*Популярная библиотека химических элементов*. М., «Наука», 1983

Craig N.C. *Charles Martin Hall and his Metall. J.Chem.Educ*. 1986, vol. 63, № 7

Kumar V., Milewski L. *Charles Martin Hall and the Great Aluminium Revolution*. J.Chem.Educ., 1987, vol. 64, № 8