



Эвелина Цегельник
инженер, г. Глазов,
Удмуртия, segebnic@mail.ru

Умный металл Тантал (Tantalum)

В середине XX века в деловом мире появился новый специфический термин «умный металл». Умные металлы должны были помогать работать умным машинам. Таким высокотехнологичным металлом в технической революции XX века стал тантал (Ta). Сегодня его ставят в один ряд с определениями «системные интеграторы», «бортовые системы», «субкомпактные платы», «телекоммуникационное оборудование», «спутниковая связь» и т.п.

Открытие тантала навсегда связано с именем шведского химика Экеберга, обнаружившего его в 1802 году в одной из финских руд. Оксид нового элемента долго не поддавался Экебергу, был чрезвычайно устойчивым и не разрушался даже в избытке кислоты. Создавалось впечатление, что вещество не может насытиться кислотой. Удивленному такой метаморфозой ученому припомнилась легенда о мифическом царе Тантале – сыне Зевса и океаниды Плуто. Когда-то этот земной царь был любимцем богов, ел с ними за одним столом, принимал участие в советах богов, но... возгордился, стал оскорблять богов, разглашать их тайны и подворовывать в «святых закромах». А однажды, «шутки ради», скормил богам на обед собственного сына. За злодеяния свои Тантал был жестоко наказан. Разгневанные боги уготовили ему невыносимые муки. Находясь по горло в воде, царь не мог утолить жажду, потому как вода всякий раз исчезала, стоило ему лишь наклониться за ней; не мог утолить и голод: висящие над головой ветви с обильными плодами отодвигались всякий раз, как только царь пытался протянуть к ним руку. А в довершение, над головой Тантала нависала, готовая обрушиться в любую минуту, скала. Страх, голод, жажда и нестерпимые мучения от сознания близости желанной цели и невозможности ее осуществления воплотились в выражение «танталовы муки». Свои тщетные попытки растворить окисел нового элемента в кислоте и выделить чистый металл Экеберг отождествил с танталовыми муками. Химический элемент он окрестил танталом, а минерал, содержащий данный металл – танталитом. Тантал по своим свойствам оказался близок к ниобию. Химики долгое время даже принимали эти два разных металла за один элемент. Nb и Ta вместе встречаются в минералах (танталитах, колумбитах и т.п.), оба относятся к редким металлам, являются членами V группы периодической таблицы Д. Менделеева, имеют почти одинаковый размер ионов, очень схожи по физическим свойствам, одинаково ведут себя и во многих химических реакциях, а окислы их очень близки по удельному весу. Экебергу так и не удалось выделить металл в чистом виде. Пластичный тантал в чистом виде был получен только в 1903 году немецким химиком В. Болтоном. Промышленное же производство этого металла началось в 1922 г. (первый промышленный образец металлического тантала был получен величиной со спичечную головку). Поставили производство тантала на поток первыми США, которые стали применять его в выпрямителях переменного тока (покрытый окисной пленкой тантал пропускает ток только в одном направлении) и радиолампах. В 1942 году в США

начал функционировать специализированный завод по производству тантала.

Месторождения тантала

По распространению в природе тантал занимает 54-е место среди других элементов, что действительно характеризует его как редкий металл, (земная кора содержит всего лишь 0,0002% тантала). В глубинных частях земной коры и, особенно, в верхней мантии тантала содержится очень мало, в магматических породах он рассеян (встречаются танталитовые и колумбитовые россыпи, которые образовались при разрушении магматических пород). Вместе с ниобием тантал входит в состав около 130 минералов. Но руды Ta бедны, редки и комплексны. Главные минералы, содержащие тантал: колумбит, танталит, пирохлор, лопарит, марганотанталит, воджинит, иксиолит, микролит. Руды тантала также известны в пегматитах гранитных и щелочных пород, карбонатидов, в гидротермальных жилах. Кроме того, тантал получают и из оловянных руд, как побочный продукт при производстве олова (шлаки оловянных заводов содержат 3–15% (Ta,Nb)₂O₅). Среднее содержание Ta₂O₅ в рудах составляет 0,012–0,03%. Наибольшим предпочтением пользуются два танталосодержащих минерала – это танталит (Fe,Mn)Ta₂O₆ и колумбит (Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆. Руды, содержащие танталит и колумбит подвергаются обогащению (гравитационное обогащение), в результате которого получают коллективный концентрат, содержащий ряд редких металлов. Этот коллективный концентрат направляют на флотацию и электромагнитное разделение. В настоящее время добыча тантала идет в Австралии, Бразилии, Египте, Таиланде, Китае, Канаде (самое богатое месторождение Берник-Лейк в юго-восточной Манитобе), Мозамбике, Нигерии, Заире, Бурунди, Руанде, Конго, Казахстане и России (на Кольском полуострове и в Забайкалье).

Мировая добыча тантала составляет порядка 415–420 тонн в год. Основными мировыми фирмами-переработчиками танталита, колумбита и других сырьевых материалов тантала в настоящее время являются фирмы: Cabot Corp. (США), Н.С. Starck (ФРГ), Mitsui Mining and Smelting и Mingxia Nonferrous Metals Co [3].

