

PERSPEKTIVY AUTOMOBILŮ POHÁNĚNÝCH VODÍKEM

DALIBOR VOJTĚCH

*Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, VŠCHT
Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6
Dalibor.Vojtech@vscht.cz*

Došlo 27.8.08, přijato 28.1.09.

Klíčová slova: vodík, vodíkový automobil, uskladnění vodíku, hydrid

Obsah

1. Úvod
2. Výhody a nevýhody vodíku jako paliva
3. Uskladnění vodíku
4. Závěr

1. Úvod

V poslední době se v médiích stále více objevují zprávy o vývoji automobilů poháněných vodíkem. Světové automobilky jako je General Motors, Toyota, BMW nebo Honda se předhánějí v tom, kdo dříve vyrobí vozidlo schopné běžného provozu s parametry odpovídajícími současným automobilům poháněným benzinem nebo naftou.

2. Výhody a nevýhody vodíku jako paliva

Vodík je lehký (cca 14× lehčí než vzduch) bezbarvý a reaktivní plyn. O jeho využití jako o palivu pro pohon automobilů se začíná stále více uvažovat vzhledem k neustále rostoucím cenám fosilních surovin ropy a plynu a vzhledem ke značné závislosti ekonomik vyspělého světa na producentech těchto surovin. Rovněž oteplování atmosféry způsobené skleníkovými plyny (zejména oxidem uhličitým) uvolňovanými při spalování benzínu a nafty je silným stimulem pro hledání alternativ. Při spalování vodíku totiž dochází k jeho reakci s kyslíkem přítomným ve vzduchu, přičemž vzniká pouze voda ve formě páry neškodná pro životní prostředí.

Na zemi je vodík součástí mnoha látek, ze kterých lze různými postupy získat (voda, uhlovodíky). Jako prvek se však vyskytuje poměrně vzácně. To je jeho nevýhoda v porovnání s fosilními surovinami. Na výrobu vodíku je totiž nutno nejprve vyrobit energii např. v jaderné elektrár-

ně a tu až poté využít na výrobu vodíku např. elektrolýzou z vody. Z pohledu energie je tedy vodík pouze nositelem nebo zásobníkem energie podobně jako baterie, nikoli jejím primárním zdrojem, jako je tomu u ropy a plynu. Pokud uvážíme, že by všech zhruba 500 milionů automobilů na světě bylo poháněno vodíkem, pro jeho výrobu by bylo třeba nepředstavitelného množství energie. Proto jsou intenzivně hledány energeticky účinné postupy výroby vodíku z levných surovin.

Spalování vodíku je možno realizovat po jeho smísení se vzduchem ve spalovacím prostoru motoru, přičemž energie uvolněná touto reakcí se mění na mechanický pohyb pístu. Tento přístup zvolila firma BMW u svého nového vodíkového prototypu Hydrogen 7 (cit.¹). Druhý přístup, u kterého je dle některých názorů získávána energie z vodíku s vyšší účinností, využívá palivových článků, což jsou zařízení, která přeměňují energii získanou reakcí vodíku a kyslíku na energii elektrickou. Ta je pak využívána k pohonu elektromotorů umístěných ve vozidle. Nedávno představený model Honda FCX Clarity využívá právě tohoto uspořádání².

Energie, kterou je možno získat spálením např. 1 kg vodíku je značná a je zhruba 2,6× vyšší než energie získaná z 1 kg benzínu. Avšak díky tomu, že vodík, a to i ve zkapalněném stavu, je velmi lehký (hustota zkapalněného vodíku je pouhých 70 kg m⁻³, přičemž hustota benzínu je cca 750 kg m⁻³), je pro získání stejného množství energie (pro ujetí stejné vzdálenosti) potřeba cca 4× větší objem zkapalněného vodíku než benzínu. V řeči spotřeby: Automobilu s průměrnou spotřebou benzínu 4 l/100 km odpovídá spotřeba zkapalněného vodíku 15 l/100 km. Má-li tedy např. benzinová nádrž objem 40 litrů, odpovídající nádrž na zkapalněný vodík potřebná pro ujetí stejné vzdálenosti by musela mít objem 150 litrů, což je zejména pro automobily nižší a střední třídy nepředstavitelné.

3. Uskladnění vodíku

Z výše uvedených údajů o značných objemových nárocích vodíku vyvstává zásadní otázka, kterou se v současnosti zabývají vědci i inženýři na celém světě: Jak uskladnit co největší hmotnost vodíku v co nejmenším objemu? Objem nádrže je obvykle omezen konstrukčním řešením vozidla a závisí na jeho velikosti, typu a třídě. Proto byl na základě požadavku co největší hmotnosti uskladněného vodíku Americkým energetickým úřadem (US Department of Energy (DoE)) stanoven doporučený minimální hmotnostní obsah vodíku ve vodíkovém zásobníku určeném pro automobily 6 % (cit.³). Nižší hmotnosti vodíku výrazně omezují akční rádius vozidel a tím je činí nekonkurenceschopnými vozidly na klasická paliva.

