



УДК 669.187.2

ТИТАН. ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА. ПЕРСПЕКТИВЫ. Аналитический обзор. Часть 1.

К. А. Цыкуленко

В первой части обзора рассмотрены социально-экономические аспекты металлургии титана, стоимость титановой продукции, проблемы производства губчатого титана, а также потенциальные возможности Украины и ее роль в мировой титановой промышленности.

The first part of review describes the social-economical aspects of titanium metallurgy, cost of titanium products, problems of production of spongy titanium, as well as the potential opportunities of Ukraine and its role in the world titanium industry.

Ключевые слова: титан; распространение и применение; рудные ресурсы и производственные мощности; стоимость концентратов; стоимость титановой губки; формирование цены на металлический титан; проблемы производства губчатого титана

В земной коре содержится около 0,6 % титана [1]. По распространенности он занимает четвертое место после алюминия, железа и магния. Титан отличается сочетанием таких ценных свойств, как малая плотность, высокий уровень удельной прочности, коррозионной стойкости, хладостойкости, немагнитностью и рядом других ценных физико-механических характеристик. Благодаря своим привлекательным качествам титан нашел применение прежде всего в авиакосмической и военной промышленности, а также в некоторых гражданских отраслях, например в автомобилестроении, при производстве двигателей гоночных автомобилей, в системах подвесок, изготовлении коленчатых валов, соединительных тяг и выхлопных систем; в химической промышленности, энергетике, судостроении, медицине и т. д.

Титан уже более 25 лет используется в промышленном и жилищном строительстве Японии, причем опыт этой страны успешно внедряется архитекторами в США, Канаде, Великобритании, Германии, Бельгии и Перу.

Согласно данным аналитического подразделения «Timet» — крупнейшей титановой компании США, — проекты строительных сооружений с использованием титана разрабатываются в Швейцарии, Сингапуре и Египте. Другой областью применения титана является производство спортивных товаров, например велосипедов и клюшек для гольфа.

Около 10 % мирового объема потребления титановой продукции составляют кресла-коляски, корпуса компьютеров и часов, подложки жестких дисков для компьютеров, оправы для очков, а также ювелирные изделия. По мнению Эдварда Розенберга, президента американской ювелирной компании «Spectore Corp.», несмотря на консервативность производителей ювелирных изделий в последнее время они приравнивают титан к таким благородным металлам, как платина, золото и серебро. Розенберг считает, что при благоприятных условиях продукция указанных отраслей может достигать не 10, а 35 и даже 45 % [2].

Главным препятствием на пути расширения сферы применения титана является его цена. Себестоимость титана в несколько раз выше, чем алюминия. Поэтому владельцы заводов ищут менее дорогие способы производства, которые помогут сделать их продукцию более привлекательной для самых разнообразных рынков.

Производство титановой продукции является многостадийным, наукоемким и технологически сложным процессом, включающим множество переделов. Горно-обогатительные комбинаты (ГОК) добывают сырье, обогащают его, перерабатывают и поставляют концентрат на предприятия, изготавливающие губчатый титан, который затем поступает на металлургические предприятия, выплавляющие металлический титан, а из него получают слитки, прокат, штамповки.

Кратко рассмотрим некоторые социально-экономические аспекты металлургии титана, стоимость титановой продукции, а также потенциальные возможности Украины и ее роль в мировой титановой промышленности.



Таблица 1. Объемы мирового производства рутиловых концентратов, тыс. т

| Основные страны-производители | Период, годы | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Всего | 416,0 | 366,0 | 406,0 | 441,0 | 390,0 |
| В том числе: | | | | | |
| Австралия | 195,00 | 180,00 | 214,00 | 241,00 | 190,0 |
| ЮАР | 90,00 | 115,00 | 123,00 | 130,00 | 130,0 |
| Украина | 112,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,0 |
| Бразилия | 1,985 | 2,018 | 1,742 | 1,80 | 1,8 |
| Шри-Ланка | 2,697 | 3,532 | 2,97 | 1,93 | 2,0 |
| Индия | 14,00 | 15,00 | 14,00 | 16,00 | 16,0 |

Таблица 2. Динамика среднегодовых цен на титановые концентраты на рынке Западной Европы, дол./т

| Тип концентрата | Период, годы | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
| Рутиловый, 95...97 % | 420 | <u>508</u> | <u>642</u> | <u>562</u> | <u>543,0</u> | <u>476</u> | <u>507</u> | <u>500</u> |
| TiO ₂ , навалом | | <u>467,5</u> | <u>548</u> | <u>504</u> | <u>492,5</u> | <u>437</u> | <u>454</u> | <u>470</u> |
| Ильменитовый, 54 % | 77 | <u>77,5</u> | <u>89,4</u> | <u>87,8</u> | <u>74,4</u> | <u>84,7</u> | <u>99,6</u> | <u>109,1</u> |
| TiO ₂ , навалом | | <u>71,4</u> | <u>80,1</u> | <u>77,3</u> | <u>69,0</u> | <u>76,5</u> | <u>80,6</u> | <u>89,1</u> |

Примечание. В числителе указана максимальная, в знаменателе — минимальная цена.

