



XIX. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ

24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

FONKSİYONEL KADEMELENDİRİLMİŞ Al-SiC KOMPOZİT MALZEMELERİN TERMAL ŞOK ETKİSİ ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Abdullah Göçer¹, Fehmi Nair² ve Murat Aydın³

^{1,2}Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kayseri

³Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri

ABSTRACT

In this study, structural and mechanical behavior of the functional graded materials which developed for ballistic was examined under compression test. The materials which have Al-SiC mixing and value of $n=0.1$, $n=1$ and $n=10$, have been used in experimental studies. A series of these products were subjected to compression test directly, and these mechanical values and damage forms was examined. And the other series of macro view was investigate and then was applied to compression test after thermal shocking from 550 °C to 0 °C. The obtained results show that the functional graded materials presents different mechanical behaviour under different n value. Thermal shocks introduced the increasing affect to compression strenght and decreasing affect to shape changing ability.

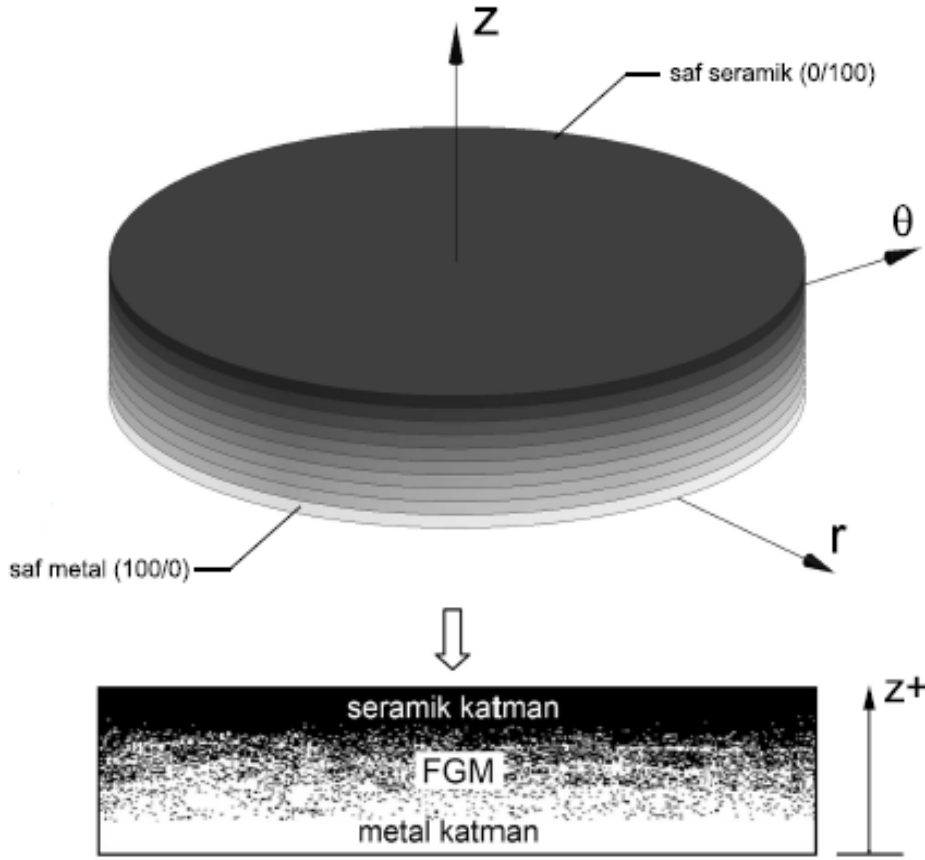
ÖZET

Bu çalışmada balistik amaçlı geliştirilen fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerin (FGM) basma testi altındaki şekilsel ve mekanik davranışı inlenmiştir. Al-SiC karışımından oluşan bu malzemelerden $n=0.1$, $n=1$ ve $n=10$ değerlerine sahip olanlar deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu malzemelerden bir seri, direk olarak basma testine tabi tutulmuş ve bunların mekanik değerlerine ve hasar şekillerine bakılmıştır. Diğer bir seri ise 550 C'den 0 C'ye ani olarak soğutularak (termal şok), önce makro incelemeye tabi tutulmuş daha sonra yine bu numunelerde basma testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar FGM'lerin basma testi altında farklı n değerlerinde farklı yapıda şekil değiştirdiğini, termal şokların ise basma dayanımını artırıcı, şekil değiştirme kabiliyetini azaltıcı etki ortaya koyduğunu göstermektedir.

