



УДК 669.187.2.001.6

ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТА МАГНИЕТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ГУБЧАТОГО ТИТАНА ПОВЫШЕННОЙ ЦИКЛОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

С. М. Теслевич, В. В. Тэлин, А. Н. Петрунько,
Л. Я. Шварцман, А. П. Яценко

Изложены результаты работы по созданию и испытанию аппарата магнетермического получения губчатого титана цикловой производительностью 3,8 т, предназначенного для реконструкции титанового производства Запорожского титано-магниевого комбината. Рассмотрены проблемы надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации аппарата.

Results of works on the creation and testing the 3.8 t capacity unit for magnesium-thermic producing of spongy titanium, designed for reconstruction of titanium production of Zaporozhye titanium-magnesium plant, are presented. Problems of reliability in designing, manufacture and service of the unit are considered.

Производство губчатого титана на Запорожском титано-магниеком комбинате (КП «ЗТМК») возобновлено в 1998 г. на базе аппарата диаметром 1,0 м цикловой производительностью 0,86 т, который по технико-экономическим показателям уступает зарубежным. Для повышения эффективности производства потребовалась разработка более производительного аппарата, внедрение которого смогло бы обеспечить радикальное снижение материальных и энергетических затрат и повышение конкурентоспособности товарной продукции на мировом рынке. С этой целью на комбинате был выполнен комплекс проектно-конструкторских работ. При проектировании аппарата провели анализ конструкций действующих за рубежом большегрузных аппаратов, на основе которого выбраны конструкции аппарата восстановления с верхним сливом соли и аппарата вакуумной сепарации с рядом стоящим конденсатором. Такие аппараты в настоящее время используются в Японии и КНР [1]. Были определены оптимальные технические параметры аппарата для существующего промышленного корпуса и грузоподъемности установленных в нем электромостовых кранов: диаметр 1,5 м, высота 4,3 м, цикловая производительность 3,8 т.

Повышение цикловой производительности аппарата связано с увеличением одновременной загрузки магния, массы самого аппарата, длительности рабочего цикла, в связи с чем возрастают требова-

ния к надежности аппарата и его отдельных узлов, безопасности его эксплуатации.

Проблема надежности — это не только техническая, но и важная экономическая проблема, решение которой обеспечивает рост производительности труда, снижение себестоимости и повышение качества продукции. Надежность закладывается при проектировании, создается и обеспечивается при изготовлении и реализуется в процессе эксплуатации оборудования [2].

Эксплуатация аппаратов для получения губчатого титана осуществляется в условиях высокой (до 1030°C) температуры и резких теплосмен, наличия агрессивных расплавов (магний и дихлорид магния) и газовых сред (HCl, хлориды магния, титана и др.), высокого вакуума (до 0,133 Па), избыточного давления (до 167,0 кПа). С учетом этих условий, а также того, что основные узлы аппарата (реторта и крышка) являются сварными, для изготовления их обечаек выбрана сталь марки 12X18H10T, а для изготовления фланцев — Ст.20. Эти стали хорошо зарекомендовали себя в промышленном производстве губчатого титана. При их использовании, а также при условии высокого качества сварных швов обеспечиваются достаточная надежность основных узлов аппарата и экономически приемлемый ресурс работы реторты (30–36 циклов), который определяется качеством металла и качеством ее изготовления. Основными причинами прежде-

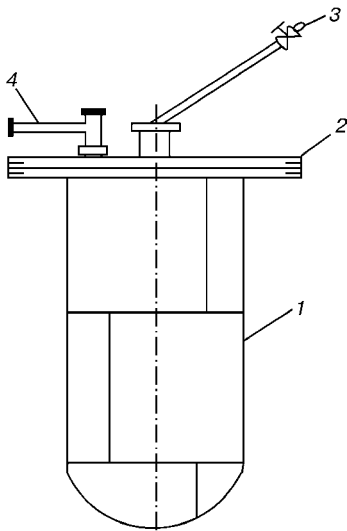


Рис. 1. Аппарат восстановления повышенной цикловой производительности

временного выхода реторты из строя являются нарушения температурного режима и режима давления при восстановлении и вакуумной сепарации. Если температура превышает $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, происходят локальные оплавления внутренней поверхности, а также проплавление стенки реторты вследствие образования легкоплавкой эвтектики титан–железо [3, 4]. Проплавление стенки реторты может привести к выливу из нее расплавов магния и дихлорида магния и выводу из строя оборудования.

