

Isı Borusu Uygulamaları

Emre ÇAYLIOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Özay AKDEMİR
emrecaylioglu@yahoo.com, ozay.akdemir@ege.edu.tr

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

ÖZET

Yüksek ısı transferine sahip ısı boruları her geçen gün artan kullanım alanına sahip cihazlardır. Bu çalışmada ısı borularını oluşturan malzemeler, kullanılan çalışma akışkanları ve fitil yapıları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Konfor havalandırması ve endüstriyel uygulamalar olmak üzere birçok uygulama alanına sahip ısı boruları çalışma şartları göz önünde bulundurularak farklı yapılarda imal edilebilmektedir. Bu çalışmada en çok kullanılan ısı borusu tiplerinin yapıları ve çalışma koşulları hakkında bilgiler verilerek konuyla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

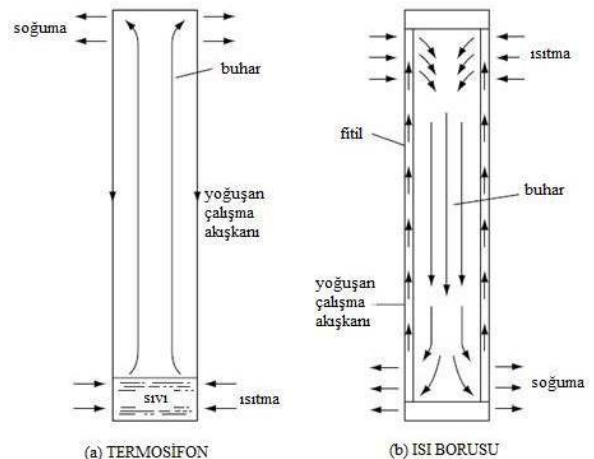
1.GİRİŞ

Isı borusu fikri ilk olarak R.S.Gaugler tarafından 1942 yılında yapılan "ısı transfer cihazı" çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada ısı borusu terimi kullanılsa da ısı borusunun temeli bu çalışmaya dayanmaktadır. Gaugler yaptığı çalışmada ısı transfer cihazının başlıca amacının "ısıyı absorbe etmesi bir başka deyişle buharlaşan sıvının yukarıdaki bir noktada yoğunlaşması ya da ısıyı alarak sıvı üzerinde ek iş uygulamadan daha yukarıda bulunan yoğunlaştırıcı bölgesine taşımak" olduğunu belirtmiştir [5]. Bu cihaz 1964'e kadar çok az ilgi görmüş olup, Grover ve ark. Las Alamos National Laboratories'de yaptıkları bir araştırmanın sonucunda çıkardıkları yayınlarda birlikte ilk kez "ısı borusu" terimi literatüre girmiştir. Bu çalışmada, Grover ısı borusunu "yüksek ısı iletkenliğe sahip yapılar, daha önemlisi, büyük miktarda ısı transfer edebilen düşük sıcaklık düşümlü cihazlar" olarak tanımlamıştır [7,13].

Isı boruları, kapalı iki fazlı çevrim olarak çalıştırdıklarından ısı transfer kapasiteleri iyi iletkenlerle karşılaştırıldığında çok daha fazladır. Isı borularında, buharlaştırıcıda ısı akışının artması sonucunda çalışma akışkanı buharlaşmakta ve bu işlem sonucunda çalışma sıcaklığında bir değişim görülmemektedir. Böylece ısı borusu neredeyse izotermal bir cihaz gibi çalışmaktadır. Isı borularında bulunan buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı bölümleri ısı borusundan bağımsız birer bölge şeklinde çalışmaktadır. Bu yüzden ısının alındığı alan ısının atıldığı ortamdaki farklı boyutlarda ve şekillerde

olabilmektedir. Burada önemli olan husus buharlaştırılan sıvının yoğunlaştırılan sıvı oranını geçmemesidir. Bu özellik sayesinde ısı borusu aracılığı ile çok küçük alanlardan çok büyük alanlara ısı akışı sağlanabilmektedir. Buda elektronik parçalarda ve sistemlerde ısı borusunun önemini artıran bir özelliktir. Isı borularını diğer ısı transfer cihazlarından üstün kılan başka bir özellik ise termal tepkime zamanıdır. Isı borularının termal tepkime zamanı diğer ısı transfer cihazlarına göre çok daha düşüktür [13].

