

α -Si₃N₄- β SiAlON Seramiklerinin Kesici Takım Potansiyelinin İncelenmesi

¹*Fatih Çalışkan, ¹Zafer Tatlı, ²Serkan Kılıç, ³Hakkı Sönmez

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

²Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

³Dicle Üniversitesi, Diyarbakır MYO, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü

Özet

Günümüzde kullanılan önemli ileri teknoloji seramik ürünlerden birisi de kesici uçlar olup bunlar demir esaslı veya demir dışı metal ürünlerin yüksek hızlarda işlenerek üretilmesinde kesici takım olarak kullanılmaktadır. Bu kesici takımlar temelde silisyum nitrür, sialon, alümina, titanyum karbonitrür, kübik bor nitrür ve sert seramik partikül takviyeli metal matriks kompozitlerdir. Seramik kesici takımları öne çıkaran önemli faktörler yüksek sertlik, kırılma tokluğu ve yüksek sıcaklıklara dayanım olup bu özellikleri sayesinde daha yüksek kesme hızlarında işleme imkanı sağlar. Silisyum nitrür seramiklerin bu özellikleri taşıması ve buna ek olarak kimyasal saldırılara yüksek dayanım özelliği kesici takım malzemesi olarak seçiminde en önemli faktörlerden biri olmuştur. Bu çalışmada, yüksek yoğunluğa sahip kesici uç formunda Si₃N₄ seramik parçalar üretilmiştir. Daha sonra bu parçalar farklı kesme şartlarında test edilerek kesici takım performansı incelendi. SEM ve optik mikroskop kullanılarak mikroyapı incelemeleri gerçekleştirildi.

Anahtar Kelimeler: Kesici uç, işleme performansı, silisyum nitrür, basınçsız sinterleme

Investigation on Cutting Tool Performance of α -Si₃N₄ - β SiAlON Ceramics

¹*Fatih Çalışkan, ¹Zafer Tatlı, ²Serkan Kılıç, ³Hakkı Sönmez

¹Sakarya University, Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Science

²Sakarya University, Institute of Natural Sciences

³Dicle University, Diyarbakır Vocational High School, Department of Mechanical and Metal Technologies

Abstract

One of the ceramic products is ceramic cutting edges and these are used as cutting tools for fabrication of metal products (ferrous and non ferrous metals) at very high speeds. These cutting tools can mainly be classified silicon nitride, alumina, mixed-ceramics, titanium carbonitride, cubic boron nitride and hard ceramic particle reinforced metals. Ceramic cutting tools offer a high productivity because of their superior hardness, fracture toughness and resistance of elevated temperature which allows higher cutting speeds. In addition to these, resistance to chemical attacks is important in selection of cutting tool materials. In this research, high dense Si₃N₄ ceramic parts were fabricated, and cutting performance of the produced α/β Si₃N₄ ceramics were investigated. The microstructure analyses were carried out by SEM and optical microscopy.

Keywords: Cutting tool, cutting performance, silicon nitride, pressureless sintering

1. Giriş

α/β Silisyum nitrür ve Si₃N₄'ün katı çözeltisi olan α/β SiAlON, üstün termal kararlılığı, yüksek sertliği, gelişmiş kırılma tokluğu, yüksek aşınma ve korozyon direnci, yüksek sıcaklık mukavemeti sebebiyle başta yüksek sıcaklık yapısal malzemeleri olmak üzere kesici takım, aşınma parçaları olmak

üzere birçok alanda kullanım potansiyeline sahiptir. Kaynak ve ekstrüzyon, ergimiş metali taşımak için pota, yatak malzemesi olarak ve aşındırıcı olarak kullanılması da diğer uygulamalarıdır [1-4]. SiAlON seramiği, Si₃N₄'ün hegzagonal yapısında meydana gelen Si-Al ve N-O değişimi ile elde edilmekte olup ilk olarak 1971'de Japonya'da Kamigaito, Oyama ve 1972'de İngiltere'de Jack ve

