

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 66.08

**И.О. Зуева**, магистрант

Березниковский филиал Пермского национального  
исследовательского политехнического университета

### УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ ГУБЧАТОГО ТИТАНА С УЧЕТОМ КРИТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ

*Предложено использование математического аппарата раскрашенных сетей Петри для управления восстановлением и сепарацией губчатого титана. Показаны преимущества предложенного подхода. Приведен системный анализ возможных критических отклонений в процессе производства губчатого титана.*

*Coloured Petri net in application to control of sponge titanium production processes is described. Advantages of such method are given. System analysis of possible critical deviations of titanium sponge production processes is offered.*

**Ключевые слова:** губчатый титан, производство, моделирование, сеть Петри.

**Keywords:** sponge titanium, production, modeling, Petri net.

Первое соединение титана было обнаружено в 1791 году. Металлический титан был впервые получен в 1875 году, производство же его в промышленных масштабах началось после второй мировой войны. Объемы производства были небольшими из-за трудности получения металла.

Исследования свойств титана, продолжавшиеся более 100 лет, показали, что данное ему название полностью оправдывается его механическими характеристиками и коррозионной стойкостью в агрессивных средах, сопоставимой с коррозионной стойкостью такого металла, как платина. Вместе с тем благодаря своим металлохимическим свойствам титан способен взаимодействовать более чем с половиной элементов Периодической системы и образовывать сплавы, обладающие широким диапазоном свойств. Так, в 50-х годах прошлого века был случайно открыт эффект запоминания формы некоторыми сплавами, среди которых ведущие

позиции занимают сплавы на основе титана, до настоящего времени не получившие в технике должной оценки и признания.

Титан находит широкое применение в самых различных отраслях промышленности (авиакосмической, химической, черной и цветной металлургии и др.), его потребление является показателем уровня научно-технического и экономического развития государства, его обороноспособности.

В структуре потребления титановых концентратов выделяются два направления: производство пигментного диоксида титана и применение титана в металлургии. Использование титана в качестве пигмента является наиболее масштабной областью его применения. По уровню потребления этого вещества на душу населения можно судить о качестве жизни населения, так как спрос на пигментный диоксид обусловлен ростом объемов строительства, машиностроения, производства товаров народного потребления и других отраслей экономики, продукция которых требует нанесения стойких покрытий.

Второе направление применения титана - металлургическое, преобладавшее в СССР. Оно имеет своей целью производство титановой губки для получения металлического титана, его сплавов и проката. Наиболее широкое применение эта продукция имеет в отраслях, связанных с военно-промышленным комплексом. В меньшей степени титановое сырье используется в производстве ферротитана (ильменитовый) и в электросварочной отрасли (рутиловый концентрат).

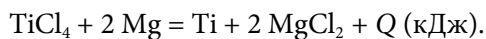
АВИСМА является филиалом ОАО "Корпорация ВСППО-АВИСМА", крупнейшего мирового, интегрированного производителя титановой продукции. АВИСМА производит около 30 % мирового выпуска титановой губки. Губчатый титан применяется в производстве широкого спектра изделий для авиакосмической техники, судостроения, нефтяного и химического оборудования, энергетики, а также в производстве легированных спецсталей.

Продукция АВИСМА отличается высоким качеством, как по химическому составу, так и по физическим характеристикам. Губчатый титан, произведенный на предприятии, получил одобрение крупнейших компаний RMI, Deutsche TITAN.

Губчатый титан (титановая губка) — металлический титан, получаемый из оксидных титановых руд (рутил, ильменит и другие) магниетермическим методом. Магниетермический метод является основным методом промышленного производства титана. Он заключается в хлорировании оксида титана, получении хлорида титана и восстановлении его металлическим магнием. Восстановление хлорида титана производится в специальных реакторах в атмосфере аргона при температуре 700—950°C.

Магниетермическое восстановление тетрахлорида титана осуществляется в аппаратах полусовмещенного типа, установленных в шахтную электропечь сопро-

тивления мощностью 324 кВт. Производительность аппарата 52.85 кг/час. Время процесса 77.5 часов. Процесс идёт при температуре 650-870 гр.С, по реакции:



В результате процесса восстановления в аппарате накапливается реакционная масса, состоящая из губчатого титана, магния и дихлорида магния. На данной стадии попутный продукт - дихлорид магния, который используется в качестве сырья при электролизе магния.