GİRİŞ

Genel manada malzemeler kesit boyunca aynı yapıda ve özellikte olmakla beraber özel amaçlar için bu homojen yapı değiştirilebilmektedir. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler bir tarafının özelliğinin diğer tarafından farklı olduğu ve bu taraflar arasında malzeme bileşiminin sürekli olarak değiştiği yapılardır (Şekil 1). Genellikle metal seramik bileşiminden oluşan bu malzemelerde, genellikle istenen özellik bir tarafın yüksek mekanik dayanıma, diğer tarafın ise yüksek ısı dayanıma sahip olmasıdır. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler, malzeme yapısındaki fonksiyonel değişimden dolayı seramik-

metal bağlantıların ara yüzlerinde termo-mekanik uyumsuzlukların azaltıldığı en uygun yapılardır [1].



Şekil 1. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel malzeme [2].

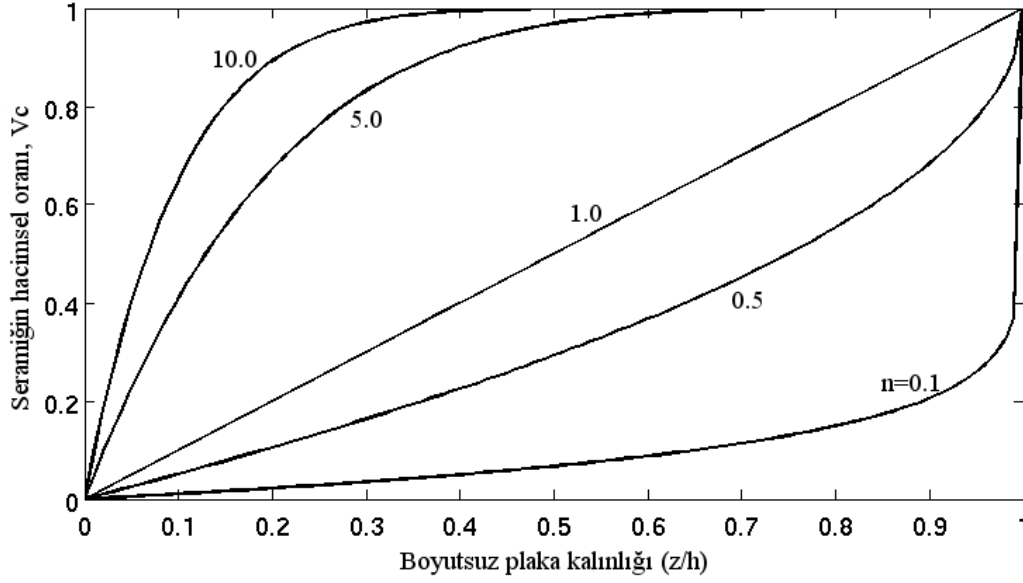
Seramik-metal bileşiminden oluşan ve en alt yüzeyin metal en üstün ise seramik olduğu bir fonksiyonel kademelendirilmiş malzemede TTO modele göre seramik ve metal fazların arasındaki hacimsel oran;

$$V_s + V_m = 1$$

şeklinde ifade edilir. h plaka kalınlığı boyunca bileşim oranı;

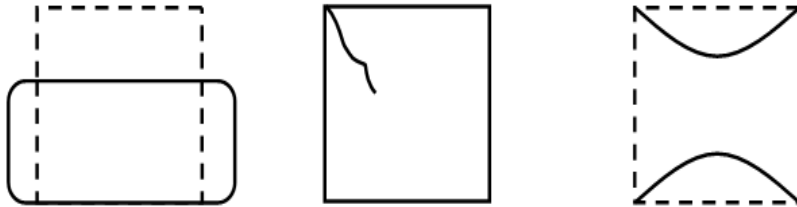
$$V_s(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^n$$

şeklinde. Bileşimin değişimini lineer veya non-lineer olarak kontrol eden farklı n üssü değerlerine göre bileşim hacim oranları Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi hacimsel oranın lineer olduğu n=1 değerinin altındaki değerlerde malzeme alüminyum oranının fazla olduğu bir yapıda iken n=1 değerinin üstünde ise seramik oranı, alüminyum oranının üstüne çıkmaktadır.



Şekil 2. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerde farklı n değerlerinde seramik-metal hacim oranları [2].