Ресурс работы реторты снижается также из-за потери устойчивости оболочки стенки реторты [5]. Это явление происходит вследствие утонения стенки в результате высокотемпературной коррозии и удлинения реторты под действием собственной массы и массы находящегося в ней титана и продуктов взаимодействия. Нарушения устойчивости оболочки и формы стенки реторты возможны также вследствие нарушения режима давления в процессах восстановления и вакуумной сепарации. Для повышения надежности и безопасности эксплуатации аппарата и ресурса работы реторты необходимы поиск новых жаропрочных и коррозионно-стойких сталей для ее изготовления или коррозионно-стойких защитных покрытий, а также применение более точных и надежных систем контроля и управления технологическими режимами.

Важным узлом, обеспечивающим надежную и безопасную эксплуатацию аппаратов повышенной цикловой производительности, является устройство для слива дихлорида магния. Устройство с нижним сливом соли, применяемое в аппаратах восстановления на предприятиях по производству титана в России и Казахстане, более технологично, но менее надежно и безопасно, чем устройства, применяемые в Японии, КНР и в Украине на ЗТМК [2, 5]. Отказы в работе устройства с нижним сливом соли приводили к выливу из аппарата восстановления большой массы расплавов магния и дихлорида магния, воз-

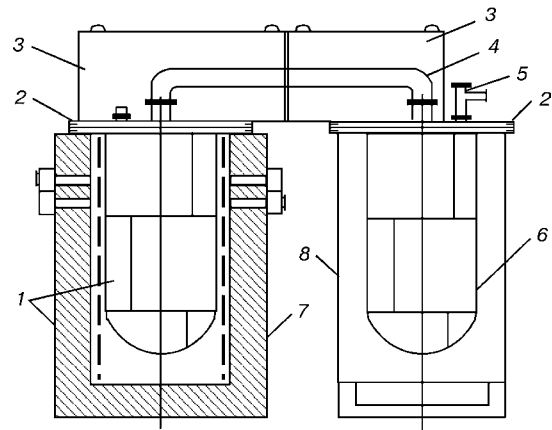


Рис. 2. Аппарат вакуумной сепарации повышенной цикловой производительности с рядом стоящим конденсатором

никновению пожара в производственном корпусе и выводу из строя технологического оборудования. Для повышения надежности и безопасности аппарата с нижним сливом соли необходима разработка сложных вспомогательных систем.

Устройство с верхним сливом соли менее технологично, чем устройство с нижним сливом соли. При повышении цикловой производительности аппарата за счет увеличения его габаритов и скорости подачи тетрахлорида титана в аппарат ресурс работы устройства снижается. Это обусловлено увеличением температуры в реакционной зоне, которое может приводить к прогару стенки сливной трубы, находящейся внутри реактора, и выходу устройства из строя. В аппаратах большой цикловой производительности (7... 10 т), применяемых в Японии [2], сливная труба вынесена за пределы реактора. Это значительно усложняет конструкцию аппарата и печи восстановления, снижает его надежность, однако позволяет интенсифицировать процесс восстановления и повысить производительность аппарата. Основные узлы аппарата повышенной производительности были изготовлены на предприятиях Украины.

Общий вид аппаратов восстановления и вакуумной сепарации для получения губчатого титана цикловой производительностью 3,8 т показан на рис. 1, 2. Основными узлами разработанных аппаратов являются: аппарата восстановления (рис. 1) — реторта-реактор 1, крышка 2, узел подачи тетрахлорида титана 3, узел слива дихлорида магния 4; аппарата вакуумной сепарации (рис. 2) — реторта-реактор 1, крышка 2, электропечи для обогрева крышек и паропровода 3, паропровод 4, патрубок для вакуумирования 5, реторта-конденсатор 6, электропечь 7, холодильник 8. Реторта и крышка аппарата восстановления и аппарата сепарации соединяются между собой через резиновую прокладку с помощью болтовых соединений. В аппарате сепарации реторта-реактор соединяется с ретортой-конденсатором через паропровод, привариваемый с помощью электросварки к центральным патрубкам крышек при ремонте аппарата восстановления в аппарат вакуумной сепарации.

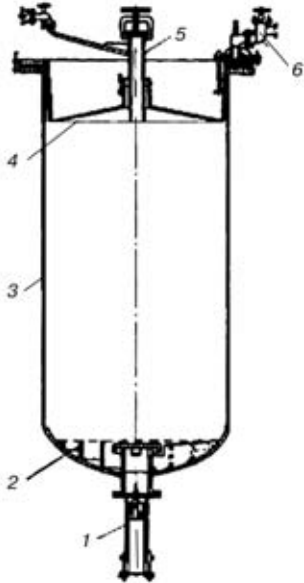


Рис. 3. Аппарат восстановления с нижним сливом соли: 1 — сливное устройство; 2 — ложное днище; 3 — реторта; 4 — крышка; 5 — материалный патрубок; 6 — патрубок для вакуумирования аппарата

Конструкция нового аппарата восстановления отличается от аппаратов, применяемых на титановых предприятиях СНГ, сливным устройством с верхним сливом соли, а новый аппарат вакуумной сепарации отличается от существующего на ЗТМК и применяемых на предприятиях СНГ наличием рядом стоящего конденсатора, паропровода, печей обогрева крышек реторты-реактора, реторты-конденсатора и паропровода. Общий вид аппаратов восстановления и вакуумной сепарации, применяемых на предприятиях СНГ, показан на рис. 3, 4.