Период стремительного развития металлургии титана, начавшийся в конце 1950-х гг., к концу 1980-х закончился, что обусловлено рядом причин, главными из которых были ослабление конфронтации крупных политических блоков и военной напряженности, сокращение заказов на вооружение, а также замедление темпов экономического роста и последующий спад в экономике ряда промышленно развитых стран. Наиболее сильный экономический спад и дезинтеграция титановой промышленности произошли в странах, ранее входящих в СССР. Все это повлекло за собой существенное сокращение производства военной техники и гражданских самолетов в мире (в среднем 800... 500 в год). В целом мировой спрос на титан в 1990–1994 гг. у основных потребителей — космической промышленности и военного самолетостроения — упал примерно на 30... 35 % [3].

Превышение предложения над спросом и последовавшее за этим падение цен на мировом рынке вынудило сократить производство титана. В частности, в 1990... 1993 гг. производство концентратов (в пересчете на диоксид титана) снизилось на 555,6 тыс. т. Последующий период (1994–2000 гг.) характеризуется некоторой нестабильностью объемов производства и цен (табл. 1, 2).

В производстве другого важного компонента — титановой губки — в технологической цепочке металлургии титана в 1980–1990 гг. СССР занимал первое место в мире (80... 95 тыс. т в год), существенно превышая его аналогичные показатели в США. Дезинтеграция титановой промышленности

привела к сокращению мирового выпуска губчатого титана от 134,0 в 1991 г. до 46,7 тыс.т в 1994 г. Существенно снизили его производство (к 1998 г. по сравнению с 1990 г.) США — на 55,5, Япония — на 43,7 и СССР/СНГ — на 61,7 %. Великобритания в 1993 г. и Украина в 1994 г. полностью прекратили выпуск титановой губки. В табл. 3 и 4 отражено изменение объемов производства титановой губки как в мире (табл. 3), так и в странах СНГ (табл. 4) за период 1991–1999 гг. Соответствующие изменения цен на титановую губку представлены в табл. 5.

Примерно с 2000 г. конъюктура мирового рынка титана начала постепенно улучшаться. Несмотря на циклические спады, характерные для титановой промышленности, можно отметить стабильное повышение спроса на титан. После некоторого спада в 2003 г. в 2004–2005 гг. зафиксировано резкое повышение спроса, а, следовательно, и возрастание цен сначала на титановое сырье, а затем на продукцию из него. Так, в 2004 г. цены на титановый лом и ферротитан даже превысили таковые на титановую губку, причем стоимость 70 % ферротитана была в 1,5... 2,0 раза больше, чем титановой губки. Такое положение не могло долго продолжаться и к началу 2005 г. цена на титановую губку, по данным «Platt's Metals Week», составляла уже 21 дол./кг. Согласно оценкам различных специалистов, в 2005 и до сентября 2006 г. мировая цена на титановую губку составляла 25... 30 дол./кг. К концу 2006 г. она несколько снизилась (до 22... 24 дол./кг). Основной причиной повышения спроса на титан стало окончание спада в экономике ведущих стран мира.



Таблица 3. Мировое производство титановой губки, тыс. т

| Основные страны-производители | Период, годы | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Всего: | 134,0 | 94,1 | 67,0 | 46,7 | 52,5 | 56,3 | 70,8 | 70,5 | 60,6 |
| Япония | 18,9 | 14,6 | 14,4 | 14,8 | 16,7 | 21,1 | 23,1 | 24,2 | 19,2 |
| США | 13,4 | 13,6 | 14,8 | 11,0 | 10,2 | 12,8 | 10,5 | 10,6 | 10,4 |
| КНР | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 2,5 | 2,5 |
| Страны СНГ | 95,5 | 62,4 | 38,3 | 20,0 | 24,5 | 21,4 | 36,3 | 35,9 | 31,7 |

Таблица 4. Производство титановой губки в странах СНГ, тыс. т

| Страны | Период, годы | | | | | | | |
|-----------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Всего: | 62,4 | 38,3 | 20,0 | 24,5 | 21,4 | 36,3 | 35,9 | 31,7 |
| Россия | 33,4 | 23,3 | 10,0 | 14,7 | 9,3 | 23,2 | 21,9 | 16,2 |
| Казахстан | 17,0 | 15,0 | 10,0 | 9,8 | 12,1 | 13,1 | 12,8 | 13,0 |
| Украина | 12,0 | 6,0 | 5,0 | — | — | — | 1,2 | 2,5 |

Таблица 5. Среднегодовые цены на титановую губку (титан марки ТГ-100, 12×25 мм) на рынке Западной Европы, дол./кг

| 1992–1993 гг. | 1995 г. | 1996 г. | 1997 г. | 1998 г. | 1999 г. | 2000 г. | 2001 г. |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3,2/4,5 | 5,59/5,97 | 6,52/6,85 | 7,55/7,83 | 7,35/7,75 | 6,75/6,96 | 6,02/6,56 | 6,54/6,85 |

Примечание. В числителе указано минимальное, в знаменателе — максимальное значение.

