

**ÇELİK TENCERELERDE TABAN OLARAK BAKIR (Cu) VEYA ALÜMİNYUM (Al)
KULLANILMASI DURUMUNDA GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Tahir AYATA

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 71451, Yahşıhan, Kırıkkale, Türkiye

ÖZET

Katmanlı bir yapıda, metal plakanın bir tarafı düzensiz olarak ısıtılırken diğer tarafında düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşmak istendiğinde (çakma tabanlı tencerelerde olduğu gibi) katmanlı yapının kalınlıkları üzerinde bir düzenlemeye gitmek gerekir. Isıl genleşme katsayıları farklı, iki malzemeden oluşmuş bir katmanlı silindirik yapının, ortaya çıkacak sıcaklık değişimlerinde farklı genleşme göstermesi de üzerinde çalışılması gereken önemli bir problemdir. Bu çalışmada, bu ana fikir etrafında bu probleme çözüm arandı. Bu amaçla katmanlı yapının ısıtılan tarafına değişen kalınlıklarda Cu/Al yerleştirildi. Al/CrNi katmanlı yapısı Cu/CrNi katmanlı yapısına göre daha düşük ısı iletimi ve daha yüksek sıcaklık gradyenti gösterdi. İki farklı metalin arayüzeyindeki ısıl gerilmeler de imalatçının dikkatine sunuldu. Simülasyon sonucunda Cu/CrNi katmanlı yapısında Al/CrNi katmanlı yapısına göre daha düzgün bir sıcaklık dağılımı ve daha düşük gerilme değerleri ortaya çıktığı gözlemlendi. Bu amaç için sonlu elemanlar yöntemi (FEM) program paketi; ANSYS kullanıldı.

Anahtar Kelimeler : Isıl gerilme, Isıl genleşme, Isı iletimi, Katmanlı yapı, Sıcaklık dağılımı

**AN INVESTIGATION OF CHANGİNG STRESS AND SHAPE İN A COPPER AND ALUMİNİUM
LAYERED BASE OF A STEEL SAUCEPAN**

ABSTRACT

In order to get the benefits of a multilayered structure when a regular temperature distribution is required on one side of a metal plate with an other side heated irregularly to be layered plate (i.e. in the cases of cooking soucepans etc.), regulation between the thicknesses of the layered structure is needed. A layered cylindrical structure which is manufactured from two materials with different thermal expansion coefficients, shows various expansion with temperature. This also forms an important problem that should be investigated. In this study, the main idea has been finding a solution to the problem of non-regular distribution of temperature on the nonheated side of an irregularly heated plate by means of placing two layers of Cu/CrNi and Al/CrNi of varying thicknesses in a combined structure. Al/CrNi laminated plate has a low temperature gradient distribution on the upper (or nonheated) surface due to its lesser heat conductivity compared to the Cu/CrNi steel. The thermal stress in the interface of two different materials has been point out to the care of the manufacturers. Simulation results show that layered structure of Cu/CrNi produced a better distribution of temperature and thermal stresses at the unheated side of the metal plate. For this aim, Finite Elements Method (FEM) program package ANSYS has been used.

Key Words : Thermal stress, Thermal expansion, Heat conduction, Layered plate, Temperature distribution

1. GİRİŞ

Bir yüzeyinde düzgün olmayan bir sıcaklık dağılımına sahip düzlem bir levhanın diğer yüzeyinde de düzgün bir sıcaklık dağılımının ortaya çıkması istendiğinde, katmanlı olarak düşünülecek levhanın birden fazla malzeme çeşidinden oluşacak yapısında malzemeler arası geometride bazı düzenlemelere gitmek gerekir. Bir sistemin ısıtılmasını gerektiren durumlarda hem sistemi dolduran hemde sistemi sınırlayan malzemelerin ısıl

iletkenliklerinin yanında ısı genleşme katsayıları sistemlerin modellenmesinde önemli bir belirleyiciliğe sahiptir. Bir çok durumda düşük ısı iletkenlikli malzemeler ısının iletilmesine karşı koymasıyla bir direnç olarak karşımıza çıkar ve bu durumun ortaya çıktığı ısı sistemlerin tasarımında özellikle dikkate alınırlar. Sözü edilen malzemelerin ısı özelliklerinin yanı sıra mukavemet özellikleri de bunların üretimlerinde sınırlayıcı etken olarak göz önüne alınır.