По технико-экономическим показателям (цикловая производительность, удельная производительность по титану, удельные расходы сырья и

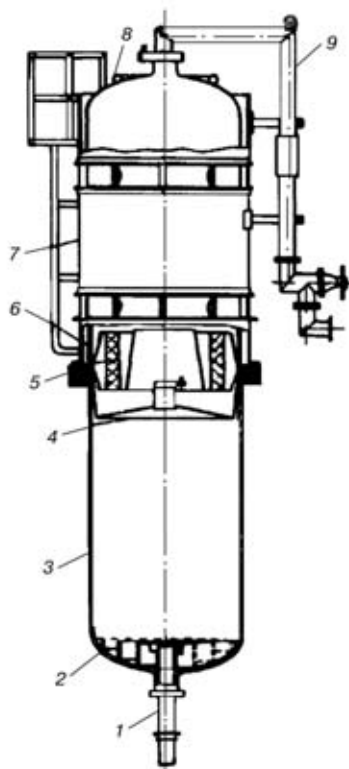


Рис. 4. Аппарат вакуумной сепарации с верхним конденсатором: 1 — сливное устройство; 2 — ложное днище; 3 — реторта; 4 — крышка; 5 — экран; 6 — реторта-конденсатор; 7 — кессон (охладитель); 8 — оросительное кольцо; 9 — вакуум-провод

электроэнергии, удельная металлоемкость и др.) новый аппарат значительно превосходит существующий на ЗТМК и сравним с аппаратами цикловой производительностью 4,0... 4,3 т, используемыми на титановых предприятиях в России и Казахстане.

Для испытаний нового аппарата с целью отработки конструкции, проверки надежности основных узлов, систем контроля и управления технологическими процессами, отработки технологических режимов на ЗТМК построена и введена в эксплуатацию в начале 2003 г. опытно-промышленная установка (рис. 5). В ее состав вошли: совмещенная электропечь восстановления-вакуумной сепарации, аппараты восстановления-вакуумной сепарации, колпаковые печи обогрева крышек и паропровода аппарата вакуумной сепарации, системы водоснабжения, электроснабжения, подачи тетрахлорида титана, аргона, контроля и управления технологическими процессами, вакуумные системы, вспомогательное оборудование.

На установке проведена серия опытных процессов получения блоков губчатого титана, один из которых показан на рис. 6. Для исследования качественных характеристик блоков губки отбирали локальные пробы от блока по схеме, приведенной на рис. 7.

Результаты анализа содержания примесей в локальных пробах и измерения твердости губчатого титана показали тенденцию их снижения как в гарнисажной части (точки 1, 2), так и в кричной части блока. Так, твердость губки в гарнисажной части блока снизилась от 157 до 114 *HV*, кричной части внутри блока (точки 3-5) — от 104... 136 до 96... 98 *HV*. Содержание примесей внутри блока (точки 3-5) составило, % мас: N 0,008... 0,017, O 0,033... 0,040, Si 0,023... 0,066, Fe 0,020... 0,056, Ni 0,023... 0,036, что соответствует марке губчатого титана ТГ-100 по ГОСТ 17746-96.

Содержание примесей в поверхностных слоях блока значительно превышает их содержание внутри блока, что объясняется особенностями процесса магнетермического получения губчатого титана, при котором основная часть металлических примесей (железо, никель, хром) переходит в губку в месте контакта блока со стенкой реторты за счет диффузии [4, 5]. Однако и в этой части блока губчатого титана (точки 6-11) содержание примесей существенно снизилось, % мас: Fe с 0,3... 0,46 до 0,03... 0,2, Ni с 0,05... 0,37 до 0,023... 0,19. Этому способствовали титанирование реторты в ходе процессов восстановления и вакуумной сепарации и стабилизация температурных режимов.