*Sorumlu yazar: Sakarya üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye E-mail: fcaliskan@sakarya.edu.tr, Tel: +902642956501 Fax: +902642956424

Doi: 10.5505/apjes.2014.08370

Milson tarafından birbirlerinden bağımsız olarak bulunmuştur. İlk bulunan türü β -SiAlON olup $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ ($0 \leq z \leq 4.2$) formülüyle gösterilir [4,6]. Si_3N_4 kuvvetli kovalent bağlı olduğu için katı faz sinterlemeyle yüksek yoğunlukta üretilmesi mümkün olmadığından genellikle sinterleme sırasında düşük ötektikli bir sıvı faz oluşumunu sağlayan oksit katkıları yardımıyla sinterlenmektedir. Bu oksit katkıları ve yüzey silikası reaksiyona girerek taneler arası camsı faz oluşturur [6-8].

Silisyum nitrür esaslı seramikler, yüksek sertlik kimyasal inertlik ve termal ve mekanik şok direnci sebebiyle uygulanabilir bir işleme malzemesidir. β -SiAlON seramiğinin yine sertlik aşınma direnci ve tokluk özellikleri sebebiyle kesici takım olarak kullanımı en başarılı olduğu alanlardan biridir. Bu özelliklerden ötürü β -SiAlON kesici takımlar başarıyla pazarlanmakta olup yüksek kesme hızları ve bunun sonucunda kısalan işleme süreleri, yüksek talaş kaldırma oranları, daha uzun takım ömrü, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması, kimyasal tepkimesizlik, daha yüksek aşınma direnci oranlarından kaynaklanan gelişmiş boyut kontrolü, daha hassas yüzey işleme kabiliyeti, ısıl işleme sertleştirilmiş malzemeleri işleme kabiliyetlerine sahiptir [9-10].

Termal sok dayanımı sebebiyle de dökme demir, düşük karbonlu, yüksek karbonlu ve sertleştirilmiş takım çeliklerinin tornalanması ve frezelenmesi sırasında soğutulma imkan verir. Aynı zamanda, β -SiAlON kesici takımlar ile sertleştirilmiş yüksek karbonlu alaşım çelikler, tungsten karbür kaplı malzemeler ve nikel bazlı süper alaşımlar ve dökme demirler işlenebilmektedir [11-13]. SiAlON seramiklerinin silisyum nitrür seramiklerinden daha iyi sinterlenebilirliğe sahip olması sebebiyle kullanım anlamında üstünlük arz etmektedir.

Son zamanlarda öne çıkan SiAlON seramiklerinin aşınma direncini arttırmak için SiC gibi sert seramik partiküllerle takviye ederek seramik matris kompozit üretimi de ilgi çekmektedir. Bu sebepten partikül takviyeli SiAlON'lar kesici takım olarak gelişen aşınma dirençleriyle daha fazla umut vaat etmektedirler. Ancak bu çalışma da kullanılan basınçsız sinterleme gibi ekonomik ve esnek üretim imkanına sahip yöntemlerle bu tür β -SiAlON-SiC_p kompozitlerin üretimi/yoğunlaştırılması oldukça zordur. Ayrıca partikül dağılımının iyi yapılamaması, takviye miktarı ve şekli, ara yüzey bağları ve CO vb. ara yüzey reaksiyon ürünlerinin oluşumu gibi önemli zorluklar kolaylıkla matristen daha düşük özellikli bir malzeme eldesine sebep olabilmektedir [14-16]. Bu çalışmada, çeliklerin

işlenmesinde β -SiAlON seramik kesici takımlarının performansları literatürde yapılan çalışmalar incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, makine imalat sektöründe kullanılan AISI 4140 ıslah çeliğinin sertleştirilerek daha zor işleme şartlarında $\text{MgO}+\text{Y}_2\text{O}_3$ katkısıyla basınçsız sinterlenmiş olan β -SiAlON seramik kesici takımların işlenebilirliğini, takımlardaki aşınma mekanizmalarını ve aşınma miktarlarını değerlendirmektir. Üretilen basınçsız sinterlenmiş yoğun SiAlON seramiklerinin üstün özellikleri bu çalışmada kesici takım olarak performansının incelenmesinde itici güç olmuştur.