Isıl genleşme katsayıları farklı iki malzemeden oluşmuş bir katmanlı silindirik yapı ortaya çıkacak sıcaklık değişimlerinde farklı genleşme gösterir. Bu genleşme katmanlı yapı arayüzeyinde gerilmeler doğuracaktır. Tasarım aşamasında, arayüzey bu gerilmeleri taşıyacak yapıda düşünülmeli ve şekil değişimleri de gözönünde bulundurulmalıdır. Aksi durumda, çakma tabanlı tencere imalatçıların ilk ürünlerinde karşılaştıkları, taban atma problemi benzeri durumlar ortaya çıkacaktır. Bu yüzden imalatta termal genleşme katsayıları birbirine yakın malzemeler kullanılması gerekir.

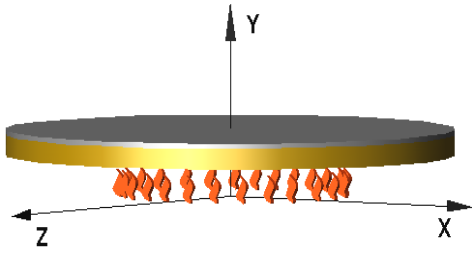
Her iki özelliği birden taşıyan yani; hem ısı iletkenliği iyi olan hem de ısı genleşmelerden dolayı imalat zorluğu olmayan bir kompozisyon tasarlamak tasarımcının temel sorunudur. Isının istenilen şekilde iletilmesinin zorluğu, kanatlı tip ısı değiştiricisi kanat tasarımında ısının uç noktalara kadar iletilmesinde karşımıza çıktığı gibi [1], bir motor bloğunda silindir içindeki yanmanın düzgün sıcaklık dağılımı sahip bir ortamda gerçekleşmesinde [2] ve bir yüzeyden düzgün olmayan bir şekilde ısıtılan levhaların, çelik tencere tabanlarında olduğu gibi, diğer yüzeylerinde düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşmada da karşımıza çıkar [3,4]. Bu güçlüğün giderilmesi için, ısı değiştiricisinin kanat geometrisinde düzenlemelere gidilirken düzlem levhalarda veya benzer sistemlerde ısıtılmayan yüzeylerde düzenli bir sıcaklık dağılımına ulaşmak için ısıtılan yüzeyde düzenli bir sıcaklık dağılımı sağlanmaya çalışılır. Yapılan çalışmalarda etkin bir ısı iletkenliğe ulaşabilmek için kompozit malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmış ve yeni malzeme yapıları belirlenmiş [5] ayrıca katmanlı levhalar kullanılarak sıcaklık dağılımında sayısal optimizasyona gidilmiştir [6].

Çelik gibi malzemelerin ısının iletilmesine büyük direnç göstermesi ve bunun sonucunda kararlı durumda ısının yayıldığı doğrultu üzerinde birbirine yakın noktalar arasında bile büyük sıcaklık değişimleri doğurmasına karşılık [7,8] bakır ve alüminyum gibi malzemeler ısının iletilmesine fazlaca direnç göstermez ve birbirine uzak noktalar arasında bile düşük sıcaklık değişimleri ortaya çıkar [9]. Günümüz teknolojisinin, farklı malzemelerin bir arada kullanıldığı, bir çok gelişmiş ürününde, bilgisayar işlemcilerinde olduğu gibi, düzgün sıcaklık dağılımı ve oluşan ısının dışarı atılması önemli bir problemdir [10,11]. Ayrıca farklı malzemelerin tabakalar halinde kullanıldığı kompozit yapılarda düzgün sıcaklık dağılımı oluşacak gerilme ve şekil değişimlerini yenme açısından incelenmiştir [7,12,13,14]. Bakır ve dökme demirden oluşmuş katmanlı silindirik yapı için aksel ve eksene dik yönde ısı iletim değerleri bakır ve dökme demirin farklı oranları için incelenmiş ve bu yapıya ait ısı iletim katsayıları araştırılmıştır [15]. Çalışmalarda, bakır ve 304 çeliği 12 MPa basınç altında ve 800 °C sıcaklıkta 30 dakika sıkıştırılarak difüzyon kaynaşması sağlanmıştır [16].