Basma deneyi işlem itibarı ile çekme deneyinin tamamen tersidir. Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılabilmektedir. Basma kuvvetlerinin uygulandığı malzemeler genellikle basma deneyi ile muayene edilir. Basma deneyi ile de malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilmesi mümkündür. Basma deneyi sırasında numunenin kesiti devamlı olarak arttığından, çekme deneyinde görülen boyun teşekkülü problemi yoktur. Basma deneyi bilhassa gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliğini ölçmede çok faydalıdır, zira bu malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile hassas olarak ölçülemez [7]. Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı, çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra basma diyagramında da plastik deformasyon aşaması meydana gelir. Basma diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani, basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numunenin kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanır. Numunenin kesit alanı, özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru büyük oranda arttığından basma gerilmesinde ani yükselme meydana gelir [3].



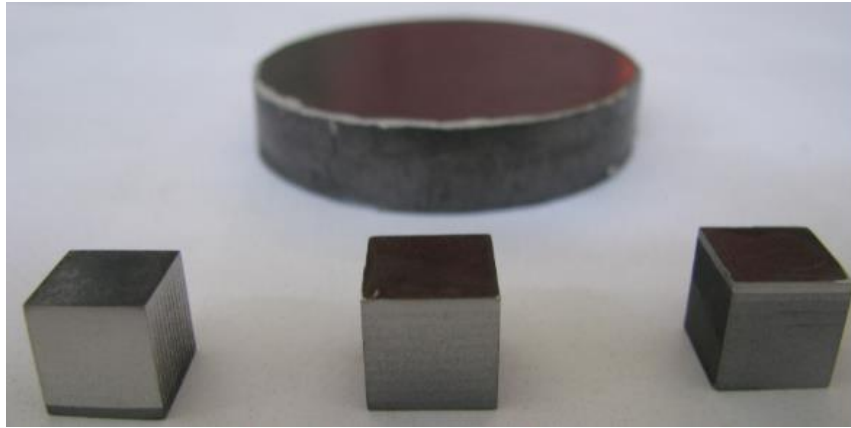
Şekil 3. Farklı niteliklerdeki malzemelerin basma kuvveti altındaki davranışları (sırasıyla sünek, gevrek ve yarı sünek malzeme davranışı) [3].

FGM gibi tabaka halinde yada katmanlı olarak üretilen kompozit malzemelerde mukavemet bakımından en kritik nokta katman ara yüzeylerinin bağlanma mukavemetidir. Bu tür malzemeler termal şok dediğimiz ani sıcaklık değişimlerine maruz bırakıldıklarında, bu şoklardan etkilenecek ilk noktalarda yine bu ara yüzey bağları olacaktır. Bu amaçla, yani ara yüzey bağ mukavemetlerindeki değişimi görmek için kompozit malzemelere genellikle üç nokta eğme ya da burulma testi gibi testler yapılmaktadır. Bu çalışmada FGM'lerin basma testine tabi tutulmasındaki amaç ise öncelikle n değerlerindeki değişimin basma değerlerine nasıl yansyacağını ve malzemelerin nasıl bir şekil değişimi davranışı sergileyeceğini, daha sonra ise termal şokların bu basma özelliklerinde nasıl bir etki oluşturduğunu görmektir.

Isıl ve mekanik özellikler bakımından üstün olması amacıyla üretilen fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerde ısı değişiminin ani olarak ve yüksek değerlerde olması, farklı seramik-metal oranlarına sahip malzeme katmanlarının ara yüzeylerinde artık gerilmelere neden olabilecek, yeni çatlaklar oluşabilecek ya da mevcut çatlaklar büyüyecek[4,5], buda malzemenin mekanik özelliklerine yansyacaktır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda ideal malzeme olan seramikler ani sıcaklık değişimlerinde ortaya çıkan gerilmelere karşı zayıftır [6]. $n=0.1$, $n=1$ ve $n=10$ serilerindeki malzemelerde mekanik özelliklerdeki değişimleri görmek amacıyla malzemelere basma testleri uygulanmıştır (Şekil 4).

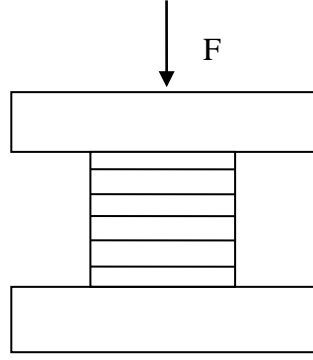
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, termal şoklara maruz bırakılan farklı n değerlerine sahip fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerde, makro yapı ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kompozit Laboratuvarında üretilen AA 6061-SiC karışımından oluşan fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalardan kesilerek elde edilen 10x10x10 mm boyutlarındaki küp malzemeler basma testine tabi tutulmuşlardır (Şekil 4).