Isı borusunun çalışma prensibi termosifona benzemektedir. İçerisinde az miktarda su bulunan iki ucu kapalı ve vakum işlemi uygulanmış bir boru olan termosifonun şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Termosifonun alt kısmında bulunan buharlaştırıcıdan ısı almasıyla sıvı buharlaşarak termosifonun soğuk kısmına doğru hareket etmektedir. Burada ısıyı atan buhar yoğunlaşarak yer çekimi etkisiyle buharlaştırıcıya geri dönmektedir. Yoğuşan buharın yer çekimi etkisiyle geri dönmesinden dolayı, termosifonun buharlaştırıcı kısmının daima yoğunlaştırıcı kısmından aşağıda bulunması gereklidir. Isı borularında ise termosifondan farklı olarak fitil yapısı bulunmaktadır. Fitil yapısı sayesinde ısı borusu içerisinde kapiler bir kuvvet oluşur ve oluşan bu kuvvet sonucunda yoğuşan buharın buharlaştırıcıya dönmesi sağlanır. Bu sayede ısı boruları buharlaştırıcının pozisyonuna bağlı olmaksızın farklı şekillerde çalışabilir [3].



Şekil 1. (a) Termosifonun şematik gösterimi (b) ısı borusunun şematik gösterimi [3]



Boru malzemesi seçilirken dikkat edilmesi gereken unsurlar aşağıda özetlenmektedir.

a) Uyumluluk (çalışma akışkanı ve çalıştığı çevre şartlarına olan uyumluluğu)

b) Isıl iletkenlik

c) Kolay üretilebilirlik

d) Gözeneklilik

Boru malzemesinin gözeneksiz yapıya sahip olması durumunda ısı borusu içerisinde çalışma akışkanının yayılması engellenmektedir. Yüksek ısı iletkenlik ise, ısı kaynağı ile fitil arasında minimum sıcaklık düşümü olmasını sağlamaktadır [3].

5. ISI BORULARINDA KULLANILAN FİTİL YAPILARI

Isı borularında kullanılan fitil yapılarının temel olarak iki görevi vardır. Bunlardan birincisi yoğunlaştırıcıya yoğunlaşan çalışma akışkanının buharlaştırıcıya dönüşümünü sağlamasıdır.

Fitil yapısının diğer görevi ise, çalışma akışkanının tüm buharlaştırıcı yüzeyine çevresel olarak dağıtılmasını sağlamasıdır. Genel olarak etkin bir fitil yapısında olması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir.

1) Yüksek Kapiler Basınç: Etkili bir fitil yapısı küçük yüzey gözenekliliğini sağlayarak yüksek kapiler basınç oluşturmaktadır.

2) Geçirgenlik: Sıvı akışına dik yönde geniş iç gözenekliliği sağlayarak sıvı akış direncini düşürmelidir.

3) Yüksek Isıl İletkenlik: Isı akışının gerçekleştiği fitil kalınlığı boyunca küçük sıcaklık düşümü için aralıksız olarak ısı iletkenliğinin sağlanması gerekmektedir [13].

Tüm bu gereksinimler göz önünde bulundurularak birçok çeşitte fitil yapısı geliştirilmiştir (Şekil 4). Fitil yapıları genel olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

Bunlar, bir cins malzemeden üretilen homojen fitil yapıları ve iki veya daha fazla malzemeden üretilen kompozit fitil yapılarıdır [2].



Şekil 4. Isı borularında kullanılan çeşitli fitil yapıları

5.1. Homojen Fital Yapıları

5.1.1. Elek Teli Yapısı: En yaygın kullanılan fitil yapısıdır. Bu tip fitil yapıları kriyojenik ve düşük sıcaklık ısı borularında kullanılması durumunda sıcaklık düşümleri oldukça fazladır [2].

5.1.2. Sinterlenmiş Metal Fital Yapısı: Sinterlenmiş metal fitil yapısı, toz halindeki metal parçalarının ısı borusunun iç duvarına maça yardımı ile sıkıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu düzenek metal parçacıklar birbirine ve ısı borusunun iç duvarına sinterlenene kadar ısıtılarak devam etmektedir [4]. Bu fitil yapısı küçük sıcaklık düşümü istenen ısı borularında kullanılır [2].