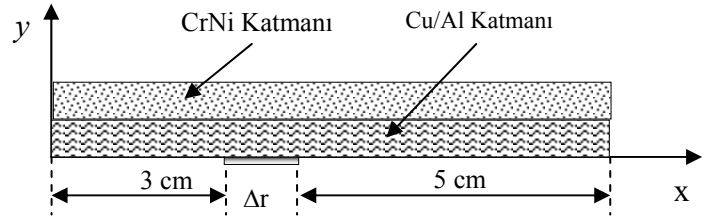
Farklı malzemelerin ısı iletkenliklerinin farklılık gösteriyor olması temelde problem olsa da, her iki malzemenin değişen kalınlıklarda kullanıldığı katmanlı yapıyla, malzemenin ısı iletim katsayısı bakır ve alüminyum için iletim çelik için direnç değeri gösterdiği düşünülerek oluşturulacak arayüzey düzenlemesiyle, ısıtılan yüzeye düzgün olmayan bir sıcaklık dağılımı uygulanırken, ısıtılmayan yüzeyde nisbeten düzgün sıcaklık dağılımına ulaşılabilceği düşüncesini destekler. Bu çalışmada bu anafikir etrafında çelik tencere imalatçıların temel problemlerinden birisi olan tencerenin taban alt yüzeyinde oluşan ısının taban üst yüzeyine akması ve üst yüzeydeki sıcaklık dağılımının düzleştirilmesi problemi incelendi. Ayrıca bu modelleme sonucu oluşan gerilme ve şekil değişimleri göz önünde bulundurularak en uygun malzeme ve bu malzemeye ait kalınlık tespit edildi. Model olarak, belirli bir kalınlıktaki düzlem bir silindirik levhanın bir yüzeyinden düzgün olmayan bir şekilde sıcaklık uygulanırken diğer yüzeyinde düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşmaya çalışıldı. Bunun için Cu/CrNi ve Al/CrNi katmanlı yapılarının farklı kalınlıkları sonlu elemanlar yöntemi (ANSYS) ile incelendi [17].

2. SAYISAL HESAPLAMALAR

Şekil 2.1.'de verilen silindirik levhanın bir yüzeyinin merkezden r uzaklıktaki Δr genişlikli bölgesinin sabit sıcaklıklı bir enerji kaynağı ile ısı enerjisi etkileşiminde bulunduğu kabul edilsin. Sistemdeki geometrik ve ısı simetri kullanılarak sistem yeniden tanımlanırsa Şekil 2.2. elde edilir. Bu yeni şartlara göre sistemin sınır şartları şu şekilde verilir. Levhanın ön ve arka yüzeyinde ve merkezinde y eksen boyunca simetriden dolayı sıcaklık gradyentleri sıfırdır. Diğer yüzeylerde ise taşınım ısı geçişi vardır.