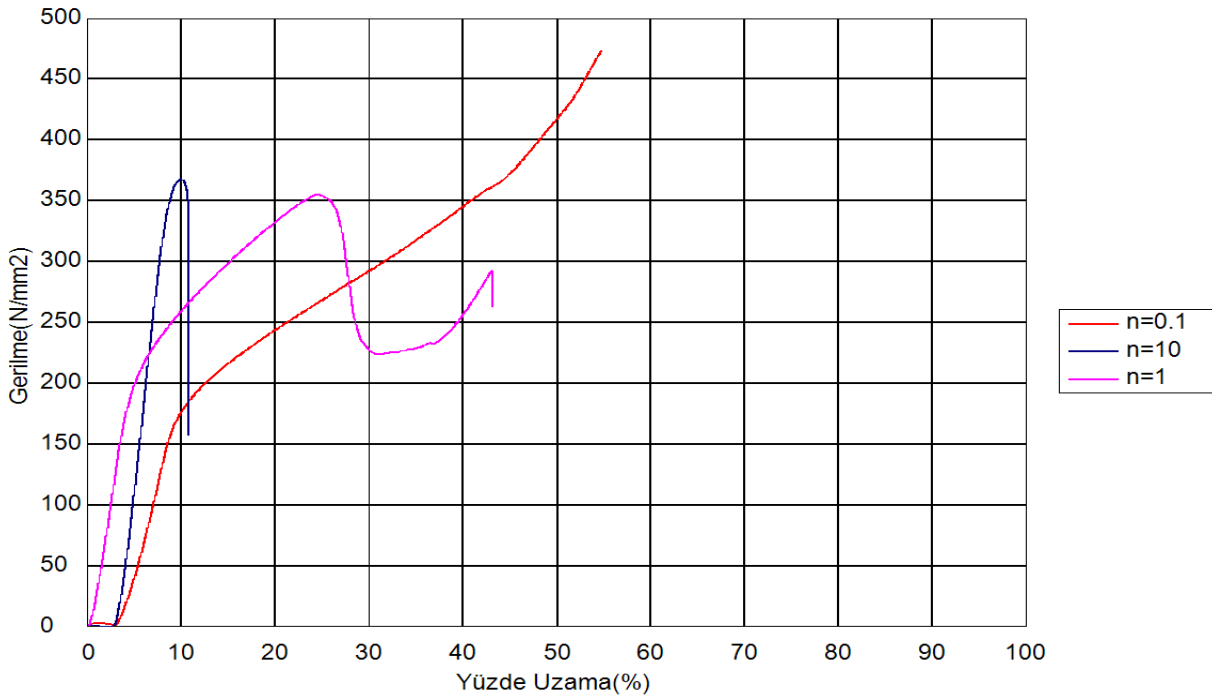


Şekil 4. Üretilen FGM malzeme ve bu malzemedan kesilen basma numuneleri.

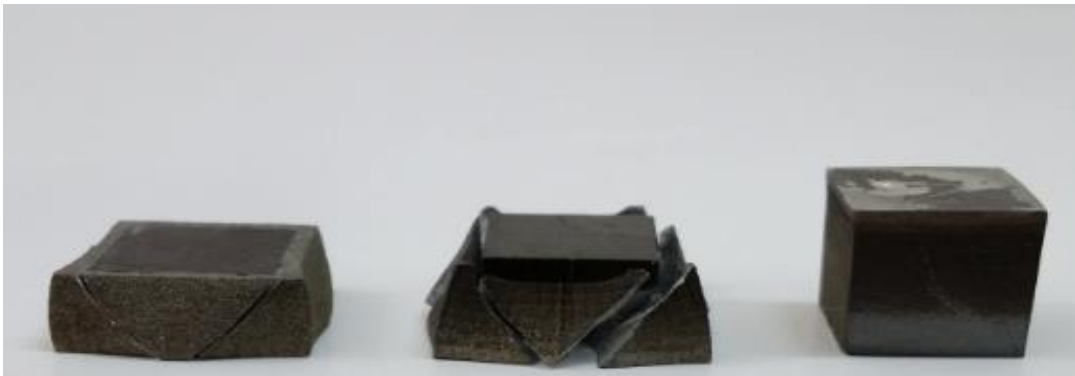
Basma testleri fonksiyonel kademelendirmeye dik yönde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Seçilen n değerleri ise sırasıyla $n=0,1$, $n=1$ ve $n=10$ 'dur. Bu n değerlerindeki numunelerin direkt olarak basma testine tabi tutulması ile elde edilen grafik ve şekil değişimleri aşağıdaki gibi olmuştur;



Şekil 5. Basma testinin kademe yönüne dik ve paralel olarak uygulanması



Şekil 6. n=0.1, n=1 ve n=10 değerlerine sahip numunelerin basma testi eğrileri.

