

Sialon- Si₃N₄ Esaslı Seramik Kesici Uçların Isıl İletkenliğinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Battal DOĞAN^{1*}, Hüsamettin TAN²

¹Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Raylı Toplu Taşıım Dairesi Başkanlığı, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 20.07.2016 ; Kabul/Accepted : 19.11.2017)

ÖZ

Demir esaslı veya demir dışı metal ürünlerin yüksek hızlarda işlenerek üretilmesinde kullanılan kesici uçlar ileri teknoloji seramik ürünlerden elde edilmektedir. Çalışmada Kennametal firması tarafından üretilen ve kesici takım olarak kullanılan saf silisyum nitrür (Si₃N₄) esaslı KY3500 model ve Sialon esaslı KY 2000 model iki farklı ucun ısıl iletkenliği deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda sıvı ile yer değişim yöntemi ile yoğunluk (ρ), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sistemi kullanılarak özgül ısı (c) ve zamana bağlı ısı iletimi esasına dayanan Laser Flash teknolojisi ile ısıl yayılım katsayısı (α) ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden malzemenin efektif ısıl iletkenlik değeri ($k=\alpha.\rho.c$) ifadesinden bulunmuştur. Sayısal çalışmada ilk önce kesici uçların taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) alınmıştır. Bu görüntüler Autocad programı kullanılarak sonlu eleman esaslı bir yazılım olan Ansys için hazır hale getirilmiştir. Ansys'te iki boyutlu ve sabit yüzey sıcaklığı sınır şartları altında efektif ısıl iletkenlik hesaplanmıştır. Çalışmada SEM görüntüleri ve Element Analizi (EDS) sonuçlarını kullanarak kesici uçların ısıl iletkenliği esasına dayanan yeni bir sayısal metod kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl iletkenlik, kesici uç, sialon, Si₃N₄.

Investigation of Thermal Conductivity of Ceramic Cuttin Edge Based Sialon- Si₃N₄

ABSTRACT

High speed processing of ferrous or non-ferrous metal products used cutting edge can be produced from high-tech ceramics. Used as a cutting tool in the study Sialon(KY 2000) and silicon nitride(KY3500) (Si₃N₄) based thermal conductivity of the two corners are determined experimentally and numerically. Studies conducted in experimental density by liquid displacement method (ρ) measurement, differential scanning calorimetry (DSC) using system specific heat (c) measurement and Laser using Flash technology thermal diffusivity coefficient (α) measurements were performed. Experimental measurement of the effective thermal conductivity of the material ($k=\alpha.\rho.c$) is found from the expression. For numerical solution scanning electron microscope images (SEM) was used. These images using AutoCAD software finite element based software that has been made ready for Ansys. Ansys two -dimensional and effective thermal conductivity calculated at constant surface temperature boundary conditions. A new numerical method based on the thermal conductivity principle of the inserts was used in the study using SEM images and Element Analysis (EDS) results.

Keywords: Thermal conductivity, cutting edge, sialon, Si₃N₄.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatta kesici takımların yüksek kesme hızlarında uzun sürelerde kullanılması amacıyla 1930'lu yılların başlarından itibaren seramik kesiciler kullanılmaktadır. Günümüzde imalatın yüksek kesme parametreleriyle yapılması nedeniyle seramik kesiciler seri imalat yapılan sektörlerde yaygın olarak tercih edilmektedir. İmalat sektöründe kesme hızının artırılması kesicinin kullanılma süresini doğrudan etkilemektedir [1]. Tezgâhlarda yüksek kesme hızları kesici ile talaş yüzeyi arasındaki sıcaklığı artırmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda ısıl şoklara karşı dirençli kesici takımları gerektirmektedir. Seramik kesiciler sıcaklığın aşırı

yükseldiği durumlarda sertliklerini koruyabilen ve yüksek hızlara dayanıklı takımlardır.

Seramik kesiciler değişik oranlarda karıştırılan tozların basınç altında sinterlenmesi ile elde edilen kompozit malzemelerdir. Yüksek kesme hızlarında iyi performans gösteren seramik kesici uçlar ile çalışmak işleme zamanını azaltır [1]. İşlem yapılan parçalarda dar toleranslarla çalışma yapılabilir [2]. Seramik kesici uçlarla yapılan işlemlerde daha düzgün yüzeyler elde edilir. Ancak kırılmaya eğilimlidirler ve üretim maliyetleri yüksektir. Bu uçların kullanıldıkları tezgâhların titreşiminin az olması gerekmektedir[3].

