

OTOMOBİLLERDE METAL HİDRİT ESASLI KLİMA SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Habib GÜRBÜZ
Süleyman Demirel Üniv.

Muhammet KAYFECİ
Süleyman Demirel Üniv.

GİRİŞ

Taşıtlarda ısı konfor sağlamada yeni çözümler geliştirilmiştir. Kayıştan hareket alan mekanik kompresörlü klasik HVAC sistemleri, güç üretim sistemi geliştirilmiş (bataryalı elektrikli araçlar, hibrid elektrikli araçlar ve yakıt pilli araçlar) araçlarda uygun değildir. Yüksek verimli motorlar, kabin içindeki konforlu ısı şartlarına çok hızlı bir şekilde ulaşmak veya soğuk havalarda çalışma esnasında emisyonu azaltabilmek ve motor ısısının hızla artırılabilmesi için yeterli ısıyı üretememektedir. Ayrıca klasik tip soğutucular (R-134a), yüksek küresel ısıtma potansiyeline sahiptir ve sera etkisi gösteren gaz emisyonu ile ilgili uluslararası sınırlamaları aşmaktadır [1].

Yakın bir geçmişte, ozon tabakasına verdiği zararlar ve sera etkisi nedeniyle Freon gazının kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu problemleri çözebilmek için ısıtma, soğutma ve ısı dönüşüm uygulamaları için çeşitli tiplerde metal hidrit ısı pompaları araştırılmıştır [2]. Klima ve ısı pompası çevrimlerinde tersinir metal hidrit alaşımların oluşum ısısının kullanılma kabiliyeti yirmi yıldan daha fazla bir süredir bilinmektedir [3]. Metal hidrit esaslı ısıtma ve soğutma sistemleri derin dondurucudan buz yapma makinesi, klima, ısı pompası, proses uygulamalarına kadar yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca metal hidrit sistemler termal enerji depolama aletleri olarak da kullanılabilir potansiyeline sahiptir [4].

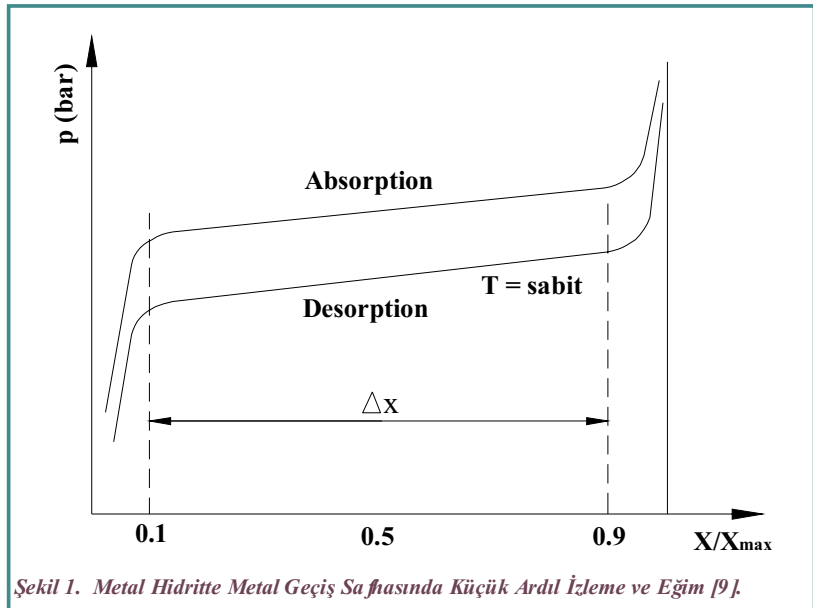
Metal hidritlerin ısı transferi özellikleri üzerine yapılan deneysel çalışmalar, yüksek sıcaklıkta termal enerjiyi depolama potansiyeline sahip olduklarını belirtmektedir [5]. Metal hidrit esaslı soğutma ve ısıtma sistemleri soğutucu akışkan olarak çevreyle dost hidrojen gazı kullanmaktadır. Metal hidrit ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine yapılan birçok çalışmada, ısıtma ve soğutma için metal hidritlerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Isıtma ve soğutma uygulamaları için mevcut bulunan buhar sıkıştırma sistemlerine oranla kompresörlü metal hidrit sistemler, performans katsayısı ve özgül alaşım verimi bakımından teorik olarak oldukça üstün oldukları görülmektedir [6].