Мировые компании заинтересованы в разработке и эксплуатации новых редкометаллических рудников. В первую очередь, это связано с возрастанием спроса на тантал в электронике. За последние пять лет новые месторождения тантала были приняты к разработке в Бразилии, Египте, США, Центральной Африке. Австралийская компания Gipsland Ltd совместно с Египетским правительством приступили к разработке месторождения Ави Давва (расположено в 75 км от порта Quseir на Красном море). Запасы этого месторождения по оценке международных экспертов составляют около 40 млн тонн руды с 250 г/т Ta₂O₅. Одно это месторождение обеспечит 10% сегодняшнего мирового спроса на тантал. А в 55 км от Красного моря расположено другое богатейшее месторождение тантала – месторождение Ghurayah. Его запасы составляют 385 млн тонн руды с 245 г/т Ta₂O₅. Кроме тантала данное месторождение содержит ниобий, цирконий, уран,



Рис. 1. Основной потребитель сверхсплавов с танталом – авиационная отрасль (строительство двигателей самолетов Airbus A340-500 и A340-600)

олово и др. цветные металлы. Бразильская компания Рагапарапета в настоящее время приступила к освоению оловянно-танталового месторождения Питинга (Pitinga) в штате Амазонас. Через десять лет мощность этого рудника по танталовому концентрату составит 22 тыс. тонн. В России планируются к разработке танталосодержащие месторождения в Восточном Саяне, на Алдане, в Северном Прибайкалье, в юго-восточной Туве и на севере Якутии. В настоящее время разведаны следующие ниобий-танталовые месторождения: Ловозерское (Мурманская обл.), Катугинское (Читинская обл.) – 0,019% Ta₂O₅, Среднезиминское (Восточный Саян) – 0,024% Ta₂O₅, Ковдорское (Мурманская обл.) – 0,012% Ta₂O₅, Вуориярвинское (участок Тухта-Вара) – 0,013% Ta₂O₅, Себляврское (Мурманская обл.) – менее 0,012% Ta₂O₅, Гулинское (Западное Прианбарье) и др.

В России для производства тантала, в основном, используется лопаритовый концентрат Ловозерской горно-обогатительной компании (из которого, кроме тантала, извлекают еще ниобий, редкоземельные металлы, титан, стронций, торий и т.п.). Ловозерский ГОК, расположенный на Кольском полуострове – это наиболее крупный ниобий-танталовый рудник. Возраст Ловозерского массива – 300 млн лет (открыт в 1934 году).

На Соликамском магниевом заводе (ОАО «СМЗ») из лопаритового концентрата путем хлорирования в расплаве солей и использования безреагентной схемы разделения хлоридов ниобия, тантала, редких земель и титана извлекают оксиды металла (включая Ta₂O₅) требуемой чистоты [4]. Танталовые концентраты делят, согласно техническим условиям, на концентраты первого и второго сорта. Танталовые концентраты первого сорта должны содержать не менее 60% Ta₂O₅, а второго – не менее 40% Ta₂O₅.

Состав танталового концентрата (% по массе):

Nb ₂ O ₅	12–30
Ta ₂ O ₅	40–65
Fe ₂ O ₃	2,09–15,7
MnO.....	2,95–17,2
TiO ₂	0,25–6,4
SiO ₂	0,12–0,9

Российские производители тантала в концентрате:

1. ОАО «Ловозерская горная компания».
2. ОАО «Новоорловский ГОК».
3. ОАО «Забайкальский ГОК».
4. ОАО «Малышевское рудоуправление».

Российские производители танталовой продукции:

1. ОАО «Соликамский магниевый завод».
2. ОАО «Уралредмет».
3. ОАО «Забайкальский ГОК».

Предприятия-потребители тантала в России:

1. ОАО «Элеконд» (Удмуртия).
2. ФГУП «Новосибирский завод радиодеталей «Оксид».
3. АОЗТ «Мезон».
4. Кировоградский завод твердых сплавов (Свердловская обл.).

Получение тантала

Основным предприятием по переработке танталосодержащего сырья в СССР был Ульяновский металлургический завод (УМЗ), расположенный в Казахстане (на этом предприятии и в настоящее время действует полный цикл переработки концентратов). Порошок и слитки тантала производил завод «Силмет», г. Силламяэ (Эстония).

Долгое время, после распада СССР, на территории России не было углубленной переработки танталосодержащего сырья. Сырье доводило до уровня фтортанталата, а до порошкового производства не доходило. На обогатительной фабрике в Золотореченске получали черновой концентрат, а в Первомайском шло его дообогащение, чтобы товар после химико-металлургической обработки поднялся в цене.

С 2003 года, с введением в строй предприятия более глубокой переработки тантал-ниобиевых руд, Россия стала претендовать на достойное место в списке стран-лидеров, владеющих технологией производства и переработки тантал-ниобия.

Основное производство российского тантала сегодня сосредоточено в поселке Первомайский (Шилкинский район, Читинская область), где функционирует завод по гидрометаллургическому переделу редкоземельной продукции. На этом предприятии происходит полное разделение тантал-ниобиевых концентратов. Предприятие является структурой Забайкальского горно-обогатительного комбината, входящего в корпорацию ОАО «ТВЭЛ» (г. Москва). В Первомайском из тантал-ниобиевых концентратов в 2006–2008 гг. планируется нарабатывать по 40 тонн тантала и 60 тонн ниобия в год. А ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермская обл.) специализируется на переработке тантал-ниобиевых концентратов: на ОАО «СМЗ» в настоящее время успешно действует участок парового гидролиза по производству особо чистого тантала – марки ОСЧ.