Очистка губчатого титана в процессе вакуумной дистилляции основана на способности магния и дихлорида магния интенсивно испаряться при температуре 990-1020 градусов С в условиях глубокого вакуума с последующей их конденсацией в охлаждаемой части аппарата. Процесс проводится в вакуумной шахтной печи сопротивления мощностью 390 кВт. Производительность печи 40.78 кг/час. Процесс длится 93.5 часа.

Переработка блоков губчатого титана в товарную продукцию осуществляется на технологической поточной линии, обеспечивающей его дробление до кусков не более 70 мм, рассев на фракции, сортировку с удалением кусков с дефектами и комплектацию товарных партий. Поточная линия состоит из гидравлического прессы усилием 2000 тыс., каскада валковых дробилок с дисковыми ножами, барабанного грохота, ленточных конвейеров и смесителей.

Параметры технологических режимов процессов восстановления и вакуумной сепарации регулируются и контролируются, согласно «Схеме контроля производства титана губчатого», с помощью автоматизированного рабочего места участка восстановления и сепарации.

Показатели температуры и давления записываются в память компьютера и отображаются в форме трендов (кривая изменения параметра на мониторе). Данные анализируются, и результаты контроля регистрируются в «Листах регистрации критических отклонений давления и температуры». Тренды формируются с дискретностью две минуты. Остальная информация о ходе процесса восстановления и сепарации регистрируется в «Режимной карте процесса восстановления» и «Режимной карте процесса вакуумной сепарации» персоналом цеха № 35 и контролёрами ОТК. При заполнении режимных карт допускается отклонение по времени не более пяти минут.

Критическими отклонениями параметров являются:

- а) падение избыточного давления аргона в аппарате восстановления в ходе процесса (подача тетрахлорида титана) до значения менее 0,98 кПа;
- б) повышение температуры на стенке реторты до значения более 950 градусов по Цельсию в ходе процесса восстановления;

с) повышение температуры по любой из зон печи до значения 1 050 и более градусов по Цельсию в ходе процесса сепарации;

d) увеличение абсолютного давления до значения более 15 кПа в аппарате сепарации с момента начала возгонки магния (для обеспечения автоматизированного учёта момент начала возгонки магния считать через 45 минут с момента откачки реторты – реактора до абсолютного давления 50 кПа) и до задачи аргона при окончании процесса сепарации;

e) превышение абсолютного давления до значения более 133 Па в аппарате сепарации на стадии выдержки процесса сепарации;

f) падение избыточного давления аргона в аппарате сепарации до значения менее 9,8 кПа на стадии охлаждения в холодильнике;

g) прерывание регистрации значений давления или температуры с момента подачи тетрахлорида титана в аппарат восстановления и высокотемпературной выдержки процесса вакуумной сепарации и охлаждения аппарата сепарации в холодильнике.

Отклонение параметров давления и температуры анализируются персоналом и классифицируются как критические, если они носили технологический характер. Технологическим считается нарушение, при котором был факт отклонения критического параметра в самом аппарате в случае измерения давления, или на стенке реторты в случае измерения температуры. Отклонения в трендах аппаратурного характера не считаются критическими.

Блоки титана губчатого подразделяются на три категории качества в зависимости от внешнего вида и результатов анализа исполнения технологических параметров процесса получения титана губчатого.

Первая категория качества (цветовой код – зеленый) окончательно присваивается блоку в случае, если были выполнены все требования пункта 10.1 «Схемы контроля производства титана губчатого» технологической инструкции.

Третья категория (цветовой код – коричневый) присваивается блоку в случае, если в процессе производства или переработке он подвергается окислению или горению, в результате которого образовались дефектные включения, соответствующие образцам 1; 2; 2-1 ГОСТ 17746 (Образец № 1 – куски горелого губчатого титана;

Образец № 2 – куски окисленного губчатого титана с явно выраженными темно-желтым и синим цветами побежалости; Образец № 2-1 – куски окисленного и обогащенного азотом губчатого титана со следами от темно-желтого до светло-желтого цвета.) или слабоокрашенные включения с массовой долей азота 0,20% и более, а так же когда в ходе процесса восстановления и сепарации был зарегистрирован факт разгерметизации аппаратов и в локальных пробах массовая доля азота 0,20% и более.