5.1.3. Aksiyal Yiv: Bu fitil yapısı, ısı borusu iç yüzeyine ekstrüzyon ya da dış açma yoluyla oluşmaktadır. Bu fitil yapısının yüksekliğin çok fazla olmadığı uygulamalarda oldukça verimli olduğu görülmektedir [4]. Üretim teknikleri sınırlı olmakla birlikte kriyojenik, düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık ısı borularının tümünde kullanılabilir [2].

5.1.4. Paralel ve Yarım Ay Şeklindeki Fital Yapıları: Bu yapılar sıvı akışı için düşük direnç göstermekle birlikte ısı akışı için yüksek direnç göstermektedirler [2].

5.1.5. Arter Fital Yapısı: Bu fitil yapısında ısı borusunun iç yüzeyi elek teli veya sinterlenmiş metal fitil yapısı ile kaplanmıştır. Bunun yanında içi boş olarak şekil verilmiş, fitil boyunca devam eden ve fitile temas eden bir fitil yapısı daha bulunmaktadır. Bu fitil yapıları yüksek performans fitilleridir [2,4].

5.2. Kompozit Fital Yapıları

5.2.1. Kompozit Elek Teli Yapısı: Bu fitil yapıları farklı gözenek büyüklüğüne sahip iki elek teli yapısının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu fitil yapıları geniş ısı transfer kapasitesine sahip olmakla birlikte eğer kullanılan çalışma akışkanı düşük ısıl iletkenliğe sahip ise sıcaklık düşümü fazla olabilmektedir [2,4].

5.2.2. Elek Teli Kaplı Yiv Yapısı: Bu fitil yapısı, homojen fitil yapılarında bulunan aksiyal yivli fitil yapısına, tek sarımlı ve küçük yüzey gözenekliliğine sahip elek teli yapısı ile kaplanması sonucu meydana gelmektedir [4].

5.2.3. Levha Fital Yapısı: Levha fitil yapısını oluşturan fitil yapısının birincisi, genişliği buhar akış kanalının çapına eşit olan ve borunun dairesel kesit alanın ortasına yerleştirilmiş olan yapıdır. Bu yapı

keçe ya da birkaç katlı elek teli yapısının bir araya gelmesiyle oluşan dikdörtgen kesitli yapıdır. İkinci fitil yapısı ise borunun içerisine çevresel olarak açılmış yivlerdir [4].

5.2.4. Tünel Fital Yapısı: Tünel fitil yapısında keçe ya da birkaç katmandan oluşan ve çapı ısı borusunun iç çapından daha küçük olan boru şekli verilmiş bir fitil yapısı bulunmaktadır. Bu yapı levha şeklindeki fitiller ile desteklenerek ısı borusunun eksenine yerleştirilmektedir. Diğer fitil yapısı ise ısı borusunun iç yüzeyinde bulunan yivlerdir [4].

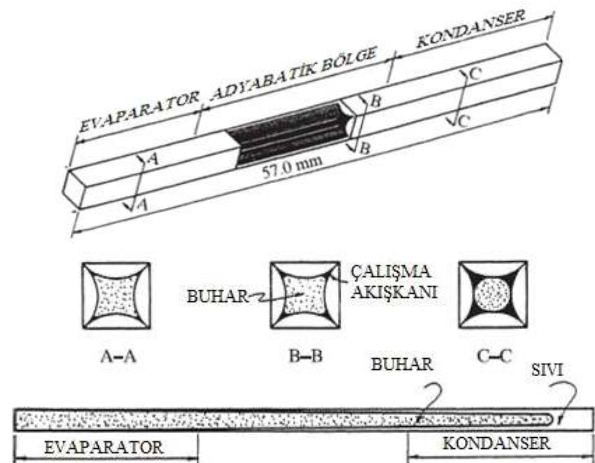
6. ISI BORULARI UYGULAMALARI

Isı borusunun en basit olarak bilinen formu boru şeklinde olan formudur. Boru şeklindeki ısı borularından farklı olarak çok çeşitli yapılarda ısı boruları bulunmaktadır. Çalışma koşulları göz önüne alınarak geliştirilen farklı tiplerdeki ısı boruları aşağıda incelenmiştir.