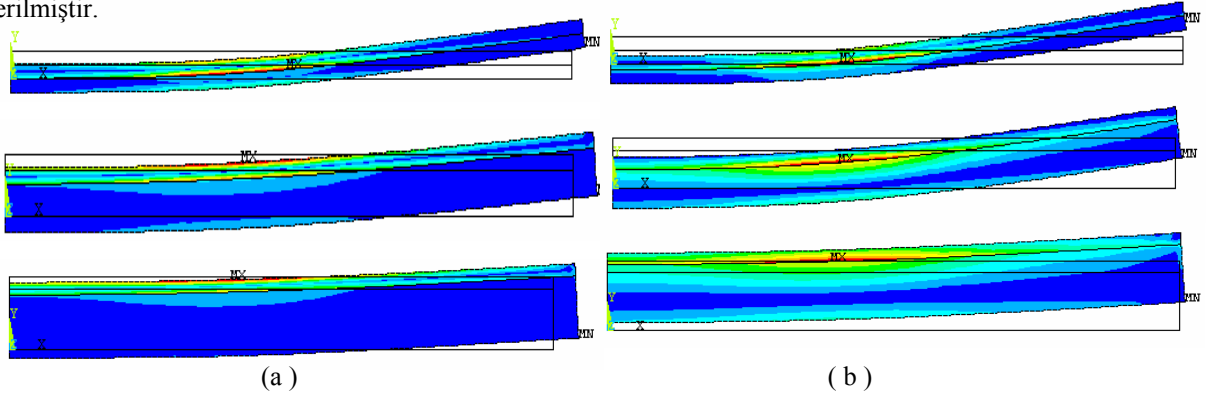


Şekil 1. Sabit Isı Akısına Maruz Kalan Katmanlı Silindirik Levha



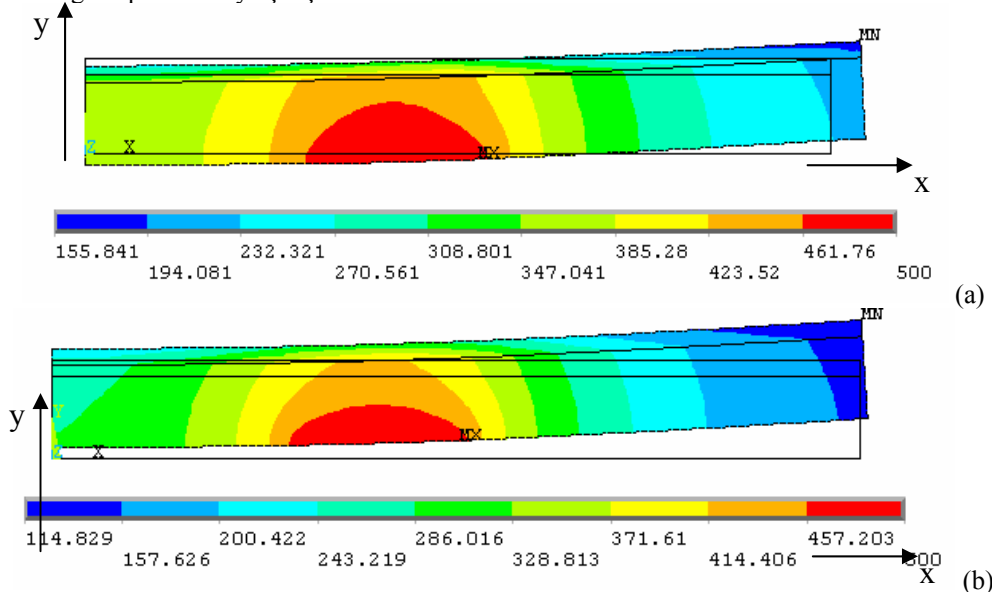
Şekil 2. Nümerik Hesaplamalar İçin Kullanılan Katmanlı Silindirik Levha modeli

Sayısal hesaplamalarda silindirik levhanın $\Delta r=2$ cm genişliğine uygulanan sıcaklık değeri 500°C , çevre sıcaklığı 20°C ve levha ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı $17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ alınmıştır. Ayrıca levhanın üst yüzeyinde su bulunduğu ve su-levha arasındaki ısı taşınım katsayısının $50 \text{ (W}/\text{m}^2\text{K})$ olduğu kabul edilmiştir. Burada bakır ve alüminyum için ısı iletim katsayısı sırasıyla $k=386 \text{ (W}/\text{mK})$ ve $k=190 \text{ (W}/\text{mK})$, %18Cr, %8Ni içeren CrNi çeliği için ise $k=16,3 \text{ W}/(\text{mK})$, bu malzemeler için ısıl genleşme katsayıları sırasıyla $1,66 \cdot 10^{-5}$, $2,27 \cdot 10^{-5}$ ve $1,78 \cdot 10^{-5}$ alınmıştır [18]. Sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla Cu/CrNi ve Al/CrNi katmanlı yapısı için elde edilen levha kesitindeki şekil değişimleri ve oluşan gerilmeler Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 3. A) Cu/Crni B) Al/Crni Katmanlı Yapısı 2, 6 Ve 10 Mm Katman Kalınlıkları İçin Silindirik Levha Kesitindeki Şekil Değişimleri Ve Gerilmeler

