Productietechnologie voor het kostenefficiënt opschalen van waterstof

11 juni 2021, 02:00

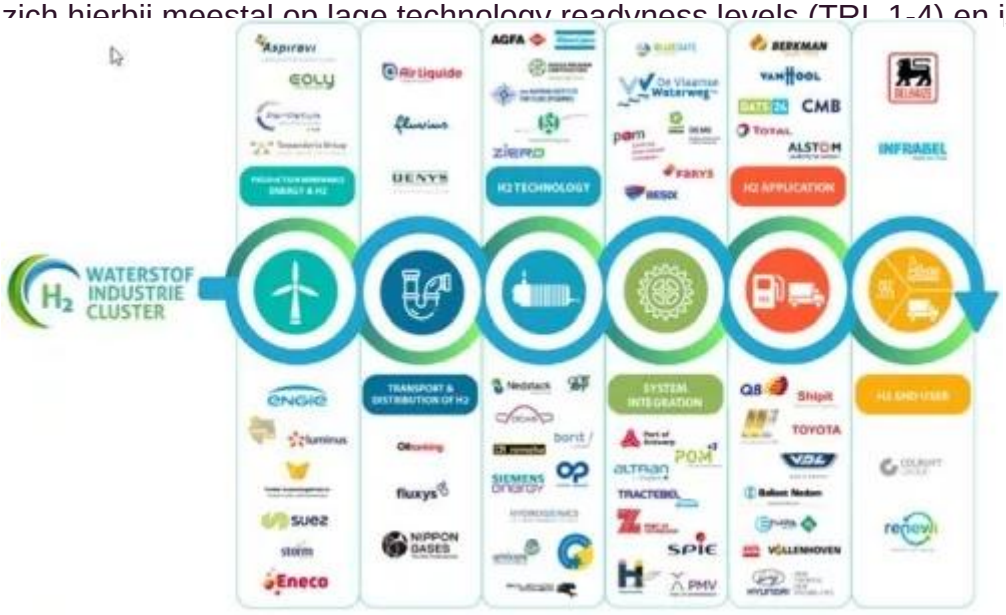
Bart Verlinden

Geavanceerde productietechnologie ligt aan de basis van kostenefficiënt opschalen van waterstof richting massaproductie of innovaties die de performantie ervan verhogen. Sirris analyseert de noden van Belgische bedrijven en de mogelijkheden van recente productietechnologieën en testmogelijkheden om te bekijken waar dienstverlening deze groeisector kan ondersteunen.

De interesse in duurzaam geproduceerde, koolstofarme en hernieuwbare waterstof en het gebruik ervan als sleutel om milieu- en klimaatdoelstelleningen te realiseren neemt sterk toe. Vlaanderen heeft als regio alle troeven in huis om een toppositie in te nemen binnen Europa in de uitrol van de waterstofeconomie. De waardeketen kent diverse spelers betrokken in de productie van groene energie, de productie, het transport en de opslag van waterstof, spelers actief in waterstoftechnologie en -toepassingen tot de uiteindelijke eindgebruikers.

Vele ontwikkelingen zitten nog in een demonstratiefase. Opschaling ervan is niet alleen belangrijk voor het realiseren van voldoende capaciteit voor het behalen van klimaatdoelstellingen, maar ook voor het reduceren van de kostprijs en investeringskosten. De Vlaamse waterstofstrategie 2025 - 2030 geeft een overzicht van de uitdagingen om van fossiele waterstof (vandaag ~ 95%) over te gaan naar koolstofarme waterstof tegen 2030 (met commercieel haalbare en stabiele oplossingen).

Dit artikel geeft een overzicht van enerzijds de nood aan productietechnologieën voor het opschalen van waterstof en een aantal voorbeelden, en anderzijds recent onderzoek in productietechnologie gericht op het verhogen van de performantie. Academisch onderzoek richt zich hierbij meestal op lage technology readyness levels (TRL 1-4) en is weinig industriegericht.