METAL HİDRİT SOĞUTMA SİSTEMİNİN ESASLARI VE TERMAL YETENEĞİ

Isıl sürücülü metal hidrit makinelerinin, birçok farklı tasarım şekli bulunmaktadır. Bu makinelerden bazıları klima sistemlerinde ve ısı transformatörlerinde kullanım alanı bulmuştur [7,8]. Bu şekilde kullanılan üç farklı sistemden söz etmek mümkündür;

- ✓ Tek depolama sistemli,
- ✓ Çift depolama sistemli
- ✓ Çok hidritli termal dalga sistemidir.

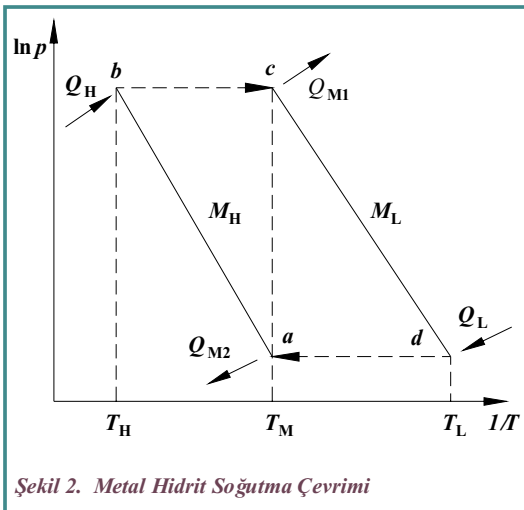
Bütün sistemler şu özelliklere sahiptir; faydalı ısıtma ve soğutma, sırasıyla çevreye ısı bırakma, düşük sıcaklıktaki hidritlerin emme işlemiyle ilişkilidir.



Şekil 1. Metal Hidritte Metal Geçiş Safhasında Küçük Aralıklı İzleme ve Eğim [9].

Sıvı emme sistemi veya katı emme sistemi çalışma akışkanını buharlaştırma ve yoğunlaştırma sistemiyle karşılaştırıldığında, düşük sıcaklıktaki hidride buharlaştırma ile desorption ve yoğunlaştırma ile emme işlemi yer değiştirmiştir. Bu sistemin ağırlığı ile ilgili dezavantaja yol açar. Ek olarak birçok metal hidritler emme ve geri bırakma arasında, metalden metal hidride faz geçişi esnasında basınç eğimi küçük ardıl izleme gösterirler (Şekil 1). Hidrojen miktarı, genellikle birleştirilmiş reaksiyon yatakları arasında değişmektedir ve değeri $\Delta x/x_{max}$ ile belirlenen eğim uzunluğu ile gösterilmektedir[9].

Şekil 2'de ısı sürümlü metal hidrit soğutma sisteminin bir çevrimi



Şekil 2. Metal Hidrit Soğutma Çevrimi

görülmektedir. Yeniden üretilen hidrit M_H ve soğutulan hidrit M_L farklı denge ile belirli sıcaklıkta hidrojen basıncı bir çalışma çiftinde birleştirilmiştir.

İlk olarak M_H 'nin hidrojen desorption basıncının M_L 'nin hidrojen desorption basıncını aşabilmesi için M_H orta sıcaklıktaki T_M 'den yüksek sıcaklıkta T_H sıcaklığına ısıtılır. Bu nedenden dolayı ısı kaynağından Q_H ısıyı soğrulur ve M_H , M_L 'ye hidrojen gönderir. Daha sonra M_H orta sıcaklıkta T_M sıcaklığına soğutulur ve M_H 'nin hidrojen basıncı M_L 'nin hidrojen basıncının altına düşer. O zaman hidrojen akışının aksine ve M_L reaktörü T_L sıcaklığından endotermik olarak hidrojeni serbest bırakırken çevre sıcaklığı azalarak soğur. Metal hidrit reaktörlerin yalnızca bir çifti tarafından süresiz olarak soğuk enerji üretilir. Sürekli olarak soğutma için tersinir çalışma safhası ile en az iki çift reaktörün kullanılması gereklidir[10].

