



55.845
26 Fe
 [Ar] 3d⁶4s²
 Iron

47.867
22 Ti
 [Ar] 3d²4s²
 Titanium

50.9415
23 V
 [Ar] 3d³4s²
 Vanadium



**VANADIUM
 PROCESSING**

**VANADIUM
 PRODUCTION**

**COPPERAS
 PRODUCTION**

**TITANIUM
 HYDROLYZATE**

50.9415
23 V
 [Ar] 3d³4s²
 Vanadium

VEPT

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT): BROCHURE

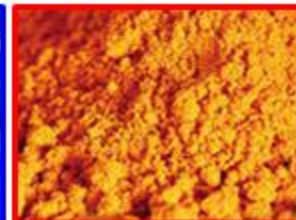
SOLD TO  **VANADIUMCORP**
INFINITE CLEAN ENERGY

François CARDARELLI

50.9415
23 V
 [Ar] 3d³4s²
 Vanadium

VEPT

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT): BROCHURE





VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

PUBLICATION

TITLE: **VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)**
 EDITION: 01
 VERSION: 03
 PAGES: 28 pages
 DATE: September 29th, 2020
 AUTHOR: François Cardarelli
 PUBLISHER: Electrochem Technologies & Materials Inc.
 ADDRESS: 201-2037 Aird Avenue
 Montreal, Québec, Canada, H1V 2V9
 COPYRIGHT: ©2020 François Cardarelli
 ©2020 Electrochem Technologies & Materials Inc.

ÉDITION

TITRE: **VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE**
 EDITION: 01
 REVISION: 03
 PAGES: 28 pages
 DATE: Le 29 septembre 2020
 AUTEUR: François Cardarelli
 EDITEUR: Electrochem Technologies & Matériaux Inc.
 ADRESSE: 201-2037 Avenue Aird
 Montréal, Québec, Canada, H1V 2V9
 COPYRIGHT: ©2020 François Cardarelli
 ©2020 Electrochem Technologies & Matériaux Inc.



55.845
26 Fe
 [Ar] 3d⁶4s²
 Iron

47.867
22 Ti
 [Ar] 3d²4s²
 Titanium

50.9415
23 V
 [Ar] 3d³4s²
 Vanadium



VANADIUM PROCESSING

VANADIUM PRODUCTION

COPPERAS PRODUCTION

TITANIUM HYDROLYZATE



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

DISCLAIMER

The information set forth is based on information that Electrochem Technologies & Materials Inc. believes to be accurate. No warranty, expressed or implied, is intended. The information is provided solely for your information and consideration and Electrochem Technologies & Materials Inc. assumes no legal responsibility for use or reliance thereon.

The information given is based on our knowledge of this product, at the time of publication. It is given in good faith.

The attention of the user is drawn to the possible risks incurred by using the product for any other purpose other than that for which it was intended. This does not in any way excuse the user from knowing and applying all the regulations governing his activity. It is the sole responsibility of the user to take all precautions required in handling the product. The aim of the mandatory regulations mentioned is to help the user to fulfill his obligations regarding the use of hazardous products.

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

Les renseignements ci-dessus sont fondés sur des renseignements qu' Electrochem Technologies & Matériaux Inc. considère comme étant précis. Aucune garantie, expresse ou tacite, n'est fournie. Les renseignements sont fournis seulement pour votre information et votre considération et Electrochem Technologies & Matériaux Inc. n'assume aucune responsabilité légale quant à l'utilisation ou la fiabilité.

L'information donnée est basée sur notre connaissance de ce produit, au moment de la publication.

Il est donné de bonne foi. L'attention de l'utilisateur est attirée sur les risques éventuels encourus lors de l'utilisation du produit à d'autres fins que celles pour lesquelles il a été conçu. Ceci n'excuse en aucun cas l'utilisateur de connaître et d'appliquer tous les règlements régissant son activité. Il est de la seule responsabilité de l'utilisateur de prendre toutes les précautions nécessaires lors de la manipulation du produit. Le but des règlements obligatoires mentionnés est d'aider l'utilisateur à remplir ses obligations concernant l'utilisation de produits dangereux.



**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS
TECHNOLOGY (VEPT)**

**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ
TECHNOLOGIQUE (VEPT)**

OUTLINE

1. Introduction
2. Background and Current Situation
3. Challenges
4. Pilot Testing
5. Comparison with Alkaline Roasting
6. Performances
7. Products and By-products
8. Technical Benefits and Advantages
9. Feedstocks Processability
10. Environmental benefits
11. Economic Benefits
12. Intellectual Property
13. Contact information

SOMMAIRE

1. Introduction
2. Fondements et situation actuelle
3. Les défis
4. Essais pilotes
5. Comparaison avec le grillage alcalin
6. Performances
7. Produits et sous-produits
8. Les avantages technologiques
9. Matières qui peuvent être traitées
10. Les avantages environnementaux
11. Avantages économiques
12. Propriété intellectuelle
13. Nous contacter



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

1. INTRODUCTION

This novel chemical process also called the "VanadiumCorp-Electrochem Processing Technology (VEPT)" addresses the recovery of vanadium, iron, titanium and silica values from a plethora of vanadiferous feedstocks such as vanadiferous titanomagnetite, iron ores and concentrates: magnetite and hematite, vanadium containing industrial wastes such as BOF-slugs, LD-slugs and other industrial by-products containing vanadium.

The process consists of digesting the vanadiferous feedstocks into concentrated sulfuric acid owing to the exothermic sulfation reaction that allows to operate quasi-autogenously while producing a sulfation cake.

The dissolution of the sulfation cake after separating the insoluble solids yields a concentrated pregnant solution. After reducing electrochemically the pregnant solution, the reduced pregnant solution is then subjected to chilling and crystallization of crystals of copperas (ferrous sulfate heptahydrate).

The process further comprises producing titanium by hydrolysate from the iron depleted solution thereby producing a vanadium-bearing pregnant solution.

The further concentration by evaporation and then a sequence of chilling and crystallization yields vanadyle sulfate pentahydrate to be purified or to be converted into various vanadium chemicals (AMV, APV, V_2O_5) that could be used as precursors for the preparation of vanadium electrolyte (VE) to be used for vanadium redox flow batteries (VRFB).

The process was invented by Dr. Francois CARDARELLI and it is entitled METALLURGICAL AND CHEMICAL PROCESSES FOR RECOVERING VANADIUM AND IRON VALUES FROM VANADIFEROUS TITANOMAGNETITE AND VANADIFEROUS FEEDSTOCKS was published originally under the PCT International Patent Application WO 2018/152628 (A1)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

1. INTRODUCTION

Ce nouveau procédé chimique "VanadiumCorp-Electrochem Procédé Technologique (VEPT)" permet de récupérer les valeurs du vanadium, du fer, du titane et de la silice à partir d'une multitude de matières vanadifères telles que la titanomagnétite vanadifère, les minerais de fer et leurs concentrés: comme la magnétite et l'hématite, les déchets industriels.

Le procédé consiste à digérer les matières vanadifères dans l'acide sulfurique concentré grâce à la réaction de sulfatation qui est exothermique et qui permet de fonctionner de manière quasi autogène tout en produisant un gâteau de sulfatation.

La dissolution du gâteau de sulfatation après séparation des solides insolubles donne une solution mère concentrée. Après réduction électrochimique de la solution, la liqueur est ensuite réduite et enfin soumise à une réfrigération suivit d'une cristallisation pour produire des cristaux de copperas (sulfate ferreux heptahydraté) et produit une solution appauvrie en fer.