Son yıllarda imalat sektöründe silisyum nitrür ve Sialon esaslı seramik kesici uçlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Sialon silisyum nitrür ve alüminyum oksidin bir araya gelmesiyle oluşan bir seramik türüdür. Sialon esaslı

*Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : btldgn@gmail.com

kesiciler yüksek aşınma dayanımı nedeniyle yüzey kalitesi gerektiren işlemlerde çok iyi sonuç verirler[4]. Silisyum nitrür esaslı seramik uçlar ısı şoklara direnci ve sünekliliği nedeniyle sialon esaslı seramiklere göre üstünlükleri olan malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korurlar ve sünektirler.

Seramik kesici uçların ısı özelliklerini en iyi ifade eden özellik ısı iletkenliktir. Bu uçlarda efektif ısı iletkenlik katkı malzemelerinin ısı iletkenliklerine, hacimsel oranlarına ve geometrik şekillerine bağlıdır. Seramik kesici uçların ısı iletkenliğini içerisinde yer alan katkı malzemelerinin oranlarına bağlı olarak en fazla mikro yapıları etkilemektedir [5]. Kesici uçların mikro yapılarında yapılacak modifikasyonlarla ısı iletkenlik değeri kontrol altında tutulabilir.

Düzgün dağılımlı mikro yapıya sahip kesici uçlar için Eş. (1)'de verilen teorik ifade kullanılarak ısı iletkenlik bulunabilir. Ancak düzgün dağılımı olmayan uçların efektif ısı iletkenliği sadece bir doğrultuda bulmak mümkün değildir. Bu nedenle ısı iletkenlik genellikle deneysel ölçümlere dayanmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial x} (kA \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (kA \frac{\partial T}{\partial y}) = 0 \quad (1)$$

Literatürde kesici uçların mekanik davranışlarını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen ısı özelliklerinin araştırmaları sınırlıdır. Kesici uçların ısı iletkenliğini tahmin etmek için yalnızca özel geometrielerde kullanılacak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada SEM görüntüleri kullanarak ısı iletkenliğinin sayısal olarak hesaplanmasına dayanan yeni bir metot geliştirilmiştir. Kesici uç prototipinin üretimi gerçekleştirilmeden önce katkı oranlarının belirlenerek ısı iletkenliğinin tahmin edilmesi üretim süreçlerini ve maliyetlerini düşürecektir. Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin gelişmesi çalışmada geliştirilen metodun kullanımını kolaylaştırmaktadır. Çalışmanın sonunda mikro yapı görüntüleri kullanılarak katkı oranlarının belirlenmesi ilkesine dayanan sayısal çözümlerin deneysel ölçümlere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Kırıkkale Üniversitesi Makine ve Malzeme laboratuvarlarında yoğunluk, ısı yayılım katsayısı ve özgül ısı ölçülerek malzemenin bütünü temsil eden efektif ısı iletkenlik değeri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada Kennemetal firması tarafından üretilen ve çizelge 1'de verilen sialon ve saf silisyum nitrür esaslı kesici uç numuneleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Numuneler ve Özellikleri (Samples and Features)

Kesici Uç No	Katalog Numarası	Uç Özelliği
KY2000	SNGN120408	Sialon
KY3500	SNGN120408	Si ₃ N ₄

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında Perkin Elmer marka Diamond DSC cihazı ile element analizleri (EDS)