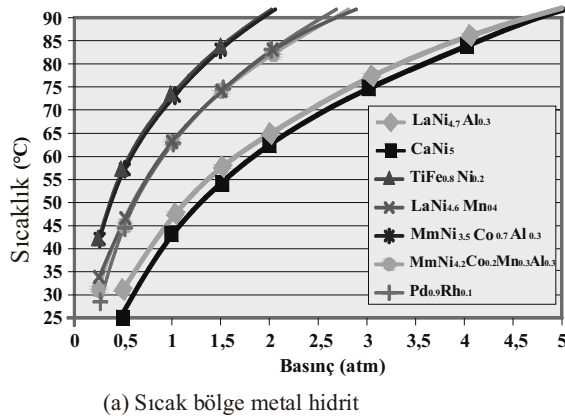
Metal hidrit çalışma çifti metal hidrit soğutma sistemlerinin ana bileşenidir. Sistem performansını sağlamak için; metal hidritlerin yüksek etkili hidrojen soğurma miktarı ve reaksiyon ısısı, hızlı reaksiyon kinetiği, düzgün reaksiyon alanı, küçük ardıl izleme, çalışma çiftleri arasında uygun

basınç gradyanı ve kabul edilebilir maliyetin sağlanması gereklidir. Ayrıca hidrojen basıncını dengelemek, reaktör ağırlığını ve contalama zorluklarını azaltmak için çalışma sıcaklıklarında 4 MPa basıncın üzerine çıkılmaması önerilmektedir[11].

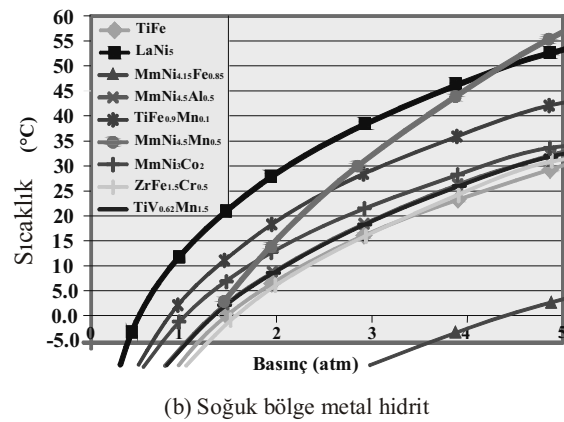
Metal Hidrit Alaşımınlar

Tersinir metal hidrit alaşımlar, metal hidrit bileşimleri şeklinde bol miktarda hidrojen soğurabilen metalikler arası bileşiklerdir. Bu olay esnasında metal kafesler boyunca hidrojen dağıtılır. Metal hidritlerin pratikte kullanılmasının temel esası; metal hidritlerin bozulma olmaksızın birçok kere aynı miktarda hidrojeni soğurma ve serbest bırakma kabiliyetidir[12].

Yüksek ve düşük sıcaklıklarda hidrit malzemeler, $ZrCrFe_{1.1}$ (120 °C) ve $LaNi_5$ (20 °C) çifti veya $LaNi_{4.75}Al_{0.25}$ (160 °C) ve $MnNi_{4.15}Fe_{0.85}$ (-10 °C) çifti örnek olarak gösterilebilir. Hidritlerin maliyeti yaklaşık 300 \$/kg'dır. Bir metal hidrit yatak için 0,122 0,6 kg ve maliyeti 37 180 \$ civarındadır. Bir metal hidrit güvenle 100 000 çevrimi yerine getirebilir [13]. Şekil 3a'da sıcak bölge metal hidritleri için sıcaklık-basınç eğrileri, Şekil 3b'de ise soğuk bölge metal hidritleri için sıcaklık-basınç eğrileri gösterilmiştir.