Во всех остальных случаях блоку присваивается вторая категория качества (цветовой код – синий).

Третья и вторая категории блоков являются результатом производства с критическими отклонениями, представленными ранее. Было решено изучить и исследовать процессы производства губчатого титана, проведенные с отклонениями от регламента – с критическими отклонениями.

Для исследования процессов производства губчатого титана предлагается подход, основанный на компьютерном моделировании функционирования производства. Имитация может строиться на различных математических принципах: алгоритмические модели, теория конечных автоматов, сетевые модели и т.п. Из сравнительного анализа методов моделирования дискретных динамических систем, к которым относятся производства технической химии, следует, что для моделирования целесообразно использовать математический аппарат теории сетей Петри.

Сети Петри – инструмент исследования систем. В настоящее время сети Петри применяются в основном в моделировании. Во многих областях исследований явление изучается не непосредственно, а косвенно, через модель. Модель – это представление, как правило, в математических терминах того, что считается наиболее характерным в изучаемом объекте или системе. Манипулируя моделью системы, можно получить новые знания о ней, избегая опасности, дороговизну или неудобства анализа самой реальной системы. Обычно модели имеют математическую основу.

Сеть Петри это двудольный ориентированный размеченный граф, аналитически задаваемый кортежем  $C = \langle P, T, I, O, M \rangle$  где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множество позиций;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – множество переходов,  $I$  – входная функция и  $O$  – выходная функция описывающие структуру мультиграфа. Динамические свойства сети Петри определяет вектор  $M: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$  – маркировка СП, изменяемая срабатыванием разрешенных переходов по правилам, задаваемым функциями  $I$  и  $O$ .

Развитие теории сетей Петри проводилось по двум направлениям. Формальная теория сетей Петри занимается разработкой основных средств, методов и понятий, необходимых для применения сетей Петри. Прикладная теория сетей Петри связана главным образом с применением сетей Петри к моделированию систем, их анализу и получающимся в результате этого глубоким проникновением в моделируемые системы.

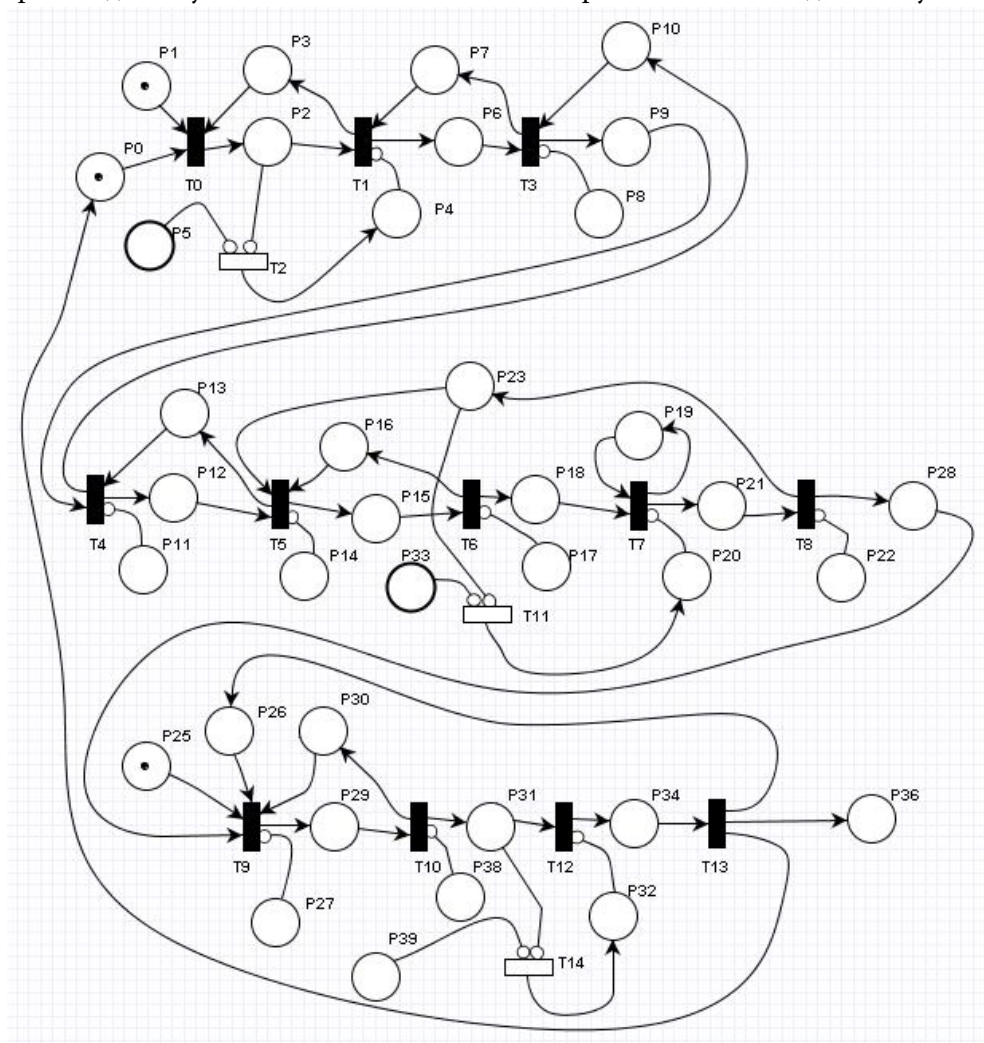
Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне. Определяются, какие действия происходят в системе, какие состояние предшествовали этим действиям и какие состояния примет система после выполнения действия. Выполнения событийной модели в сетях Петри описывает поведение системы.