V současnosti jsou zvažovány čtyři hlavní metody

uchovávání vodíku^{3,4}:

1. zkपालnění a uchování v tepelně izolovaných zásobnících,
2. stlačení vysokým tlakem a uchování v tlakových nádobách,
3. uchování v pevné fázi – ve formě hydridů kovů nebo adsorpce v porézních materiálech s vysokým měrným povrchem.

U v současnosti vyráběných prototypů vodíkových automobilů je využíván zejména první způsob uchování vodíku, u kterého jsou dosahovány obsahy vodíku cca 10 %, což převyšuje minimální požadavek DoE. I tento způsob se však z energetického hlediska jeví poněkud problematickým, uvážíme-li, že zkपालnění vodíku vyžaduje teploty nižší než $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je extrémně energeticky náročné. Uvádí se, že zkपालnění spotřebuje až 30 % veškeré energie, kterou lze spálením vodíku získat. Kromě toho je třeba u zkपालněného vodíku počítat s jeho průběžnými ztrátami odparem, které činí kolem 1 % za den. Hlavní nevýhodou druhého způsobu – tedy uchovávání ve stlačeném stavu – je relativně nízký hmotnostní obsah vodíku. V klasických ocelových tlakových nádržích činí pouze zhruba 1 %, u novějších nádrží z kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny může dosahovat až k více než 5 %, avšak za cenu značné energetické náročnosti stlačování. Při uchovávání zkपालněného i stlačeného vodíku je rovněž třeba vzít v úvahu značné nároky na zabezpečení vodíkových systémů, neboť i malé úniky mohou mít katastrofální následky. Pro masivní využití zkपालněného nebo stlačeného vodíku bude nutno vybudovat rozsáhlou infrastrukturu zahrnující energetické zdroje, výroby vodíku, jeho dopravu a síť čerpacích stanic, což bude pravděpodobně proces trvající řadu let.

Poněkud odlišné principy a nároky má třetí způsob uchovávání vodíku – uchovávání v pevné fázi. Zde je největší pozornost věnována sloučeninám některých kovů s vodíkem – hydridům. Tyto sloučeniny jsou totiž v sobě schopny absorbovat značná množství vodíku převyšující komerční požadavky. Zejména hydridy na bázi lehkých kovů (Mg, Ca, Li, Na, Al) jsou v centru pozornosti pracovišť vyvíjejících automobily na vodíkový pohon. Tyto hydridy se obvykle vyrábějí syntézami kovů s plynným vodíkem za vysokých teplot a tlaků. Za normální teploty jsou stabilní, nerozkládají se a jsou tedy relativně bezpečnými zásobníky vodíku. K jejich rozkladu dochází až za vyšších teplot, přičemž se uvolňuje vodík, který je přiváděn k palivovému článku. Žádoucí je, aby rozklad probíhal za teplot jen mírně zvýšených ($150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$), aby samotný ohřev hydridu nespotebovával nadměrné množství energie. Právě hledáním hydridů s nízkými teplotami rozkladu a s vysokými obsahy vodíku se v současnosti zabývá řada výzkumných a vývojových pracovišť. Jsou již navrženy účinné systémy schopné absorbovat vysoká množství vodíku, která se blíží a u některých dokonce převyšují 10 %. Jmenovat lze např. hydridy MgH_2 , LiBH_4 , NaBH_4 , NaAlH_4 , $\text{Mg}(\text{AlH}_4)_2$ a další⁴.

Automobil vybavený hydridovým systémem musí obsahovat zásobník hydridu, zařízení k jeho ohřevu a pali-

vový článek. Jistou nevýhodou tohoto systému je, že po rozkladu veškerého hydridu v zásobníku se produkty rozkladu musejí ze zásobníku odstranit a ten se musí znovu naplnit novým hydridem. Východiskem by mohly být hydridy schopné uvolnění vodíku a jeho opětovné absorpce opakovaně např. u speciálního čerpacího zařízení. Takové hydridy jsou sice v současnosti dostupné, ale obvykle se vyznačují nižšími obsahy vodíku, které jsou schopny uchovat. Proto se spíše nabízejí menší zásobníky na jedno použití, které by bylo možno snadno vyjmout a vyměnit za nové, přičemž jejich opětovné naplnění by probíhalo ve specializovaných pracovištích podobně, jako je tomu v současnosti např. u lahví se stlačenými plyny.