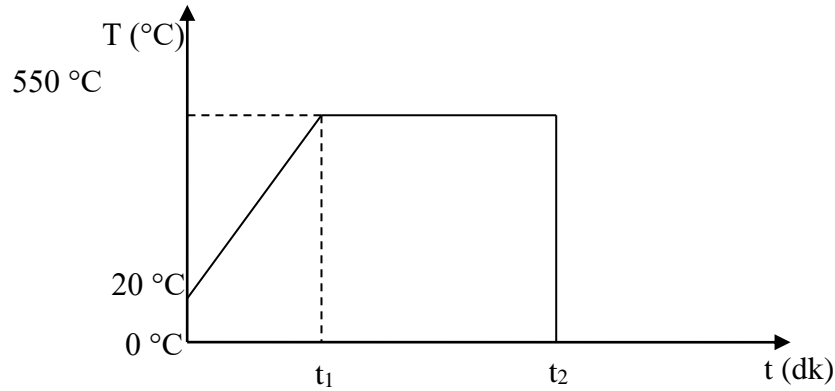


Şekil 7. n=0.1, n=1 ve n=10 değerlerine sahip numunelerin basma testindeki şekil değişimleri.

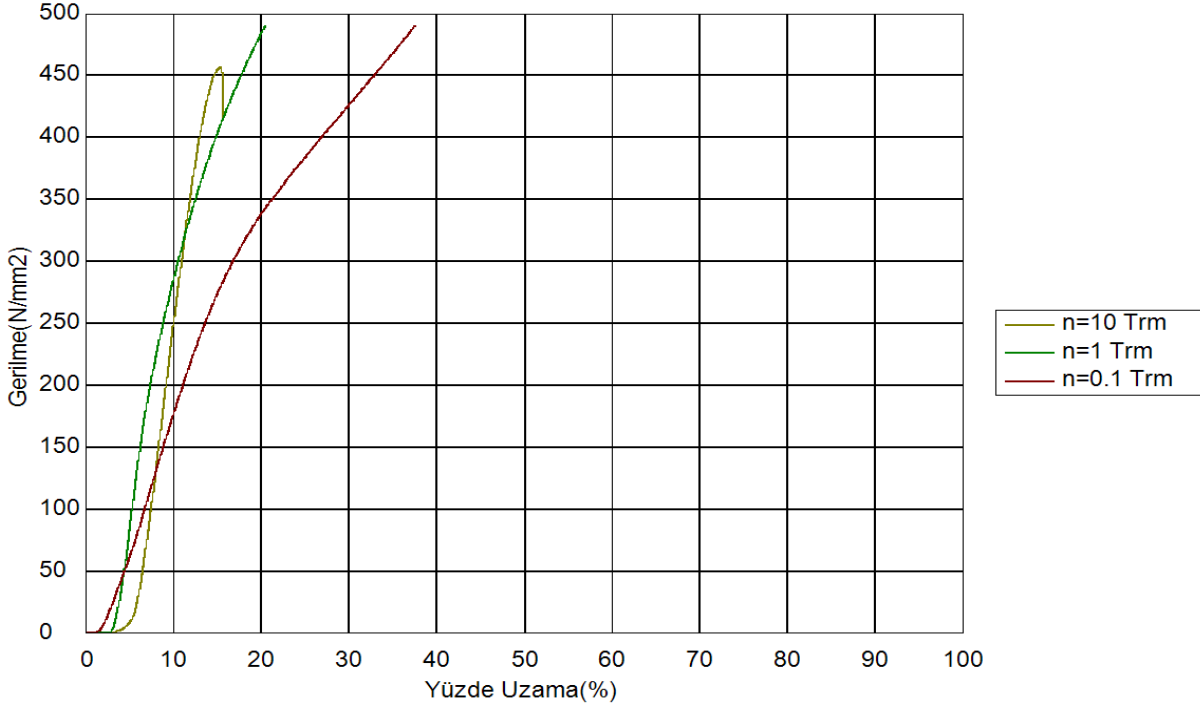
N değerine bağlı olarak değişen hacim oranlarını gösteren grafikten hatırladığımız gibi $n=0,1$ değerine sahip malzeme metal yoğunluklu, $n=1$ değerine sahip malzeme lineer bir hacim geçişine sahip ve $n=10$ değerine sahip malzeme ise seramik yoğun bir malzeme idi. Dolayısıyla basma grafiğinden de görüldüğü gibi seramik yoğunluğu arttıkça malzemenin şekil değiştirme oranı ve basma mukavemet değerleri düşmektedir. Hasar davranışlarına baktığımızda ise $n=0,1$ değerine sahip malzemenin yarı sünek bir yapıda olduğu ve deney sonunda genel bir fiçilaşmanın olduğu görülmekle beraber, şekil değiştirmenin seramik tabakanın olduğu kısımda biraz daha sınırlı kaldığı ve deney esnasında piramit şeklinde bir oluşumun meydana geldiği görülmüştür. $n=1$ değerine sahip lineer geçişli malzemede ise seramik katman yine fiçilaşmada engel görevi görmüş ama aynı zamanda yarı gevrek türde görülen hasar şeklinde kama etkisi oluşturarak malzemenin içine mesafe katetmiştir. $n=10$ değerine sahip malzeme ise tam gevrek davranış göstererek köşegen boyunca devam eden bir çizgide kırılmıştır.