Анализ результатов выполнения может сказать о том, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе не достижимы.

На данный момент уже существует общая модель производства губчатого титана, описанная с помощью Сетей Петри (рис.).

С целью усиления моделирующих возможностей сетей Петри автором модели разработана модификация Сетей Петри: дискретно – непрерывные сети, расширение проблемно ориентированное на моделирование дискретно-непрерывных химико-технологических систем (ДНХТС).

Модель адекватно отражает топологию аппаратного оформления комплекса производства губчатого титана, а ее компьютерное выполнение динамику.



Сетевая модель производства функционирования комплекса в виртуальном времени

Построенная модель производства работает ритмично, по стандартному регламенту производства, без каких либо отклонений. Но если в процессе производства вдруг возникнут, нештатные ситуации ритмичность сразу нарушается и возможен останов производства или выпуск технологического брака. Программная реализация дискретно-непрерывной сети отражает ситуацию – в сети возникают тупики, что и является главным недостатком данной модели.

При исследовании процессов производства губчатого титана с критическими отклонениями, данная сетевая модель будет расширена. Уменьшится возникновение тупиков в сети, так как будут добавленные процессы, проведённые с отклонениями. Таким образом, полученная сетевая модель является более адекватной реальной системе производства губчатого титана.

### Список литературы

1. Информационная система metalweb.ru / Metallургическое сырьё URL: [http://www.metalweb.ru/Сырьё/Титан\\_Губчатый/Титановая\\_губка](http://www.metalweb.ru/Сырьё/Титан_Губчатый/Титановая_губка)
2. ГОСТ 17746-96 Титан губчатый. Технические условия. URL: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_1774696\\_Titan\\_gubchatyj\\_T.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_1774696_Titan_gubchatyj_T.html)
3. Описание Сетей Петри. URL: [http://www.iacp.dvo.ru/lab\\_11/otchet/ot2000/pn3.html](http://www.iacp.dvo.ru/lab_11/otchet/ot2000/pn3.html)
4. Беккер В.Ф. Управление производством губчатого титана с использованием модифицированных сетей Петри // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Т.16. Серия технические и естественные науки «Системный анализ. Теория и практика». 2010. №2. С. 52–56.
5. Затонский А.В., Беккер В.Ф., Кирич Ю.П., Бильфельд Н.В. Совместная разработка технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2007. № 9. С. 7–10.
6. Kravets O.Ya., Makarov O.Yu., Oleinikova S.A., Pitolin V.M., Choporov O.N. Switching subsystems within the framework of distributed operational annunciator and monitoring systems: program design features // Automation and Remote Control. 2013. Vol. 74. № 11. P. 1919–1925.