(a) Sıcak bölge metal hidrit



(b) Soğuk bölge metal hidrit

Şekil 3. Potansiyel Metal Hidritlerin Basınç Sıcaklık Eğrisi [14].

Enerji

Metal Hidrit Sistemde Isı Oluşumu

Hidrojenin soğurulması ve serbest bırakılma işlemleri oluşum ısısı eşliğinde kimyasal reaksiyon tarafından sağlanır. Gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar; hidrojenin soğurulma işlemi için ekzotermik, hidrojenin serbest bırakılma işlemi için ise endotermiktir. Bu desorption soğutmanın hareket basamakları, buhar sıkıştırılmalı bir sistemde evaporatörde gerçekleştirilen işlemlerin aynısıdır [15]. Oluşum ısısını gösteren reaksiyonlar şu şekilde kısaltılabilir;



Burada; M metali, H ise hidrojeni MH_x metal hidriti simgelemektedir. Tersinir reaksiyonun yönü hidrojen gazının basıncı tarafından belirlenir. Eğer basınç

kompozisyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığın artışı ile birlikte denge basıncı artar veya azalır. Basınç denge basıncının altına düştüğü zaman iki reaksiyonda, bir metal hidrit klima çevriminde soğutma gerçekleşir.

Hidrojen serbest kaldığında ortamdaki sıcak havadan oluşum için gerekli ısı alarım tarafından herhangi bir dış etken olmadan alınır ve ortam sıcaklığı azalır. Hidrit alaşımların kompozisyonu, özel uygulamalar için gerekli basınç ve sıcaklıkta çalışmanın sağlanabilmesi için uygun şekilde değiştirilir. 1 Pa ile 100 MPa basınç aralığında ve -900 °C ile 600 °C sıcaklık aralığında çalışabilen alaşım kompozisyonları mevcuttur. Bir metal hidrit ısı pompasının temel çalışması Şekil 4'te görülmektedir.

H/M ağırlığı 1,9'dur. İki dakikada bir çevrim tamamlanması sistem için oldukça büyük bir hedefdir [16]. Bir metal hidrit soğutma sisteminde soğutma kapasitesi 1 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$Q = (\rho_{\text{hava}} C_p) (W_{H_2O} C_{P(H_2O)}) FR_{\text{hava}} \Delta T \quad (1)$$

Burada;