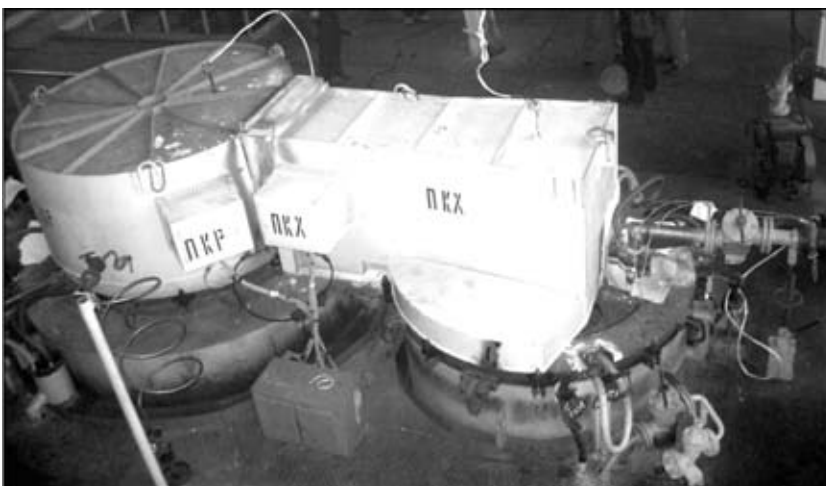


Рис. 5. Опытно-промышленная установка для испытаний аппарата повышенной цикловой производительности 3,8 т (вид сверху)

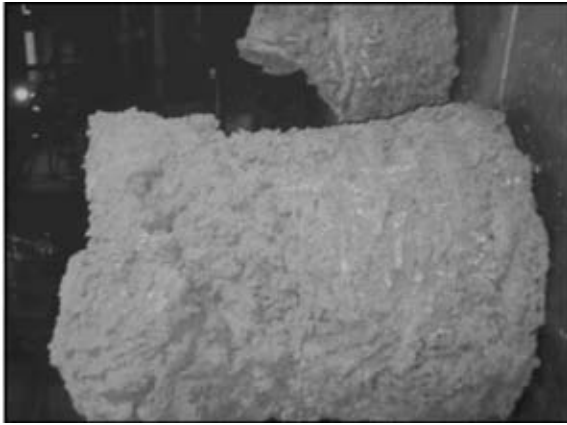


Рис. 6. Блок губчатого титана, полученный в аппарате повышенной цикловой производительности 3,8 т

Результаты проведения первых опытов показали, что ряд конструктивных узлов требуют доработки с целью повышения их надежности.

Недостаточно совершенной оказалась система контроля и регулирования температуры процесса восстановления и вакуумной сепарации, основанная на использовании устаревших моделей потенциометров с позиционным регулированием температуры, что приводило к локальным оплавлениям внутренней поверхности стенки реторты. Это потребовало перехода к более надежной компьютерной системе контроля и управления температурными режимами процессов восстановления и вакуумной сепарации, обеспечивающей повышение надежности работы установки.

В целом, выполненные предварительные опытно-промышленные испытания аппарата повышенной производительности показали, что выполненные конструктивные изменения повышают работоспособность основных узлов и надежность аппарата. В первых опытах достигнуты проектные показатели цикловой производительности, отмечена тен-

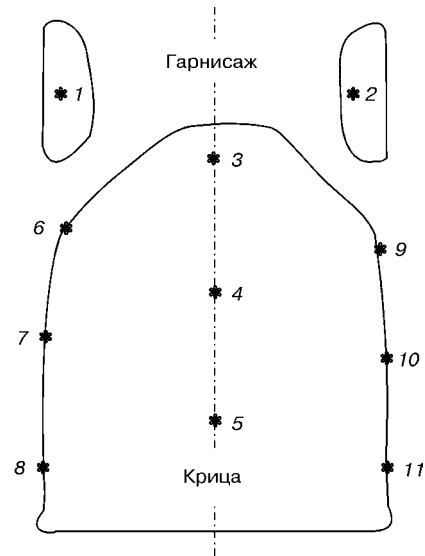


Рис. 7. Схема отбора локальных проб от блока губчатого титана

денция повышения чистоты получаемого губчатого титана. Определены основные направления дальнейшего совершенствования конструкции аппарата и технологического процесса.

1. Okura Y. Titanium sponge production technology / Titanium '95; science and technology, Birmingham, UK, 1995. — P. 1427–1437; 1543–1550.
2. Гребенник В. М., Цатко К. М. Надежность металлургического оборудования: Справочник. — М.: Металлургия, 1980. — 340 с.
3. Сергеев В. В., Безукладников А. Б., Мальшин В. М. Металлургия титана. — М.: Металлургия, 1979. — 264 с.
4. Металлургия титана / В. В. Сергеев, Н. В. Галицкий, В. П. Киселев и др. — М.: Металлургия, 1971. — 320 с.
5. Titan / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. — М.: Металлургия, 1983. — 559 с.

КП «Запорожский титано-магниевого комбинат»
Государственный научно-исследовательский
и проектный ин-т титана, Запорожье
Поступила 12.12.2003