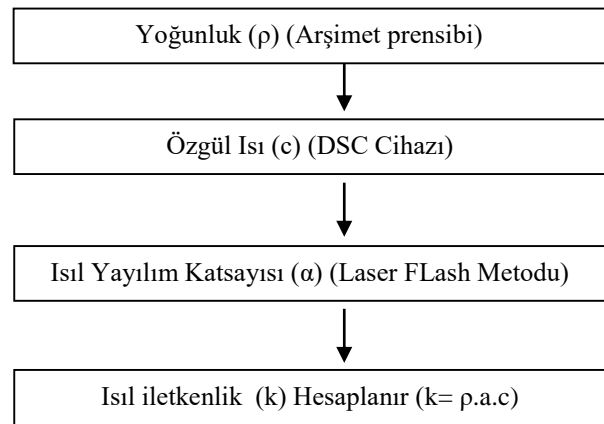
yapılmıştır. Element analizi yapılırken cihaz tarafından numunelere maksimum 20 kV'luk enerji verilmiştir. Bu enerjinin verilmesinden sonra numuneden yansıyan elektronlardan çizelge 2'de verilen her iki ucun kimyasal bileşiminde yer alan elementler görülmüştür.

Çizelge 2. Element analizi sonuçları (Element analysis results)

Element	KY2000	KY3500
	Bulunma oranı (%)	Bulunma oranı (%)
Karbon (C)	0	0
Azot (N)	0,005	18,24
Oksijen (O)	0,006	0
Alüminyum (Al)	9,265	0
Silisyum (Si)	90,724	81,76

Numunelerin ısı iletkenliğinin belirlenebilmesi için özgül ısı, yoğunluk ve ısı yayılım katsayısının ölçülmesi gerekir. Ölçme yönteminin seçimi; elde edilecek ısı iletkenlik değerinin büyüklüğüne, çalışılan sıcaklık aralığına ve numune boyutlarına bağlıdır. Çalışmada deneysel olarak ısı iletkenlik tayin edilirken Şekil 1'deki akış şeması kullanılır.

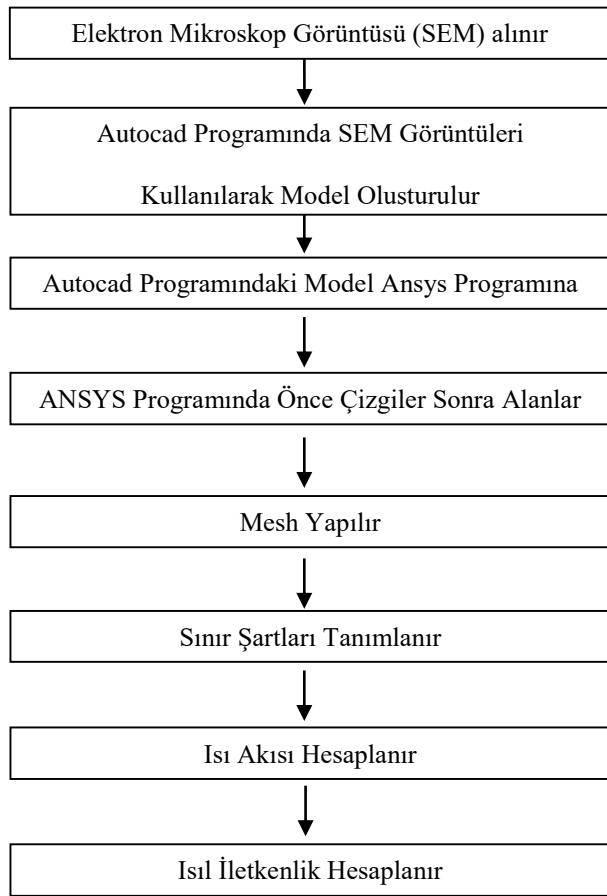
Çalışmada numunelerin yoğunluk ölçümlerinde Arşimet'in su ile yer değiştirme prensibine göre çalışan Ultracycrometer marka 1000P model cihaz kullanılmıştır. Kesici uçların özgül ısı ölçmek için EDS analizinde kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı tercih edilmiştir. Numuneler homojen ince toz haline getirildikten sonra küçük bir kaba yerleştirilip referans numune ile sıcaklık farklılıkları ölçülerek özgül ısı belirlenmiştir. Isı yayılım katsayısı ölçümünde laser flash metodu çok popüler bir yöntemdir. Bu metotta ölçüm sonuçlarında doğruluk ve hassasiyet oldukça iyidir. Çalışmada **Anter / Flasline 2000** model cihaz ile sıcaklığın belirli bir mesafeye kadar yayılması için geçen zaman ölçülmüş ve ısı yayılım katsayısı belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışma akış şeması (Experimental study flowchart)