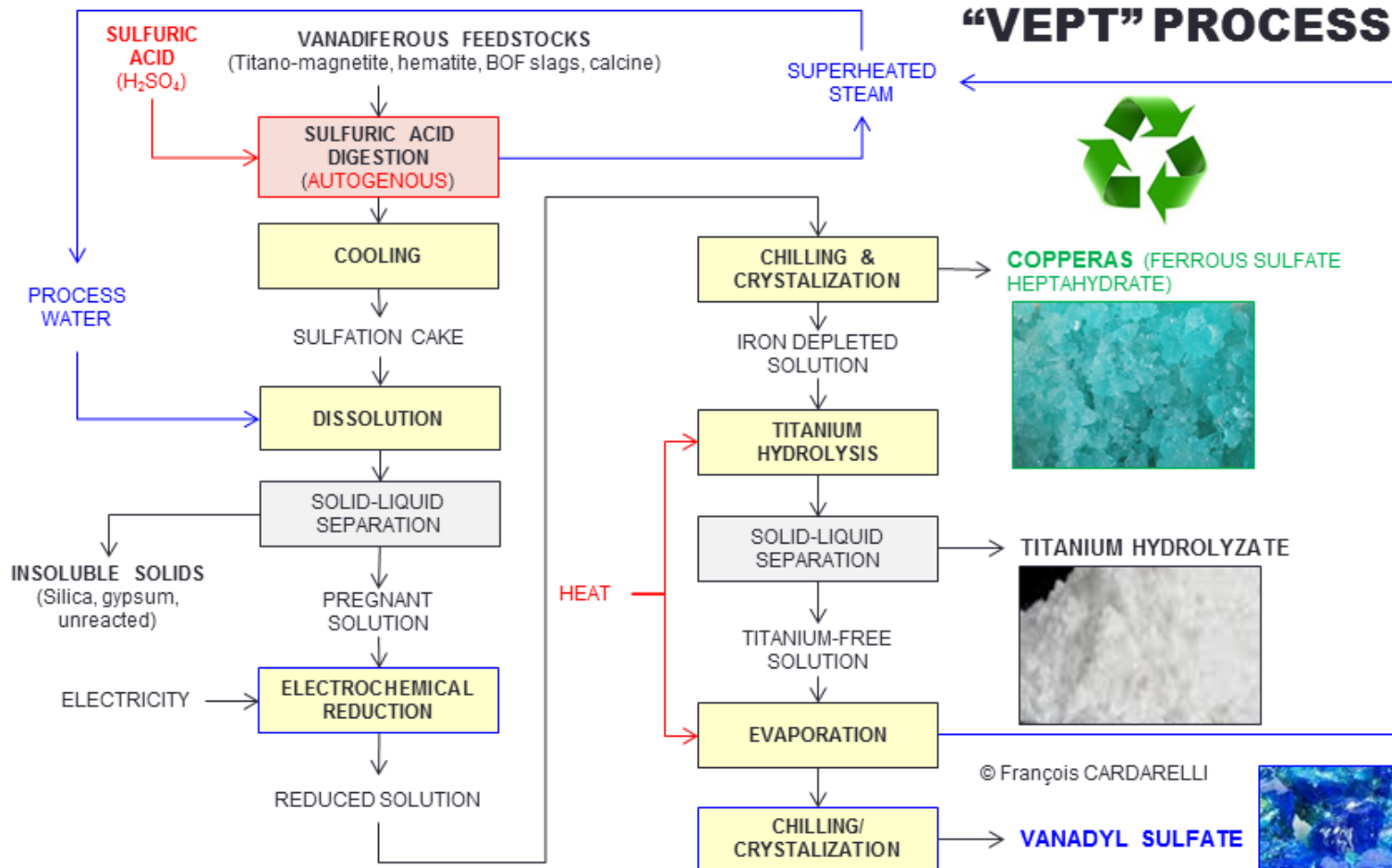
Le procédé comprend en outre l'élimination du titane par hydrolyse à partir de la solution appauvrie en fer, produisant ainsi une solution enrichie en vanadium.

La concentration ultérieure par évaporation, puis une séquence de refroidissement et de cristallisation donnent le sulfate de vanadyle qui reste à purifier ou divers produits chimiques dérivés du vanadium (AMV, APV, V_2O_5) qui pourront être utilisés comme précurseurs pour la préparation de l'électrolyte pour les batteries redox (VRFB).

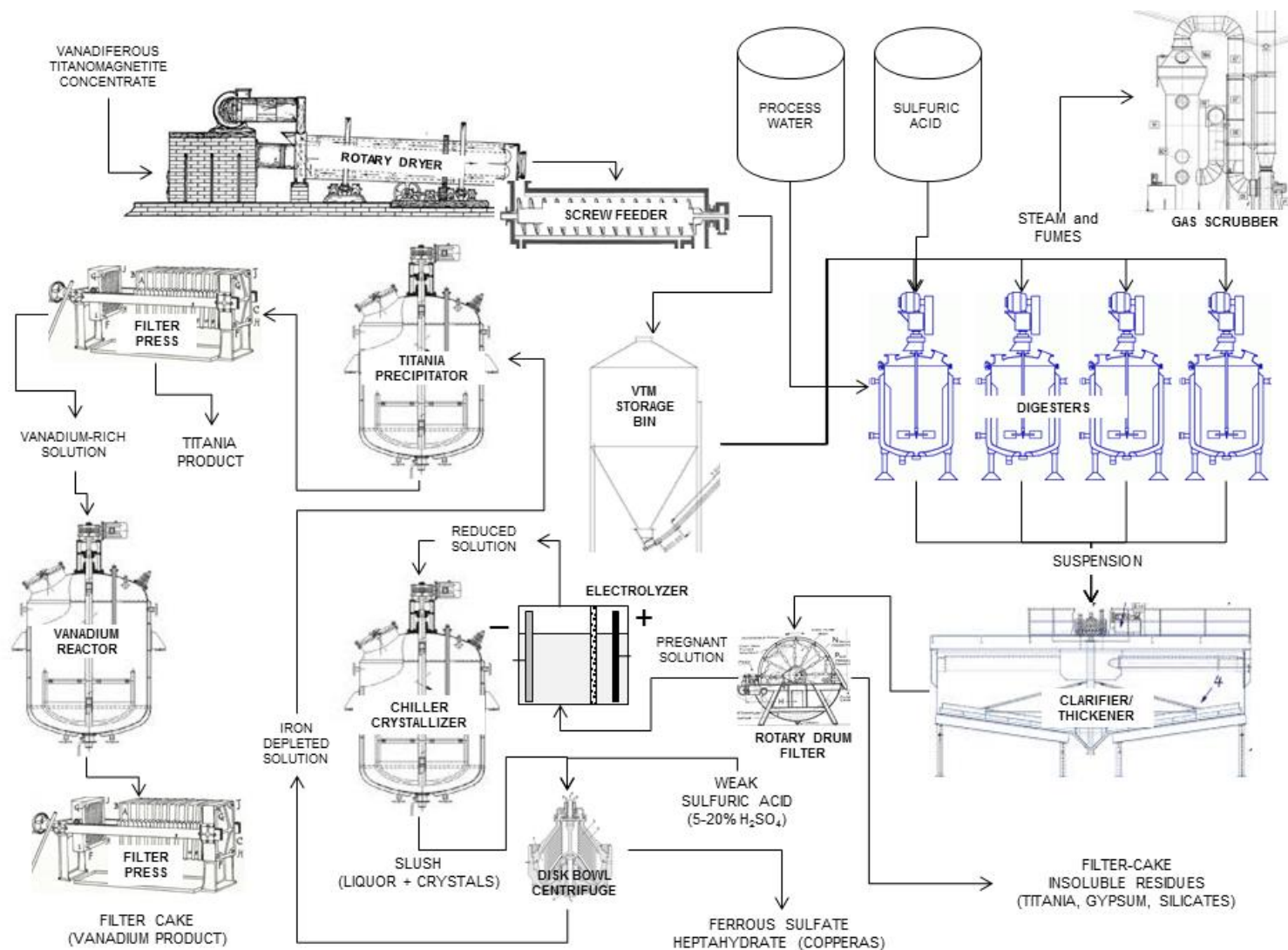
Le procédé a été inventé par Dr. François CARDARELLI et porte la dénomination METALLURGICAL AND CHEMICAL PROCESSES FOR RECOVERING VANADIUM AND IRON VALUES FROM VANADIFEROUS TITANOMAGNETITE AND VANADIFEROUS FEEDSTOCKS dont l'application internationale PCT WO 2018/152628 (A1) a été publiée.