6.1. Mikro Isı Boruları

Mikro ısı boruları çok küçük boyutlu dairesel olmayan ve içerisinde kapiler basıncı sağlayan keskin açılı köşeler bulunduran ısı borularıdır [6]. Mikro ısı borusu fikri ilk olarak Cotter tarafından, elektronik çiplerde konvansiyonel ısı boruları gibi düzgün olarak atık ısının uzaklaştırılması için uygulanmıştır [15].

Şekil 5'de görülen ısı borusu Babin ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olup dış boyutları 1x1 mm ve uzunluğu 57 mm olup iç duvarları konveks yay şeklindedir. Kapiler basıncı sağlayan bu kanalların maksimum boyutu 1 mm ve minimum boyutu 0.6 mm olarak belirtilmiştir [6].

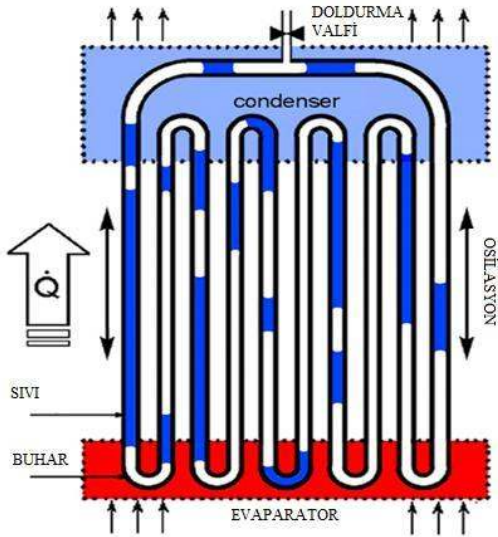


Şekil 5. Mikro ısı borusu [6]

6.2. Atımlı Isı Boruları

Atımlı ısı borusu ilk olarak 1990 yılında Akachi ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [14]. Tipik bir atımlı ısı borusu kılcal boyutlardaki düz bir borunun birçok defa u şeklinde kıvrılarak açıkta kalan iki ucunun birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Atımlı ısı borularında diğer ısı borularında bulunan kapiler basıncın oluşmasını sağlayan yapılar bulunmamaktadır [8].

Burada ısı transferi tüp içerisindeki gaz ve sıvı formundaki akışkanın osilasyonu ile elde edilir ki bununla termal uyarılmış pulsların (atımların) basıncından ve iki fazlı kararsız akışın karmaşık kombinasyonundan kaynaklandığına inanılmaktadır [11]. Şekil 6'da atımlı bir ısı borusu şematik olarak görülmektedir.