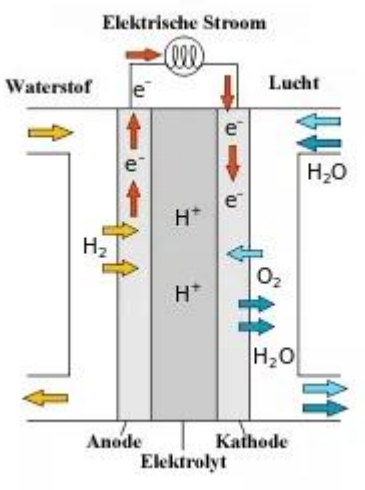


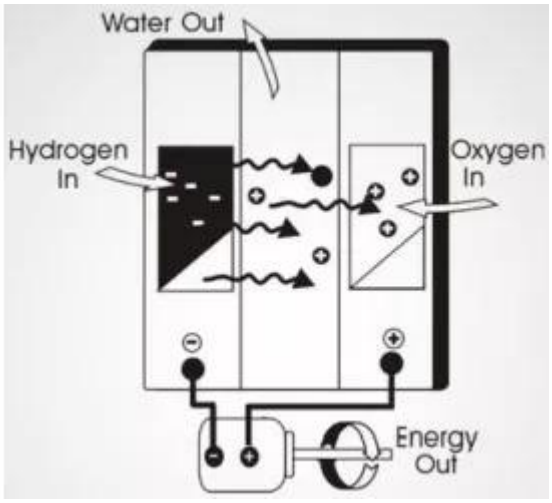
De H_2waardeketen
(Bron: Waterstofnet)

Kosteneffectief opschalen van sleutelcomponenten naar massaproductie

Het systeemontwerp en een optimale ‘balance of plant’ van een brandstofcel omvat alle noodzakelijke subsystemen en componenten met inachtneming van functie, beschikbaarheid, kosten en duurzaamheid gedurende de levensduur van de brandstofcel (bijv. de stack, lucht- en waterstoftoevoer, koeling, vermogen elektronica en systeemcontrole). Elke producent van brandstofcellen ontwikkelt een eigen systeem voor verschillende toepassingen (nog geen standaardisatie). Zo ontwikkelt Solenco in Vlaanderen de Solar Energy Conversion Powerbox™, een efficiënte waterstofbrandstofcel als energieopslagsysteem voor huizen en gebouwen voor de elektriciteit- en warmtegeneratie. De Powerbox werd gevalideerd en gedemonstreerd in een relevante omgeving en zit in de fase van industriële opschaling naar een kosteneffectieve productie.

Er is nog geen massaproductie van brandstofcellen. Voor een middenklassewagen met 100 kW bedraagt de kost ongeveer 10.000 €. Kostenreductie is nodig voor een verdere doorbraak.