“VEPT” PROCESS



METALLURGICAL AND CHEMICAL PROCESSES FOR RECOVERING VANADIUM AND IRON VALUES FROM VANADIFEROUS TITANOMAGNETITE AND VANADIFEROUS FEEDSTOCKS [Inventor: François CARDARELLI] PCT International Patent Application WO 2018/152628 A1



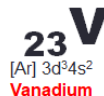
Reference: Cardarelli, F. - *Metallurgical and chemical process for recovering vanadium and iron values from vanadiferous titanomagnetite and vanadiferous feedstocks.* - [International Patent Application WO 2018/152628 \(A1\)](https://patents.google.com/patent/WO2018152628A1) and [US Patent Application US 2020/0157696 A1](https://patents.google.com/patent/US20200157696A1).



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

2. BACKGROUND and CURRENT SITUATION

50.9415

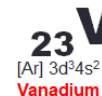


- The extraction of vanadium neglects the recovery of iron, titanium and silica during soda ash roasting
- Only the former Highveld process was addressing the recovery of iron values as pig iron
- Million of tons of calcine stockpiles by-produced from soda ash roasting are abandoned without any attempt to further processing them
- It requires the sourcing of chemicals and raw materials (coal, electrodes, soda ash, ammonia) overseas that impact the production cost significantly
- Significant water and energy consumptions
- Important carbon foot print due to the combustion taking place inside the rotary kiln using natural gas or pulverized coal as fuel
- The Highveld approach requires to build an integrated smelter requiring major capital investment
- Questionable profitability leads to the closure of the largest facilities worldwide (g, South Africa)

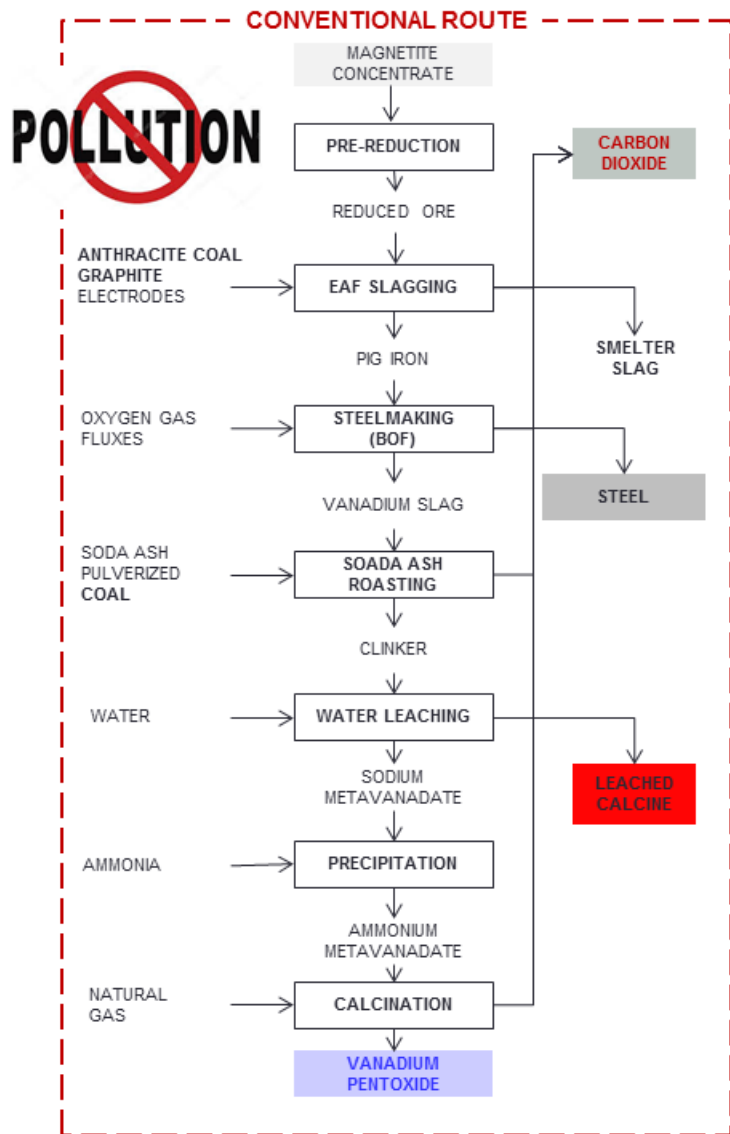
VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

2. FONDEMENTS et SITUATION ACTUELLE

50.9415



- L'extraction du vanadium néglige la récupération du fer, du titane et de la silice lors du grillage alcalin
- Seulement le procédé HIGHVELD produisait de la fonte afin de valoriser le fer et de fournir un acier de haute qualité
- Des quantités énormes de rejets issue du grillage alcalin sont entreposées sans aucun effort de recyclage
- La production de vanadium nécessite l'approvisionnement outremer en produits et matières premières (charbon, électrodes, ammoniac, soude) ce qui influence le coût de production de manière importante
- Consommations très importantes en eau et en énergie
- Empreinte carbone significative due à la combustion de gaz naturel ou charbon pulvérulent dans les fours rotatifs
- L'approche sidérurgique nécessite la construction d'une fonderie qui requiert des investissements de capitaux très importants
- Profitabilité restreinte ayant entraînée la fermeture de plusieurs usines à travers le monde comme en République Sud Africaine.



THE CURRENT SITUATION

- ❑ THE EXTRACTION OF VANADIUM NEGLECTS THE RECOVERY OF IRON, TITANIUM AND SILICA
- ❑ **ONLY** THE FORMER HIGHVELD PROCESS WAS ADDRESSING THE RECOVERY OF PIG IRON
- ❑ **MILLION OF TONNES OF CALCINE STOCKPILES** ARE ABANDONED WITHOUT FURTHER PROCESSING
- ❑ IT REQUIRES OVERSEAS **SOURCING** OF CHEMICALS AND RAW MATERIALS (COAL, ELECTRODES, AMMONIA)
- ❑ **SIGNIFICANT WATER AND ENERGY** CONSUMPTIONS
- ❑ IMPORTANT **CARBON FOOT PRINT**
- ❑ IT REQUIRES TO BUILD AN **INTEGRATED SMELTER**
- ❑ **QUESTIONABLE PROFITABILITY** LEADS TO THE CLOSURE OF THE LARGEST FACILITIES



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

3. CHALLENGES



- To extract vanadium while also recovering and monetizing all the iron, titanium and silica values
- To be applicable to a plethora of vanadiferous feedstocks in order to mitigate the sourcing
- To utilize affordable and available chemicals (e.g., sulfuric acid)
- To rely on a nearby source of chemicals and raw material to reduce transportation costs (e.g., smelters)
- To limit both water and energy consumptions
- To minimize the carbon foot print
- To use existing industrial equipment off-the-shelves
- To implement a cost affordable and proven technologies
- To allow the seamless vertical integration with **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** patented electrowinning process worldwide under a licensing agreement.
- To facilitate a rapid commercial deployment
- To become highly profitable after commissioning by monetizing all metal values

3. LES DÉFIS



- Extraire tout le vanadium mais aussi l'ensemble des valeurs de fer, le titane et de silice
- Doit être applicable à de nombreuses autres sources de vanadium afin de sécuriser l'approvisionnement
- Doit reposer sur l'utilisation de produits chimiques peu dispendieux et disponibles (e.g., acide sulfurique)
- Accès à une source locale pour ces produits afin de minimiser l'impact des coûts de transport (e.g., fonderies)
- Réduire drastiquement la consommation d'eau et d'énergie
- Minimiser l'empreinte carbone
- Utiliser des infrastructures et des équipements industriels existants
- Technologie abordable et prouvée.
- Doit permettre l'intégration verticale avec la technologie électrochimique brevetée mondialement par **ÉLECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATÉRIAUX INC.** Sous licence commerciale.
- Facile et rapide à implémenter commercialement
- Doit être très profitable rapidement après le démarrage tout en valorisant tous les métaux



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

4. PILOT TESTING

The pilot testing of the process was performed inside **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** own facilities using our proprietary equipment's and our custom build 15-gallon (60-liter) digester vessel with a nameplate processing capacity of 300 kg per month of titano-magnetite .