3. SAYISAL ÇÖZÜMLER (NUMERICAL SOLUTION)

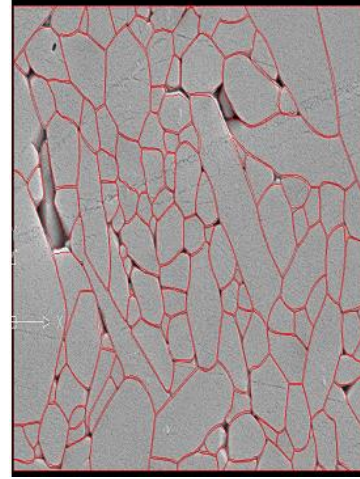
Isı transferinde birçok problemin çözümünde sayısal metotlarla çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar metodu sayısal çözümlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı iletimi problemlerinde çözüm alanında farklı sınır şartları kullanılarak değişik noktalarda sıcaklık veya ısı akışı sayısal olarak hesaplanabilir. Bu sıcaklık ve akı değerleri kullanılarak istenen özellik bulunur. Bu çalışmada Şekil 2'de verilen akış şeması kullanılarak kesici uçların efektif ısı iletkenlik iki boyutlu olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Sayısal hesaplama akış şeması (Numerical computation flowchart)

Çalışmada sayısal modelleme yapılırken SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. Elektron mikroskopla elde edilen SEM görüntülerinin sonlu eleman esaslı bir programla modellenmesi yapılmış, uç mikro yapısına bağlı olarak her element için farklı ısı iletkenlik değeri kullanılmıştır. Kesici uçlar için EDS analizinden elde edilen oranlar ve SEM görüntüleri kullanılarak karma malzemenin bütününe ifade eden efektif ısı iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Sayısal analiz yapılırken SEM görüntüleri Autocad programında (şekil 5.a) düzenlenerek ANSYS programına aktarılmaktadır. Ansys programında Şekil (5.b)'deki gibi alanlar elde edilir. Alanlara ait malzeme ısı özellikleri EDS

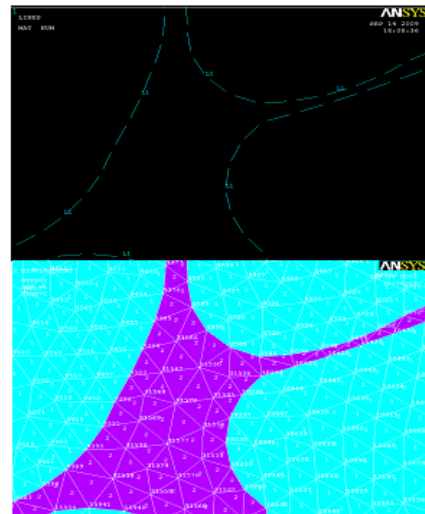
analizinden elde edilen oranlar kullanılarak tanımlanır. Çalışmada Ansys programına malzeme özellikleri tanımlanırken ısı iletkenlik değerleri sıcaklığa bağlı olarak kullanılmıştır. Programda şekil (5.c)'deki gibi mesh yapılır. Mesh işleminde belirli bölgelerde farklı büyüklükler seçilmiştir.



a) Autocad Programındaki Çizgiler



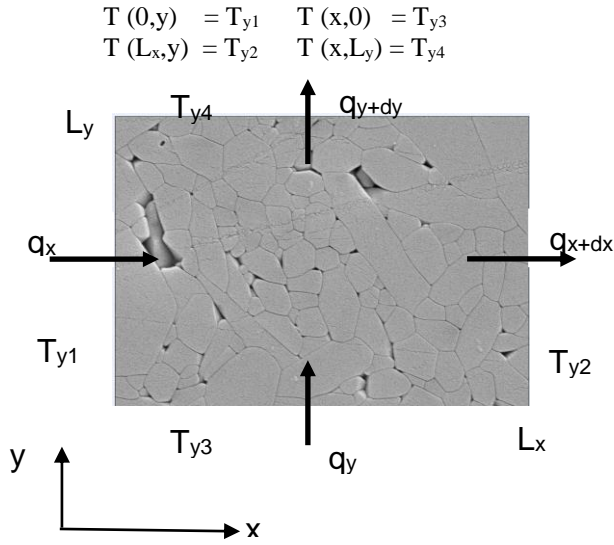
b) Ansys Programındaki Alanlar



c) Mesh

Şekil 3. Sayısal çözümlerin gösterimi (Representation of numerical solution)

Mesh işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4’de verilen sabit yüzey sınır şartları Ansys programında kullanılmaktadır.