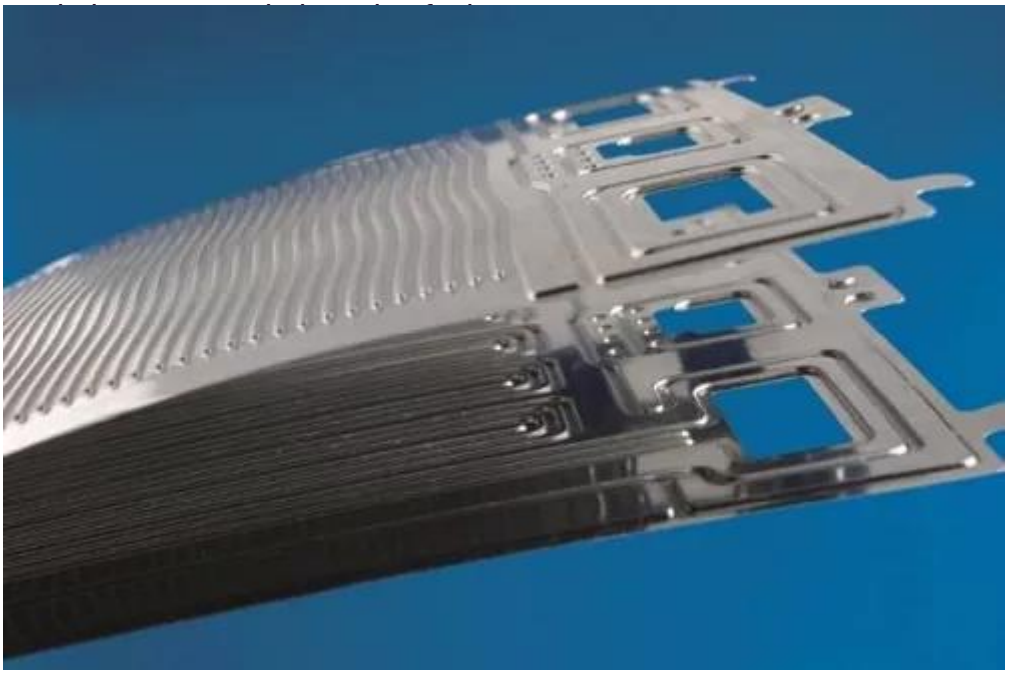


(Rechts Bron: OCAS)

Technologie voor massaproductie van bipolaire platen

Een brandstofcel omvat een stack van enkele honderden bipolaire platen: waterstof(gas) wordt aan de anode aangevoerd en het water dat door de chemische reactie met zuurstof in de stack wordt geproduceerd, wordt aan de kathode afgevoerd. Een 100 kW stack voor een elektrische wagen omvat een 400-tal platen. Om één autofabriek met een productie van 200.000 wagens te bevoorraden heb je jaarlijks zo een 80 miljoen platen nodig. De productie van deze dunne,

gestructureerde platen met zeer nauwe maattoleranties voor de toenemende seriegroottes is een uitdaging. Zij lijken meer op een film dan op een plaat en moeten uiterst omzichtig en in meerdere stappen geproduceerd worden (bijv. hydro-vervormen, lasersnijden en laserlassen, coaten en afdichten of lektestsystemen). De productie van bipolaire platen - als geleidend, gasverdelend en scheidend element - maakt met ongeveer 20-30 procent momenteel een aanzienlijk deel uit van de



(Bron: Fraunhofer ILT)

Lasertechnologie

Efficiënte lasermethoden - met een uitstekende flexibiliteit en hoge mate van automatisering - zijn noodzakelijk voor het snijden en lassen van brandstofcelcomponenten in elke fase van de procesketen. Een doorgedreven automatisering, datacaptatie en optimalisatie van de productie zijn noodzakelijk voor een kostenefficiënt en stabiel productieproces (bijv. het significant opdrijven van de benuttingsgraad van de lasertijd van 10 procent naar 95 procent of het beperken van de residuele spanning). Ze vereisen waterstofdichte afdichtingen, wat kan leiden tot naadlengtes van meer dan 200 meter voor elke brandstofcel. Laserlassen is nu nog te langzaam om de klus te klaren. Plasmo Industrietechnik richt zich op de kwaliteitsborging voor geautomatiseerde laserlasprocessen.



Productielijnconcept voor bipolaire platen integreert hydrovervormen met lasersnijden en laserlassen
(Bron: Gräbener Maschinentechnik)

Continue productielijn voor bipolaire metalen platen

Fraunhofer IPT ontwikkelt in het CoBiP-project een continue productielijn voor bipolaire platen met een roll-to-roll-microstructuurvorming van metalen folies, het daaropvolgende gecombineerde laserlassen en lasersnijden en de uiteindelijke coating. De lijn streeft naar cycli van slechts enkele seconden. Een koppeling tussen de relevante procesparameters van de productieketen en de specifieke eigenschappen van het ontwerp van de bipolaire plaat beperkt de ontwerprisico's en ontwikkelingstijd van nieuwe producten tot een minimum.