ОАО «Силмет», г. Силламяэ (Эстония) – бывший (советский) партнер по получению Nb-Ta продуктов, сегодня владеет полной технологической схемой производства тантала и ниобия (от концентрата до готовой продукции) и производит 140–150 т/год пятиоксида тантала, из которой получает порядка 70–80 тонн металлического тантала в год. В настоящее время ОАО «Силмет» занимает третье место в мире по производству металлического тантала. Одно из последних направлений его деятельности – производство порошков тантала конденсаторного типа.

ОАО «УМЗ» (Казахстан) также в настоящее время освоил технологию выпуска высокочистых танталовых порошков, производство которых в 2006 году запланировано на уровне 7 тонн. В прогнозе – увеличить к 2016 году выпуск высокочистых танталовых порошков до 42 тонн в год. Кроме того, Ульяновский металлургический завод заключил договор с австралийской компанией Sons of Gwalia в рамках решения задачи по обеспечению танталового производства сырьем о ежегодных поставках до 100 тыс. фунтов концентрата, начиная с 2006 г.

Технология производства тантала довольно сложна и осуществляется в три стадии:

1. Вскрытие или разложение.
2. Разделение тантала и ниобия и получение их чистых химических соединений.
3. Восстановление и рафинирование тантала.

Для вскрытия танталового концентрата применяют сплавление со щелочами или разложение плавиковой кислотой (или смесью плавиковой и серной кислот). Затем следует экстракционное извлечение и разделение тантала и ниобия (коллективная экстракция и реэкстракция из пульпы на колонных экстракторах, разделительная – на трубчатых), осаждение и очистка танталовой фазы с получением фтортанталата калия повышенной чистоты (с использованием KCl). Далее осуществляется натрийтермия (кристаллы фтортанталата калия восстанавливаются металлическим натрием до порошка металлического тантала) жидкофазным или парофазным методом, затем осуществляется промывка и просушка готовых порошков металлического тантала (порошки тантала получают двух сортов – металлургические и конденсаторные). На следующей стадии порошки тантала подвергаются вакуумно-дуговой плавке и последующему глубокому рафинированию от примесей посредством электронно-лучевой плавки (слитки, в зависимости от требуемой чистоты, подвергают одно-, двух- или трехкратному переплаву в печи). Затем поверхность слитка тантала оплавляют (для придания требуемых показателей по поверхности слитка) или обрабатывают на токарном станке. После этого слиток подвергается обработке давлением: ковке, пресованию, штамповке, прокатке, волочению и т.п. В основном из тантала обработкой давлением получают диски, прутки, проволоку, пластины, ленту, листы, фольгу.

Как упоминалось выше, свойства химических соединений тантала и ниобия очень схожи, поэтому разделение тантала и ниобия является очень сложной задачей. Существуют разные способы разделения этих металлов: дробная кристаллизация комплексных фтористых солей, экстракция органическими растворителями, разделение с помощью монообменных смол, ректификация хлоридов, избирательное восстановление пятихлористого ниобия. Наиболее востребованным и совершенным способом разделения в настоящее время является экстракция (из растворов фтористых соединений тантала и ниобия, содержащих плавиковую и серную кислоты). При экстракционном разделении ниобия и тантала одновременно происходит очистка их от примесей других элементов (кремния, титана, железа, марганца и др.). Если же рудные концентраты перерабатываются хлорным методом, с получением конденсата хлоридов тантала и ниобия (лопаритовые концентраты), то разделение тантала и ниобия осуществляют методом ректификации. И тогда разделение смеси хлоридов складывается из следующих цепочек: предварительная ректификация (происходит отделение хлоридов тантала и ниобия от сопутствующих примесей), основная ректификация (с получением чистого NbCl₅ и концентрата TaCl₅) и завершающая ректификация танталовой фракции (получение чистого TaCl₅). Ме-

таллический тантал получают восстановлением его соединений высокой чистоты. Тут тоже возможны несколько вариантов: восстановление тантала из Ta₂O₅ сажей при температуре 1800–2000°C (карботермический способ); электрохимическое восстановление из расплава, содержащего фтортанталат калия и оксид тантала (электролитический способ); восстановление натрием фтортанталата калия при нагревании (натрийтермический способ) и т.п. Обычно получают металл в виде танталового порошка чистотой 98–99%. А в компактном виде металл получают путем спекания предварительно спрессованных из порошка заготовок (посредством пропускания тока при 2500–2700°C или нагреванием в вакууме при 2200–2500°C). При этом чистота металла 99,9–99,95%. Для дальнейшего получения слитков и рафинирования применяют электровакуумную плавку в дуговых печах с расходуемым электродом. А для глубокого рафинирования – электронно-лучевую плавку, которая существенно снижает содержание в тантале примесей, повышает его пластичность и снижает температуру перехода в хрупкое состояние. Очень чистый тантал сохраняет высокую пластичность при температурах, близких к абсолютному нулю.

Тантал высокочистый, марки ТВЧ-00 содержит примеси:

Элемент	Nb	Al	Ca	Mg	Ti	Cu	Fe	Ni	Mn	Cr	Mo+W	H	C	N	O
ppm, max	500	0,3	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1	0,1	0,01	0,06	5	1	3	5	6

Интегральная чистота Та 99,99%. 1 ppm=0,0001% масс.