Возобновились планы строительства крупных гражданских самолетов, при этом увеличилось удельное потребление этого металла на единицу продукции; в металлургии повысился спрос на титановое сырье для микролегирования сталей; началось строительство заводов по опреснению воды на Ближнем Востоке, нефтехимических заводов в Китае и др.

В связи с возросшим спросом увеличились и объемы производства титана, заработали ранее остановленные предприятия. Так, в Украине еще в 1998 г. возобновил производство титановой губки Запорожский титаномагнийевый комбинат. Если в 1998 г. выпуск губки составил всего 1,2 тыс. т, то в 2001 г. уже 4,5 тыс. т, а в 2005 г. — 8,4 тыс. т. В Японии компания «Sumitomo Titanium Corp.» в 2004 г. вернулась к полномасштабному производству в 18 тыс. т в год, начав эксплуатацию ряда ранее остановленных печей. Российская компания «ВСМПО-Ависма» повысила выпуск губки с 14,37 в 2000 г. до 20,1 тыс. т в 2004 г.

В сентябре 2005 г. J. Martin — председатель совета директоров крупнейшей титановой компании США «Timet» — в своем ежегодном докладе [4] представил данные о текущем состоянии мирового рынка титана и прогноз аналитиков до 2010 г. При-

веденные статистические макроэкономические показатели (рис. 1) убедительно свидетельствуют о росте активности рынка титановой продукции не только в аэрокосмической и военной отраслях промышленности (163 %), но и в нефтегазовой (803 %) и химической (2288 %). На рис. 2 представлено реальное (2004 г.) и ожидаемое (до 2010 г.) потребление титанового проката. Необходимо отметить прогнозируемое повышение объемов потребления титана с 61,8 в 2004 г. до 86,0 тыс. т в 2010 г. Предполагается, что оно произойдет прежде всего за счет гражданского самолетостроения (где потребление будет расти, по крайней мере, до 2009 г.) 1, ежегодного увеличения, примерно на 3 %, потребностей промышленности стран Ближнего Востока и Китая 3, а также нефтегазовой промышленности развивающихся стран 4 (рис. 2).

Для увеличения выпуска титановой продукции прежде всего следует использовать имеющиеся мощности и разведанные рудные ресурсы.

В настоящее время основные мировые мощности по производству титановой губки (полуфабриката для получения слитков и проката) сосредоточены в странах СНГ — России, Казахстане и Украине (от 60 [3] до 70 % [5] мировых мощностей).

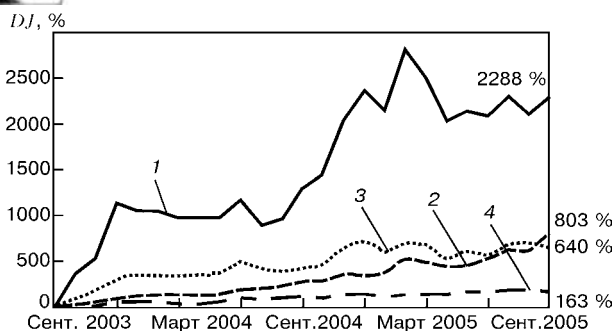


Рис. 1. [4]. Рост активности рынка титановой продукции в химической (1) и нефтегазовой (2) промышленности, металлургии и машиностроении (3), аэрокосмической и военной (4) отраслях промышленности; DJ — промышленный индекс Доу-Джонса

По оценке японской компании «Toho Titanium», загруженность мировых производственных мощностей по выпуску титановой губки составила в 2001 г. 69 % и продолжает расти. В табл. 6 представлены имеющиеся мощности некоторых производителей губки и объемы производства.

По запасам титана страны СНГ занимают первое место в мире. Его промышленные запасы разведаны в России, Украине и Казахстане. В табл. 7 приведены данные по подтвержденным запасам титана этих стран.

Извлеченные из недр титановые руды либо обогащают с получением селективных ильменитового, рутилового, анатазового и лейкоксенового концентратов, содержащих до 45...70 % TiO_2 , либо подвергают плавке с выходом титанового шлака (до 85 % TiO_2) и чугуна или переработке на синтетический рутил. Наиболее высококачественным сырьем для производства двух основных видов продукции (металлического титана и пигментного диоксида титана) являются рутил (92...98 % TiO_2), ильменит (43...70 % TiO_2) и анатаз (90...95 % TiO_2). Рутил и анатаз, в отличие от ильменита, не требуют предварительного обогащения путем передела в промежуточные продукты. Из всей добываемой титановой руды лишь 5 % идет непосредственно на производство металлического титана, остальные 95 % используют при производстве красок, пластмасс, каучука, бумаги и т. д.