Katmanlı yapıda ısıtılmayan yüzey, ısı iletkenliği bakır ve alüminyuma göre çok daha düşük olması sebebiyle, CrNi çeliği; ısıtılan yüzey ise bakır/alüminyum olacak şekilde bir düzenlemeye gidildi. CrNi katman kalınlığı 2 mm sabit alınırken Cu/Al katman kalınlığı 2 ile 10 mm arasında değiştirildi ve en uygun katman kalınlığı tespit edilmeye çalışıldı.

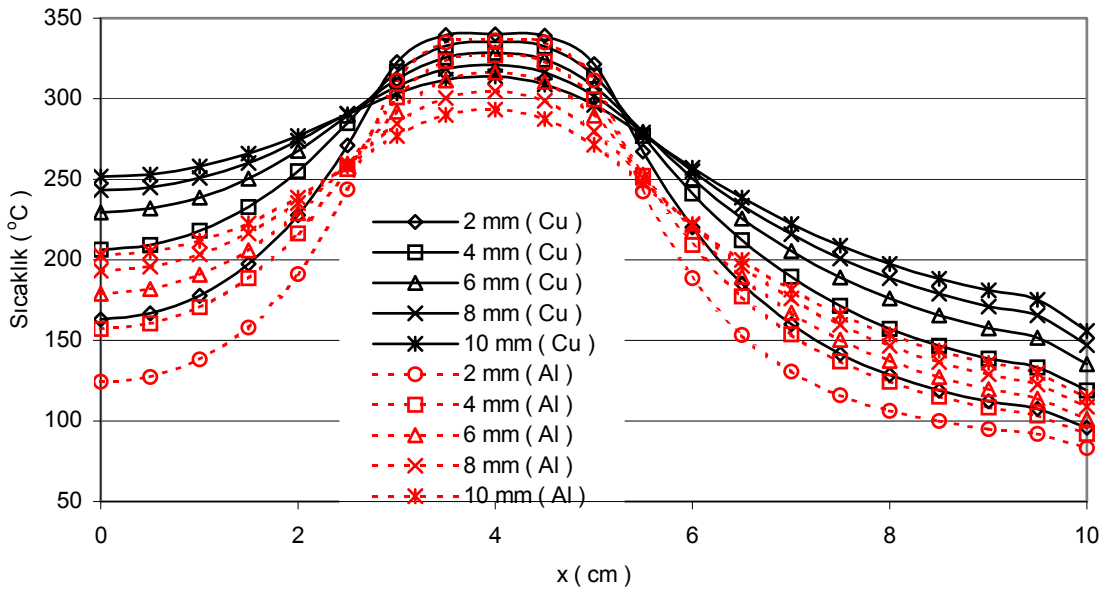


Şekil 4 A) Cu/Crni B) Al/Crni Katmanlı Yapısı İçin Silindir Kesitindeki Sıcaklık Dağılımları

Bu yaklaşım yöntemiyle katmanlı yapının ısıtılmayan yüzeyi üzerinde hem daha düzgün bir sıcaklık dağılımına yakınsama sağlandı hem de gerilme ve şekil değişim değerlerinde bir azalma gözlemlendi. Çalışmanın sonunda, katmanlı yapısında Cu ve CrNi kullanılan silindirik düzlem levhalar ile katmanlı yapısında Al ve CrNi kullanılan silindirik düzlem levhanın ısıtılmayan yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları, şekil değişimleri ve gerilme değerleri karşılaştırıldı. Şekil 4.'de Cu/CrNi ve Al/CrNi katmanlı yapısının 10 mm katman kalınlığı için silindir kesitindeki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Bu değerler aynı zamanda tüm örnekler içinde ulaşılan en iyi sıcaklık dağılım değerlerini de göstermektedir.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