Isıl ve mekanik özellikler bakımından üstün olması amacıyla üretilen fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerde ısıl değişimin ani olarak ve yüksek değerlerde olması, farklı seramik-metal oranlarına sahip malzeme katmanlarının ara yüzeylerinde artık gerilmelere neden olabilecek, yeni çatlaklar oluşabilecek ya da mevcut çatlaklar büyüyecek, buda malzemenin mekanik özelliklerine yansıtacaktır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda ideal malzeme olan seramikler ani sıcaklık değişimlerinde ortaya çıkan gerilmelere karşı zayıftır. Kompozit malzemelerde ısıl etkenlerin ara yüzey bağına etkilerini incelemek için genellikle üç nokta eğme ve burulma gibi ara bağları zorlayacak testler uygulanmaktadır. Bu çalışmada bir termal şok etkisinin malzemenin basma özelliklerini etkileyip etkilemediği incelenmiştir.

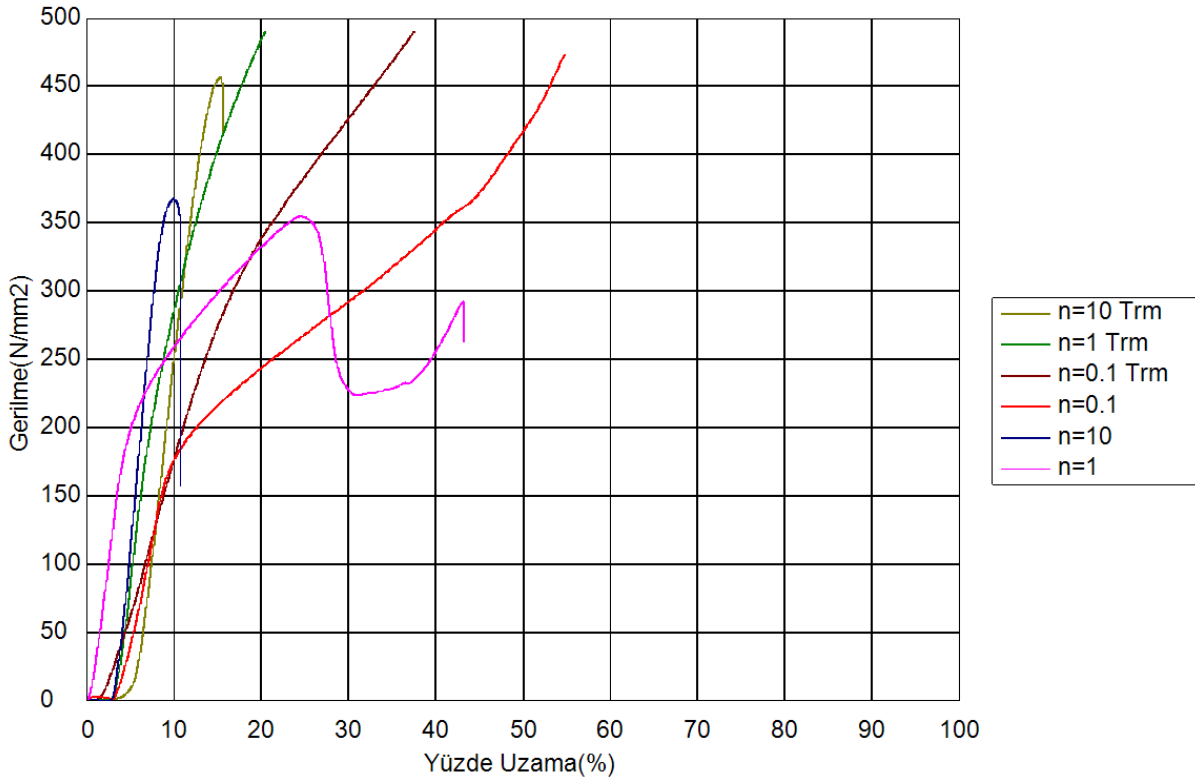
Bu amaçla Şekil 8’te gösterilen ısıl şok $n=0,1$ $n=1$ ve $n=10$ değerlerindeki numunelere uygulanmış ardından bu numuneler önce yüzeysel makro incelemeye tabi tutulmuş, daha sonra yine basma testleri uygulanmıştır. Basma testlerinde elde edilen grafikler ve şekil değişimleri aşağıdaki gibidir;