Рынок тантала

Два крупнейших производителя тантала в настоящее время – фирмы HC Starck/Bayer (Германия) и Cabot Corp. (США). Эти две компании суммарно производят 85% мирового порошка, проволоки и оксидов. Третье место в списке крупнейших производителей тантала прочно занимает ОАО «Силмет» (Эстония) с объемом производства 70–80 т/год металлургического тантала.

Основной производитель танталита – фирма Sons of Gwalia, которая в 2003 г. произвела 1130 тонн тантала (по Ta₂O₅). На 2006 год этой фирмой заложен объем производства 2250 тонн (по Ta₂O₅). Связано это с прогнозируемым в 2006–2010 гг. увеличением мирового спроса на тантал. Для этого фирма Sons of Gwalia приступила к созданию «буферного запаса» в 300 тысяч фунтов концентрата тантала. Планируемый объем производства этой фирмы в 2006–2007 гг. – 4 млн фунтов концентрата в год. США тоже активно включаются в борьбу за увеличение продаж тантала, даже пытаются сотрудничать с российским производителем.

Спрос на тантал в мире рос неравномерно. Резкое увеличение спроса наблюдалось с середины 90-х годов. Ежегодный прирост в этот период составляет 24%. Такая ситуация продолжалась вплоть до начала XXI века. Следующий скачок спроса на тантал наблюдался в конце 2000 – начале 2001 гг., когда цены сразу возросли в десятки раз. В 2001 г. мировой спрос на Ta₂O₅ достиг отметки 2600 тонн. И связано это, в первую очередь, с ажиотажным спросом на тантал, как на высокотехнологичный

материал в электротехнике и электронике (в частности, производство танталовых конденсаторов для небольших портативных электронных устройств: мобильных телефонов, видеокамер, лэп-топ компьютеров и т.п.). В 2005 г. показатель роста спроса на тантал замедлился и к концу года, по прогнозам экспертов, составил 8%. Связано это, в первую очередь, с желанием производителя конденсаторов заменить тантал его аналогами – ниобием (в два раза дешевле тантала) или керамикой. Рынок требует удешевления товара, даже путем снижения качества конечного продукта. Другая причина снижения объема продаж тантала кроется в уменьшении размеров самих электронных компонентов.

- Структура потребления тантала:
 Конденсаторные порошки – 60%.
 Танталовый прокат – 15%.
 Карбиды тантала – 8%.
 Оксиды и соли тантала – 7%.
 Слитки, сплавы и др. – 10%.

Основным потребителем тантала на сегодняшний день остается Япония (для которой электроника – то же самое, что нефть для арабских стран). Японский экспорт танталовых продуктов в КНР составил в 2004 году – 12 тонн, в Индонезию – 8



Рис. 2. Слитки тантала



Рис. 3. Большой потребитель тантала – телекоммуникационные сети. Шкаф телекоммуникационного оборудования

тонн. Выпуск японских танталовых конденсаторов значительно увеличился в последние годы в дочерних фирмах азиатского региона (КНР, Индонезия, Филиппины, Тайвань, Таиланд). Всего в 2004 году японский экспорт танталовых порошков и танталового тантала составил 260000 кг (2002 г. – 108000 кг, 2003 г. – 251900 кг).

Производство танталовых конденсаторов в Японии (млн штук)*

Период	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
	8674	4859	4710	5316	4154

*по данным ж. «БИКИ»

Тенденция Японии к миниатюризации конденсаторов обусловила изменения в структуре производства тантала. Снижился спрос на традиционные порошки, получаемые гидрированием и размолом слитка после электронно-лучевой плавки, и повысился спрос на натрийтермические особо чистые порошки с высокоразвитой поверхностью. Танталовые конденсаторные порошки после натрийтермического восстановления гептафтортанталита калия (и последующих водной и кислотной отмывок) для улучшения характеристик подвергаются дополнительному многостадийному модифицированию (деоксидирование в парах магния, азотирование, агломерация и т.п.). Спрос на танталовую конденсаторную проволоку в Японии остается стабильным последние пять лет и составляет 40–45 тонн в год. Танталовая проволока ввозится в Японию из Австралии, КНР и США.