- Prototype and semi-pilot campaigns with magnetite completed
- Recovery of vanadium, copperas, titania and silica
- Sulfuric acid consumption close to stoichiometry
- Reduced water consumption
- Recovery of iron values as pure ferrous sulfate heptahydrate (copperas)
- Recovery of vanadium either as vanadyl sulfate, vanadium chemicals (AMV, APV) or vanadium pentoxide
- Benchmarking of other vanadiferous feedstocks (BOF slags, LD-slags, industrial residues, by-products)
- Preliminary costs and benefit analysis (CAPEX and OPEX) followed by a preliminary discounted cash flow financial analysis [Net Present Value (NPV), Internal rate of return, (IRR), Discounted payback period (DPB)]

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

4. ESSAIS PILOTES

Nous avons récemment effectué les essais pilotes dans les installations **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIAUX INC.** avec nos équipement exclusifs et notre digesteur de 60 litres (15-gallons) qui nous permet d'effectuer toutes les opérations unitaires requises par ce procédé chimique vert et innovant avec une capacité nominale de 300 kilogrammes par mois.

- Campagnes prototypes and semi-pilotes sur la magnétite et autres complétées
- Récupération du vanadium, du fer, du titane et de la silice
- Consommation d'acide sulfurique proche de la stœchiométrie
- Consommation d'eau réduite au minimum requis
- Récupération du fer sous forme de sulfate de fer heptahydrate (copperas)
- Récupération du vanadium: sulfate de vanadyle, pentoxyde de vanadium, et autres produits de vanadium (AMV, APV)
- Évaluation des autres sources de vanadium (laitiers sidérurgiques, scories, résidus industriels, sous-produits)
- Analyse technico-économique préliminaire (Investissement en capital, cout d'exploitation) suivie d'une analyse financière préliminaire par analyse des flux de trésorerie actualisés [Valeur actuelle nette (VAN), Taux de rendement interne (TRI), retour sur investissement (RSI)]



ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.
Industrial Electrochemistry – Electrochemical Processes – Materials



ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.
Industrial Electrochemistry – Electrochemical Processes – Materials



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM JOINTLY OWNED TECHNOLOGY

ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.
Industrial Electrochemistry – Electrochemical Processes – Materials



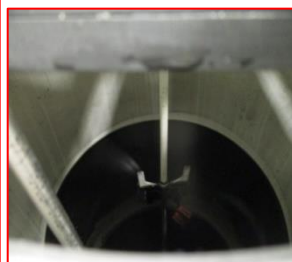


VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT) PILOT SULFATION DIGESTER

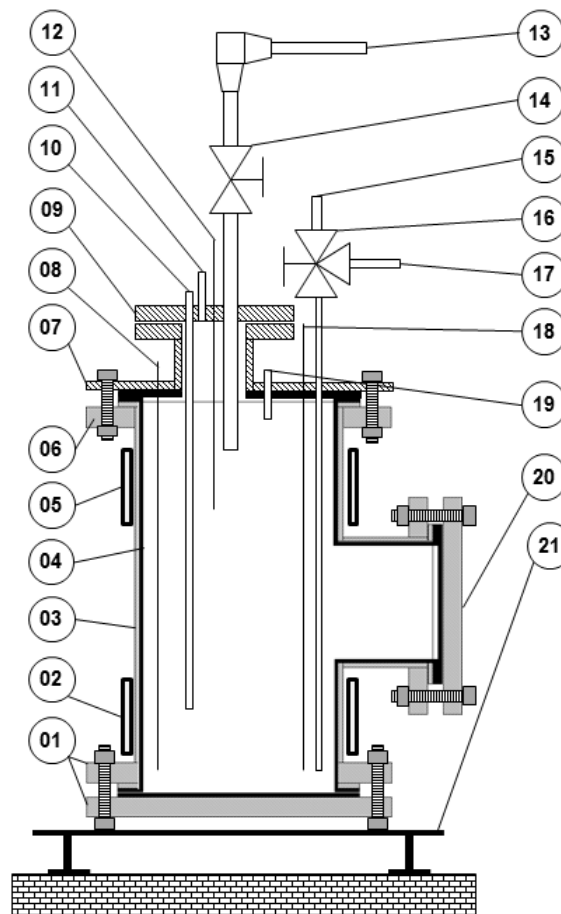
VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT) DIGESTEUR PILOTE DE SULFATATION

One 15-gallon (60-L) digester allow to:

- Process 10-kg material per batch per day and per digester
- A skid with 3 digesters ensures a nameplate capacity of:
 - Maximum: 900 kg per month (24/7 operation)
 - Minimum: 600 kg per month (8h/5 days per week)



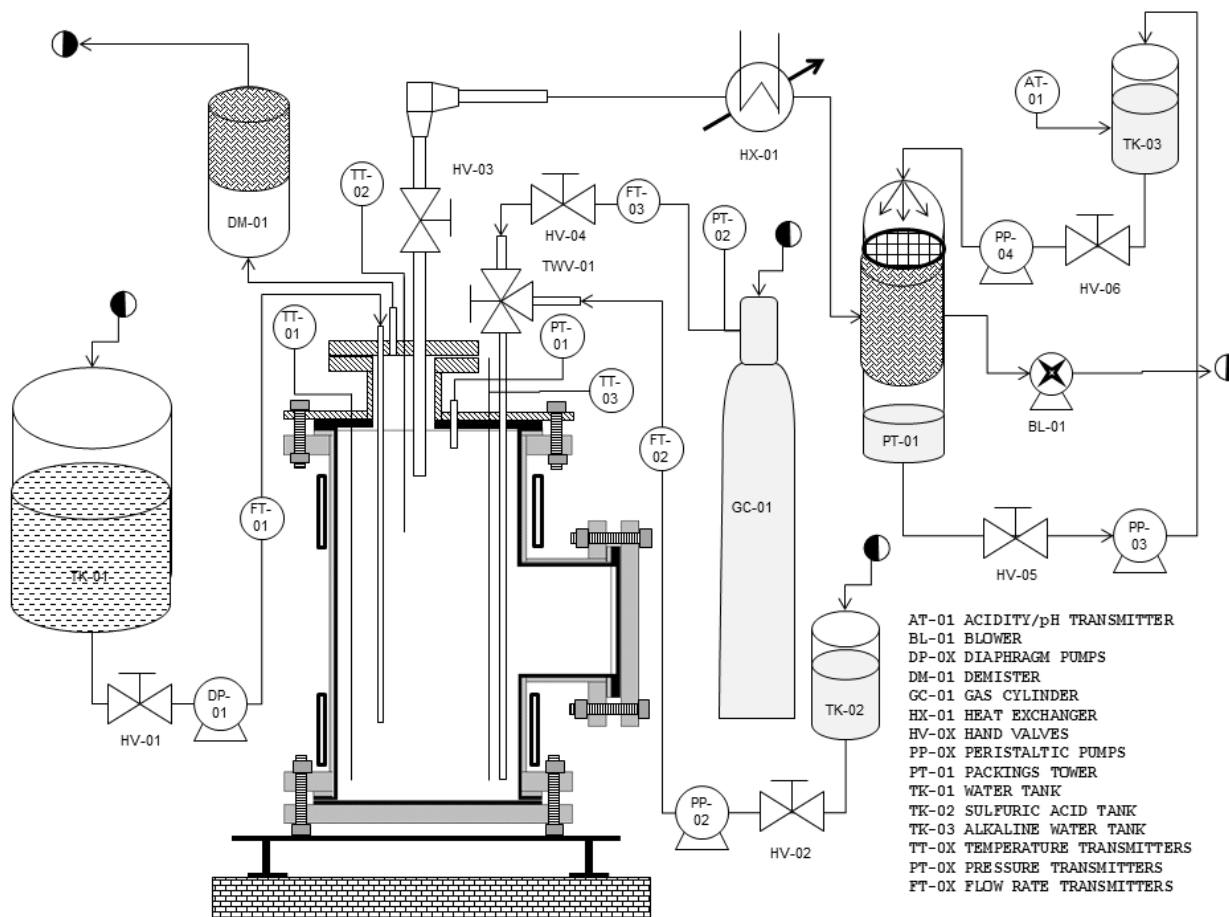
- 01 - BOTTOM CAST IRON FLANGES
- 02 - LOWER ELECTRIC BAND HEATER
- 03 - DUCTILE CAST IRON SHELL
- 04 - PTFE ¼-in INNER LINER
- 05 - UPPER ELECTRIC BAND HEATER
- 06 - TOP CAST IRON FLANGE
- 07 - TOP STAINLESS STEEL FLANGE
- 08 - THERMOCOUPLE PROBE #1
- 09 - AUXILIARY STAINLESS FLANGES
- 10 - INLET FEED PIPE
- 11 - PRESSURE RELIEVE VALVE
- 12 - THERMOCOUPLE PROBE #2
- 13 - STEAM/FUMES EXHAUST PIPE
- 14 - BALL VALVE
- 15 - GAS INJECTION LINE
- 16 - THREE-WAY VALVE
- 17 - WATER INJECTION LINE
- 18 - THERMOCOUPLE PROBE #3
- 19 - PRESSURE GAUGE PROBE
- 20 - SIDE MANHOLE
- 21 - SUPPORTING STEEL FRAME