Şekil 4. Sayısal çözüm için sınır şartları

Sınır şartlarının tanımlanmasından aşaması bittikten sonra programda çözümler yapılmıştır. Her doğrultuda düğüm noktalarında ısı akışı değeri bulunmuştur. Düğüm noktalarındaki ısı akıları belirlendikten sonra Eş.(2)’deki Fourierin ısı iletimi yasası (x) ve (y) doğrultusu için yazılarak ısıl iletkenlik elde edilmiştir.

$$q_n = -k_n \frac{\partial T}{\partial n} \quad (\text{W/m}^2) \quad (2)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

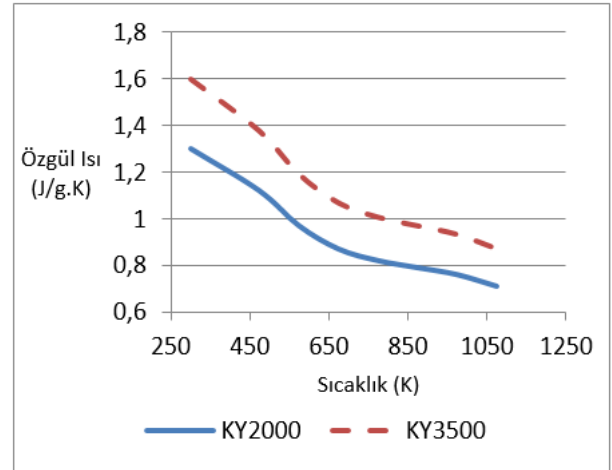
4.1 Deneysel Ölçümlerden Elde Edilen Bulgular (The Findings From Experimental Measurements)

Çalışmada deneysel çalışmalardan yoğunluk, özgül ısı ve ısıl yayılım katsayısı ölçülmüştür. Arşimet prensibine göre yapılan yoğunluk ölçümlerinden elde edilen sonuçlar çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Yoğunluk ölçümleri (Density measurements)

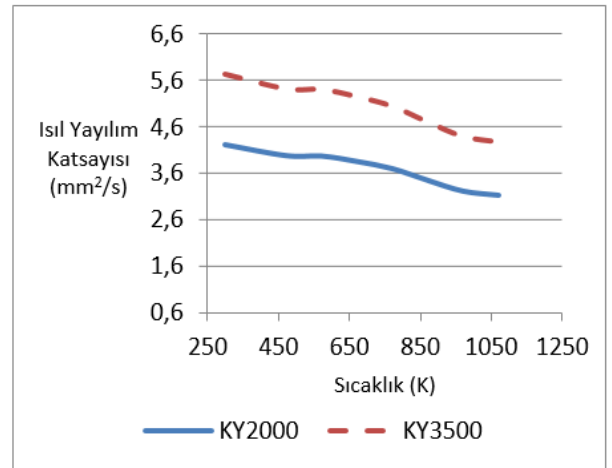
No	Yoğunluk Ölçüm Değeri (g/cm ³)	Uç Özelliği
KY 2000	3,37	Sialon
KY 3500	3,29	Si ₃ N ₄

Çalışmada kesici uçlar için sıcaklığa bağlı özgül ısı değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 600K sıcaklıklara kadar özgül ısı değerlerinde keskin bir düşüş olduğu görülmektedir.