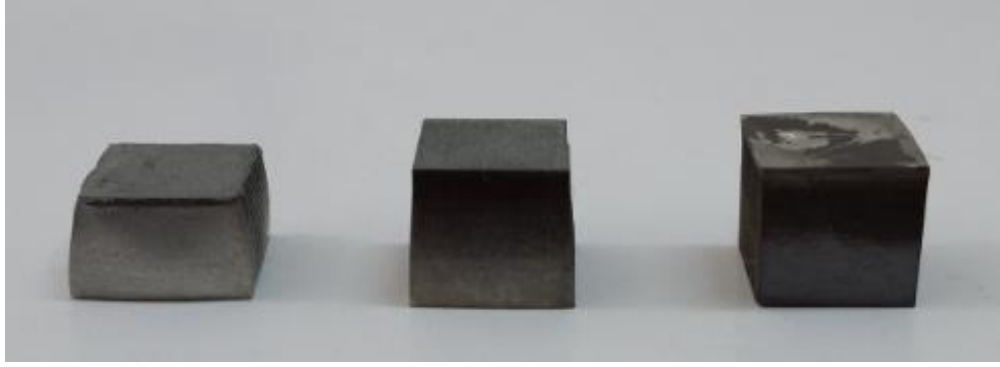
Şekil 8. Malzemelerin maruz bırakıldığı ısıl çevrim.



Şekil 9. Termal şoklardan sonra malzemelerin basma dayanımı.

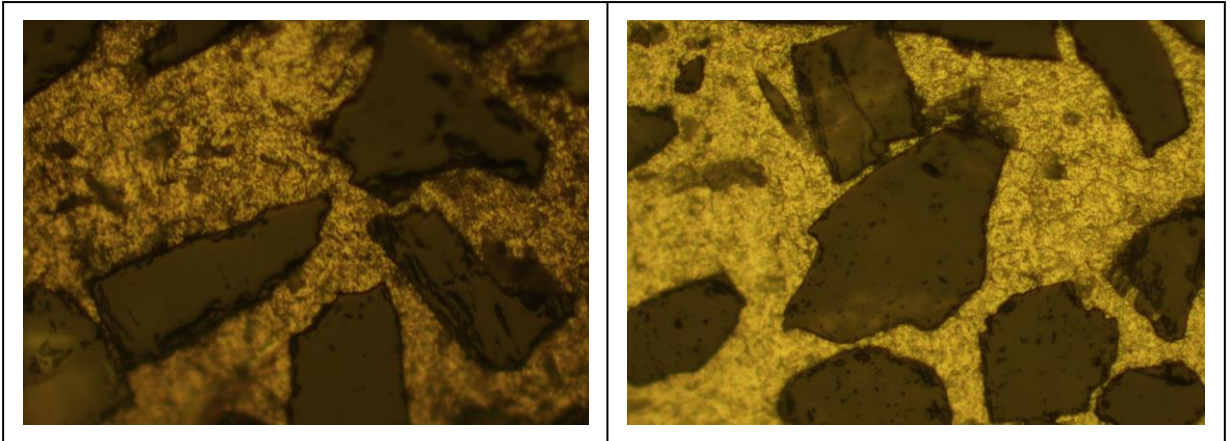


Şekil 10. Şekil 4. n=0.1, n=1 ve n=10 değerlerine sahip numunelerin termal şok öncesi ve sonrası basma eğrisindeki değişimleri.