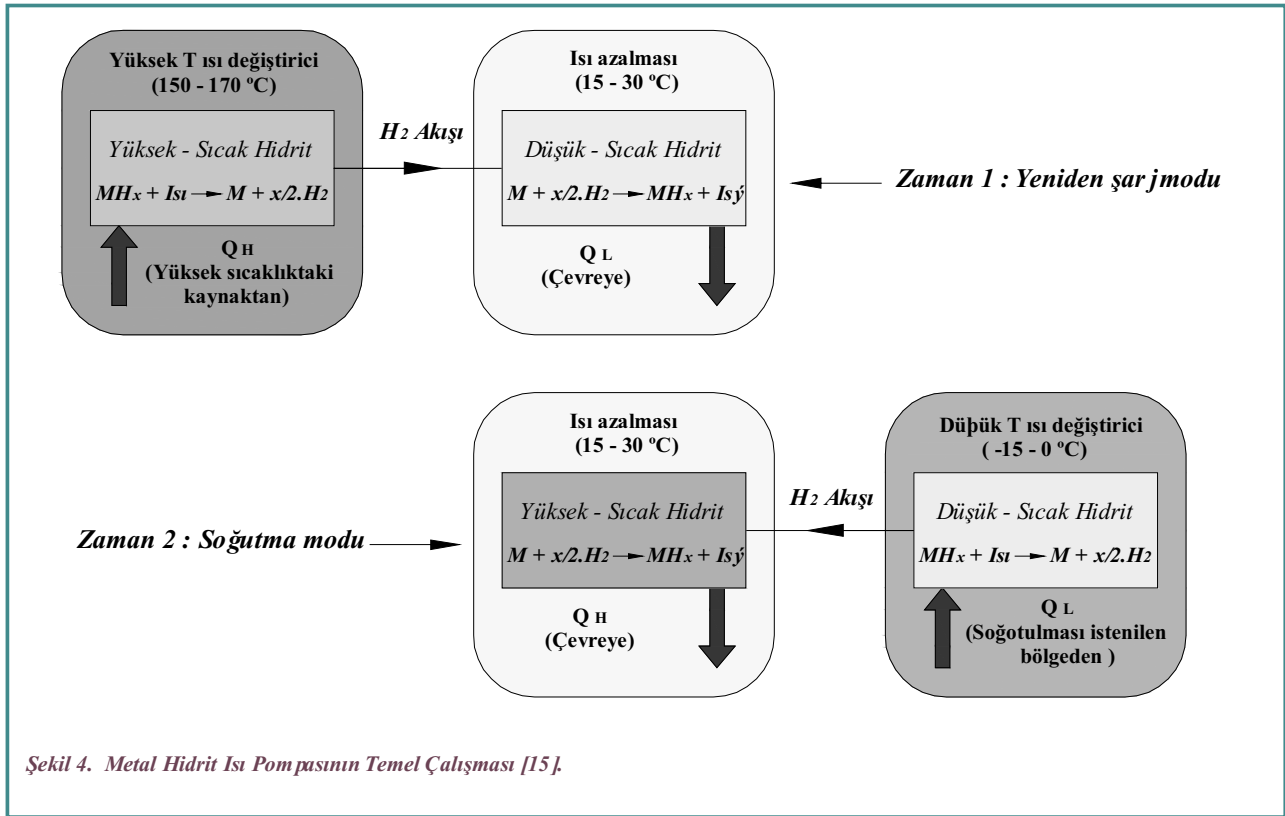
Q = Toplam soğutma gücü (BTU/hr)

ρ_{hava} = Standart şartlarda havanın yoğunluğu (0,0763 lb/ft³)

C_p = Havanın özgül ısı kapasitesi (0,24 BTU/(lb °F))

W_{H_2O} = Soğutulmuş hava içerisindeki suyun ağırlığı (lb/ft³(air))

C_{H_2O} = suyun özgül ısı kapasitesi (1,0 BTU/(lb °F))



Şekil 4. Metal Hidrit Isı Pompasının Temel Çalışması [15].

belirli bir seviyenin (denge basıncı) üzerinde ise reaksiyon metal hidrit oluşumuna doğru ilerler. Eğer basınç, denge basıncının altında ise hidrojen serbest kalır ve metal orijinal durumuna geri döner. Denge basıncı, alaşımın

Metal Hidrit Sistemin Performans Hesabı

5 kW'lık soğutma sistemi için tasarım, sürekli soğutmanın sağlanabilmesi için 4 hidrit yatağının kullanılması gereklidir. Her hidrit yatağının kütlesi 1,25 kg yüzde

FR_{hava} = Hava akış oranı (ft³/hr)

ΔT = Çevre sıcaklığı (T_a) Soğuk hava sıcaklığı (°F)

Deneysel verilerden türetilmiş 2 numaralı eşitlik yardımı ile W hesaplanabilir;

$$W = ((1.19 e^{(T_a/35.1)} - 0.8))$$

$$RH = 1.43 \cdot 10^{-4} \cdot (lb/ft^3) \quad (2)$$

Burada RH, % olarak bağıl nemi ifade etmektedir. Performans katsayısı (COP) 1 numaralı eşitliğin sonucunu BTU/h'dan Watt'a çevirerek ve eşitlik sonucunda elde edilen değer toplam elektrik giriş gücüne bölünerek 3 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanabilir[12].

$$COP = (Q \text{ (BTU/h)} / 0.292 \text{ (W/BTU/h)}) / P \text{ (W)} \quad (3)$$