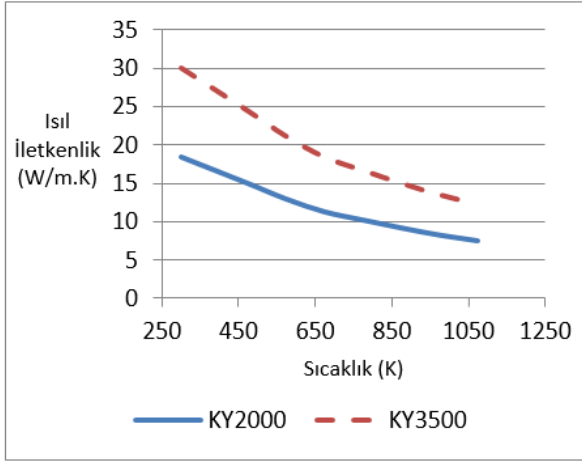
Şekil 5. Özgül ısının sıcaklıkla değişimi (Specific heat of temperature changes)

Seramik kesici uçlar için laser flash metodu kullanılarak ısıl yayılım katsayısı ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 6’da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ısıl yayılım katsayısının sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Sıcaklık değeri 1000 K geçtikten sonra ısıl yayılım katsayısı fazla değişmemektedir.



Şekil 6. Isıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi (Coefficient of thermal diffusion changes in temperature)

Deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak $k = \rho \cdot c \cdot a$ bağıntısından ısıl iletkenlik belirlenir. Çalışmada elde edilen ısıl iletkenlik değerleri Şekil 7’de verilmektedir. Grafik incelendiğinde sıcaklık arttıkça kesici uçların efektif ısıl iletkenliği azalmaktadır.

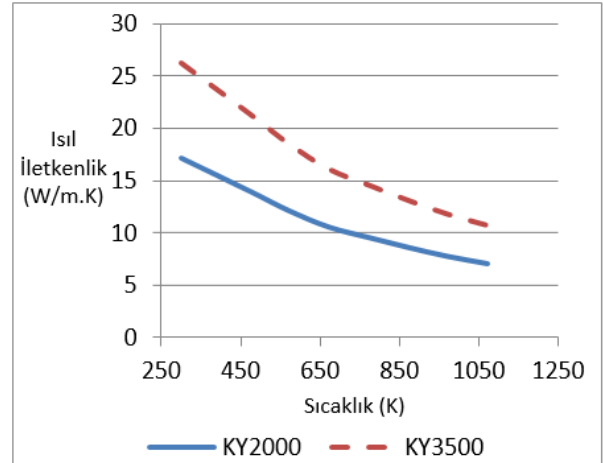


Şekil 7. Deneyel olarak belirlenen ısı iletkenlik (Experimental determination of thermal conductivity)

4.2. Sayısal Çözümlerden Elde Edilen Bulgular (Experimental Thermal Conductivity of Temperature Changes)

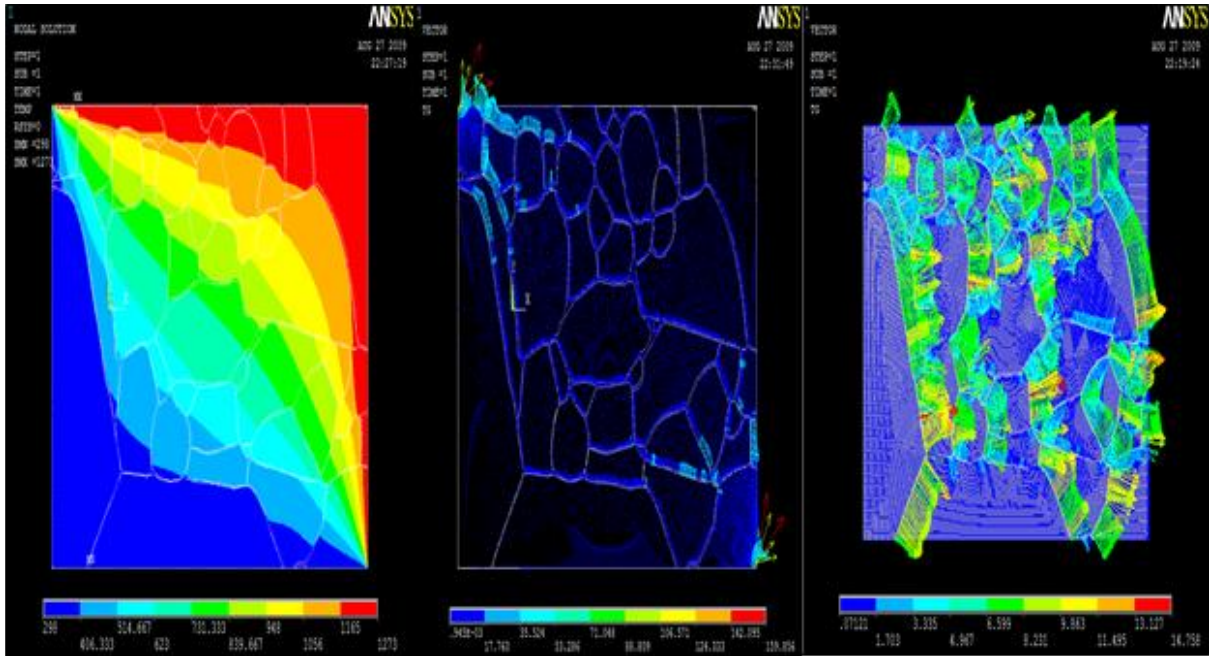
Kesici uç numunelerinin şekil (8.a)'da verilen sıcaklık dağılımları iki boyutlu olarak elde edilmiştir. Eş sıcaklık bölgelerine bakıldığında bölge sınırlarında dalgalanma ve düzgün olmayan kenarlar söz konusudur. Bunun nedeni kesici uçlar içerisinde farklı ısı iletkenliğe sahip elementlerin yer almasıdır. Şekil (8.b) ve (8.c)'de çözümlerden elde edilen sıcaklık gradyanlarını gösterilmektedir. En yüksek sıcaklık gradyanları elementlerin birleşim noktalarında meydana gelmektedir. Çalışmada