Рис. 4. Танталовые конденсаторы и микросхемы

Свойства и применение тантала

Тантал – химический элемент V группы периодической системы. Как и ниобий, тантал относится к редким металлам. По внешнему виду тантал похож на сталь, но отличается от нее по оттенку. Это светло-серый металл с синеватым отливом, атомный номер которого – 73, атомная масса 180,9479 (к сведению, для перевозки 1 м³ тантала требуется шесть трехтонных грузовиков). Тантал является тугоплавким металлом, его температура плавления 3000°C, а температура кипения 5300°C. Плотность тантала составляет 16,6 г/см³. При комнатной температуре тантал устойчив против окисления на воздухе. При температуре 200–300°C на его поверхности образуется тонкая пленка оксида, которая защищает металл от действия химических реагентов и препятствует протеканию электрического тока от металла к электролиту. Но при 500°C оксидная пленка постепенно становится пористой, расслаивается и отделяется от металла. Конфигурация внешних электронных оболочек тантала 5d³6s². Наиболее характерная степень окисления тантала +5. Менее характерные соединения тантала с низшей степенью окисления: TaCl₂, TaCl₃, TaCl₄. Природный тантал состоит из стабильного изотопа ¹⁸¹Ta (99,9877%) и радиоактивного ^{180m}Ta (0,0123%) с периодом полураспада 10¹² лет (известно 15 радиоактивных изотопов тантала). Тантал имеет о. ц. к. решетку с периодом 0,33074 нм, координационное число 8. Металл этот парамагнитен. Температура перехода в сверхпроводящее состояние составляет 4,47 К. В химическом отношении тантал в обычных условиях малоактивен, имеет один стабильный окисел – пентаоксид тантала (Ta₂O₅). Чистый тантал устойчив к действию многих жидких металлов (Na, K, Li, Pb, с сплавам U-Mg и Pu-Mg). Тантал – пластичный металл. Механические свойства тантала зависят от его чистоты (особенно от содержания примесей азота и кислорода) и температуры испытания. Чистый тантал обрабатывается на холоде без значительного наклепа, его можно деформировать со степенью обжатия 99% без промежуточного отжига. Горячую обработку давлением тантала целесообразно осуществлять в вакууме, так как на воздухе металл окисляется на значительную глубину. При термообработке в вакууме с температурой до 1600°C величина зерна не изменяется, а с увеличением температуры отжига до 2400°C происходит значительный рост зерна. Присутствие азота и кислорода увеличивает твердость и прочность тантала, одновременно снижая его пластичность и делая металл хрупким. С азотом тантал реагирует с образованием трех фаз (твердый раствор азота в тантале, нитриды тантала: Ta₃N и TaN) в интервале температур от 300 до 1100°C. Избавиться от азота в тантале возможно в условиях высокого вакуума (при температуре 2000°C). С кислородом тантал образует твердый раствор и оксид Ta₂O₅. При увеличении содержания кислорода в тантале происходит резкое повышение прочностных свойств и сильное снижение пластичности и коррозионной стойкости. Выделить кислород из тантала можно тоже путем нагревания в вакууме (выше 2200°C). С водородом тантал слабо реагирует при температуре ниже 350°C, затем при нагревании до 450°C скорость реакции растет (образуется гидрид тантала и тантал становится хрупким), затем при нагревании (в вакууме) выше 800°C происходит восстановление механических свойств тантала, а водород полностью удаляется. Фтор действует на тантал уже при комнатной температуре. Сухие хлор, бром и йод оказывают химическое действие на тантал при температуре выше 150°C. Активное воздействие хлора на тантал начинается при 250°C, брома и йода при температуре 300°C.

Углерод взаимодействует с танталом при 1200–1400°C, при этом происходит образование тугоплавких карбидов тантала, которые очень устойчивы к кислотам. С бором тантал образует бориды – тугоплавкие твердые соединения, устойчивые против воздействия царской водки. Со многими металлами тантал образует непрерывные твердые растворы (ниобий, вольфрам, молибден, ванадий, титан и др.). А с алюминием, бериллием, золотом, кремнием, никелем образует ограниченные твердые растворы. Не образует никаких соединений тантал с литием, калием, натрием, магнием и некоторыми другими элементами. Обычно тантал легируют вольфрамом, молибденом, ванадием, ниобием, титаном, цирконием, гафнием, хромом и медью. Тантал очень твердый металл (твердость по Бринеллю листового тантала в отожженном состоянии составляет 450–1250 МПа, в деформированном 1250–3500 МПа). Примеси внедрения способствуют повышению твердости по Бринеллю, временного сопротивления, предела текучести, но снижают характеристики пластичности и усиливают хладноломкость: твердость по Бринеллю танталового листа после поглощения газов при нагревании увеличивается до 6000 МПа. Тантал имеет высокую коррозионную и химическую стойкость. Он стоек к соляной, серной, азотной, фосфорной и органическим кислотам всех концентраций (вплоть до температуры 150°C). Причем в горячих соляной и серной кислот тантал даже более стоек, чем его брат-близнец ниобий. А вот в щелочах тантал менее устойчив. Горячие растворы едких щелочей разъедают металл. Тантал растворяется также и в плавиковой кислоте, и в смеси плавиковой и азотной кислот. Итак, тантал обладает уникальным комплексом свойств. А именно: высоким коэффициентом теплопередачи, высокой способностью поглощать газы, жаропрочностью, тугоплавкостью, твердостью, пластичностью и прочностью (хорошо поддается обработке давлением всеми существующими методами: ковка, штамповка, прокатка, волочение, скручивание и т.п.); характеризуется хорошей свариваемостью (сварка и пайка в среде аргона, гелия, либо в вакууме); исключительной химической и коррозионной стойкостью (с образованием анодной пленки), низким давлением пара и небольшой работой выхода электронов и, вдобавок, он прекрасно уживается с живой тканью организма. Благодаря своим уникальным свойствам тантал используется в электронике (производство конденсаторов), радиотехнике (радиолакационная аппаратура, связь, радиолампы); в металлургии (производство танталовых листов для нагревателей высокотемпературных вакуумных печей, подогревателей, мешалок и т.п. и производство твердых, жаропрочных и специальных сталей и сплавов), в металлообработке (инструмент из карбида тантала для резания сталей), в химическом машиностроении (аноды, сетки, катоды электронных и мощных генераторных ламп; производство фильер для получения вискозы и т.п.), в приборостроении (рентгеновская аппаратура, контрольный инструмент, диафрагмы), в аэрокосмической технике (как высокотемпературный конструкционный материал), в нелинейной и интегральной оптике, в медицине (материал для восстановительной хирургии); в ядерной энергетике (в качестве теплообменника для ядерно-энергетических систем). Высокая способность тантала поглощать газы используется для поддержания глубокого вакуума (электровакуумные приборы). Кроме того, соединения тантала служат катализаторами во многих химических процессах: фтортанталат калия выступает как катализатор в производстве синтетического каучука,