Fraunhofer UMSICHT ontwikkelde lasbare, flexibele polymeer-bipolaire platen van 3,2 m² voor LT-PEM-brandstofcellen (polymer electrolyte membrane fuel cells). De continue roll-to-roll-productie ondersteunt een massaproductie van dunne grafietplaten met geïntegreerde complexe structuren. De bipolaire platen vereenvoudigen tevens de assemblage.

Materiaaltechnologie

- **Vermijden van schaarse, dure edelmetalen**. De elektroden in brandstofcellen hebben diverse functies: elektrische geleidbaarheid voor het aan- en afvoeren van stroom, een scheidingswand maar doordringbaar voor respectievelijk waterstof en zuurstof en katalysator voor het versnellen van de chemische reacties. Ze vereisen nog dure edelmetalen, bijvoorbeeld een dunne platina coating voor de bescherming tegen corrosie. Zelfs een beperking van het gebruik van platina lost het probleem voor massaproductie nog niet op. Alternatieve coatings (bijv. organische katalytische coatings) en goedkope, schaalbare en milieuvriendelijke coatingtechnologieën zijn van cruciaal belang voor de opschaling naar massaproductie.
  Precors onderzocht in het Precoil-project de mogelijkheden van voorgelakte metaalfolies als halffabricaten voor de productie van bipolaire platen om de kosten van metalen bipolaire platen te verlagen (ten opzichte van PVD-gebaseerde coatingprocessen). Het coatingmateriaal op koolstofbasis maakt een doeltreffende bescherming tegen corrosie en een hoge vermogensdichtheid van brandstofcellen mogelijk. Het coatingproces laat toe om continu, geautomatiseerd metalen folies op schaal te coaten.

- **Materialen die weerstaan aan waterstofbrosheid**. Waterstofbrosheid treedt op wanneer metalen bros worden ten gevolge van de invoering en de verspreiding van waterstof in het materiaal (de achilleshiel voor (ultra-)hogesterktestalen). Onderzoek verschaft inzicht in de mechanismen van waterstofbrosheid en de interacties met de microstructuur en ligt aan de

basis van het ontwerp van staalsoorten die veilig inzetbaar zijn voor de productie, het opslaan of het vervoer van waterstof. Om nieuwe materialen te ontwikkelen met de nodige weerstand tegen waterstof is het echter van cruciaal belang de mechanismen van waterstofbrosheid en de interacties met de microstructuur te begrijpen. Zo beschikt OCAS over een speciaal waterstoflaboratorium om de fundamentele mechanismen met betrekking tot waterstofbrosheid te bestuderen.

- **Corrosie**. Het zeer zuivere water aan de uitlaat reageert met de atmosfeer (CO^2) tot een corrosief zuur. Hiervoor kijkt elke brandstofcelbouwer naar eigen coatings of precoated platen.