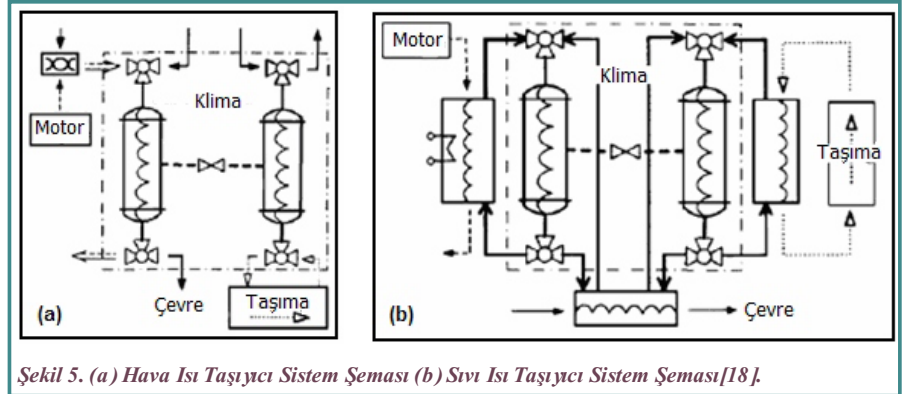
METAL HİDRİT SİSTEMİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Metal hidrit sistemler toplamda birkaç parçadan oluşur ve klasik tip buhar sıkıştırılmalı klima sistemlerinde olduğu gibi kompresör ve buharlaştırıcı kullanılmadığı için bu sistemlere oranla daha az hareketli parçaya sahiptirler. Bu nedenle, hidrit klima sistemlerinin bakım maliyetleri klasik tip AC sistemlerine oranla daha düşüktür ve daha az yer kaplarlar. Bir metal hidrit sisteminin bir diğer avantajı, soğutma için klorofloro-karbon(CFC) kullanımının gerekli olmamasıdır. CFC (Freon gazı) stratosferik ozon tabakasına zarar vermekte ve ultraviyole ışınlarının dünya üzerine düşmesi ve geri yansımaları sınırlamaktadır.

Hidrit soğutma sisteminin bir araçta kullanılması için üstesinden gelinmesi gereken önemli bir engel, düşük Performans Katsayısı(COP)'dır ve COP ağırlıklı olarak direk bağımlıdır. Günümüzde metal hidritler için COP değeri 0,4 ile maksimum 2,5'e kadar yükselmektedir. Bu değer ticari buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinin COP değerinden daha azdır. Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemleri için ortalama COP değeri yaklaşık 1,5'dir. Fakat metal hidrit soğutma sisteminde COP'un bu düşük değerinde bile araç kabin için soğutmanın büyük bir miktarı karşılanabilir. Örneğin bir sedan araç, standart şehir içi sürüş çevriminde 23 kW'luk bir atık ısı üretmektedir ve bu

değer soğutma için gerekli enerjiden 9 kW fazladır. Bir tipik araç kabini 6 kW'luk bir soğutma kullanır. Sistemin performansını artırabilmek için ısı değiştirici veriminin geliştirilmesi, küçük parça boyutlarının sağlanması için araştırmalarının yapılması ve araç atık ısı ile sistemin tamamlanması gerekir [15].

sisteminde ısı transferi için reaktörler içersine egzoz gazı, çevre havası veya ortam havası direkt olarak alınabilir. Egzoz gazı, düşük bir akış hızı ile oldukça yüksek sıcaklığa sahiptir. Egzoz gazının sahip olduğu bu özellik, sistemde ısının geri alınma oranının oldukça verimsiz olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, uygun oranda



Şekil 5. (a) Hava Isı Taşıyıcı Sistem Şeması (b) Sıvı Isı Taşıyıcı Sistem Şeması [18].

EGZOX GAZI KULLANAN METAL HİDRİT SOĞUTMA SİSTEMİ

Bir motor %30 termal verim ile çalışmaktadır. Yakıttan elde edilen ısıl enerjinin geri kalan % 70'lik kısmı motor soğutma sistemi, egzoz gazları ve aracın motor bölmesinin ısınmasına harcanmaktadır. Tipik bir sürüş esnasında, motorun termal verimi maksimum verimden daha da azalmakta ve atık ısı miktarı artmaktadır. Atık ısı miktarının artışı, ısı yardımcı soğutma sistemi ile soğutmanın gerçekleştirilmesi için büyük bir enerji potansiyeli sağlamaktadır [17].

