

ZİRKONYUM ESASLI KALIN CAMSI METALİN TAŞLANMASINDA KESME SICAKLIKLARI VE ENERJİ PAYLAŞIMI

Azmi Timur^a, İlker Karipçin^b, Umut Karagüzel^c, Ali Taner Kuzu^d ve Mustafa Bakkal^e

a, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul/Türkiye, timura@itu.edu.tr

b, Karipçinler Makina Ltd. Şti, Manisa/Türkiye, ikaripcin84@yahoo.com

c, Işık Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye, umut.karaguzel@isikun.edu.tr

d, Arçelik A.Ş., Ar-Ge Merkezi İstanbul/Türkiye, atkuzu@yahoo.com

e, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul/Türkiye, bakkalmu@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada talaşlı imalat işlemleri arasında özgül enerjinin en yüksek olduğu ve ısıyla ilgili problemlerin en çok yaşandığı “taşlama” işleminin farklı taş ve işleme parametrelerinin zirkonyum esaslı Kalın Camsi Metal’in [KCM] amorf yapısına metalürjik etkileri, meydana gelen taşlama sıcaklıkları, enerjinin ne kadarının KCM’ye geçtiği araştırılmıştır. Seçilen alaşım Vitreloy 105 ticari ismine sahip ve $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$ bileşimindeki Zr-esaslı KCM’dir. 6.35 mm çapa sahip dairesel kesitli Zr-esaslı KCM çubukların yüzey ve yüzey altı sıcaklıkları gömme termokupl yöntemi ile ölçülmüş ve ardından içyapı X-ışını difraksiyonu ile analiz edilmiştir. Bunların yanında iş parçasına ısı şeklinde geçen enerjinin taşlama sırasında harcanan toplam enerjiye oranı olarak ifade edilen enerji paylaşımı hesaplanmıştır. Bu hesaplarda kullanılmak üzere kuvvet ölçümü de yapılmıştır. İlerleme hızı ve paso kalınlığı sabit tutularak farklı kesme hızında taşlama testleri yapılmıştır. Sabit kesme hızı ve paso kalınlığında ve farklı ilerleme hızında yapılan testlerde sıcaklıkların değişimi farklı bir eğilim göstermiştir. Daha sonra kesme hızı ve ilerleme hızı sabit tutulup paso kalınlığı arttırılmıştır. Bütün bu deneylerde CBN aşındırıcılı taş kullanılırken, aşındırıcı malzemesinin sıcaklıklara olan etkisini görebilmek için son olarak CBN yerine Al_2O_3 aşındırıcılı taş kullanılarak bir test daha yapılmıştır. Bütün taşlanan numunelerde X-ışını difraksiyonu analizi yapılarak kristalleşme olup olmadığı belirlenmiş ve sonuçlar ölçülen sıcaklıklarla ilişkilendirilmiştir. Son olarak bütün testler için enerji paylaşımı değerleri hesaplanmıştır ve bu değerlerin kesme parametreleri ve aşındırıcı malzemesiyle değişimi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Taşlama, Kalın Camsi Metal, Kesme Parametreleri

CUTTING TEMPERATURES AND ENERGY PARTITION IN GRINDING OF ZR-BASED BULK METALLIC GLASS

Abstract

In the study, metallurgical effects of different wheel materials and cutting parameters in the grinding process of the amorphous-state Zr-based BMG which has high specific energy and problems related with heat, on grinding temperatures and the energy partition were investigated. Selected alloy is Zr-based BMG which has a composition of $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$. Surface and subsurface temperatures of the Zr-based BMG which has a circular cross section and a diameter of 6.35 mm were measured by using embedded thermocouple method. Besides, energy partition was calculated by using moving heat source model and temperature matching method. For using in the calculations forces were measured using piezoelectric dynamometer. In the tests it is seen that the temperatures in the workpiece show different trends when changing one of the parameters of the cutting speed, feedrate and dept of cut while keeping the other two parameter constant. The tests were performed with CBN grinding wheel and one additional test was performed by using Al_2O_3 grinding wheel in order to see the effect of abrasive type. It was also determined whether crystallization occurred in all of the ground samples by performing X-ray diffraction and the results were related with the measured temperatures. Finally, energy partition values for all of the tests were estimated and the change of energy partition with the cutting parameters and the abrasive type was examined.