Таблица 6 [6]. Мировое производство титановой губки в 2001 г.

| Страна | Фирма | Мощность, тыс. т/год | Производство, тыс. т |
|-----------|--|----------------------|----------------------|
| Япония | «Sumitomo Titanium» «Toho Titanium» | 27 | 25,6 |
| Россия | «Ависма» | 25 | 18,0 |
| Казахстан | УКТМК | 20 | 12,0 |
| США | «Timet» | 9 | 8,0 |
| Украина | ЗТМК | 18 | 4,5 |
| Китай | — | 3 | 2,5 |
| Всего | | 102 | 70,6 |

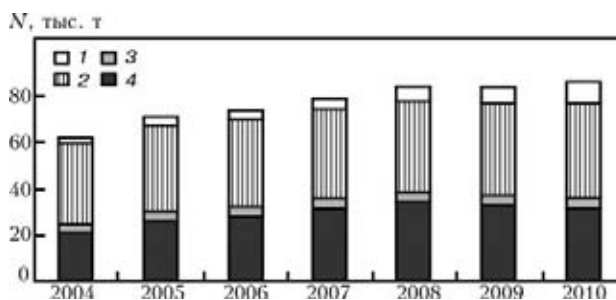


Рис. 2. [4]. Потребление N титанового проката; 1 — нефтегазовая промышленность развивающихся стран; 2 — промышленность стран Ближнего Востока и Китая; 3, 4 — соответственно военное и гражданское самолетостроение

В табл. 8 приведены данные о добыче титановой руды, используемой для производства металлического титана.

Основными производителями ильменитовых и рутиловых концентратов являются Австралия, ЮАР, Канада и Норвегия, на долю которых приходится 74...78 %. В странах СНГ монополистом по производству концентратов является Украина (около 8 % мирового производства).

Крупнейшие производители титановой губки Япония и Россия (табл. 6) зависят от внешних факторов, поскольку не имеют собственной сырьевой базы. Например, небольшое количество титанового сырья, выпускаемого Ловозерским ГОКом «Севермет» и Курнахаским рудником АО «Амуртитан» (РФ), не обеспечивает потребности металлургического производства металла. Практически все рудное сырье (ильменитовый концентрат) поставляется из Украины. Одной из причин этого (помимо дезинтеграции титановой промышленности СССР) является низкое содержание диоксида титана в добываемых рудах. Так, лопаритовый концентрат, получаемый при переработке руд Ловозерского месторождения (РФ), содержит 0,6 % TiO_2 , в то время как иршанский ильменит из Украины — 57...59,5 % [3]. Титановая промышленность России зависит от поставок не только сырья (концентратов и губки) из Украины, но и губчатого титана из Казахстана. Использование собственного и импортируемого сырья позволило российской компании «ВСМПО-Ависма» стать крупнейшим поставщиком ведущих авиастроительных компаний мира. На ее долю приходится 65 % титановой продукции для крупнейшего в Европе концерна «Airbus» и 35 % [5] (по другим данным, 50 % [7]) — американской компании «Воинг» (к 2008 г. она должна возрасти до 70 %).

Таблица 7 [3]. Подтвержденные запасы титана в странах СНГ

| Страна | Количество месторождений | Доля в общих запасах стран СНГ, % |
|------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Всего СНГ: | 19 | 100,0 |
| Россия | 13 | 58,5 |
| Украина | 4 | 40,5 |
| Казахстан | 5 | 1,0 |



Таблица 8 [6]. Производство титановой руды в мире в 2001г., тыс. т

| Регион | Ильменит | Рутил |
|---------------|----------|--------------------|
| Австралия | 1190 | 220 |
| Южная Африка | 1000 | 90 |
| Канада | 720 | — |
| США | 300 | Включен в ильменит |
| Норвегия | 270 | — |
| Украина | 240 | 55 |
| Индия | 200 | 15 |
| Другие страны | 320 | 4 |
| Всего в мире | 4200 | 380 |

Украина, по мнению западных экспертов, обладает большими возможностями для повышения своей роли в мировой титановой промышленности. Сырьевой потенциал страны оценивается в 900 млн т ильменита и рутила, что соответствует 30 % зафиксированных мировых запасов [3].

Однако после 1991 г. Украина лишилась существенного звена в технологической цепочке получения металлического титана — производства титановых слитков. Добывающие и перерабатывающие предприятия (Вольногорский и Иршанский ГОКи, ЗТМК) стали в основном поставщиками сырья за рубеж. Так, на базе Иршанского месторождения организован консорциум по добыче и переработке ильменита (примерно 200 тыс. т/год), 50 % продукции которого будет поставляться американской компании «Kerr-McGee Chemical Corp.» [3]. Запорожский титаномагнийевый комбинат в 2003–2004 гг. 95 % своей продукции тоже экспортировал [5]. Предприятия, выпускающие титановые трубы (Никополь) и листовой прокат (Алчевск, Мариуполь), стали зависимы от внешних поставок.

В 1994 г. принята государственная программа «Титан Украины», в которой, в частности, предусматривалось создание производства титановых слитков. Мнения, каким должно быть такое производство, разделились. Один из вариантов предусматривал выбор традиционной, многократно проверенной, технологической схемы, основанной на прессовании титановой губки в расходный электрод и последующем его вакуумно-дуговым переплаве (ВДП), достаточно обоснованном, поскольку этот способ хорошо отработан [7], проверен и т. д. По этой схеме производится большая часть титановых слитков в России, США и других странах. В условиях, когда для изготовления расходного титанового электрода для ВДП требуется мощное дорогостоящее кузнечно-прессовое оборудование, а его нет в Украине, это путь, как отмечено в работе [8], «представляется порочным». Прежде всего, воссоздавая доведенную до совершенства традиционную технологию, Украина отстанет в развитии и будет вынуждена конкурировать с производителями титановых слитков по стоимости продукции только за счет