Euro IV emisyon standartlarına uyumun sağlanabilmesi için günümüzde üretilen araçlarda uygun egzoz gazı dolaşımının sağlandığı sistemler oldukça ön planda tutulmaktadır. Motor egzoz sisteminde performans düşüşünün ve yapısal modifikasyonun en az olduğu ve en iyi soğutma performansının sağlanabilmesi için egzoz susturucusundan hemen önce hidrit reaktörler tasarlanmıştır. Bu sistemlerde, ısı taşıyıcı olarak hava veya sıvı kullanılabilir. Bir hava ısı taşıyıcı

gaz akışının yükseltilmesi ve gaz sıcaklığının azaltabilmesi için egzoz gazı içersine çevre havasının alınabilmesine olanak sağlayacak bir karıştırıcı sisteme ilave edilir. Bir sıvı ısı taşıyıcı sistemde, ısının taşınması için genellikle yağ kullanılır. Soğutulmuş yağ iç havadan ısı transferinin, ısınmış yağ egzoz gazından ısı transferinin yapılabilmesi ve çevre havasına her bir reaktörden ısının geri çekilmesi için sıvı-hava ayırıcı ısı değiştiricilerin kullanılması gereklidir. Isı kaynağı sıcaklığının geçici olarak düzenlenmesi için yüksek sıcaklıkta ısı değiştiriciye bir yardımcı ısıtıcı ilave edilir. Sıvı-hava ısı değiştiricisinin verimi yeterince yüksek ise sisteme bir karıştırıcının eklenmesi gereksizdir. Şekil 5'te çift reaktörlü hava ısı taşıyıcı sistem ve iki çift, sıvı ısı taşıyıcı sistem şeması gösterilmiştir [18].

Bu iki sistem karşılaştırıldığında, hava ısı taşıyıcı sistemin yapısının sıvı ısı taşıyıcı sistemin yapısından daha basit olduğu açıkça görülmektedir. Hava ısı taşıyıcı sisteminde, motor çalıştığı anda hava hızlı bir şekilde soğutulurken, sıvı ısı taşıyıcı sisteminde yağın ısıtılması bir

miktar zaman almaktadır. Ayrıca sıvı ısı taşıyıcı sisteminde, egzoz gazı ile oda havası arasında ve regeneraiton ile soğutucu metal hidrit arasında ara ısı değiştirici için yeterli sürücü gücü sağlamak için çok az miktarda sıcaklık farkının artması gereklidir. Fakat hava ısı taşıyıcı sistem, motor çalışma şartları ve yol durumundan ciddi şekilde etkilenir. Bu yüzden taşıma sıcaklığını dengelemek güçtür. Bunun aksine, sıvı ısı taşıyıcı sistemde yağ kullanılması düşünüldüğünde, ısı kaynağı sıcaklığının dengelenmesi daha kolaydır ve soğutma verimi kontrollüdür. Sonuç olarak, taşıtlar için sıvı ısı taşıyıcı sistem daha uygundur[18].

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir taşıt motorunda yakıttan alınan ısı enerjisinin yaklaşık % 30'u faydalı işe dönüşürken yaklaşık % 40'lık kısmı atık ısı enerjisi olarak egzozdan atılmaktadır. Metal hidrit sistemler soğutma amaçlı atık ısı enerjisinin kullanılması için iyi bir performansa sahip, sera etkisi gösteren emisyonu sebep olmayan ve diğer klima sistemlerine oranla daha az parçadan oluşan bir sistemdir. Günümüzde bu sistemlerin taşıtlarda kullanılmasına ilişkin birçok araştırma yapılmaktadır. Ergenics şirketi tarafından 1992 -1993'te egzoz gazlarının atık enerjisinden faydalanabilen 22 kg ağırlığında ve COP = 0,33 5 kW'lık AC sitemi geliştirmiş ve bu sistem için patent başvurusunda bulunulmuştur.