пентаоксид тантала используют при получении бутадиена из этилового спирта. Ювелиры охотно заменяют танталом платину (в производстве корпусов часов, браслетов, наконечников для перьев автоматических ручек). Наиболее перспективное применение тантала – это производство конденсаторов, которые благодаря уникальным свойствам содержащегося в них металла имеют максимальную удельную емкость при минимальных габаритах, отличаются очень высокой надежностью в работе в широком диапазоне температур и большим сроком службы (свыше 12 лет). Для производства конденсаторов требуются высококачественные порошки тантала с развитой поверхностью. А получают такие порошки, главным образом, путем металлургического восстановления из гептафтортанталата калия (K₂TaF₇). При этом металлами-восстановителями служат натрий: K₂TaF₇(ж) + 5Na(ж) = Ta(tв) + 5NaF(ж) + 2KF(ж) или калий: K₂TaF₇(ж) + 5K(ж) = Ta(tв) + 7KF(ж). В настоящее время в электронной промышленности (производство высокочастотных объемно-пористых конденсаторов) идет четвертая часть мирового производства тантала.

Примеси, %	Состояние материала	t испытания, °C	σ _т , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %
Тантал электронно-лучевой плавки					
0,0016 O;	Холоднодеформированный на 95% и отожженный 15 мин при 750°C (для снятия напряжений)	27	425	345	3
0,001 N;		150	340	316	6
0,003 C		245	330	309	4
		310	349	337	5
		365	384	335	5
		490	325	317	5
		27	207	185	36
		230	196	60	23
		325	219	47	30
		425	198	45	23
	490	189	45	20	
Тантал спеченный					
0,0056 O;	Отожженная полоса	-195	1041	1040	3,7
0,003 N;		-73	515	510	23
0,02 C		27	472	404	25
		205	394	249	13
		427	459	235	24
		538	421	184	16
		760	213	119	23
		928	152	87	33
		1093	1185	57	43
		1204	104	53	48
Тантал электродуговой плавки					
0,005 O;	Лист отожженный	27	310	220	25
0,003 N;		1766	31	13,7	35
0,0015 C		2057	19,5	10,9	47
		2500	12,2	4,5	35
		2767	4,9	2,5	26

Механические свойства тантала различной чистоты [2].

Цена

Тантал в последние годы привлекает внимание даже далеких от бизнеса людей. Это обусловлено фантастическим ростом цен на него в 2000 году, когда цены на аукционах порой поднимались до 500 дол./фунт.

Первое оживление цен на ниобий пришлось на 1950–1960 г., когда цена одного фунта 60%-ного тантала выросла почти на доллар (4,8 дол. США). А с 1970 года рынок периодически охватывала паника, связанная с очередным ростом или падением цены на тантал.

Цены на 60%-ный танталовый концентрат:

1947 г.....	3,4 дол. за фунт
1950 г.....	4,8 дол. за фунт
1970 г.....	7,13 дол. за фунт
1978 г.....	39,5 дол. за фунт
1982 г.....	22,5 дол. за фунт
1985 г.....	118 дол. за фунт
1987 г.....	26 дол. за фунт
1988 г.....	52 дол. за фунт
1990 г.....	34 дол. за фунт
2000 г.....	440 дол. за фунт
2001 г.....	100 дол. за фунт
2002 г.....	35–40 дол. за фунт
2003 г.....	40 дол. за фунт
2005 г.....	38 дол. за фунт
2006 г. (прогноз).....	75–125 дол. за фунт

Резкие перепады цен на тантал связаны, в первую очередь, с отсутствием централизованного рынка тантала, во вторую – с монополией двух крупнейших производителей тантала – Германии и США, в третью, с завышенным прогнозом потребителей (на компьютеры, средства мобильной связи, автомобильную электронику, телекоммуникационные сети и т.п.). Высокие цены на тантал сыграли ему плохую службу: обусловили интерес к замене его в конденсаторах на более дешевые материалы (ниобий и керамику), и, как следствие, вызвали снижение спроса на тантал.

В конце 2004 – начале 2005 гг. на рынке танталового сырья наблюдалось некоторое затишье. Это, в первую очередь, связано с тем, что компания Sons of Gwalia (Австралия) – крупнейший производитель танталового сырья в мире, была вынуждена объявить себя банкротом и пригласить конкурсных управляющих в связи с невозможностью исполнения своих обязательств по поставкам золота из-за переоценки своих запасов. Аналитики отрасли высказывали свои предположения о возможной продаже прибыльных танталовых активов Sons of Gwalia для обеспечения выплаты задолженности кредиторам, составляющей

346 млн долларов США. Цена на танталит на спотовом рынке в этот период сократилась сначала с \$38/фунт до \$36/фунт, затем до \$34/фунт. Однако уже ко второму кварталу 2005 года торги Национального центра оборонного резерва США (DNSC), подразделения Агентства по оборонной логистике США начали идти активней, и цена на танталит вновь вернулась на уровень \$38/фунт, что свидетельствует о постепенной нормализации обстановки на внешнем рынке. В настоящее время уровень цен на тантал нормализовался и держится (по данным «Metal Bulletin») на уровне 38 долларов за а. ф., сод. Ta₂O₅.