Piyasada kullanılmaya başlanan bazı farklı SiAlON seramiklerinin (sıcak preslenmiş, GPS SiAlON gibi) yanı sıra bu çalışmada kullanılacak yoğun α -Si₃N₄- β -Si₅AlON₇ seramiğinin kesici takım performansını ortaya koymak için piyasadaki benzer bir malzemeyle karşılaştırma yapılarak torna, freze vb. tezgahlarda kullanım potansiyeli değerlendirilecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kesici Takım Formunda β -SiAlON Seramik Parçaların Üretimi

Bu çalışmada kullanılan seramik kesici takımlar Çalışkan ve arkadaşları tarafından üretilmiştir [17]. α -Si₃N₄/ β -Si₅AlON₇ ($z=1$) kesici takımlar, Al₂O₃, AlN, Si₃N₄ tozları MgO-SiO₂-Y₂O₃ katkı sistemiyle karıştırılarak elde edilen toz kompozisyonlarından kesici takım formunda parçalar elde etmek için 15x15 mm kare kalıpta 40MPa basınçta ön şekil verilip 250 MPa basınçta Soğuk İzostatik Preste (CIP) yoğunluğu artırılmıştır.

Kesici takımdan maksimum faydalanmak ve aynı zamanda boş işlem zamanının azaltılması, oldukça geniş işleme şartlarını içermesi, hem tüm kenarlarının aynı açıda olması hem de sekiz yüzeyinin de kullanılabilmesi sebebiyle ISO 5609 tarafından belirtilen S kodlu kesici uç formatına (piyasaya göre eş eksenli SNGN 060300 T01525) göre kalıp tasarlanarak sinterleme öncesi gerekli ön şekil manuel preste verilmiştir. Ham numuneler 800°C/s ısıtma hızı kullanılarak 1750°C sinterleme sıcaklığında 2 saat süreyle basınçsız sinterlenmesiyle yüksek yoğunluklu parçalar elde edilmiştir. Elde edilen numunenin relatif yoğunluk >%99.9 değeri, mekanik özellikleri ise Hv₁: 21 GPa, K_{1c}: 6.5 MPa m^{1/2} olarak rapor edilmiştir [17]. Şekil 1'de ham numune ve sinterlenmiş numune örnekleri verilmiştir.



Şekil 1 a) 250MPa'da CIP'lenmiş ham numune
b) 1750°C'de 2 saat sinterlenmiş numune

AISI 4140 İslah Çeliğini Sertleştirme İşlemi

AISI 4140 İslah Çeliği Mekanik Özellikleri: AISI 4140 ıslah çeliği kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapı çelikleridir. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

AISI 4140 İslah Çeliğini Sertleştirme İşlemi

AISI 4140 İslah Çeliği Mekanik Özellikleri: AISI 4140 ıslah çeliği kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapı çelikleridir. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

AISI 4140 İslah Çeliğinin Isıl İşlemi: İşlenecek parça olarak seçilen AISI 4140 ıslah çeliğinin Tablo 2'de ıslı işlem bilgileri verilmiş olup gerekli sertleştirme işlemleri ısıl işlem laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney malzemesi olarak kullanılan 4140 ıslah çeliği 30mm çapında 300 mm uzunluğunda kesilerek 860°C'deki küp fırında 60 dakika bekletilmiş daha sonra suda su verilerek sertleştirilmiştir. Yapılan işlemden sonra 4140 çeliğinin sertlik ölçme cihazı ile sertliği ölçülmüş ve yaklaşık sertliği 52 HRC olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. AISI 4140 ıslah çeliği kimyasal bileşimleri

MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ							
C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr	Mo	V
0,38-0,45	0,15-0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,15-0,30	-

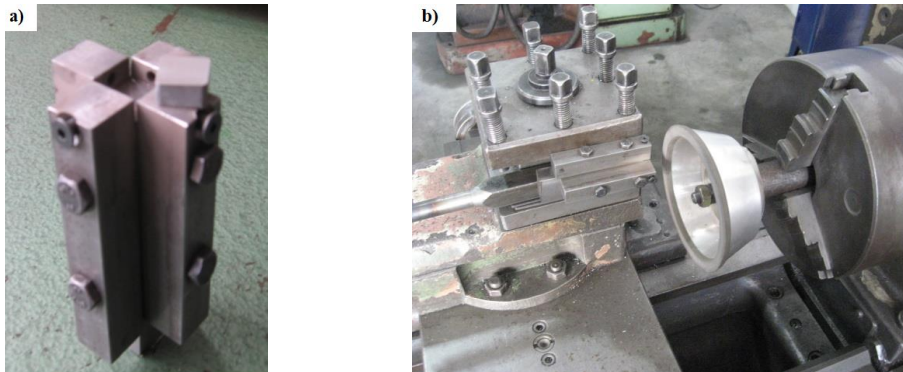
Tablo 2. AISI 4140 ıslah çeliğinin ısıl işlem bilgileri

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ							
Sıcak şekil verme sıcaklığı °C	Yumuşak Tavlama Sıcaklığı °C	Yumuşak tavlama sertlik > BSD 30	Normal tavlama sıcaklığı °C	Sertleştirme			Meneviş sıcaklığı °C
				Sıcaklık	Su	Yağ	
1050-850	680-720	241	840-880	820-850	830-860	540-680	
				Sertlik(HRC)	54-56	54-56	

2.2. β -SiAlON Kesici Takımın Yüzeylerinin Taşlanarak İşlemeye Hazır Hale Getirilmesi

Sinterleme sonrası elde edilen SiAlON kesici takımların; sinterleme esnasında oksit katkıların bir miktar uçması sebebiyle parçada çarpılmalar görülmesi, yatak malzemesi olarak kullanılan BN tozu ve/veya toz yataktan parça yüzeyinde kalan bir miktar bulunması ve parça yüzeylerinde kalıptan kaynaklanan bazı hatalar kesici takımların kesme performansını etkileyecektir.

Bu yüzey pürüzlülüklerini ortadan kaldırmak kusursuz bir yüzey elde etmek için elmas taşlama diski ile kesici takımların yüzeyleri % 0,2 hassasiyetle Şekil 2 (a)'da aparat yardımıyla, Şekil 2 (b)'de görülen torna tezgâhında 1400 devir/dakika hızla işlenmiştir. Diabor firmasından sert seramik malzemelerin ince taşlamasını yapmak (FEPA standartlarına göre D54 Tane iriliğine sahip) ve kuru taşlama işlemi gerçekleştirmek için Resinoid (reçine) bağlantılı sentetik elmas taşlama diski temin edilmiştir.



Şekil 2 a) Seramik kesici takım bağlama aparatı b) Yüzey taşlama için kullanılan torna tezgâhı

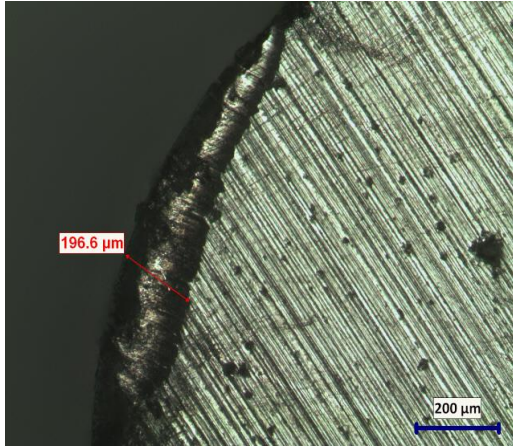
3. β -SiAlON Seramiğinin Sertleştirilmiş AISI4140 Çeliğini İşleme Performansı Deneyleri