**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM
 PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)
 PILOT SULFATION DIGESTER**

**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ
 TECHNOLOGIQUE (VEPT)
 DIGESTEUR PILOTE DE SULFATATION**

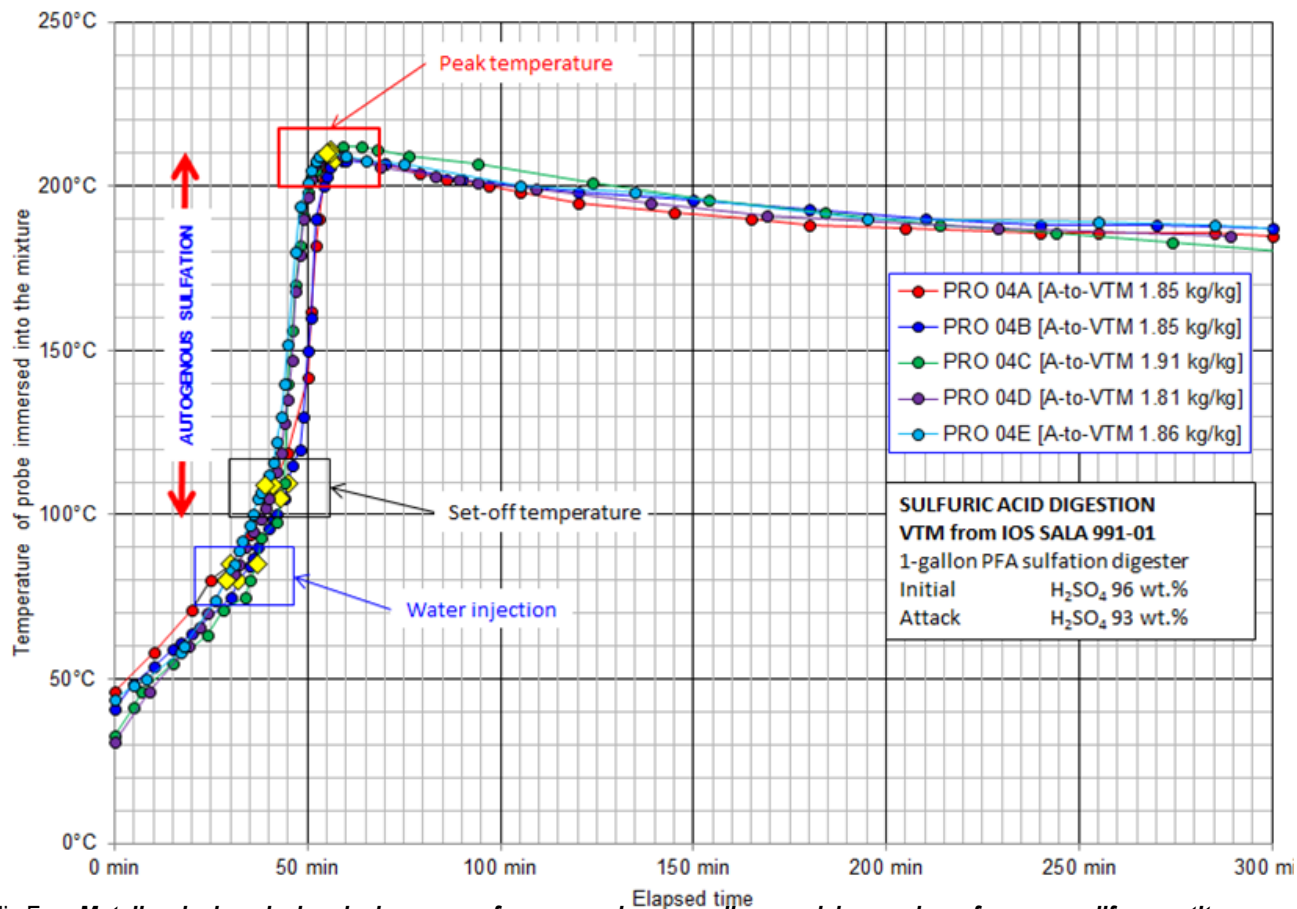


Reference: Cardarelli, F. - *Metallurgical and chemical process for recovering vanadium and iron values from vanadiferous titano-magnetite and vanadiferous feedstocks.* - [International Patent Application WO 2018/152628 \(A1\)](https://patents.google.com/patent/WO2018152628A1) and [US Patent Application US 2020/0157696 A1](https://patents.google.com/patent/US20200157696A1).



**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM
 PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)
 AUTOGENOUS SULFATION REACTION**

**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ
 TECHNOLOGIQUE (VEPT)
 RÉACTION DE SULFATATION AUTOGÈNE**

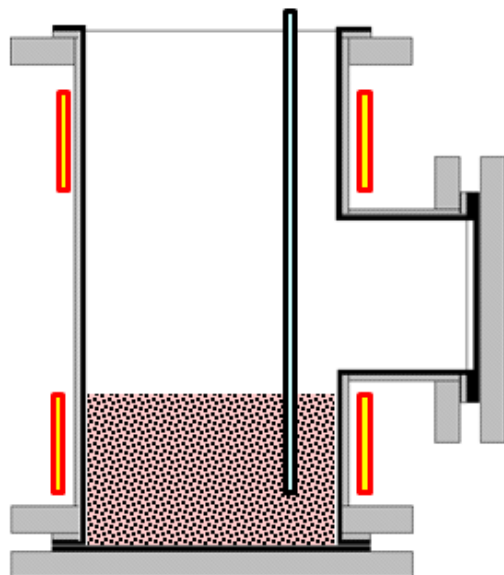


Reference: Cardarelli, F. - *Metallurgical and chemical process for recovering vanadium and iron values from vanadiferous titanomagnetite and vanadiferous feedstocks.* - [International Patent Application WO 2018/152628 \(A1\)](http://www.international-patent-application.com/WO2018152628A1) and [US Patent Application US 2020/0157696 A1](http://www.us-patent-application.com/US20200157696A1).