sıcaklık dağılımları kullanılarak kesici uçların Şekil 9'da verilen sayısal ısı iletkenlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 9. Sayısal olarak belirlenen ısı iletkenlik (Numerical determination of thermal conductivity)

Çalışmada kullanılan kesici uçların deneysel ve sayısal olarak efektif ısı iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da verilmiştir. Sayısal çözümler deneysel çözümlerden yaklaşık %3-4 hata oranı ile hesaplandığı görülmektedir.

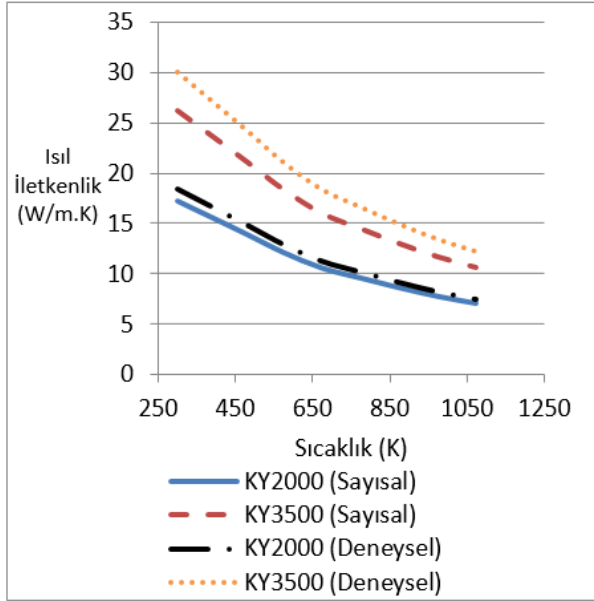


a) Sıcaklık Dağılımı

b) Sıcaklık Gradyeni-1

c) Sıcaklık Gradyeni-2

Şekil 8. Sıcaklık dağılımları (Temperature distributions)



Şekil 10. Sonuçların karşılaştırılması (Comparison of results)

5. SONUÇ (CONCLUSION)

SEM görüntüleri kullanılarak ısı iletkenliğinin belirlenmesi son yıllarda geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen sonuçların deneysel verilere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Sayısal hesaplamalardan ortaya çıkan hataların üç nedeni;

- * Autocad programında görüntü işleme hassasiyeti,
- * Ansys programında EDS sonuçlarının işlenmesi sırasında meydana gelen eksiklikler
- * Mesh'in uygun yapılmamasıdır.

Yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda;

Saf Si_3N_4 kullanılarak üretilen KY3500'ün ısı iletkenliği KY2000'den yüksektir. Kesici uçlarda içyapı efektif ısı iletkenliği etkilemektedir. Her iki uç seramik kabul edilmesine rağmen içyapılarındaki farklı katkı oranları nedeniyle ısı iletkenlikleri değişmektedir.