Keywords: Grinding, Bulk Metallic Glass, Cutting Parameters

1 Giriş

Camsı metaller kristal yapılı geleneksel metallerin aksine amorf bir içyapıya sahiptirler ve bu yapı sıvı haldeki cam yapıcı alaşımı çok hızlı soğutma yoluyla elde edilmektedir. Bu yapı yarı karardır ve ısıl aktivasyon ile daha kararlı olduğu kristal yapıyı oluşturma eğilimindedir. Kristalleşme hızlı soğuma ile engellenirse, atomlar rastgele bir düzen oluşturmaktadırlar ve oluşan son yapı camsı metal adını almaktadır. Camsı metaller, eğer kalınlıkları 1 mm'den daha büyük olursa kalın camsı metal (KCM) olarak adlandırılmaktadırlar. Camsı metaller atomik ölçekte düzensiz bir yapıya sahip metal malzemelerdir ve tane sınırları yoktur. Araba motorlarından golf sopalarına kadar geniş yelpazede kullanılabilen KCM türevleri, sahip oldukları mekanik, manyetik ve elektriksel özellikler sayesinde askeri, uzay-havacılık, medikal, otomotiv, tüketici ürünleri ve daha birçok alandaki uygulamalarda da büyük potansiyele sahiptirler.

Çeşitli yöntemlerle şekillendirilen metalleri nihai boyut ve geometrilerine getirmek için talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Geleneksel metallerin talaşlı işlenebilirliklerinin belirlenmesi üzerine çok fazla sayıda çalışma yapılmışsa da literatürde bugüne kadar kalın camsı metallerin talaşlı işlenebilirlikleri üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Yapılan bir çalışmada Zr-esaslı kalın camsı metal 0,38 m/s, 0,76 m/s ve 1,52 m/s kesme hızlarında tormalanmıştır [1]. 0,76 ve 1,52 m/s kesme hızlarında talaşlı işleme sırasında sıcaklıklar 2700° K civarı ölçülmüştür. Yapılan SEM analizleri ve X-ışını difraksiyonu analizleri sonucunda bu hızlarda kesme sonucunda elde edilip incelenen talaşların dışında bir ZrO₂ katmanının, iç kısmında ise kristalleşmenin olduğu gözlemlenmiştir. Bunun ise kesme hızının eşik bir değerin üstüne çıkması sonucunda talaş sıcaklıklarının yüksek olmasına, bunun da oksitlenmeye yol açtığı ve bu ekzotermik oksitlenme reaksiyonunun ise 2700°K civarı sıcaklıklara ve beraberinde ışık yayılmasına ve talaşın iç kısmında kristalleşmeye yol açmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. İşlenen iş parçası yüzeyinde düşük ısıl iletkenlik sebebiyle sıcaklıkların çok yükselmediği ve sonuçta herhangi bir oksitlenme ya da kristalleşmenin olmadığı görülmüştür.

Bir diğer çalışmada Zr-esaslı kalın camsı metalde delik delme sırasında oluşan ışık yayılması, talaş morfolojisi, çapak oluşumu ve işlenen yüzeyin durumu, kesme parametrelerini, takım malzemesini ve takım çapını değiştirerek incelenmiş ve çıkan sonuçlar paslanmaz çelikten yapılan iş parçasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [2]. Kesme hızını arttırmanın ve ilerleme hızını düşürmenin oluşan ısıyı arttırdığı ve bu sayede ışık yayılmasını da arttırdığı görülmüştür. WC matkabın HSS matkaba göre 4 kat fazla ısıl iletkenliğe sahip olmasından dolayı ısının büyük kısmı talaş yerine takıma geçmiş ve bu da ışık yayılmasını azaltmıştır. Delik delme işlemi sonucunda elde edilen talaşlar incelendiğinde diğer metallerde görülen talaş tipleri dışında kalın camsı metale özgü uzun bükülmüş şerit talaş olduğu görülmüştür.

Taşlama işlemi diğer talaşlı imalat yöntemleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek enerji girdisine sebep olmaktadır. Taşlama sırasında harcanan bu yüksek enerji miktarı yüksek sıcaklıklara yol açmaktadır [3]. Bu sebepten ötürü taşlama işleminin ısıl analizi oldukça yüksek bir önem taşımaktadır ve bu amaçla çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak başta çelik olmak üzere birçok geleneksel metalde yapılan bu çalışmaları yeni bir malzeme ailesi olan kalın camsı metallerde yeterli oranda gerçekleştirilmemiştir.