AISI 4140 çeliğini kesme işlemi sonucu $MgO+Y_2O_3$ katkılı α - Si_3N_4/β - Si_5AlON_7 kesici takımlarında meydana gelen uç aşınmalarının mikroskop görüntüleri Şekil 3'de gösterilmiş olup yine mikroskop yardımıyla ölçülen aşınma miktarları Tablo 3'te ve Şekil 4'deki grafiklerle gösterilmiştir. Bu takıma ait aşınma miktarları incelendiğinde ise düşük ilerleme hızı ve düşük kesme hızlarında ortalama 200 μm 'ye yakın aşınma gözlenirken daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında ise ortalama 300 μm ye yakın aşınma olduğu gözlenmektedir.

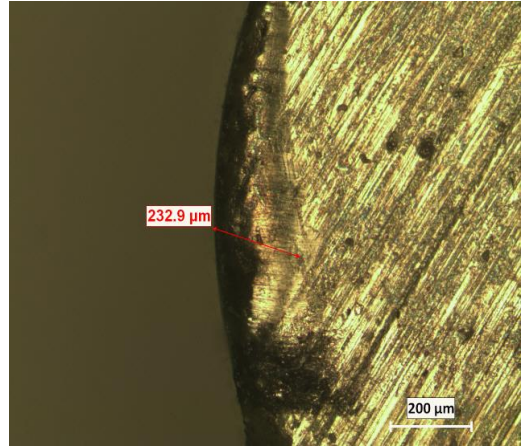
Aşınma sonuçlarına genel olarak bakıldığında, basınçsız sinterleme yöntemi ile üretilen α - Si_3N_4/β - Si_5AlON_7 kesici takımları için bu kesme ve ilerleme hızlarında bir miktar talaş ve serbest yüzeylerinde aşınmalar meydana gelebilmektedir. Bunun muhtemel sebebi üretilen parçaların içerdiği yüksek

sertlik ve düşük kırılma tokluğuna sahip kalıntı α - Si_3N_4 fazıdır.

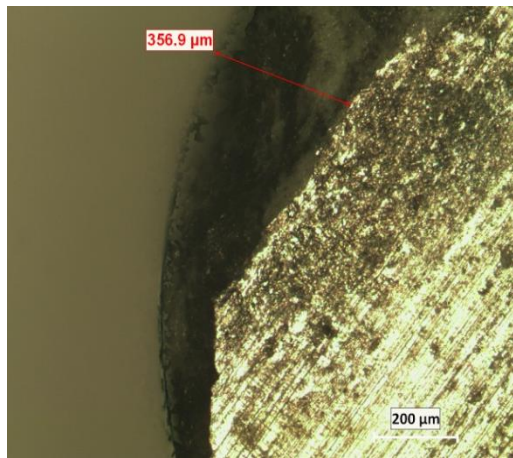
Bu çalışmada, α fazı yapı içerisinde aşınma direncini desteklediği için özellikle istenmiş ve tamamen dönüşüm tamamlanmadan yoğunlaşma tamamlanır tamamlanmaz sinterleme işlemi bitirilmiştir. Ancak bu nispete yüksek sertliğe sahip bir parçanın işlenmesinde bile iyi bir işleme performansı ortaya koyması yapıyı sertlik açısından desteklediğini göstermiştir. Bununla birlikte, dominant şekilde yapıya hakim olan ve bu sistem için hem mukavemet hem de yoğunlaşmayı sağlayan β -SiAlON tanelerinin oluşumu β tanelerinin yüksek aspekt oranı sebebiyle kırılma tokluğunda artışa neden olmaktadır. Bu sebepten kesici kenar bölgelerindeki/yanaklardaki kayıplar β -SiAlON takım ömrüne göre beklenen aralığın üzerindedir. Ancak eş eksenli sert α tanelerinin yapıdaki varlığı parçanın sertliğini dolayısıyla aşındırma kabiliyetini geliştirmiştir.