Metal hidrit sitemlerin araçlarda kullanılabilmesi için ısı değiştirici veriminin artırılması, kullanılan parça boyutlarının ve ağırlığının azaltılması için araştırma çalışmalarının artırılması gerekmektedir. Bu bakımdan metal hidritlerin gelecekte taşıt iklimlendirme sistemlerinde kullanım alanı bulabilmesi metal hidrit sistem teknolojisindeki ilerlemelere bağlı olarak değişim gösterecektir.

KAYNAKÇA

1. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Certain Fluorinated Greenhouse Gases. Presented by the EU Commission. Brussels, 11.08.2003 COM(2003) 492.
2. Tucher E, Weinzierl P, Eder OJ. Dynamic Characteristics of Single- and Double-Hydride Bed Devices. J Less-Common Met 1983; 95:1 719), (Gambini M. Metal Hydride Energy Systems Performance Evaluation. Part A: Dynamic Analysis Model of Heat And Mass Transfer. Int J Hydrogen Energy 1994; 19:67-80.
3. US Patent 4,055,962; 1977, 'Hydrogen-Hydride Absorption Systems and Methods for Refrigeration and Heat Pump Cycles' Terry, Lynn E.
4. Reiser A, Bogdanovic B, Schlichte K. The Application of Mg-Based Metal Hydrides as Heat Energy Storage Systems. Int J Hydrogen Energy 2000; 25:425-30.
5. Kawamura M, Ono S, Higano S. Experimental Studies on the Behaviour of Hydride Heat Storage Systems. Energy Convs & Mgmt 1982;22:95-102.
6. Ram Gopal M, Srinivasa Murthy S. Experiments on a Metal Hydride Cooling System Working With ZrMnFe/MmNi4.5Al0.5 Pair. Int. J Refrigeration 1999; 22:137-49).
7. Nagel M. Untersuchung des Betriebsverhaltens Einer Periodisch Mit Metallhydriden Arbeitenden Kaëltemaschine, VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 19, Nr 37. Duësseldorf: VDI, 1989.
8. Isselhorst A. Dynamik Gekoppelter Metal Hydrid-Reaktionsbetten, VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 6: Energieerzeugung, Nr 306. Duësseldorf: VDI, 1994.)
9. E. Willers, M. Groll, Evaluation of Metal Hydride Machines for Heat Pumping and Cooling Applications, International Journal of Refrigeration 22(1999)47-58
10. Gopal MR, Srinivasa MM. Performance of a Metal Hydride Cooling System. Int J Refrig 1995;18:413-20.
11. Nakamura H, Nakamura Y, Fujitani S, Yonezu I. A Method for Designing a Hydrogen Absorbing LaNi5-x-y MnxAlY Alloy for a Chemical Refrigeration System. J Alloy Comp 1997; 252:837.
12. D. Magnetto, S. Mola/(Centro Ricerche Fiat), D. H. DaCosta, M. Golben, M. Rosso /(HERA USA Inc.), A metal hydride Mobile Air Conditioning System, Copyright © 2006 SAE International, 2006-01-1235.
13. Ergenics, <http://www.ergenics.com/> (27.07.2007)
14. V. Hovland, Integrated Cabin and Fuel Cell System Thermal Management with a Metal Hydride Heat Pump, Presented at the Eighth International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (MH2002)Annecy, France September 26, 2002
15. Valerie H. Johnson/(National Renewable Energy Laboratory) Heat-Generated Cooling Opportunities in Vehicles, Copyright © 2002 Society of Automotive Engineers, Inc., 2002-01-1969.
16. Terry LE. US Patent, 4055962, November 1977.
17. Dr. Terry J. Hendricks, Valerie H. Johnson, Matthew A. Keyser, Heat-Generated Cooling Opportunities, Center for Transportation Technologies and Systems National Renewable Energy Laboratory Golden, Colorado.
18. F. Qin, J. Chen, M. Lu, Z. Chen, Y. Zhou, K. Yang, Development of a Metal Hydride Refrigeration System As an Exhaust Gas-Driven Automobile Air Conditioner, Elsevier - Renewable Energy, , 32 (2007) 20342052, p. 2034-2052.