10 mm taban kalınlıklı Al/CrNi katmanlı yapısı kullanılarak elde edilen yüzey sıcaklık dağılımlarına bakıldığında en üst ve en alt sıcaklık değerleri 293°C ve 115°C ve bunlar arasındaki fark 178°C iken, Cu/CrNi katmanlı yapısı kullanılarak elde edilen yüzey sıcaklık dağılımlarına bakıldığında en üst ve en alt sıcaklık değerleri 314°C ve 156°C ve bunlar arasındaki fark 158°C çıkmaktadır. Bu durumda Cu/CrNi, Al/CrNi göre hem sıcaklık gradyenti açısından daha düşük bir değer gösterirken hem de ortalama sıcaklığı yaklaşık 30°C yukarı çekmektedir.

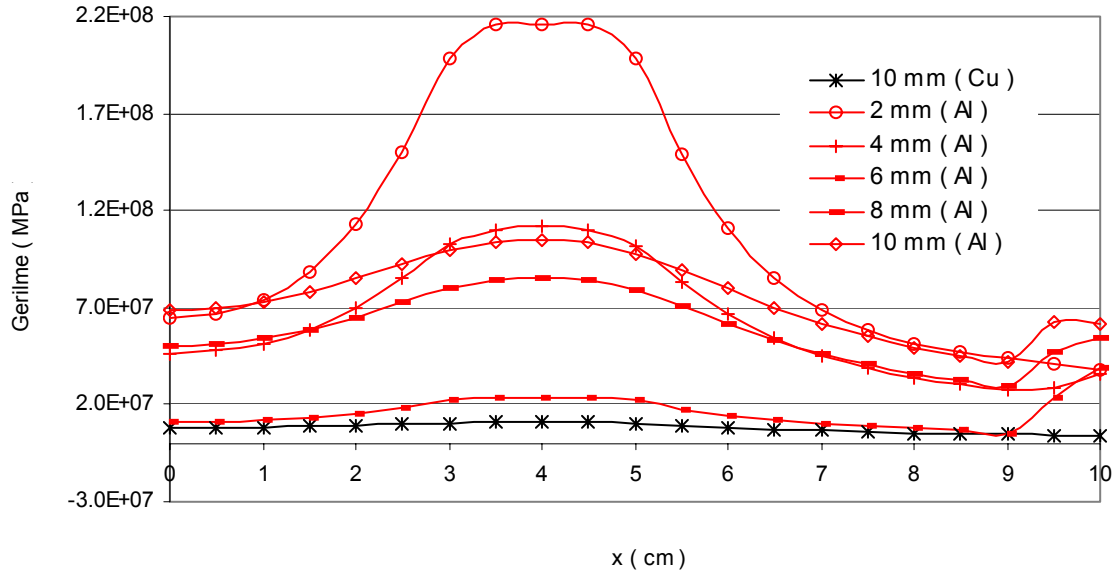


Şekil 5. Cu/CrNi Ve Al/CrNi Katmanlı Yapısının Aynı Şartlarda Elde Edilmiş Isıtılmayan Yüzey Sıcaklık Değerleri