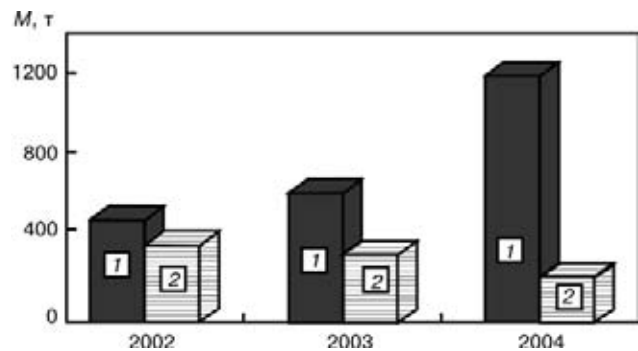


Рис. 3 [9]. Общий выпуск титановых слитков M в Украине по годам: 1 — выпуск; 2 — использование в Украине

дешевой рабочей силы. За это время другие страны, развивая новые альтернативные технологии, уйдут далеко вперед.

Одной из таких альтернативных технологий является электронно-лучевой переплав. Производство слитков по данной технологии было освоено в созданном в 1996 г. научно-производственном центре «Титан» Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины [9]. В 2003 г. было закончено строительство и пущены в работу плавильные мощности компании «Антарес». Общий выпуск титановых слитков в Украине в 2002–2004 гг. представлен на рис. 3. Украинская титановая промышленность, продолжая наращивать мощности, предусматривает в 2006–2008 гг. создать на ЗТМК еще одно производство титановых слитков способом электронно-лучевого переплава. На первом этапе предусмотрено выпускать до 2000, а к 2012 г. — 4500 т/год [10].

Как отмечалось на прошедшей в мае 2006 г. в Ялте первой международной конференции «Рынок цветных металлов СНГ-2006», сегодня в Украине все еще отсутствует вертикально интегрированная цепочка по производству титана. Единого объединения, подобного российскому «ВСМПО-Ависма», нет. Предприятия титановой отрасли Украины втянуты в междоусобную войну, например, между НПЦ «Титан» и компаний «Фико», в результате которой производство титановых слитков на последней остановлено; между ЗТМК и компанией «Антарес», которая совместно с Закарпатским металлургическим заводом (ЗМЗ) борется за дефицитное сырье — титановую губку. Монопольный производитель этой продукции в Украине — Казенное предприятие «Запорожский титано-магнийевый комбинат» — в 2005 г. отказался поставлять им сырье. Оставшись без сырья, в 2005 г. полностью остановился киевский завод компании «Антарес». По той же причине, как сообщалось в работе [10], ЗМЗ простаивает 27 дней в месяц, а передовой производитель слитков НПЦ «Титан» при Институте электросварки им. Е. О. Патона работает по давальческой схеме. В это же время российская компания «ВСМПО-Ависма» купила украинский завод по производству титановых труб «СЕТАБ-Никополь» [11].

В последнее время в средствах массовой информации стали появляться публикации [12, 13] об ошибочности приоритетов государственной прог-



Таблица 9 [14]. Структура стоимости титана по основным переделам, %

| Технологический процесс | Доля затрат [21] | Расчетные данные | |
|------------------------------------|------------------|------------------|------|
| Получение концентрата | 4 | 3,5 | 4,1 |
| Получение шлака | 8 | 1,9 | 2,2 |
| Получение четыреххлористого титана | 8 | 2,1 | 2,5 |
| Магние-термия | 26 | 34,9 | 28,8 |
| Получение титановой губки в целом | — | 47 | 38 |
| Первичная плавка | 12 | — | — |
| Конечная плавка | 2 | — | — |
| Производство проката | 48 | 52,9 | 62 |

раммы «Титан Украины» и программы развития цветной металлургии Украины на период до 2010 г. Авторы данных публикаций считают, что Украине нужны не титановые слитки, а реконструкция добывающих и перерабатывающих предприятий, замена устаревшего оборудования; следует развивать производство не металлического титана, а пигментной двуокиси титана для химической промышленности.

Безусловно, реконструкция предприятий и замена устаревшего оборудования необходимы, как и широкое привлечение инвестиций. Однако специфика экономики титанового производства такова, что добывающие активы играют в титановой промышленности незначительную роль, почти вся добавленная стоимость формируется на металлургических предприятиях. Максимальную прибыль и в химической, и в металлургической промышленности получают предприятия, выпускающие конечную продукцию. Поэтому надо ориентироваться на выпуск не химического сырья — пигментной двуокиси титана (около 2 дол./кг) — или даже металлического полуфабриката — титановой губки (примерно 22 дол./кг), — а на производство лаков, красок, титановых слитков, проката и изделий из них. Ведь не случайно Россия, имеющая большое количество месторождений титановой руды, предпочитает покупать в Украине более качественный концентрат, губку, отдавая приоритет производству конечной продукции из металлического титана.