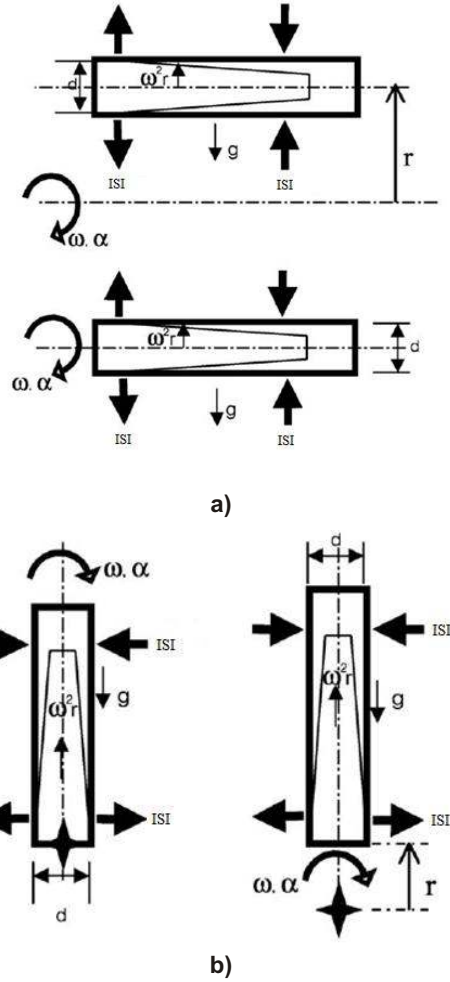


Şekil 6. Atımlı ısı borusunun şematik gösterimi

6.3. Dönen Isı Boruları

Dönen ısı boruları fikri ilk olarak Gray tarafından 1969 yılında ortaya konulmuştur. Bilinen birçok ısı borusunda, yoğuşturucuda yoğuşan akışkanın buharlaştırıcıya dönüşünün sağlanması; yerçekimi etkisi, kapiler yapılar, osmotik membran ve merkezkaç kuvveti gibi farklı mekanizmalarla gerçekleşmektedir. Bu mekanizmalar arasında yoğuşturucuda yoğuşan akışkanın buharlaştırıcıya dönüşünü merkezkaç kuvveti etkisiyle sağlayan ısı boruları dönen ısı boruları olarak adlandırılmaktadır [19]. Dönen ısı boruları içerisindeki akış ısı borusunun kendi eksenine etrafındaki dönüşünün

sonucunda oluşan merkezkaç kuvveti ile sağlandığından ısı borusunun dönüş hızı ya da daha doğru olarak merkezkaç ivmesi ısı transfer oranını önemli ölçüde etkiler [10]. Dönen ısı boruları dönme eksenine bağlı olarak radyal dönen ısı boruları ve aksel dönen ısı boruları olarak iki kategoride incelenmektedir. Şekil 7'de radyal ve aksel dönen ısı boruları verilmektedir.

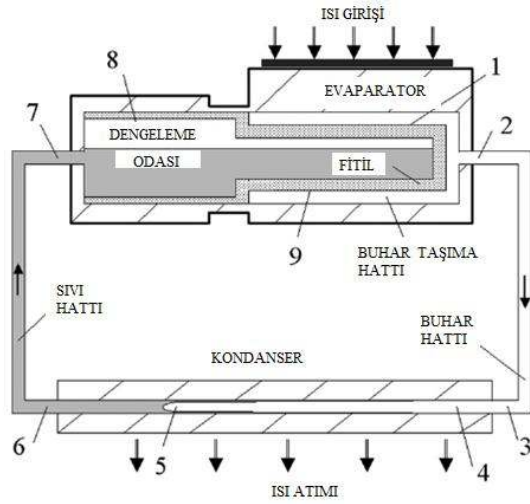


Şekil 7. Aksel (a) ve Radyal (b) dönen ısı boruları

6.4. Döngüsel Isı Boruları

Döngüsel ısı borusu ilk olarak 1972 yılında Gerasimov ve Maydanik tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ısı borusu 1.2 m uzunluğunda çalışma akışkanı olarak su kullanılan yaklaşık 1 kW kapasiteye sahiptir. Döngüsel ısı boruları, konvansiyonel ısı borularının tüm avantajlarına rağmen uzay teknolojilerindeki yüksek verimli ısı transfer cihazlarına duyulan ihtiyaçları karşılamak amacıyla, konvansiyonel ısı borularıyla aynı ayar da çalışabilen fakat yerçekimi alanındaki değişimlerden

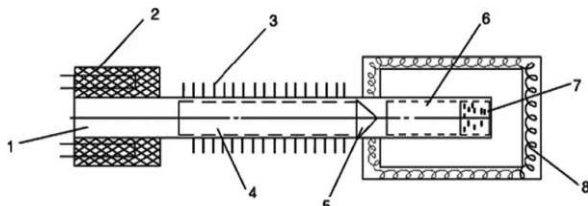
daha az etkilenecek bir ısı transfer cihazına ihtiyaç duyulması sonucu ortaya çıkmıştır [12]. Döngüsel ısı boruları; buharlaştırıcı ve kondanser kısımları birbirinden ayrılmış ve çalışma akışkanının buharlaştırıcı ile kondanser arasında borular aracılığı ile taşındığı bir ısı borusu çeşitidir [16]. Şekil 8'de döngüsel bir ısı borusu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 8. Döngüsel ısı borusunun şematik gösterimi [9]