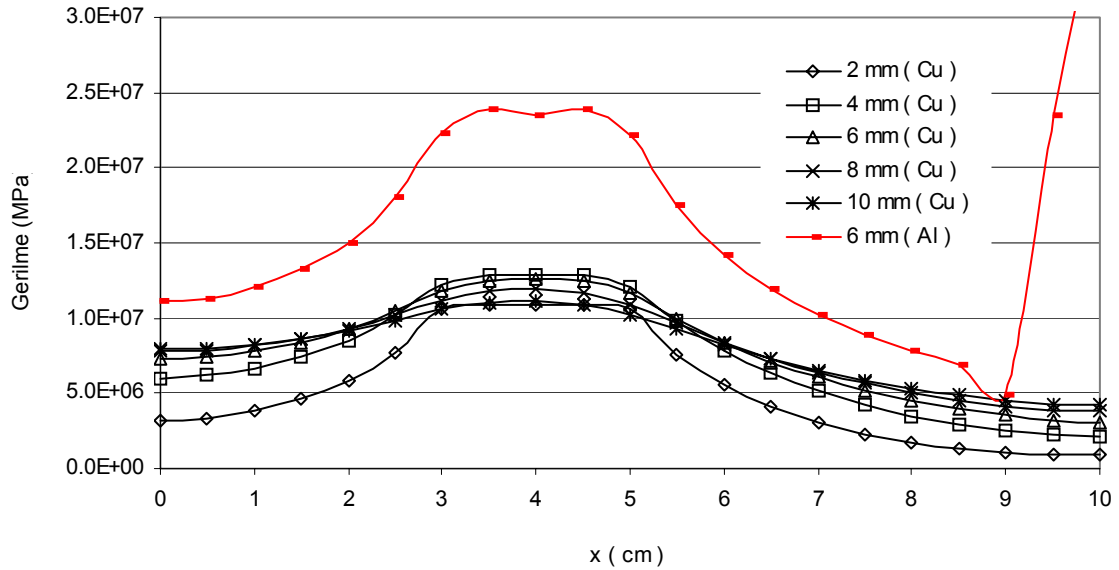
Şekil 5.'de Al/CrNi ile Cu/CrNi katmanlı yapısı için aynı şartlarda elde edilmiş yüzey sıcaklık değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Çok farklı ısı iletkenliklere sahip olan CrNi çeliği ve Cu'nun geometrik yapıda uygun bir şekilde kullanılması, ısıtılmayan yüzeyde düzgün olarak kabul edilebilecek bir sıcaklık dağılımının elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Her ne kadar elde edilen bu değerler saf bakırla elde edilen yüzey sıcaklık değerlerine ulaşamamışsa da CrNi çeliğine göre bu ortalama yüzey sıcaklığı daha yüksek değere çekilmiştir. Bu ise, ısıtılan yüzeydeki daha düşük sıcaklık değerleri için suyla temas halinde olan yüzeyde CrNi çeliğine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesi demektir.

Ortaya çıkan gerilme ve şekil değişimlerinin önüne geçmek için, tasarım safhasında arayüzey geometrisi dikkate alınmalıdır. Ele alınan arayüzey geometrileri Şekil 6 ve 7'de verilen gerilmeleri ortaya çıkarmaktadır. İki farklı malzeme, bu gerilmeleri taşıyacak bir yöntemle birleştirilmeli ve ortaya çıkan şekil değişimleri de gözönünde bulundurulmalıdır. Aksi durumda, Termik tabanlı tencere imalatçıların alüminyum taban çaktıkları ilk ürünlerinde karşılaştıkları taban atma problemi benzeri durumlar ortaya çıkacaktır. Şu an kullanılan alüminyum tabanlı tencereler yerine bakır taban kullanılması durumunda yukarıda sözü geçen iyileşmelerin ortaya çıkacağı açıktır. Bunun yanında Şekil 6 ve 7'de verilen gerilme değerlerine bakarak şunu

söyleyebiliriz: Al taban için en düşük gerilme değeri 6 mm taban kalınlığında ortaya çıkmaktadır. Bu değer Cu taban için en düşük gerilmenin ortaya çıktığı 10 mm kalınlıktaki gerilme değerinden oldukça yüksektir.



Şekil 6. Al/Crni Katmanlı Yapı, 2, 4, 6, 8, 10 Mm Al Kalınlıkları İçin Arayüzey Boyunca Gerilme Dağılımı



Şekil 7. Cu/Crni Katmanlı Yapı, 2, 4, 6, 8, 10 Mm Cu Kalınlıkları İçin Arayüzey Boyunca Gerilme Dağılımı

Sonuç olarak; 10 mm tabanlı, Cu/CrNi katmanlı yapısı;

- ✓ gerilme değerleri açısından en küçük gerilme değerlerini vermekte,
- ✓ düşük gerilme değerlerinden dolayı en düşük şekil değişimine maruz kalmakta,
- ✓ yüzey sıcaklık dağılımı olarak en düşük gradyenti vermekte
- ✓ ve son olarak en yüksek ortalama sıcaklığı sağlamaktadır.