Şekil 11. $n=0.1$, $n=1$ ve $n=10$ değerlerine sahip numunelerin termal şoklardan sonra basma testindeki şekil değişimleri.

Termal şoktan sonra yapılan makro görüntü incelemelerinde malzeme yüzeyinde seramik partiküllerde aşınmalar ve yüzeyden kopmalar görülmüştür (Şekil 12). Bu durum metal-seramik termal farklılığının ani sıcaklık değişimlerinde daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Her ne kadar fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerde katmanlar arası geçişler yumuşak bir şekilde yapılarak uyumsuzluklar minimuma indirilse de uzun süreli termal şok etkileri ara katmanlarda bağ mukavemetini zayıflatabilmektedir. Bu çalışmada ise basma yönü katmanlara dik olduğu için ara katman bağının zayıflaması sonuçlara yansımamıştır. Hatta tersine ısıl etkinin muhtemel taneler arası bağların mukavemetini arttırması ya da tavlama etkisi nedeni ile basma değerleri yükselmiştir.



(a)

(b)

Şekil 12. Fonksiyonel kademelendirilmiş Al-SiC malzemedeki termal şok sonrası (a) ve öncesi (b) mikro yapılar.

DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada $n=0.1$, $n=1$ ve $n=10$ değerlerine sahip fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelere termal şoka maruz bırakmadan ve bırakarak basma testleri uygulanmıştır. n değerlerine bağlı olarak malzemenin basma altındaki şekil değişimi ve basma dayanımları incelenmiştir. Termal şok sonrasında basma dayanımındaki ve şekil değiştirmedeki değişimlere de önceki değerlerle karşılaştırmalı olarak bakılmıştır. Ayrıca yüzeyden yapılan

makro taramalarla termal şokların malzeme yapısına olan etkiler görülmeye çalışılmıştır. Netice olarak;

- Basma testlerine bakıldığında n değerlerinin artmasıyla birlikte basma dayanımı düşmekte, malzemenin sünekliğide azalmaktadır.
- Hasar şekillerine baktığımızda ise, malzemenin bir tarafındaki seramik katmanın etkisiyle şekil değişiminin kısıtlandığı, dolayısıyla şekil değişiminin piramit yapıda geliştiği görülmüştür. n=0,1 ve n=1 değerlerindeki numuneler yarı gevrek, n=10 değerindeki numuneler ise tam gevrek davranış sergilemişlerdir.
- Isıl şokların etkisi makro boyutta yüzeyden seramik parçaların ayrılması ve parçalanması şeklinde görülmüştür.
- Uygulanan mevcut ısıl şoktan basma değerleri olumsuz olarak etkilenmemiştir. Dayanım değerleri yükselirsen şekil değişim kabiliyeti azalmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] R. Güneş, Çok Katmanlı Ve Fonksiyonel Kademelendirilmiş Kompozit Plakalarda Isıl Artık Gerilmelerin Analizi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [2] M. Aydın, Düşük Hızlı Çarpma Yükleri Altında Fonksiyonel Kademelendirilmiş Dairesel Plakaların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [3] Y. Erdem, Çelik Talaşı/Silikon Kompozit Malzeme Üretimi ve Düşük Hızlı Darbe Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [4] N. S. Köksal, B. S. Ünlü, Refrakter Malzemelerin Termal Çevrimlerinde Soğutma Ortamlarının Malzeme Özelliklerine Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1 (2004), 1-8, ISSN:1304-4141.
- [5] O. Çoban, M. Ö. Bora, T. Sınmazçelik, İ. Cürgül, Termal Çevrimlere Maruz Bırakılmış Polimer Kompozitlerin Düşük Enerjili Tekrarlı Darbeler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2007: 369-379.
- [6] N. S. Köksal, B. S. Ünlü, C. Meriç, Alümina Esaslı Refrakter Tuğlaların Isıl Şok Davranışlarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9 (2003), 147-151.
- [7] A. Bayram, M. Yazıcı, Partikül Polyester Kompozitlerin Eğilme Ve Basma Özellikleri, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (1995), 153-159.