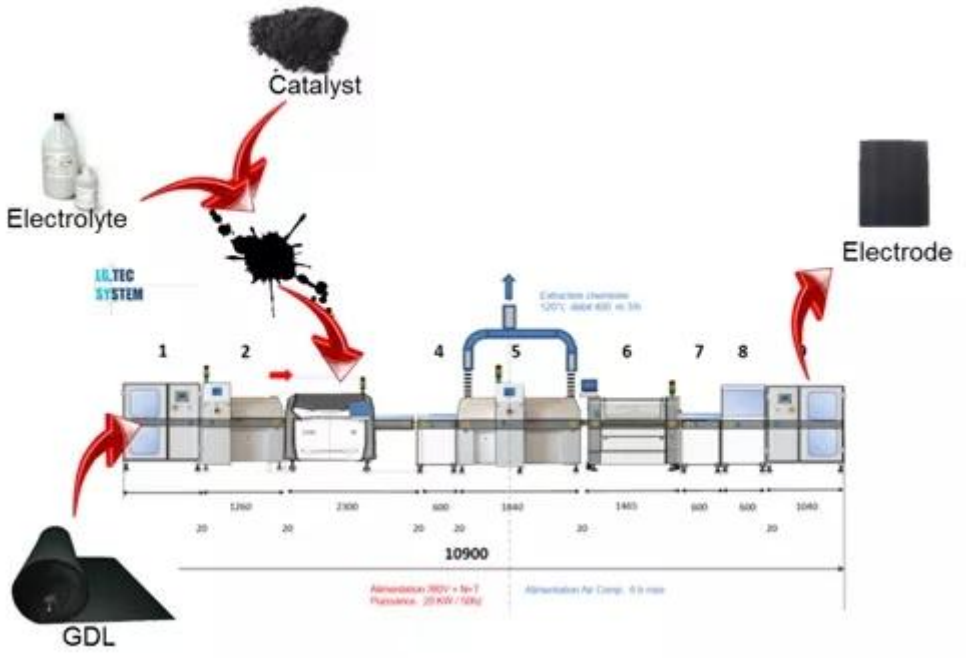
Verhogen van de performantie

Enkele sleutelfactoren voor de performantie zijn afhankelijk van de productietechnologie (zoals oppervlakteruwheid, porositeit of geometrie). Lasertechnologie en 3D-printen bieden hier nieuwe mogelijkheden op meso-(product)-, micro- of nanoschaal.

Textureren van oppervlakken

Getextureerde (niet-homogene) elektroden verhogen de actieve oppervlakte en voorkomen degradatieverschijnselen vanuit het vollopen of uitdrogen van de elektrode. Een kosteneffectieve, geautomatiseerde productie van getextureerde elektroden vormt een uitdaging.

- Het Matisse-project (Materials' Innovations for a Safe and Sustainable nuclear in Europe) onderzocht een continu zeefdrukproces voor de aanmaak van katalysatorlagen (cel van 25 cm^2) en de automatisatie van de assemblagestap van de membraanelektroden voor drie stackontwerpen (voor stationaire PEMFC-systemen). Matisse beoogde de robuustheid, levensduur, prestaties en kosten van stacks te verbeteren. Daartoe werden geavanceerde materiaaloplossingen gevalideerd als proof-of-concept voor de fabriceerbaarheid van cellen