Bu durumda, kullanılan alüminyum taban yerine bakır taban kullanılması bir kez daha gözden geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Lee, H.L., Wu, T.S., Yang, Y.C., “ Prediction of Unknown Base Flux in an Annular Fin by Strain Measureent”, **Int.Comn. Heat Mass Transfer**, Vıl. 30, No. 1, pp. 115-125, 2003.
2. Subramanyam, S. Crowe, K.E., “Thermal FEA And Validation”, **33rd National Heat Transfer Conference**, Albuquerque, New Mexico, August 1999.
3. Pan, Z., “**Temperature Distribution and Heat Transfer Coefficient of a Clam-shell Grill**”, **Conference of Food Engineering**, Tuesday, November 6, 2001.
4. Sarkar, A., Erdogdu, F., Singh, P.R., “Measurement of Spatial Variations of Heat Transfer Coefficient on Flat Surfaces for Food Processing Applications”, **Conference of Food Engineering**, Tuesday, November 6, 2001.
5. Berezko, S.N., Zarichnyak, Yu.P., Korenev, P.A., Sokolov, A.N., “Modelling the Structure, and the Calculation of Thermal Conductivity of Shaggy Composite Materials”, **Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal** v 67, p 287-294, n 3-4 Sept-Oct 1994.
6. Walker, M., Reiss, T., Adali, S., “Optimal Design of Symetrically Laminated Plates for Maximum Buckling Temperature”, **Computer Aided Design in Composite Material Technology-International Conference**, Computational Mechanics Publ, Southampton, Engl. p 353-363, 1996.
7. Apalak, M. K., Gunes, R., Turaman, M.O., Cerit, A.A., “Thermal And Geometrically Non-Linear Stress Analyses Of An Adhesively Bonded Composite Tee Joint”, **Composites: Part A** 34 (2003) 135–150
8. Toparli, M., Sahin, S., Ozkaya, E., Sasaki, S., “Residual Thermal Stress Analysis İn Cylindrical Steel Bars Using Finite Element Method And Artificial Neural Networks”, **Computers And Structures** 80, 1763–1770, 2002.
9. Parietti, L., Bultman, N.K., Chen, Z., “Thermal/Structural Analysis And Frequency Shift Studies For The Spallation Neutron Source (Sns) Drift Tube Linac”, **Proceedings Of The 1999 Particle Accelerator Conference**, New York, 1999.
10. Boras, I., Svaic, S., “Possibilities Of Determination And Characterizatıon Of Subsurface Defects In Material By Means Of Thermography And 3d Numerical Model”, **Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture**, Zagreb, Croatia, 2002.
11. Lee, M., “Finite Element Modelling Of Printed Circuit Boards (Pcbs) For Structural Analysis” **Circuit World** 26/3, 24-29, Mcb University Press, 2003.
12. Flach, L., Jacobs, M.A., Klosterman, D.A., Chartoff, R.P., “Simulation of Laminated Object Manufacturing (LOM) with Variation Of Process Parameters”, **Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings**, University Of Texas At Austin, Austin, TX, Pp. 407-416, August, 1998.
13. Apalak, M. K., Apalak, Z.G., Gunes, R., Karakas, E. S., “Steady-State Thermal And Geometrical Non-Linear Stress Analysis Of An Adhesively Bonded Tee Joint With Double Support”, **International Journal Of Adhesion & Adhesives** 23, 115-130, 2003.
14. Apalak, M. K., Gunes, R., “On Non-Linear Thermal Stresses In An Adhesively Bonded Single Lap Joint”, **Computers And Structures** 80, 85–98, 2002.
15. Ashby, M.F., Y.J.M. Bre'chet, “Designing hybrid materials”, *Acta Materialia* 51, 5801–5821, 2003
16. Yılmaz, O., Çelik, H., “Electrical and thermal properties of the interface at diffusion-bonded and soldered 304 stainless steel and copper bimetal”, **Journal of Materials Processing Technology** 141, 67–76, 2003.
17. ANSYS, The general purpose finite element software, (version 6.1). **Houston, TX: Swanson Analysis Systems, Inc.**
18. Halıcı, F., Gündüz, M., “Örneklerle Isı Geçişi”, **Sakarya**, 1997.