6.5. Sorpsiyonlu ısı Boruları

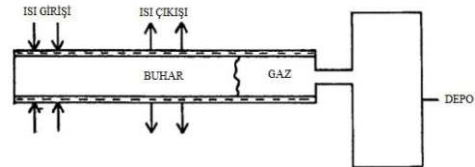
Sorpsiyonlu ısı boruları, ısı borusu ile katı sorpsiyonlu soğutucuların bazı özelliklerinin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Sorpsiyonlu ısı borusu, konvansiyonel ısı borularındaki ısı ve kütle transferi işleminin içerisinde bulundurduğu sorbent yatak sayesinde geliştirildiği şeklidir. Sorpsiyonlu soğutma sistemleri elektronik güç parçalarının soğutulmasında (IGBT, tiristor, vb), bilgisayar soğutmada (çip, cpu yada notebook pc) ve uzay uygulamaları için kullanılan çift fazlı termal kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır [17,18]. Şekil 9'da temel olarak sorpsiyonlu bir ısı borusu görülmektedir.



Şekil 9. Sorpsiyonlu ısı borusunun şematik gösterimi (1) buhar kanalı; (2) gözenekli sorpsiyon yapısı; (3) ısı borusu yoğuşturucu/buharlaştırıcı; (4) fitil yapısı; (5) valf; (6) düşük sıcaklık buharlaştırıcısı (fitilli); (7) birikmiş soğutucu akışkan; (8) soğuk kutu [17]

6.6 Değişken İletkenlikli ısı Boruları

Değişken iletkenlikli ısı boruları, konvansiyonel ısı borusuna, çalışma akışkanından farklı ve yoğuşmayan bir gaz ile gaz rezervuarı eklenmesi sonucu oluşmaktadır. Gaz rezervuarı farklı yerlerde olmakla birlikte kondanser ile direkt olarak temas halinde olmalıdır. Sistem çalışmaya başladığında buharlaştırıcı kısımdan ısı alan çalışma akışkanı buharlaşarak kondansere doğru hareket etmektedir. Bu esnada yoğuşmayan gaz rezervuarına doğru sıkıştırılarak aktif kondanser uzunluğu artmaktadır. Kondanserin aktif uzunluğu artması ile kondanserdeki ara yüzeyin ısı direnci azalmıştır. Isıl direncin azalmasına bağlı olarak buhar sıcaklığı ve ısı transfer oranı da artmıştır [2]. Şekil 10'da soğuk depolu değişken iletkenlikli bir ısı borusu şematik olarak gösterilmiştir. Kosson ve arkadaşları tarafından yapılan değişken iletkenlikli bir ısı borusunda çalışma akışkanı olarak amonyak kullanılmıştır. 2 m uzunluğunda ve 25 mm çapında boyutları olan bu ısı borusunda kontrol gazı olarak nitrojen kullanılmıştır. Fitil yapısı arter fitil yapısı olarak seçilen bu sistemin kapasitesi 1200 W'a kadar çıkmıştır [3].



Şekil 10. Soğuk depolu ısı borusunun şematik gösterimi [3]

7. Sonuç

Isı boruları, yüksek ısı iletkenliğine sahip ısı transfer cihazlarıdır. Uygulamada çalışma koşulları göz önünde bulundurularak çok farklı şekillerde ısı boruları imal edilerek uygulanmaktadır. Bu çalışmada ısı borularını oluşturan malzemeler, kullanılan çalışma akışkanları ve fitil yapıları irdelenerek, uygulamada kullanılan ısı boruları ve özellikleri hakkında bilgiler aktararak konuyla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Isı borulu ısı değiştiriciler belirli üstünlükleri ile ısı ve soğuk geri kazanımında son yıllarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Teknik olarak ülkemiz kuruluşlarında da kolaylıkla imal edilebilecek bu ısı değiştirici tipinin seri üretimlerinin gerçekleştirilip kullanımına sunulması gerekmektedir.