Рассмотрим формирование цены на титан. В табл. 9 представлена структура стоимости титана по основным переделам [14]. Как видно из таблицы, основные затраты приходятся, во-первых, на передел губки в прокат (48... 62 % стоимости проката), во-вторых, на процесс непосредственного получения губки — магние-термическое восстановление и сепарацию (26... 34,9 %). Анализ структуры стоимости титановой губки, приведенный в работе [15] (табл. 10), несколько отличается от данных табл. 9, однако несомненно, что вторым по стоимости переделом является магние-термическое восстановление титана.

Затраты на двукратный переплав титана (табл. 9) нельзя считать показательными, поскольку это дан-

Таблица 10 [15]. Структура стоимости губчатого титана

| Переделы | Доля общих затрат, % |
|---|----------------------|
| Производство титанового шлака | 4... 6 |
| Подготовка шихты | 4... 6 |
| Производство четыреххлористого титана и его очистка | 30... 33 |
| Магние-термическое восстановление, вакуумная сепарация и разделка блоков губчатого титана | 55... 60 |

ные заявителей [16], предлагающих новый способ производства, а не затраты в сложившемся технологическом цикле. Несомненно, реальные затраты на переплав выше, особенно если учитывать затраты при изготовлении расходуемых электродов для вакуумно-дугового переплава. Согласно данным работ [17, 18], стоимость губчатого титана и лигатуры, из которых прессуют расходуемый электрод, составляет от 40 до 75 % стоимости слитка.

Большие затраты на указанные переделы объясняются использованием в процессе производства ряда дорогостоящих материалов (магния, хлора, аргона и т.д.), а также сложностью, высокими материало- и энергоемкостью технологических процессов. Поэтому существенное снижение стоимости титана возможно только за счет модернизации технологического процесса того или другого передела либо замены его более дешевым способом производства.

Поиск новых способов восстановления титана проводят многие фирмы. Так, например, итальянская фирма «Электрохимика Марко Джинатта» разрабатывает технологию получения порошкообразного титана электрохимическим способом [19]. Процесс восстановления осуществляется в два этапа. На первом — восстанавливается тетрагидрид титана до дихлорида титана, во втором — происходит окончательное электролитическое восстановление до кристаллов высокой чистоты. Процесс электролиза протекает в расплаве хлористого натрия и дихлорида титана при 800... 870 °С. Фирма рассчитывает получать титан высокой чистоты с себестоимостью, на 30 % меньшей, чем при традиционном способе [19, 20].

Другой разработкой является так называемый способ «FFC Cambridge process» или «Fray Process», предложенный сотрудниками Кембриджского университета. Суть запатентованного процесса состоит в электролитическом восстановлении диоксида титана в расплаве хлорида кальция [21]. В FFC-процессе катодные пластины, изготовленные из двуокиси титана и связующего вещества, помещают в ванну жидкого хлорида кальция вместе с графитовым анодом. В процессе электролиза кислород удаляется из оксида титана в виде свободного кислорода, СО и СО₂, оставляя на катоде чистый титан. Процесс осуществляется при температуре 900... 950 °С под напряжением всего 3 В [14, 22].



Предполагается, что стоимость губчатого титана при таком способе производства может уменьшиться более чем в два раза, приблизившись к стоимости первичного алюминия и магния. Данная технология предусматривает получение не только чистого губчатого титана, но и губки, легированной различными элементами, для производства сплавов на основе титана, что является одним из главных преимуществ нового процесса. На пути к его использованию в промышленных масштабах достигнуты определенные успехи. В 2003 г. Американское агентство перспективных исследований оборонного значения выделило 12,5 млн дол. консорциуму во главе с фирмой «Timet» для внедрения этого процесса в промышленное производство.

Предложен еще один новый способ электрохимического получения химически активных металлов, включая титан, в котором используются твердые оксидные мембраны [23]. Сущность жидкофазного процесса заключается в проведении электрохимического разложения смешанных оксидов титана, таких как расплавленный титановый шлак, ильменит, перовскит, лейкоксен, титанит, природный и синтетический рутил, находящихся в жидком состоянии.

В ходе процесса на катоде выделяется жидкий титан или сплав титана с другими компонентами исходного материала, а на пористом или газодиффузионном аноде — кислород. Анод отделен от расплава, имеющего высокую температуру, твердой ионной мембраной, способной к переносу анионов электролита на анод. В качестве анода может служить графитовый расходный электрод. Можно использовать и инертный анод с постоянными размерами или газодиффузионный анод, которые устанавливаются и извлекаются из реактора на разных этапах цикла. Электролиз проводят при напряжении 3 В, катодной плотности тока 5 кА/м², температуре расплава 1860... 1872 °С.

Авторы работы [14] пришли к выводу, что получать высокочистый титан последним из указанных способов практически невозможно. В лучшем случае этот процесс можно использовать для производства ферротитана. Кроме того, стоимость титана, полученного процессом FFC, не будет значительно отличаться (тем более в несколько раз) от та-

ковой титана, произведенного по способу Кроля (стандартного способа магние-термического восстановления титана).