Перспективы

По прогнозам мировых экспертов (компания Gartner и Supply), к концу 2005 года ожидается рост доходов полупроводниковой отрасли на 6,1%. Таким образом, ожидается, что доходы отрасли за 2005 год от продаж полупроводников составят 240,4 млрд долларов США. Однако по прогнозу все тех же экспертов, в 2006–2007 гг. будет наблюдаться спад на рынке электроники, который продлится весь 2006 год и закончится в 2007 году новым подъемом.

На рынке сверхсплавов – другом активном потребителе танталовой продукции, в отличие от электроники, наоборот будет наблюдаться оживление из-за крупнейшего перевооружения флота мировых авиалиний (производство сверхсплавов для двигателей самолетов). Ежегодный рост спроса на тантал со стороны производителей сверхсплавов составит 10–15% в течение 2005–2009 гг. В промышленности растет интерес к сплаву марки «В-1900», содержащему до 4% тантала, который в основном поставляют две компании: «HC Starck» (ФРГ) и «Cabot Performance Materials» (США).

Тантал в ближайшем будущем достаточно активно будет востребован в производстве компьютеров, процессоров (ячейки памяти), принтеров (рост спроса на карбид тантала для принтеров ожидается 5–6% в год). И хотя количество тантала, используемого здесь, на единицу изделия невелико, эти направления станут в будущем основными потребителями тантала. Все более активной тантал потребляется в восстановительной хирургии: имплантаты, танталовая пряжа для возмещения мускульной ткани; фольга, листы, проволока для скрепления костей; нити для сшивания нервов и наложения швов; пластины для «ремонта» поврежденной черепа (известен даже случай изготовления и приживления человеку танталового уха из пластины тантала в оболочке пересаженной с бедра кожи) и пластины для укрепления стенки брюшной полости (после операции). Танталовыми скрепками



Рис. 5 – Сверхпроводящие устройства с танталовыми барьерами для новых видов транспорта (магнитная левитация)

в медицине скрепляют сосуды и сухожилия. Сегодня в мире существует большое количество людей с танталовыми нервами. По современным прогнозам в ближайшие пять лет на медицину будет приходиться 5% производимого тантала.

Неиссякаем спрос на тантал в химической промышленности – в производстве перекиси водорода, хлора, брома и кислот (соляной, серной, азотной, фосфорной, уксусной и т.п.). В химическом машиностроении тантал востребован для химически стойкого оборудования (змеевики, дистилляторы, клапаны, мешалки, азраторы, лабораторная посуда, чаши, тигли). Всего химическая промышленность потребляет 20% производимого тантала. Но наиболее серьезный потребитель тантала – металлургия, которая потребляет до 45% тантала (здесь тантал используется как легирующий и стабилизирующий элемент в производстве жаропрочных сплавов и сверхпрочных, коррозионноустойчивых и жаропрочных сталей). Тантал в металлургии осуществляет упрочнение в сплавах путем образования твердых растворов и обеспечивает защиту от сульфирования. Востребован тантал сегодня и в производстве металлорежущего оборудования. Твердость карбида тантала, близкая к твердости алмаза, сделала этот материал номером один в производстве твердосплавного инструмента для скоростного резания металлов.

Продолжается спрос на тантал и в ядерной энергетике в качестве теплообменников для ядерно-энергетических систем (благодаря сочетанию теплопроводности и пластичности), в производстве сверхпроводников для термоядерных реакторов (в некоторых типах сверхпроводников многоволоконные модули размещены в танталовом диффузионном барьере с внешней стабилизирующей медью). Большие перспективы у тантала также в космической отрасли (например, сплав 90% тантала и 10% вольфрама для

ракетно-космической техники). Другой значительный потребитель тантала: предприятия-изготовители мишеней (по оценкам международных экспертов в ближайшие годы ожидается значительный спрос на тантал в виде распыляемых мишеней: около 30 тонн в год, с перспективой роста до 200 тонн в год; наиболее востребованы будут мишени для нанесения покрытий чистотой 99,95–99,99%).

В области высоких технологий спрос на тантал связан с развитием производства мощных СВЧ-транзисторов, сверхвысокочастотной техники, магнитоэлектронных устройств (датчиков, смесителей, транзисторов, резисторов, конденсаторов и т.п.), прецизионного оборудования и интерферометрических приборов.

Большой потребитель тантала в будущем – телекоммуникационные сети и сотовая связь. По прогнозам телекоммуникационного подразделения Deloitte & Touche, к концу 2005 г. каждый третий житель планеты (а это примерно 2 млрд человек) будет пользоваться сотовым телефоном. К концу 2006 года действующих мобильных телефонов будет больше, чем жителей.