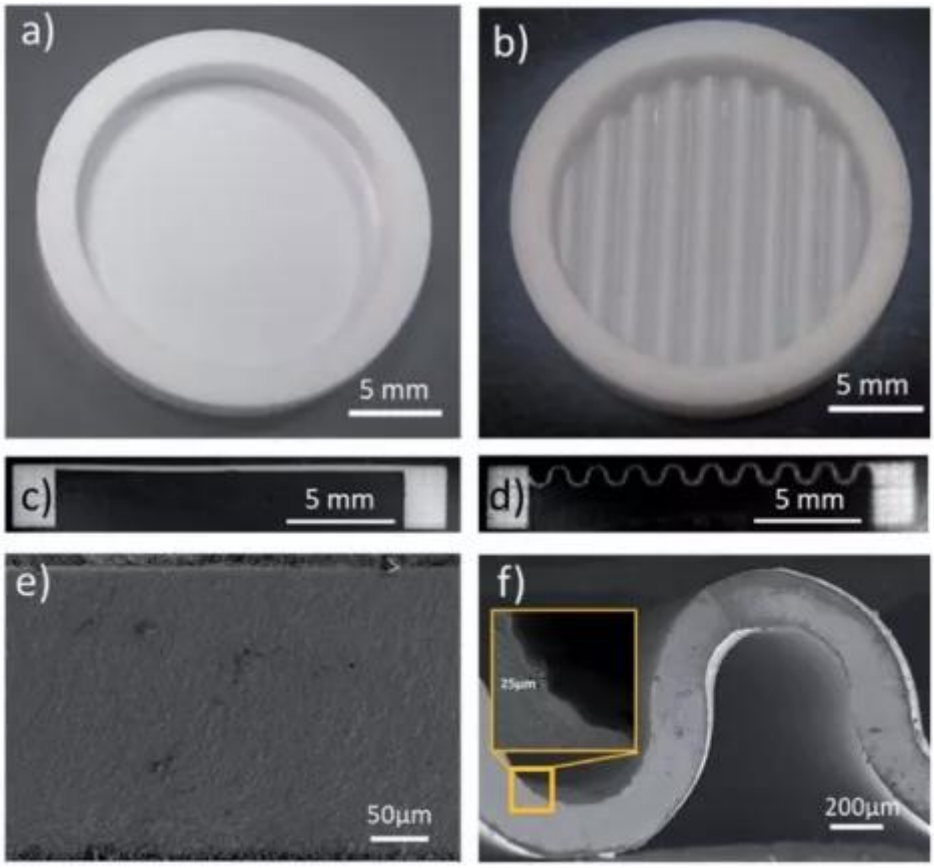


(Bron: Matisse-project)

Vormvrijheid van 3D-printen vergroot actieve oppervlakte en prestaties

Het 3D-printen van functionele materialen overwint de vormbeperkingen van huidige productietechnieken en laat complexe vormen en nieuwe functionaliteiten toe. De mogelijkheden van 3D-printen staan voor dit toepassingsdomein nog in een onderzoekstadium.

- Het Europese project Cell3Ditor onderzocht de mogelijkheden van innovatieve 3D-geprinte concepten voor elektro-keramische brandstof- en elektrolysecellen op basis van vaste oxiden. Conventionele vlakke en gegolfde elektrolyten met een dikte van 250 µm en een hoogte-breedteverhouding werden geprint met yttriumgestabiliseerd zirconiumdioxide om vaste-oxidecellen te maken. Een vergroting van het actieve oppervlak van de cellen door golfvorming van het elektrolyt reduceert de inwendige weerstand van de cel (d.w.z. de oppervlakte-specifieke weerstand ASR = R/A), waardoor de prestaties per geprojecteerd oppervlak proportioneel toenemen. De gegolfde oppervlakken vertoonden een toename van 57 procent in hun prestaties in brandstofcel en co-elektrolyse-modi, die recht evenredig is met de vergroting van het oppervlak in vergelijking met de vlakke tegenhangers. Het onderzoek toont aan dat de combinatie van een verbeterd ontwerp met de toegenomen duurzaamheid van 3D-geprinte onderdelen (minder dan 35 mV/ 1.000 u) nieuwe stige generaties van solid-state



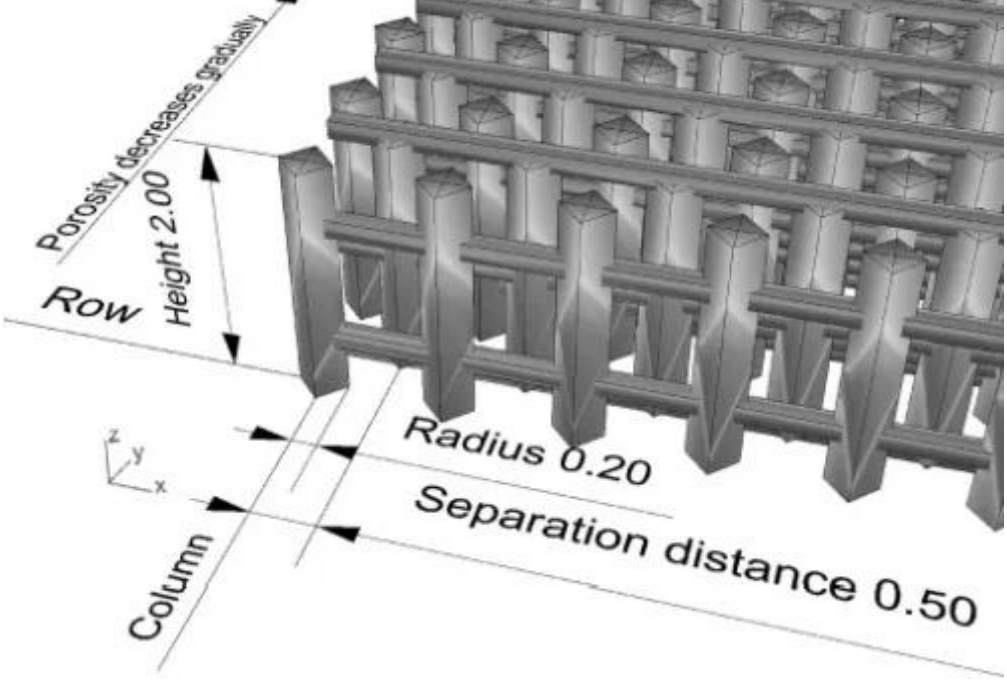
3D-geprinte vlakke en gegolfde 8YSZ membranen.
(Bron: Cell3Ditor EU project http://www.cell3ditor.eu/about/)