Mehmet Döver

Kurye Kargo Dağıtım Taşımacılık İnşaat Temizlik Ve
Özel Eğitim Hiz. San. Ve Tic. Ltd. Şti.

soğutma
dünyası

Bilimsel

Açılışınız, davetiniz, kokteyliniz iş yaşamınıza
güzellikler katacak benzeri
organizasyonlarınızda gönderilerinizi özenli ve
zamanında nasıl ulaştıracağınızı
düşünüyorsanız,

Katalog, fatura, fiyat listesi, broşür gibi
firmanıza özel gönderilerinizi hazırlayıp
göndermeye zaman bulamıyorsanız,

Bütün gönderilerinizin özenle hazırlanmasını
(poşetleme, etiketleme, zarflama vb.)
bekliyorsanız,

Özgünce bir çözüme
ne dersiniz?

853 Sok. No:29 Kaptan Mustafa Paşa Vakıf Hanı
Konak / İzmir

Tel: 0232 489 36 28 - 0232 489 93 35

Fax: 0232 489 36 30

b.islem@ozguncendagitim.com.tr

satis@ozguncendagitim.com.tr

www.ozguncendagitim.com.tr

8. KAYNAKLAR

- [1]Bejan A., Kraus A.D., *Heat transfer handbook*, John Wiley & Sons, 2003.
- [2]Chi S.W., *Heat Pipe Theory and Practice*, Mc Grow-Hill Book Company, 1976.
- [3]Dunn P., Reay D.A., *Heat Pipes Theory, Design and Applications*, Butterworth-Heinemann, fifth edition, 2006.
- [4]Faghri A., *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor & Francis, 1995.
- [5]Gaugler, R.S., *US Patent 2350348 Appl. 21 Dec, 1942*, Published 6 June 1944.
- [6]Groll M., Schneider M., Sartre V., Zaghdoudi M.C., Lallemand M., *Thermal control of electronic equipment by heat pipes*, Rev. Gen. Therm. 37,323-352, 1998.
- [7]Grover, G.M., *US Patent 3229759 Filed 2 Dec.1963*, Published 18 jan 1966.
- [8]Khandekar S., Gautam A.S., Sharma P.S., *Multiple quasi-steady states in a closed loop pulsating heat pipe*, Int J. Thermal Sciences 48, 535-546, 2009.
- [9]Launay S., Sartre V., Bonjour J., *Parametric analysis of loop heat pipe operation: a literature review*, Int. J. Thermal Sciences 46, 621-636, 2007.
- [10]Lee J.S., Kim C.J., *Heat transfer and internal flow characteristics of a coil-inserted rotating heat pipe*, Int. J. Heat and Mass Transfer 44, 3543-3551, 2001.
- [11]Lips S., Bensalem A., Bertin Y., Ayel V., Romestant C., Bonjour J., *Experimental evidences of distinct heat transfer regimes in pulsating heat pipes (PHP)*, Applied Thermal Engineering 30, 900-907, 2010.
- [12]Maydanik Yu.F., *Loop heat pipes*, Applied Thermal Engineering 25, 635-657, 2005.
- [13]Peterson G.P., *An Introduction To Heat Pipes, Modeling, Testing and Applications*, A Wiley-Interscience Publication, 1994.
- [14]Song Y., Xu J., *Chaotic behavior of pulsating heat pipes*, Int J. Heat and Mass Transfer 52, 2932-2941, 2009.
- [15]Suman B., Kumar P., *An analytical model for fluid flow and heat transfer in a micro-heat pipe of polygonal shape*, Int. J. Heat and Mass Transfer 48,4498-4509, 2005.
- [16]Vasiliev L., Lossouarn D., Romestant C., Alexandre A., Bertin Y., Piatsiushyk Y., Romanenkov V., *Loop heat pipe for cooling of high-power electronic components*, Int. J. Heat and Mass Transfer 52, 301-308, 2009.
- [17]Vasiliev L., Vasiliev Jr., L., *Sorption heat pipe a new thermal control device for space and ground application*, Int.J. Heat and Mass Transfer 48, 2464-2472, 2005.
- [18]Vasiliev L.L., Vasiliev Jr. L.L., *The sorption heat pipe-a new device for thermal control and active cooling*, Superlattices and Microstructures 35, 485-495, 2004.
- [19]Waowaew N., Terdtoon P., Maezawa S., Kamonpet P., Klongpanich W., *Correlation to predict heat transfer characteristics of a radially rotating heat pipe at vertical position*, Applied Thermal Engineering 23, 1019-1032, 2003.✱