Jiný navržený systém založený na hydridech nevyužívá jako zdroje vodíku tepelného rozkladu hydridů, nýbrž jejich reakce s vodou. Pokud by byla využita voda odcházející jako odpad z palivového článku, je množství získaného vodíku dokonce ještě vyšší než je jeho obsah v hydridu, neboť část vodíku při reakci pochází z vody. Alternativou jsou „paliva“ ve formě suspenzí hydridu ve vodě nebo v oleji, u kterých je vývin vodíku iniciován buď přidávkou katalyzátoru nebo ve druhém případě vody. I u těchto systémů se „palivo“ musí po spotřebování hydridu vypustit, recyklovat a doplnit nové. Výhodou je, že není nutno vyvíjet složité a nákladné hydridy s nízkými rozkladnými teplotami.

Vodíkový systém založený na hydridech by vyžadoval menší nároky na infrastrukturu v porovnání se systémy pracujícími se stlačeným nebo zkपालněným vodíkem. Nutností by byly zdroje energie, výroby vodíku a hydridů a pracoviště pro recyklaci jejich zásobníků. Odpadla by však nutnost sítě čerpacích stanic, neboť zásobníky hydridů nebo jejich suspenze by principiálně mohly být dostupné u stávajících stanic. Hlavním faktorem, který pravděpodobně dosud brání masivnějšímu rozšíření systémů založených na hydridech, je vysoká cena těchto sloučenin. Odráží se zde poměrně komplikovaná cesta, která vede od výroby elementárních kovů, výroby vodíku, jejich transportu až po tlakovou syntézu hydridu. Uvážíme-li např. cenu hydridu NaBH_4 obsahujícího cca 10 % vodíku ve výši 80 USD kg^{-3} , pak při spotřebě 1 kg $\text{H}_2/100\text{ km}$ je cena za 1 km rovna 8 USD, což je nesrovnatelně více v porovnání s benzinem nebo naftou. Výrazné snížení ceny hydridů je tak základním předpokladem pro jejich výraznější zavedení do praxe. Zde se otevírá velké pole pro výzkum nových typů sloučenin a nových levnějších postupů jejich výroby.

4. Závěr

K masovějšímu zavedení vodíkových technologií do automobilového průmyslu v nejbližších letech brání vysoké ceny energií nutných pro výrobu, skladování a distribuci vodíku. Dalším důvodem je nedostatečná infrastruktura. Vodík se může stát konkurencí klasických paliv, pokud nové energetické zdroje a vylepšené postupy umožní jeho výrobu z vody ve velkých množstvích a za přijatelnou cenu. Systémy založené na uskladnění vodíku pomocí

hydridů nabízejí alternativu k čistému vodíku, neboť nevyžadují tak velké investice do infrastruktury. Tyto systémy však budou konkurenceschopné pouze tehdy, pokud ceny hydridů, např. díky novým postupům jejich výroby, výrazně poklesnou.

Autor příspěvku děkuje Grantové agentuře České republiky za finanční podporu výzkumu metod uchování vodíku ve formě hydridů kovů (projekt č. 104/09/0263). Také děkuje Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy za podporu v rámci výzkumného záměru č. MSM 6046137302.

LITERATURA

1. <http://www.autobloggreen.com/2006/09/12/bmw-officially-announces-the-bmw-hydrogen-7/>, staženo 13.7.2008.
2. <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/> staženo, 13.7.2008.
3. Ross D. K.: *Vacuum* 80, 1084 (2006).
4. Eigen N., Keller C., Dornheim N., Klassen T., Borrmann R.: *Scripta Mater.* 56, 847 (2007).

D. Vojtěch (*Department of Metals and Corrosion Engineering, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Prospects of Hydrogen-Fuelled Cars**

Hydrogen has been considered a prospective fuel for future generations of cars. In the present review, various aspects of its use in this field are mentioned. Hydrogen is pure, i.e., it does not produce carbon dioxide in combustion. Moreover, it possesses a very high energy density. In contrast to fossil fuels, hydrogen is an energy carrier, i.e., it is first produced by an energy-consuming process, such as water electrolysis. In hydrogen-fuelled cars, it can be directly supplied into the combustion engine or converted to electric power in fuel cell. Hydrogen-fuelled cars are equipped with a safe and efficient hydrogen storage system. Various ways of hydrogen storage have been studied such as liquid or high-pressure hydrogen storage and storage in solid metal hydrides or in porous materials with high specific surfaces. The first two methods are currently used in the prototypes of hydrogen vehicles. The use of liquid or high-pressure hydrogen requires expensive infrastructure. Hydrogen storage in the form of light metal hydrides (MgH_2 , LiBH_4 , NaBH_4 , NaAlH_4 , $\text{Mg}(\text{AlH}_4)_2$) is a promising and safe alternative. The hydrides are stable at room temperature but they decompose to hydrogen at elevated temperatures or in the reaction with water. Unfortunately, their costs are high. At present, inexpensive methods of hydride preparation are the subject of extensive studies all over the world.