Bu çalışmada Zr-esaslı kalın camsı metalin (Zr_{52,5}Ti₅Cu_{17,9}Ni_{14,6}Al₁₀) taşlanabilirliği ısıl açıdan incelenmiştir. Bu amaçla KCM iş parçaları farklı parametrelerle taşlanmış ve bu sırada termokopul yardımıyla sıcaklıklar ölçülmüştür. Daha sonra bu ölçümler ve hareketli ısı kaynağı modeli kullanılarak iş parçasına geçen ısı miktarı belirlenmiştir. Ayrıca taşlama işleminin ısıl açıdan incelenmesinde önemli bir yer tutan ve taşlama sırasında harcanan enerjinin iş parçasına ısı şeklinde geçen miktarı olarak ifade edilen enerji paylaşımı değerleri yapılan her test için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bunları yaparken kuvvet ölçümlerinden de faydalanılmıştır. Taşlanan KCM numunelerinin içyapıları X-ışını difraksiyonu ile incelenmiş ve içyapıda değişiklik olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlar sıcaklık ölçümleriyle birlikte karşılaştırılarak Zr-esaslı KCM'nin kristalleşmesi hakkında bazı çıkarımlar yapılmıştır.

2 Deneysel Çalışma

2.1 Malzeme

Kalın camısı metal malzemenin taşlanması sırasında oluşan sıcakların ölçülmesi ve malzemenin mikroyapısına etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada 6.35 mm çapında ve ark eritme yöntemiyle yüksek saflıkta üretilen $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$ (yüzdeler ağırlıkça verilmiştir) bileşimine sahip Zr-esaslı kalın camısı metal malzeme kullanılmıştır. Dairesel kesitli Zr-esaslı KCM çubuklar, işleme sırasında tutucu ve sıcaklık ölçme sistemine uygun olarak değişik boylarda su soğutmalı elmas disk ile kesilmiştir