Несмотря на указанные недостатки процесс FFC отличается таким преимуществом, как условное совмещение электролиза и восстановления в одном агрегате. В работе [14] отмечается необходимость совершенствования магние-термического процесса. Работы в этом направлении ведутся по пути укрупнения и выбора оптимальных соотношений размеров (диаметр и высота) агрегатов [24], создания непрерывных процессов [25–27], а также совмещения нескольких процессов в одном агрегате [28, 29]. В мировой практике известны агрегаты полусовмещенного и совмещенного типов с цикловым съемом (производительностью) до 10 т [29]. Агрегаты полусовмещенного типа используют в России и Казахстане, совмещенного — в Японии, Китае и Индии. В последнее время появились новые конструктивные решения агрегатов совмещенного типа, принятые за основу при техническом перевооружении цеха по производству губчатого титана на ЗТМК [30–32].

Основное отличие совмещенного агрегата ЗТМК заключается в наличии паропровода, обогреваемого в результате пропускания через него электрического тока, а также в возможности многократного увеличения скорости восстановления титана за счет периодически обновляемой поверхности титаносодержащего расплава. Агрегат такого типа имеет производительность 3,8 т/цикл. Предусмотрен ввод в эксплуатацию подобного агрегата производительностью 10 т/цикл. Исследование процесса вакуумной сепарации в агрегате показало, что несмотря на существенное увеличение скорости восстановления титана на первом этапе, на последующих этот процесс (впрочем, как и в агрегатах другого типа) существенно замедляется. Остатки магния и хлористого магния удаляются очень медленно, что связано со снижением теплопроводности реакционной массы по мере испарения магния. На этот период приходится до 75% времени всего процесса сепарации [33].

Для сокращения продолжительности производственного цикла предложено исследовать возможность переплава губки с повышенным, по сравнению с требованиями стандарта (табл. 11), содержа-

Таблица 11 [35]. Марка, химический состав и твердость губчатого титана (ГОСТ 17746–96)

| Марка | Ti (не менее) | Массовая доля элементов, % (не более) | | | | | | | Твердость HB 10/1500/30 (не более) |
|--------|---------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | Fe | Si | Ni | C | Cl | N | O | |
| ТГ-90 | 99,74 | 0,05 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 0,02 | 0,04 | 90 |
| ТГ-100 | 99,72 | 0,06 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,04 | 100 |
| ТГ-110 | 99,67 | 0,09 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 110 |
| ТГ-120 | 99,64 | 0,11 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,06 | 120 |
| ТГ-130 | 99,56 | 0,13 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,10 | 0,03 | 0,08 | 130 |
| ТГ-150 | 99,45 | 0,2 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,12 | 0,03 | 0,10 | 150 |
| ТГ-ТВ | 99,75 | 1,9 | — | — | 0,10 | 0,15 | 0,10 | — | — |



нием техногенных примесей. Анализ возможностей традиционных способов переплава титановой губки, основанных на концентрированных источниках нагрева (электрическая и плазменная дуги, электронный луч), проведенный в работе [34], показал, что применение таких источников энергии для переплава губки с повышенным содержанием соединений хлора (более 0,15 мас. %) экономически невыгодно, а порой и опасно. Как отмечают авторы, более перспективно использовать для этой цели бездуговые источники нагрева. Дальнейшие исследования [36–38] подтвердили принципиальную возможность переплава губчатого титана с повышенным содержанием хлоридов (до 0,52 мас. %) способом индукционного переплава в секционном кристаллизаторе.

Во второй части обзора будут рассмотрены способы получения слитков титана и его сплавов с использованием как расходуемого титанового электрода, так и нерасходуемого, т. е. способы, в которых предусмотрен непосредственный переплав губки и скрапа.