Geleneksel olarak uç üretimi yapılırken önce prototip üretilmekte sonra mekanik ve ısı özellikler belirlenmektedir. Çalışmada geliştirilen SEM görüntüleri kullanılarak ısı özellik belirleme yöntemi uç üretimi yapan firmalara kolaylık sağlayabilir. Uç üretimi yapılırken önce belirli oranlarda katkı malzemeleri belirlenmeli sonra rastgele yerleşim ile elde edilecek bir içyapı çizimi kullanılarak yaklaşık ısı iletkenlik hesaplanmalıdır. Bu şekilde yapılacak ön tasarımın üretim sonrası prototip üzerinde testler yapmaktan daha ekonomik bir yol olduğu görülecektir.

Kesici uçlarda termal şok ani değişen ortam sıcaklığından dolayı ucun çatlaması ile sonuçlanan bir süreçtir. KY3500 numunesi Si_3N_4 esaslı olduğundan dolayı termal şok direnci daha yüksektir. Sialon esaslı KY2000'de Al_2O_3 katkısı nedeniyle termal şok direnci düşmektedir.

Seramik kesici uçların aşınma ve korozyon direnci özellikleri yüksektir. Yüksek sıcaklığa karşı

mukavemetleri fazla olduğundan dolayı imalat sanayinde tercih edilmektedir.

Seramik kesici uçların özelliklerinden biri de iyi bir sertliğe sahip olmalarıdır. Çok sert bir malzemeyi işlerken aşınma hızı oldukça düşüktür.

Seramik kesici uçların ısı iletkenliği metallere göre daha düşüktür. Ancak mekanik özelliklerinin önem arz ettiği uygulamalarda tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Doğan B, Çekel N., "Two-Dimensional And Numerical Analysis Of Sialon-Based Cutting Tips Thermal Conductivity By Using Sem Images", *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, 1(2): 29-42, (2014).
- [2] Çalışkan F., Tatlı Zz., Kılıç S., ve Sönmez H., "α- Si_3N_4 -β SiAlON Seramiklerinin Kesici Takım Potansiyelinin İncelenmesi" *APJES*, 2(2): 07-12, (2014).
- [3] Joshi B., Gyawali G., Wang H., Sekino T., and Lee S., "Thermal And Mechanical Properties of Hot Pressed Translucent Y_2O_3 Doped Mg-α/β-Sialon Ceramics" *Journal of Alloys and Compounds*, 557: 112-119, (2013).
- [4] Yaman B., ve Mandal H., "Sialon Seramikleri ve Fe-Esaslı Alaşımlar Arasında Meydana Gelen Kimyasal Etkileşimlerin İncelenmesi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2): 234-245, (2009).
- [5] Kushan S., Uzun I., and Doğan, B.,Mandal H.,"Experimental and Finite Element Study of the Thermal Conductivity of α-SiAlON Ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.*, 90(12): 3902-3907, (2007).
- [6] Yokota H., and Ibukiyama M.,"Effect Of Lattice Impurities on The Thermal Conductivity of B- Si_3N_4 ", *Journal of the European Ceramic Society*, 23(1): 55-60, (2003).
- [7] Yokota H., Yamada S., and M. Ibukiyama,"Effect of Large β- Si_3N_4 Particles on The Thermal Conductivity of β- Si_3N_4 ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, 23(1): 1175-1182, (2003).
- [8] Baysal M.S.S., Silindirik Elyaf ve Tanecik Katkılı Karma Malzemelerin Efektif Isı İletim Katsayısı, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 2001.
- [9] Mandal H., "New Developments in α-Sialon Ceramics", *J. Eur. Ceram. Soc.*, 19(13): 2349-2357, (1999).
- [10] Mitomo M., Hirosaki N., and Mitsushashi T. "Thermal Conductivity Of Sialon Ceramics" *Journal of Materials Science Letters*, 3(10): 915-916, (1984).
- [11] William S., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2001).
- [12] Donald A., *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Nobel Yayınları, Cilt 1, İstanbul, (1998).
- [13] Donald A., *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Nobel Yayınları Cilt 2, İstanbul, (1998).
- [14] Incopera F.P., ve Dewitt D.P., *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2001).