PHASE II 60-LITER DIGESTER MODE OF OPERATION

STEP 1 - SULFURIC ACID DIGESTION
180°C during 5 hours



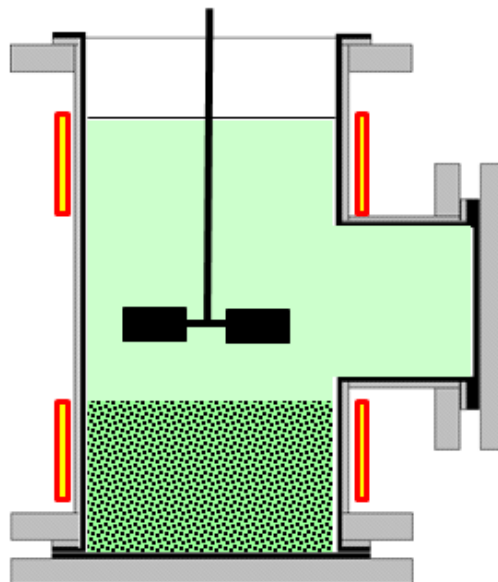
CHARGE (14 L max)

- 10 kg VTM
- 17 kg H₂SO₄ (96 wt.%)

SELF-SUSTAINED HEATING

- Set-off temperature: 110°C
- Water injection to reach 93 wt.%

STEP 2 - CAKE DISSOLUTION
80°C during 2 hours



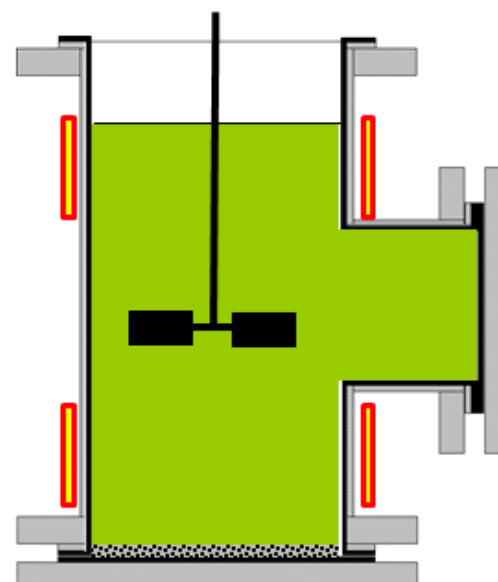
CHARGE (45 L max)

- 25 kg sulfation cake
- 2 x 25 kg weak acid (2 wt.%)

EXTERNAL HEATING

Reference: Cardarelli, F. - *Metallurgical and chemical process for recovering vanadium and iron values from vanadiferous titano-magnetite and vanadiferous feedstocks.* - [International Patent Application WO 2018/152628 \(A1\)](#) and [US Patent Application US 2020/0157696 A1](#).

STEP 3 - GRAVITY SETTLING
20°C during 24 hours





**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM
PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)
RECOVERY METHODS OF METAL VALUES**

**VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ
TECHNOLOGIQUE (VEPT)
MÉTHODES DE RÉCUPÉRATION DES METAUX**

1



PRECIPITATION

SILICA
 SiO_2

2



REDUCTION &
CRYSTALLIZATION

COPPERAS
Ferrous sulfate
heptahydrate
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

3



THERMAL
HYDROLYSIS

TITANIUM
HYDROLYSATE
 $\text{TiO}(\text{OH})_2$

4



CRYSTALLIZATION

VANADYLE
SULFATE
 $\text{VOSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

5



OXIDATION &
PRECIPITATION

VANADIUM
PENTOXIDE
 V_2O_5

Reference: Cardarelli, F. - *Metallurgical and chemical process for recovering vanadium and iron values from vanadiferous titanomagnetite and vanadiferous feedstocks.* - [International Patent Application WO 2018/152628 \(A1\)](#) and [US Patent Application US 2020/0157696 A1](#).



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

5. COMPARISON WITH ALKALINE ROASTING



ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. has also performed in 2016 independently and well before the VEPT the conventional processing of vanadium rich feedstocks from various origins including vanadium-rich slags, vanadiferous titano-magnetite, and vanadium-rich residues using the conventional approach used in the vanadium industry.

Electrochem Technologies & Materials Inc. was selected because our strong know-how in molten salts and high temperature alkaline and caustic processing capabilities.

The campaign consisted first to perform the pyro metallurgical treatment of 25-kg batches of raw materials by caustic fusion, soda ash roasting, alkaline roasting and salt roasting using our 12-kW shaft kiln.

The roasted or sintered material underwent hydrometallurgical operation units such as hot alkaline and hot acid leaching using counter current cascade leaching reactors and producing 75 liters per batch of pregnant leach solution (PLS).

Afterwards, vanadium was precipitated from the PLS either as ammonium metavanadate (AMV) (NH_4VO_3) or hydrated vanadium pentoxide ($\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 250\text{H}_2\text{O}$) or ammonium polyvanadate (APV) [$(\text{NH}_4)_2\text{V}_6\text{O}_{16}$].

This campaign was in line with our key expertise developed in-house over the years by our company for the metallurgical and chemical processing of metals of group VB(5) (V, Nb, Ta) and group VIB(6) (Cr, Mo, W). This test work allowed us to be able to identify the pitfalls and drawbacks of the conventional processing vs. the new innovative and disruptive VEPT processing.

5. COMPARAISON AVEC LE GRILLAGE ALCALIN



ÉLECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATÉRIAUX INC. a également effectué en 2016 bien avant le VEPT le traitement conventionnel de matières premières riches en vanadium d'origines diverses, notamment les scories et laitiers métallurgiques riches en vanadium, la titano-magnétite vanadifère et les résidus riches en vanadium, selon l'approche classique utilisée dans l'industrie du vanadium.

Electrochem Technologies & Matériaux Inc. a été choisi pour son savoir-faire en matière de sels fondus et ses capacités de traitement alcalin et caustique à haute température. La campagne a d'abord consisté à effectuer le traitement pyrométallurgique de lots de 25 kg de matières premières par fusion caustique, grillage alcalin, et grillage avec des sels, à l'aide de notre four de 12 kW.

Le matériau grillé ou fritté a été soumis à des opérations unitaires hydrométallurgique telles que la lixiviation alcaline et acide, à l'aide de réacteurs de lixiviation en cascade à contre-courant et produisant 75 litres par lot de solution de lixiviation en suspension (PLS).

Ensuite, le vanadium a été précipité sous forme de métavanadate d'ammonium (AMV) (NH_4VO_3) ou de pentoxyde de vanadium hydraté ($\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 250\text{H}_2\text{O}$) ou de polyvanadate d'ammonium (APV) [$(\text{NH}_4)_2\text{V}_6\text{O}_{16}$].

Cette campagne s'inscrivait dans le prolongement de notre savoir-faire développé au fil des années par notre société pour le traitement métallurgique et chimique des métaux du groupe VB (5) (V, Nb, Ta) et du groupe VIB (6) (Cr, M, W). Ce test nous a permis d'identifier les pièges et les inconvénients du traitement conventionnel par rapport au nouveau procédé innovant VEPT.



PYRO- & HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF VANADIUM FEEDSTOCK

©2016 ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.

©ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.

- **SODA ASH & SALT ROASTING [25 kg/batch]**
 - Optimized roasting agents, residence time, operating temperatures
 - Processing of V-rich slags, concentrates, wastes, and tailings
 - 12 kW-kiln operation and design
- **HOT ALKALINE & HOT ACID LEACHING [75 L/batch]**
 - Counter-current cascade leaching
 - Comparison of vanadium extraction and impurities removal
 - Desilication methods for pregnant leach solutions
- **SELECTIVE PRECIPITATION OF VANADIUM**
 - Precipitation of ammonium metavanadate (AMV) from alkaline solutions
 - Precipitation of hydrated vanadium pentoxide from acidic solutions
- **ELECTROWINNING OF METALLIC IRON or Fe-V DEPOSIT**
 - Electrowinning of iron from the produced sulfate-based solution

©2016 ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

6. PERFORMANCES

- Sulfuric acid digestion is quasi-autogenous
- Low sulfuric acid consumption close to stoichiometry
- Low water consumption with recycling
- Lower CO₂-emissions that are mostly related to the generation of utility steam
- No side reactions



7. COMMERCIAL PRODUCTS and BY-PRODUCTS

- Ferrous sulfate heptahydrate (copperas: FeSO₄.7H₂O)
- Vanadyl sulfate pentahydrate (VOSO₄.5H₂O)
- Titanium hydrolyzate [TiO(OH)₂]
- Silica

OPTIONAL: pure gypsum (CaSO₄.2H₂O) by-produced when processing calcia-rich BOF-slugs and LD-slugs

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

6. PERFORMANCES

- La digestion est quasi-autogène
- La consommation d'acide est proche de la stoechiométrie
- Production horaire élevée
- Moins d'émissions de CO₂
- Pas de réactions parasites



7. PRODUITS et SOUS -PRODUITS

- Sulfate ferreux heptahydraté (COPPERAS: FeSO₄.7H₂O)
- Sulfate de vanadyle (VOSO₄.5H₂O)
- Produits hydrolysés de titane [TiO(OH)₂]
- Silice