В последние годы активно развиваются экспериментальные разработки высокоэффективных радиоэлектронных изделий, микросхем нового поколения и разработки в области магнитометрии на основе критических прорывных технологий. Все это позволяет с надеждой смотреть на перспективное будущее тантала – уникального металла XXI века

1. Рожко В.В. Производство металлических ниобия и тантала. Вып. 2(146); ЦНИИатоминформ, 1994, с. 58.
2. По материалам ВНИИ неорганических материалов им. А.А.Бочвара.
3. По материалам «Proceedings of international Symposium on Tantalum and Niobium»; San Francisco, USA, 2000.
4. Е.М.Эпштейн, Т.Ю.Усова, Н.А.Данильченко и др. Состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы. «Минеральное сырье». Серия геолого-экономическая, № 8, М.: Изд. ВИМС, 2000, 103 с.

Творящее сотворенное



Д.А.Тайц,
к.ф.-мн., зам. дир. по науке
«ТЭЛ ПРИБОР»

После захода Солнца внезапно наступила полная тишина. Предметы потеряли видимость, свет превратился в диффузную светящуюся мглу. Механические часы остановились, на дисплее кварцевых – случайные мелькания. Хаотично заколотился маятник настенных.

С запада, почти под прямым углом к горизонту, снова стало восходить Солнце. Высокая Луна опустилась на востоке. Если бы не световая мгла, было бы видно, как она медленно разворачивается к Земле своей невидимой обратной стороной, Полярная звезда зигзагами стала перемещаться по небу. На севере появились южные созвездия. Солнце встало высоко в зените, словно здесь, в северных широтах – тропики. Равнинные левые берега, тысячелетиями отупленные стремлением рек прижаться к правому берегу, были затоплены. Почва сползла с самых пологих холмов, незакрепленные предметы на Земле заскользили по поверхности как камни на льду, будто повсеместно почти полностью исчезло трение.

Постоянные муссонные циркуляции нижних широт северного и южного полушарий разрушились и бурями расплзлись по земному шару. Начались землетрясения ужасающей мощи. Земной шар стал менять форму, превращаясь из эллипсоида в шар. Пласты Земли, непривычные к новому направлению приливных сил Луны и Солнца, стали перестраиваться. Толща, которую пересекала раньше плоскость эклиптики, за миллионы лет уложенная регулярной гравитацией Луны и Солнца, сдвинулась, ища новое равновесие. Провалы на экваторе достигли десятка километров, им соответствовал такой же подъем почвы у полюсов. Разрушаемые пласты рассыпались. Пыль, песок, камни с необычайной текучестью, потоками катились по поверхности. Атмосфера – чудовищная смесь земли и воды закипела грандиозной турбулентностью.

Солнце месяцами могло быть в зените или не восходить.

Эту картину «отключения» Звездного мира и потери стабильности оси вращения Земли могли наблюдать, если бы... Земля не устремилась на Солнце и не упала бы на него.

Если Гаванну окинуть миглом Рай страна, страна что надо.

Земной мир удивительно удобен для его обитателей. Он совершенно автономен. Самодостаточен. Все, что ему нужно – есть. Атмосфера, удерживаемая притяжением, вода, солнечное тепло, свет. Регулярная смена дня и ночи, сезонов. Погодное разнообразие. Стабильность, повторяемость, глобальная климатическая предсказуемость. Единственно, что необходимо для сохранения Земного дома – Солнце и Луна, дающие свет и привычные благотворные океанские приливы. Даже планеты



уже бесполезны. Тем более звезды, разве что для поэзии.

Солнечная система дрейфует в космической пустоте на краю Млечного Пути. Ближайшая звезда – 4 световых года. Суммарная интенсивность гравитации всей Вселенной менее десятиллионной силы гравитации Солнца [10]. Ни одна пылинка от такой малости не шелохнется. Если бы исчез звездный мир, заметили бы мы это?

Ньютон полагал, что удаленные «неподвижные» звезды погружены в «абсолютное пространство». Созданная Ньютоном физика с исключительной точностью описывала астрономические и механические явления, наблюдаемые и воспроизводимые в земных лабораториях. Возникновение инерции при ускоренном движении тел Ньютоном объяснял не земными причинами, а воздействием абсолютного пространства. Он показал это в знаменитом эксперименте с вращающейся водой в ведре.

Замечательно, что понятие «массы» Ньютоном вводит в формулировку ни одного из трех установленных им принципов. Сила во втором законе Ньютона определяется через изменение количества движения [2] (сохранение массы не является фундаментальным принципом и в современной физике).

Ньютоном открыл закон всемирного тяготения. Около 1650 г. Вивини обнаружил, что плоскость колебания свободно подвешенного маятника испытывает медленное вращение относительно поверхности Земли. Это явление оставалось неясным в течение двухсот лет, пока французский физик Фуко не дал ему объяснение. Подвесив маятник в парижском Пантеоне, он обнаружил медленное вращение плоскости качания относительно Земли и неизменность ориентации этой плоскости относительно звездного неба [3].

В Ленинграде, в Исаакиевском соборе демонстрировался когда-то маятник Фуко. Собор севернее Пантеона, подвес длиннее. Действие звезд – налицо. Эффектно медленное качание тяжелого медного конуса на 90-метровом тросе.

Откуда «знает» этот маятник, как он чувствует сквозь массивные гранитные стены собора заволоченное небо, расположение звезд? Почему не реа-