1. *Металлургия титана* / В. А. Гармата, Б. С. Гуляничкий, В. Ю. Крамник и др. — М.: Металлургия, 1967. — 643 с.
2. *Николаев В.* Обзор мирового рынка титана // *Материалы информационного агентства KZ-Today*. — 30.04.04. — www.onfogeo.ru/KZ-today
3. *Состояние и перспективы мирового и внутреннего рынков цветных, редких и благородных металлов* // *Титан*. — 2002. — Вып. 9. — С. 32.
4. *Martin J. L.* Titanium companies and the capital markets // *Timet Annual Meeting*. — 2005. — September. — P. 18.
5. *Сикачина А.* Первым делом самолеты // *Металл*. — 2006. — Март. — С. 46–49.
6. *Рынок титана — современное состояние.* Материалы аналитической группы «MetalTorg.Ru» // <http://www.metaltorg.ru>.
7. *Петрунько А. Н.* О проблемах развития производства и применения титана в Украине // *Пробл. спец. электрометаллургии*. — 1996. — № 3. — С. 49–54.
8. *Патон Б. Е.* Ставка на опережение // *Металл*. — 2003. — № 9. — С. 4–5.
9. *Петрунько А. Н., Тэлин В. В., Тригуб Н. П.* Состояние производства и перспективы развития титановой промышленности в Украине // *Титан*. — 2005. — № 2. — С. 3–8.
10. *Закиянов Д.* Продолжение титановой войны // <http://infogeo.ru/metals> (ECONOMICA 21.12.05).
11. *Новости металлургии. Украина.* Цветная металлургия: спектр проблем // <http://metallserves.ru>.
12. *Викторов А.* Битва титанов с пустым кошелем // *Киевский телеграф*, № 182 // <http://www.versii.com/telegraf>.
13. *Землянский В.* Титановая осень страны // *Контекст-медиа*, 2003. — 11 ноября. — <http://crimealine.tik.com.ua/2003/november/11>.
14. *Анализ тенденций развития технологий, производства и потребления титана* / Тэлин В. В., Иващенко В. А., Червоный И. Ф. и др. // *Титан*. — 2005. — № 2. — С. 62–68.
15. *Титан* / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. — М.: Металлургия, 1983. — 559 с.
16. *Пат. WO 03/016594 A1 BHP, C25c 3/28, C22b 34.12.* Метод производства продуктов из титана и титановых сплавов. — Оpubл. 16.08.2002.
17. *Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В.* Перспективные технологии электронно-лучевой плавки титана // *Титан*. — 2003. — № 2. — С. 20–25.
18. *Сергеев В. В., Безукладников Л. Б., Мальшин В. Н.* Металлургия титана. — М.: Металлургия, 1979. — 264 с.
19. *Получение слитков титана и его сплавов путем переплава непосредственно титановой губки и скрапа* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко, В. И. Кумыш // *Пробл. спец. электрометаллургии*. — 1995. — № 3. — С. 14–23.
20. *Metal Bulletin Monthly*. — 1988. — № 126. — P. 43.
21. *Landis Martin J.* Low-cost titanium process development // *Timet annual meeting* (Monterey, California, Oct. 13, 2003). — California, 2003. — P. 23–30.
22. *Александров А. В., Прудковский Б. А.* Разные грани титана и его сплавов // *Титан*. — 2003. — № 2. — С. 66–71.
23. *Пат. WO 03/046258 A2, C25c 3/28.* Метод электрохимического извлечения металлического титана или титанового сплава из диоксида титана, содержащего соединение в жидком состоянии. — Оpubл. 22.11.2002.
24. *Современные направления совершенствования и развития производства губчатого титана* / Ю. П. Кирич, А. В. Затонский, В. Ф. Беккер, Н. Ф. Бильфельд // *Титан*. — 2003. — № 2. — С. 11–16.
25. *Пат. 2163936 РФ.* Непрерывный магние-термический способ получения титана / В. И. Евдокимов. — Бюл. № 7; Оpubл. 05.07.2001.
26. *Евдокимов В. И., Крнев В. А.* Непрерывный магние-термический способ получения титана // *Цветные металлы*. — 2002. — № 9. — С. 69–72.
27. *Основы создания непрерывного процесса получения губчатого титана* / А. Е. Андреев, А. П. Яценко, В. М. Проценко и др. // *Титан*. — 2003. — № 2. — С. 16–19.
28. *Пат. 6063254 США, МПК C25c 1,00/C25c 3/28.* Способ получения титановых кристаллов и слитков / Н. Rosenberg, N. Winters, Y. Xu. — Оpubл. 16.05.2000.
29. *Аппараты совмещенного типа с цикловым съемом 7–10 т* (Информ. подборка по открыто изданной иностранной литературе). — Запорожье: Институт титана, 1988. — С. 6–11.
30. *Тэлин В. В., Петрунько А. П., Тригуб Н. П.* О ходе выполнения комплексной программы развития титановой промышленности в Украине // *Титан*. — 2004. — № 2. — С. 4–11.
31. *О некоторых путях интенсификации процесса получения губчатого титана* / С. М. Теслевич, Л. Я. Шварцман, А. Н. Пампушко, А. И. Яценко // *Там же*. — 2004. — № 2. — С. 12–14.
32. *Основные результаты опытно-промышленных испытаний совмещенного процесса получения губчатого титана на КП ЗТМК* / В. В. Тэлин, С. М. Теслевич, Л. Я. Шварцман и др. // *Там же*. — 2005. — № 2. — С. 14–20.
33. *Теслевич С. М.* Новые технологии и оборудование для получения титановой губки и переплава ее в слиток: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 2006. — 20 с.
34. *К вопросу о возможности переплава губчатого титана с повышенным содержанием техногенных примесей.* Сообщение 1 / М. Л. Жадкевич, Ю. В. Латаш, И. В. Шейко и др. // *Пробл. спец. электрометаллургии*. — 1997. — № 1. — С. 55–60.
35. *Металлы и сплавы.* Справочник / Под ред. Ю. П. Солнцева. — СПб: НПО «Профессионал», 2003. — 163 с.
36. *К вопросу о возможности переплава губчатого титана с повышенным содержанием техногенных примесей.* Сообщение 2 / М. Л. Жадкевич, Ю. В. Латаш, В. С. Константинов и др. // *Там же*. — 1998. — № 3. — С. 43–45.
37. *Исследование состава газовой атмосферы при индукционной плавке в секционном кристаллизаторе губчатого титана* / М. Л. Жадкевич, И. В. Шейко, С. М. Теслевич и др. // *Современ. электрометаллургия*. — 2004. — № 3. — С. 37–41.
38. *Исследование состава газовой фазы при плазменно-дуговой плавке титана из спрессованной заготовки* / М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, В. В. Тэлин и др. // *Там же*. — 2004. — № 4. — С. 24–27.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Поступила 11.12.2006