OPTIONEL: gypse (CaSO₄.2H₂O)[sous produit obtenu avec les laitiers de convertisseurs basiques et de laitiers de type Linz-Donnavitz]





VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)

8. TECHNICAL BENEFITS



- Usually 95% of the titano-magnetite goes into solution
- VEPT recovers vanadium, copperas, titanium and silica values
- VEPT relies on sulfuric acid which is readily available from nearby smelters especially in the Province of Quebec
- The sulfation reaction of magnetite is exothermic thus it allows a quasi-autogenous operation without need to provide external heat during the digestion
- The process exhibits both reduced water and energy consumptions
- The process is a much lower carbon dioxide emitter than the conventional salt roasting
- VEPT uses digesters, crystallizers, centrifuges that are existing industrial equipment
- The production of copperas allows the seamless vertical integration by licensing of **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** patented iron electrowinning process for jurisdictions having access to cheap electricity
- Profitability is ensured because all the metal values are monetized while targeting a zero discharge approach

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

8. LES AVANTAGES TECHNOLOGIQUES



- Couramment 95% de la titano- magnétite passe totalement en solution
- Le VEPT permet la récupération des valeurs de vanadium, de fer, de titane et de silice
- Le procédé VEPT repose sur l'utilisation de l'acide sulfurique qui est largement disponible depuis des fonderies ceci étant particulièrement le cas au Québec
- La réaction de sulfatation de la magnétite est exothermique et permet ainsi d'opérer de manière quasi-autogène sans apport d'énergie extérieure durant la digestion
- Les consommations d'eau et d'énergie sans trouve donc réduites
- Le procédé VEPT émet moins de dioxyde de carbone que le procédé conventionnel de grillage
- Le procédé VEPT repose sur l'utilisation de digesteurs, de cristallisoirs, de centrifugeuses qui sont des équipements industriels connus et existants
- La production de copperas permet l'intégration verticale avec une licence de la technologie électrochimique brevetée **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATÉRIAUX INC.**
- La profitabilité est assurée car tous les métaux sont valorisés et les effluents réduit au stricte minimum



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

9. FEEDSTOCKS and RAW MATERIALS PROCESSABILITY



For the sake of clarity, it is important to mention that not all the vanadium feedstocks are equivalent and some are not necessarily suitable to be processed by the VEPT.

The VEPT addresses and targets mainly iron-rich and low grade vanadium vanadiferous materials while vanadium-rich raw materials containing low concentrations of iron and titanium such as spent catalysts, spent residues from oil refineries or containing more than 30 wt.% V_2O_5 are usually better processed using the conventional alkaline roasting or by the salt roasting routes.

Actually, the major limitations are usually the high carbon content (C), the free alkalinity (Na_2O) and the basicity (CaO , MgO). The first requires a specific treatment that poses certain environmental issues while the two later consume irretrievably sulfuric acid values unless there is a particular economical interest locally for selling the sodium sulfate dodecahydrate (Glauber's salt), the gypsum and the magnesium sulfate heptahydrate that are by-produced



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

8. MATIÈRES PREMIÈRES QUI PEUVENT ETRE TRAITÉES



Par souci de clarté, il est important de mentionner que toutes les matières premières à base de vanadium ne sont pas équivalentes et que toutes ne peuvent pas être traitées par la technologie VEPT.

Le VEPT s'adresse principalement aux matières riches en fer et à faible teneur en vanadium, tandis que les matières premières riches en vanadium contenant de faibles concentrations de fer et de titane, telles que les catalyseurs usés, les résidus de raffineries de pétrole ou contenant plus de 30% en poids de V_2O_5 , sont généralement mieux traitées par la voie conventionnelle de grillage alcalin ou salin.

En effet, les principales limites sont généralement liées à la teneur élevée en carbone (C), l'alcalinité libre (Na_2O) et la basicité (CaO , MgO). La première nécessite un traitement qui pose certains problèmes environnementaux tandis que les deux derniers consomment de manière irréversible des valeurs d'acide sulfurique, sauf s'il existe un intérêt économique particulier pour la vente locale de sulfate de sodium dodécahydraté (sel de Glauber), de gypse et de sulfate de magnésium heptahydraté qui seront produits.



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESSING TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

10. ENVIRONMENTAL BENEFITS



DISRUPTIVE PROCESS

- Lower-carbon foot-print compared to roasting route
- Reduced number of chemicals involved
- Low water consumption
- Low energy consumption

ROBUST AND EFFICIENT PROCESS

- Applicable to various feeds (by-products, slags, residues, wastes)
- High efficiencies & elevate recovery yields
- Wide operating span

SUSTAINABLE TECHNOLOGY

- recycling of various streams
- reduces wastes volumes
- small foot-print

10. LES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX



PROCÉDÉ INNOVANT

- Plus faible empreinte carbone que le grillage
- Nombres de produits chimiques réduits
- Faible consommation d'eau
- Faible consommation d'énergie

TECHNOLOGIE ROBUSTE ET EFFICACE

- Applicable à de nombreuses matières premières
- Taux de récupération & rendements élevés
- Large domaine d'opération

TECHNOLOGIE PROPRE

- recyclage des intrants
- réduction du volume des déchets
- faible encombrement au sol



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

11. ECONOMIC BENEFITS



COSTS & BENEFITS

- Low CAPEX and low OPEX vs. Roaster with smelters
- Low capital intensity (CAPEX per unit mass of production capacity)
- High profitability for targeted jurisdictions (Canada, Scandinavia, India, RSA)

COMMERCIAL DEPLOYMENT

- Existing industrial sulfation digesters (with capacities up to 150 m³ per tower)
- Modular design
- Brownfield implementation
- Rapid expansion

COMPETITIVE ADVANTAGE FROM ELECTROCHEM

- Materials selections and equipment's
- Pilot testing & training of staff
- Exclusive technical support on-site

11. BENEFICES ECONOMIQUES



COUTS ET BÉNÉFICES

- Faible investissement en capital et faible couts d'exploitation
- Faible capital spécifique (CAPEX par unité de masse de capacité nominale)
- Profitabilité élevée pour des localisations ciblés (Canada, Scandinavie, Inde, RSA)

DÉPLOIEMENT COMMERCIAL

- Digesteurs disponibles commercialement (avec un volume par tour allant jusqu'à 150 m³)
- Conception modulaire
- Installation sur site préexistant
- Agrandissement rapide

AVANTAGES COMPÉTITIFS OFFERT PAR ELECTROCHEM

- Sélections des matériaux et des équipement
- Essais pilotes & formation du personnel
- Support technique exclusif sur site

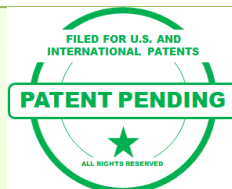


VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCÉDÉ TECHNOLOGIQUE (VEPT)

11. INTELLECTUAL PROPERTY

SOLD TO VANADIUMCORP



VanadiumCorp Resource Inc. (www.vanadiumcorp.com) and Electrochem Technologies & Materials Inc. (www.electrochem-technologies.com) jointly developed the VEPT and **in November, 2020 VANADIUMCORP RESOURCE INC. purchased all the intellectual property rights for the patented pending technology worldwide.**

GET A COMMERCIAL LICENSE OR BUY A PATENT

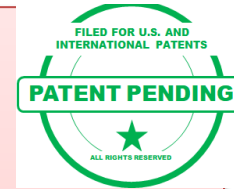
Contact directly **VANADIUMCORP RESOURCE INC.** (www.vanadiumcorp.com) regarding the purchase of a license and/or to buy the technology worldwide.

EXCLUSIVE TESTING & PILOTING

- ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** (www.electrochem-technologies.com) will remain the exclusive contractor/consultant for the continued development of VEPT subject to standard work agreements, budgets and approvals.
- ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** will undertake test work for other companies wishing to utilize the VEPT process, provided the companies understand that licensing will ultimately be required and negotiated with VanadiumCorp.

