

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 46515 B1** (51) Cl. internationale : **B01J 19/24; C01B 3/06; B22F 9/30; B01J 8/06**
- (43) Date de publication : **28.10.2020**

- 
- (21) N° Dépôt : **46515**
- (22) Date de Dépôt : **10.10.2017**
- (30) Données de Priorité : **17.10.2016 EP 16194074**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/EP2017/075804 10.10.2017**
- (71) Demandeur(s) : **ETH Zurich, Raemistrasse 101/ETH Transfer 8092 Zurich (CH)**
- (72) Inventeur(s) : **STEINFELD, Aldo ; FURLER, Philipp ; HASELBACHER, Andreas ; GEISSBÜHLER, Lukas**
- (86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: **EP17780764.1**
- (74) Mandataire : **ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)**

- 
- (54) Titre : **SYSTÈME DE RÉACTEUR THERMOCHEMIQUE POUR PROCÉDÉ CYCLIQUE À VARIATION DE TEMPÉRATURE À RÉCUPÉRATION DE CHALEUR INTÉGRÉE ET SON PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT**
- (57) Abrégé : La présente invention concerne un système de réacteur thermochimique pour un procédé cyclique à variation de température à récupération de chaleur intégrée comprenant au moins deux modules, chaque module comprenant au moins une zone de réaction chimique (CRZ) et au moins une unité de stockage d'énergie thermique (TES), lesdits au moins deux modules étant fonctionnellement raccordés pour qu'au moins un fluide de transfert de chaleur (HTF) transporte de la chaleur entre les deux modules, chaque zone de réaction chimique (CRZ) comprenant au moins un matériau de réaction qui subit de manière réversible une réaction endothermique à la température Tendo et une réaction exothermique à la température Texo, Tendo et Texo différant l'une de l'autre, ledit au moins un matériau de réaction étant disposé dans au moins une encapsulation à l'intérieur de chacune des zones de réaction chimique (CRZ) de telle sorte qu'un contact du matériau de réaction et du ou des fluides de transfert de chaleur est évité. La présente invention concerne en outre un procédé de fonctionnement dudit système de réacteur.

REVENDICATIONS

1. Système de réacteur thermochimique pour un processus cyclique à variation de température à récupération de chaleur intégrée comprenant
  - au moins deux modules, dans lequel chaque module comprend au moins une zone de réaction chimique (CRZ) et au moins une unité de stockage d'énergie thermique (TES),
  - dans lequel les au moins deux modules sont reliés de manière est exploitée pour au moins un fluide de transfert de chaleur (HTF) permettant le transport de chaleur entre les deux modules,
  - dans lequel chaque zone de réaction chimique (CRZ) comprend au moins un matériau de réaction qui subit d'une manière réversible une réaction endothermique à la température  $T_{\text{endo}}$  et une réaction exothermique à la température  $T_{\text{exo}}$ , dans lequel  $T_{\text{endo}}$  et  $T_{\text{exo}}$  sont différentes l'une de l'autre,
  - dans lequel l'au moins un matériau de réaction est fourni dans au moins une encapsulation à l'intérieur de chacune des zones de réaction chimique (CRZ) de telle sorte qu'un contact du matériau de réaction et de l'au moins un fluide de transfert de chaleur est évité.
2. Système de réacteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'au moins une encapsulation contenant le matériau de réaction est agencée de manière perpendiculaire, parallèle ou dans un autre angle quelconque par rapport à la direction d'écoulement de l'HTF à travers l'au moins une zone de réaction chimique.
3. Système de réacteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'au moins une

encapsulation est fournie sous la forme d'au moins un tube, un faisceau de tubes ou une chambre.

4. Système de réacteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau de réaction est fourni dans au moins deux encapsulations, de préférence trois, quatre ou plus.
5. Système de réacteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins deux, de préférence au moins trois matériaux de réaction ayant des températures de réduction/oxydation différentes ou des températures d'adsorption/désorption différentes ou des températures de carbonisation/décarbonation différentes sont utilisées, dans lequel les différents matériaux de réaction sont agencés en série le long de la direction d'écoulement de l'HTF.
6. Système de réacteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que chacun des différents matériaux de réaction est agencé dans un tube ou un empilement de telle sorte qu'un gradient de température est créé entre les différents matériaux de réaction.
7. Système de réacteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le fluide de transfert de chaleur (HTF) est l'air, le dioxyde de carbone, l'hélium, la vapeur, un sel fondu, des métaux fondus, du verre fondu, l'azote, l'argon, des huiles synthétiques.
8. Procédé de fonctionnement du système de réacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une des deux zones de réaction chimique est exploitée à la température  $T_{\text{endo}}$  de la réaction endothermique et que l'autre zone de réaction chimique est exploitée à la température  $T_{\text{exo}}$  de la

réaction exothermique du matériau de réaction, dans lequel la chaleur requise pour les zones de réaction chimique est fournie au moyen d'un fluide de transfert de température.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une des deux zones de réaction chimique est exploitée à la température de réduction  $T_{red}$  et que l'autre zone de réaction chimique est exploitée à la température d'oxydation  $T_{ox}$  d'un oxyde de métal utilisé en tant que matériau de réaction, en ce qu'une des deux zones de réaction est exploitée à la température de carbonation  $T_{carb}$  et que l'autre zone de réaction chimique est exploitée à la température de décarbonation  $T_{decarb}$  du matériau de réaction.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'oxyde de métal en tant que matériau de réaction est utilisé pour la conversion d'eau et de dioxyde de carbone en gaz de synthèse comprenant de l'hydrogène et du monoxyde de carbone ou pour la conversion de méthane, d'eau et de dioxyde de carbone en gaz de synthèse comprenant de l'hydrogène et du monoxyde de carbone, en ce que l'oxyde de métal en tant que matériau de réaction est utilisé pour la conversion d'eau et de dioxyde de carbone en hydrocarbures en particulier  $CH_4$  ou en ce que l'oxyde de métal en tant que matériau de réaction est utilisé pour la séparation d'oxygène à partir de l'air ou à partir de tout autre mélange de gaz.
11. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une des deux zones de réaction chimique est exploitée à la température d'adsorption  $T_{adsorp}$  et que l'autre zone de réaction chimique est exploitée à la température de désorption  $T_{desorb}$  du matériau de réaction.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que le matériau de réaction d'adsorption/désorption est utilisé pour la séparation de dioxyde de carbone et/ou d'eau à partir d'air ou à partir de tout autre mélange de gaz contenant l'un ou l'autre de ces composés.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que la température et le profil de température (thermocline) des zones de réaction chimique est en outre commandé et maintenu par l'extraction, le chauffage et l'injection du fluide de transfert de chaleur chauffé à des positions différentes le long des zones de réaction chimique et/ou des unités de stockage d'énergie thermique.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 13, caractérisé en ce que la température et le profil de température des zones de réaction chimique est en outre commandé et maintenu par l'extraction de l'HTF à partir d'une position quelconque de l'unité TES afin de transporter la chaleur stockée dans la zone de réaction chimique respective.
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 alors américain à 14 caractérisé ce que le profil de température à l'intérieur d'un module est accentué par l'injection de HTF à une position intermédiaire du profil de température coupant une certaine partie du profil de température, et/ou en ce que le profil de température est commandé par l'extraction de l'HTF à un port d'un module et sa réinjection à un autre port d'un module.