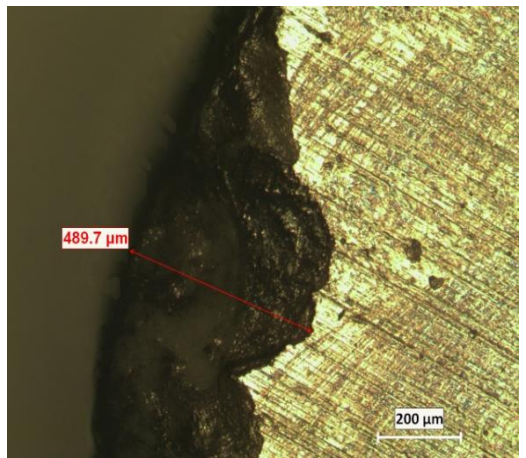
a) V:39 m/dk , f: 0,18 mm



b) V:52 m/dk , f: 0,16 mm



c) V:76 m/dk , f: 0,16 mm

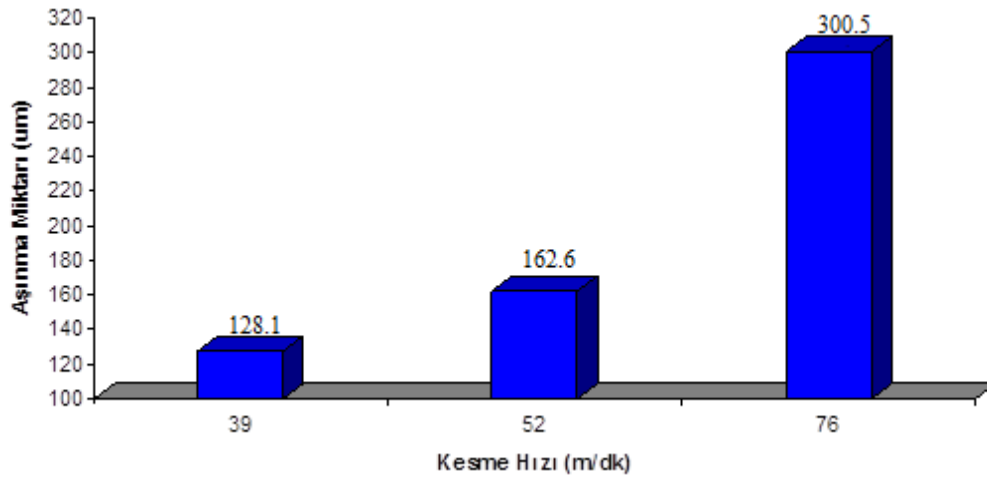


d) V:76 m/dk , f: 0,18 mm

Şekil 3. AISI 4140 çeliğini değişik kesme ve ilerleme hızı ile 1 mm talaş derinliği verilerek işleyen MgO katkılı SiAlON kesici takımının talaş yüzeyinde meydana gelen krater aşınmaların görüntüsü (50X büyütmede)

Tablo 3. MgO+Y₂O₃ katkılı β-SiAlON kesici uçlarının sertleştirilmiş 4140 çeliğini 0.11 mm ilerleme hızında ve değişik kesme hızlarında işleme sonucu serbest ve talaş yüzeylerinde meydana gelen ortalama aşınma miktarları

Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm)	Aşınma Miktarı (µm)	
		Serbest Yüzey(Yanak)	Talaş Yüzeyi(Krater)
39	0,11	128,1	188,5
52		162,6	208,3
76		300,5	296,3



Şekil 4. MgO+Y₂O₃ katkılı β-SiAlON kesici uçlarının sertleştirilmiş 4140 çeliğini 0,11 mm ilerleme hızında ve değişik kesme hızlarında işleme sonucu yüzeylerinde meydana gelen ortalama aşınma miktarlarının grafiksel gösterimi

4. Sonuçlar

Basıncısız sinterleme yöntemiyle ISO 5609 tarafından belirtilen S kodlu kesici uç formatında üretilen α-Si₃N₄/β-Si₅AlON₇ seramik parçalar hassas bir şekilde işlenmek ve istenen kenar açılına getirilebilmek için bu çalışma için özel olarak seramik kesici takım bağlama aparatı tasarlanmıştır. Elmas yüzey taşlama diski ile parçalar istenen kenar şekline işlenmesi başarılmıştır.