11. PROPRIETES INTELLECTUELLE

VENDUE A VANADIUMCORP



VanadiumCorp Resource Inc. (www.vanadiumcorp.com) et Electrochem Technologies & Matériaux Inc. (www.electrochem-technologies.com) ont développés conjointement le VEPT et **en novembre 2020 VANADIUMCORP RESOURCE INC. a racheté tous les droits de la propriété intellectuelle de la nouvelle technologie pour le monde entier.**

OBTENIR UNE LICENCE COMMERCIALE OU UN BREVET

VANADIUMCORP RESOURCE INC. (www.vanadiumcorp.com) doit être contacté à propos de l'achat de licences ou des brevets dans le monde entier.

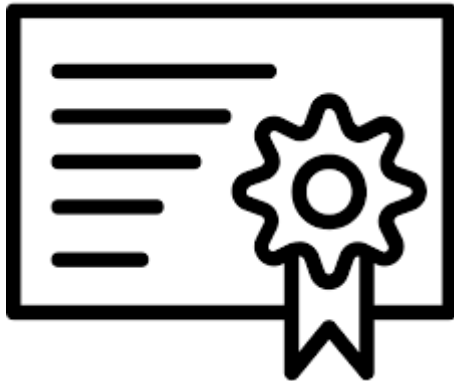
ESSAIS & PILOTAGE EXCLUSIF

- ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATÉRIAUX INC.** reste le contractant / consultant exclusif pour le développement continu de VEPT sous réserve des accords de travail standard, des budgets et des approbations.
- ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATÉRIAUX INC.** entreprendra des travaux de test pour d'autres entreprises souhaitant utiliser le processus VEPT, à condition que les entreprises comprennent qu'une licence sera finalement requise et négociée avec VanadiumCorp.



VANADIUMCORP
INFINITE CLEAN ENERGY

**PURCHASES PATENTS AND
ALL INTELLECTUAL
PROPERTY RIGHTS FOR THE
“VANADIUMCORP-ELECTROCHEM
PROCESSING TECHNOLOGY”**



MAGNETITE



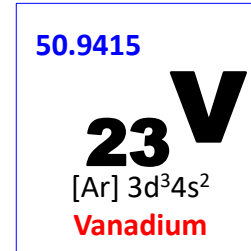
BY-PRODUCTS



COPPERAS



TITANIUM
HYDROLYZATE



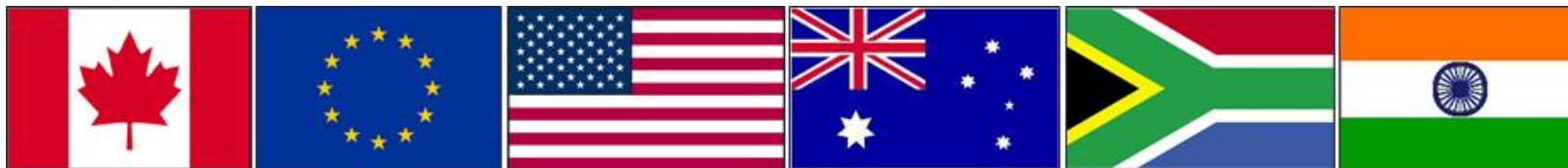
EPT



VANADYLE
SULFATE



VANADIUM
PENTOXIDE



(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
 International Bureau

(41) International Publication Date
 30 August 2018 (30.08.2018)

(31) International Application Number
 WO 2018/152628 A1

(51) International Patent Classification:
 C22B 1/00 (2006.01) C22B 1/04 (2006.01)
 C22B 1/02 (2006.01) C22B 7/00 (2006.01)
 C22B 21/00 (2006.01) C22B 14/22 (2006.01)
 C22B 31/00 (2006.01)

(71) Applicant: VANADIUMCORP RESOURCES INC.
 (CA/CA2), Suite 400, 1505 West 2nd Avenue, Vancouver, British Columbia V6H 3V4 (CA); ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. (CA/CA2), 2037 Auld Avenue, Suite 201, Montreal, Quebec H1V 2V9 (CA).

(72) Inventor: CARDARELLI, François, 2037 Auld Avenue, Suite 201, Montreal, Quebec H1V 2V9 (CA).

(74) Agent: BENOÎT & CÔTÉ INC., 300-500 Crémazie Blvd. East, Montreal, Quebec H2P 1E8 (CA).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AU, AT, AZ, BA, BB, BG, BR, BN, BU, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GE, GR, GM, GN, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LI, LR, LS, LU, LV, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MU, MV, MW, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PK, PL, PT, QA, RO, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SN, SV, SY, TD, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VE, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

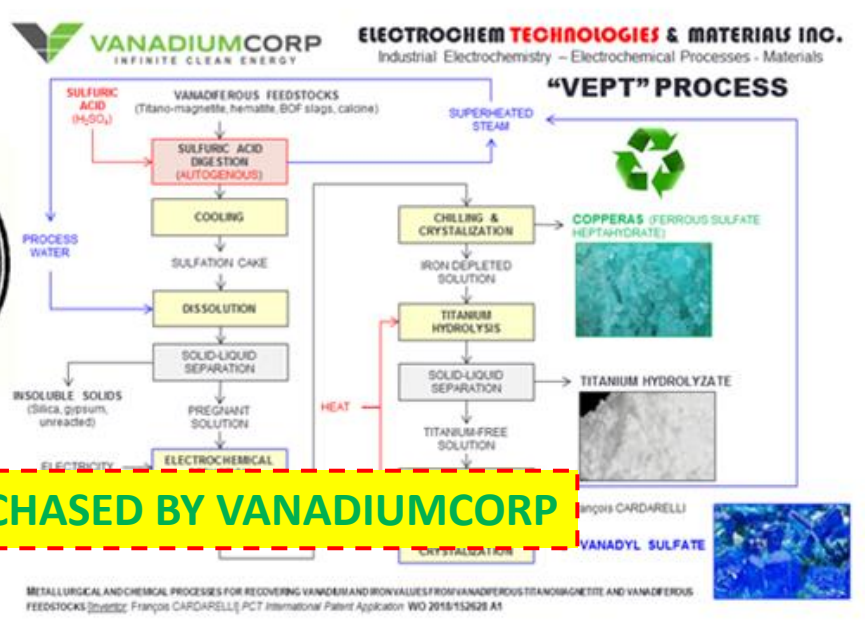
(54) Title: METALLURGICAL AND CHEMICAL PROCESSES FOR RECOVERING VANADIUM AND IRON VALUES FROM VANADIFEROUS TITANOMAGNETITE AND VANADIFEROUS FEEDSTOCKS

(57) Abstract: The present disclosure broadly relates to a process for recovering vanadium, iron, titanium and silica values from vanadiferous feedstocks. More specifically, but not exclusively, the present disclosure relates to a metallurgical process in which vanadium, iron, titanium and silica values are recovered from vanadiferous feedstocks such as vanadiferous titanomagnetite, iron-ore, vanadium slag and industrial sulfuric acid. A pregnant solution is produced which is then used to produce vanadium pentoxide, iron sulfate, titanium sulfate and silica.

(Continued on next page)

VANADIUMCORP
 INFINITE CLEAN ENERGY

ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.
 Industrial Electrochemistry – Electrochemical Processes – Materials



ALL PATENT IP RIGHTS PURCHASED BY VANADIUMCORP



VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCESS TECHNOLOGY (VEPT)

VANADIUMCORP-ELECTROCHEM PROCEDE TECHNOLOGIQUE (VEPT)

CONTACT INFORMATION



If you are interested please contact us by email:

- For exclusive testing and piloting
("Electrochem")

technologies@electrochem-technologies.com

- For purchasing a license/patent
("VanadiumCorp")

info@vanadiumcorp.com

NOUS CONTACTER



Si vous êtes intéressé veuillez nous contacter par courriel:

- Pour des essais pilotes exclusifs
("Electrochem")

technologies@electrochem-technologies.com

- Pour acheter une licence/brevet
("VanadiumCorp")

info@vanadiumcorp.com

ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.

HEADOFFICE

2037 AIRD AVENUE, SUITE 201
MONTRÉAL (QC) H1V 2V9
CANADA

R&D LABORATORY & FACILITIES

75 DE MORTAGNE BLVD C.P. 112
BOUCHERVILLE (QC) J4B 6Y4
CANADA

Corporation Number: 794872-7
NEQ: 1167876276