- Poedermetallurgie, 3D-printen, elektrodepositie en sputteren liggen aan de basis van de productie van zeer efficiënte en robuuste elektroden. Fraunhofer IFAM (Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials) ontwikkelde poreuze 3D-geprinte elektroden om het actieve elektro-katalytische oppervlak te vergroten en om de gas-elektrolytstroom te sturen. Beide aspecten zijn afhankelijk van de poriestructuur. 3D-poreuze elektroden en efficiënte katalysatoren dragen bij tot een efficiënte, performante cel. Ze combineren nanokristallijne metaallegeringen (Fe- en Ni-gebaseerd) met 3D-printen en oppervlaktebehandelingen of depositieprocessen.



(Bron: [https://www.ifam.fraunhofer.de)](https://www.ifam.fraunhofer.de)

- Onderzoekers onderzochten en simuleerden de mogelijkheden van het 3D-selectieve lasersmelten van poreuze metalen als support-structuur voor een katalysator van een ‘steam methane reforming’ microreactor voor de productie van (fossiele) waterstof. Het onderzoek van verschillende poriestructuren, porositeiten, en materialen toont aan dat de porositeit van het metaal een significante invloed had op de katalysatorinfiltratie, het reactieproces en de efficiëntie van de waterstofproductie. Een met een koperlaag bedekt roestvrijstalen poreus metaal met een gecontroleerde, verspringende structuur en een porositeitsgradiënt van 80 tot 60 procent vertoonde een veel grotere methanolconversie en H2-stroomsnelheid als gevolg van de betere warmte- en massaoverdrachtkarakteristiek.



Productie van poreus metaal via SLM (selective laser melting) als katalysatorondersteuning voor microreactor voor waterstofproductie
(https://www-sciencedirect-com.kuleuven.ezproxy.kuleuven.be/)

- Onderzoekers (o.a. van TU Eindhoven) ontwikkelden een katalysator met holle nanokooien van een legering van nikkel en platina met een 20 keer hogere activiteit. Met deze nieuwe katalysator konden ze een elektrolytische cel op koelkastformaat van ongeveer 10 MW ontwikkelen. Duurtesten van de katalysator in een brandstofcel toonden slechts een te verwaarlozen afname in activiteit.

Sirris onderzoekt momenteel de mogelijkheden van Belgische bedrijven in de waterstofwereld en hun noden.

Bronnen

- https://www.waterstofnet.eu/nl
- Precors GmbH CoBIP project, BMWi Grant number: 03ETB020C, https://www.electrive.com/2021/04/05/fraunhofer-to-automate-fuel-cell-stack-production-on-continuous-line/
- Cell3Ditor, quick deployment of 3D mass manufacturing technology of SOFC stacks, http://www.cell3ditor.eu/
- https://www.borit.be/
- https://www.ilt.fraunhofer.de/en/
- https://www.now-gmbh.de/en/projectfinder/precoil/
- Fraunhofer UMSICHT (Institute for Environmental, Safety, and Energy Technology), https://www.umsicht.fraunhofer.de/en/research-for-the-market/hydrogen.html

Auteurs



Bart Verlinden