Hazırlanan seramik kesici parçalar ile işlenmek üzere hazırlanan ve işleme şartlarını daha zorlaştırmak için sertleştirilen AISI 4140 ıslah çeliği başarıyla işlenmiştir. Farklı kesme hızları denenmiş elde edilen sonuçlar kesme hızının artırılmasıyla kayıp miktarının arasında doğru orantılı bir ilişki ortaya koymuştur.

Sonuç olarak elde edilen kesici takım işleme performans testleri üretilen β-SiAlON kesici uçların torna tezgahında sertleştirilmiş AISI 4140 ıslah çeliğini işleyebildiğini ortaya koymuştur. İşlemeye karşı β-SiAlON uçlarda görülen kayıplar beklenen tolerans aralığında kalmıştır. Böylelikle sertleştirilmiş çelikler ve demir dışı metallerin işlenmesi için önerilebilir.

Kaynaklar

- [1] Jack KH., Wilson WI., Ceramics Based on the Si-Al-O-N Related System, Nature 238 (1972) 28–29.
- [2] Lange, FF. Phase Relation in the System Si₃N₄-SiO₂-MgO and Their Interrelation with Strength and Oxidation, J Am. Ceram. Soc. 61 (1978) 53–56
- [3] Rosenflanz, J. Am. Ceram. Soc. 85 (2002) 2379–2381
- [4] Izhevskiy, V.A., et al. Progress in SiAlON Ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 20 (2000) 2275-2295
- [5] Chihara K., et al. High-temperature compressive deformation of β-SiAlON polycrystals containing minimum amount of intergranular glass phase, Materials Science and Engineering B 148 (2008) 203–206
- [6] V.A. Izhevskiy, et al., J. Eur. Ceram.Soc. 20 (2000) 2275–2295
- [7] Sorrell, C. C., J. Aust. Ceram. Soc., 1982, 18, 22,
- [8] Ziegler, G., Heinrich, J. and Wötting, G., J. Mater. Sci., 1987, 22, 3041–3086.
- [9] Advanced Silicon nitride & Sialon Ceramics, International Sialons Limited, Newcastle, England
- [10] Sorrel, CC., McCartney, ER., Engineering Nitrogen Ceramics: Silicon Nitride, β-SiAlON and Cubic Boron Nitride, Materials Forum, 1986, pp 148-161].

- [11] www.hitachimetals.com
- [12] Burden, S.J., Ceramic Cutting Tools, Ceram. Eng. Sci. Proc. 1982, 3(7-8), 35136
- [13] Whitney, E.D. (1994) Ceramic Cutting Tools, Noyes Publications, New Jersey.
- [14] Acikbas NC., Effect of sintering conditions and heat treatment on the properties, microstructure and machining performance of α - β -SiAlON ceramics, Journal of the European Ceramic Society 32 (2012) 1321–1327
- [15] Bitterlich B., et al. SiAlON based ceramic cutting tools, Journal of the European Ceramic Society 28 (2008) 989–994
- [16] Demir, A "Effect of Nicalon SiC fibre heat treatment on short fibre reinforced beta-SiAlON ceramics", Journal of the European Ceramic Society ,Vol. 32 ,pp. 1405 - 1411
- [17] Caliskan, F; Tatli, Z; Genson, A; Hampshire, S "Pressureless sintering of beta-SiAlON ceramic compositions using fluorine and oxide additive system", J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 32, pp. 1337 – 1342