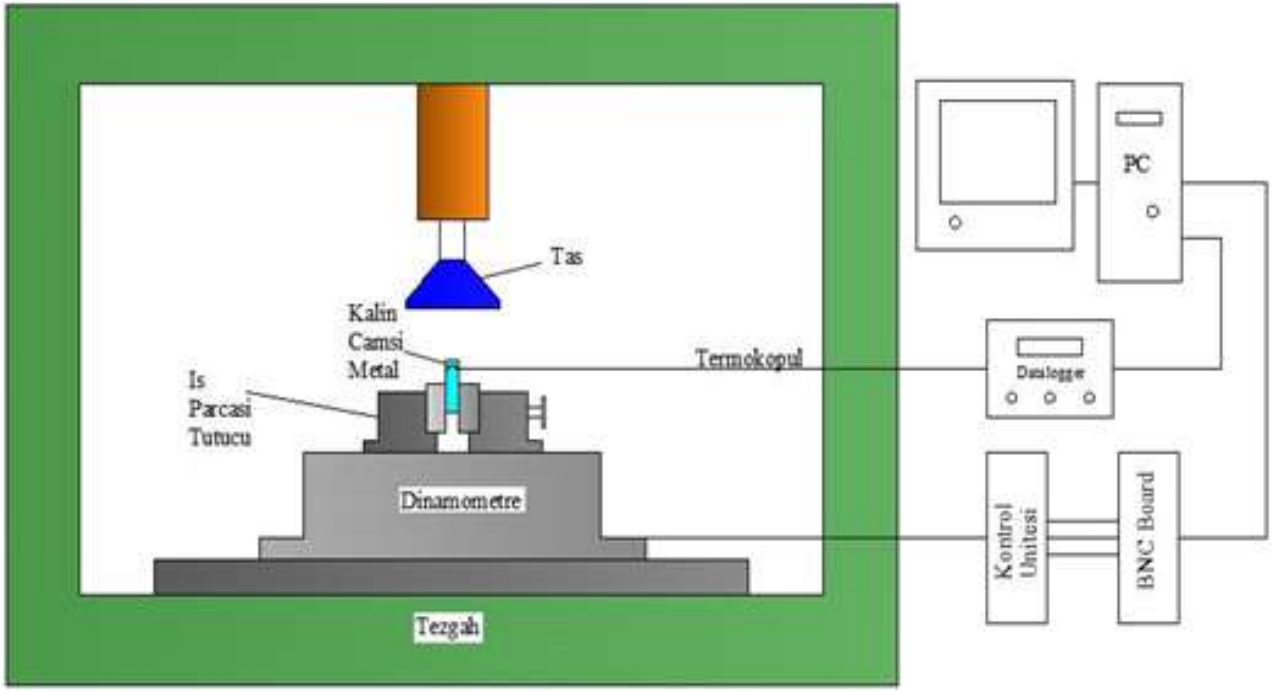
2.2 Satış Taşlama İşlemi Test Düzenegi

Bütün satış taşlama testleri CNC kontrollü dik işleme merkeziyle gerçekleştirilmiştir. Mevcut taşlama tezgahına uygun olarak satış taşlama deneylerinde çanak taşlar kullanılmıştır. Testlerde, CBN ve Al_2O_3 aşındırıcı taşlar kullanılmıştır. Bu taşlara ait boyutlar ve diğer özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Taşlama işleminde önemli bir faktör olan düzeltme ve bilenme işlemleri de yine araştırmalar ve öncü deneylerden edinilen tecrübe ışığında gerçekleştirilmiştir. Bunlardan CBN taşlar önce tek ağızlı elmas düzeltme takımı ile düzeltilmiş, daha sonra Al_2O_3 çubuk ile bilenmiştir. Al_2O_3 aşındırıcı taşlar ise tek ağızlı takım ile bilenmiştir. Test düzeneginin şematik resmi Şekil 1'de gösterilmiştir.

CBN Taşın Özellikleri		Al_2O_3 Taşın Özellikleri	
Dış Çap (mm)	100	Dış Çap (mm)	80
İç Çap (mm)	88	İç Çap (mm)	60
Tane Boyutu	B91	Tane Boyutu	100
Konsantrasyon	100	Yapı Numarası	5
Bağ Malzemesi	Reçine	Bağ Malzemesi	Vitrifiye

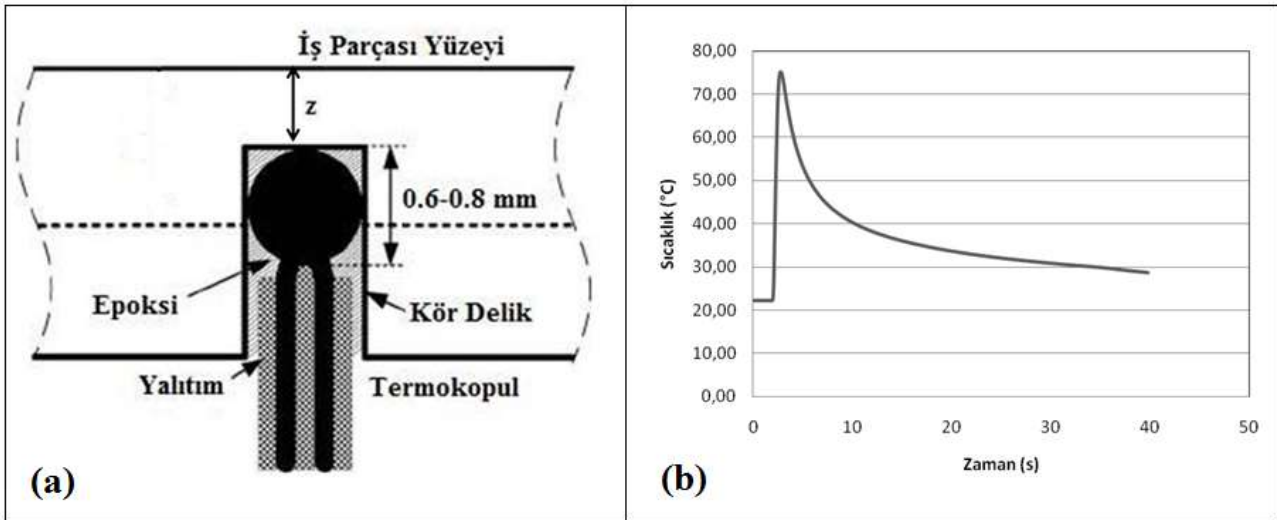
Tablo 1: Taşlama testlerinde kullanılan CBN ve Al_2O_3 taşların özellikleri

Kesme sırasında harcanan enerjinin belirlenmesinde kullanılmak üzere normal (F_n) ve teğetsel (F_t) kuvvetler ölçülmüştür. Bu ölçümler piezoelektrik kuvvet dinamometresi ile gerçekleştirilmiş ve bilgisayar ortamında incelenmiştir.



Şekil 1: Deneysel düzeneğin şematik resmi.

Yüzey ve yüzey altı taşlama sıcaklıklarının ölçülmesinde gömülü termokopul yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünde K-tipi bir termokopul kullanılmıştır. Termokopuldan alınan veriler datalogger'a iletilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır. Bu yöntemde sıcaklığı ölçülecek malzemenin alt yüzeyinden yüzeye belirli bir mesafeye kadar (1.5-2mm) kör delik açılmaktadır. Daha sonra termokopul bu deliğe deliğin alt yüzeyi ile temas edecek şekilde yerleştirilmektedir (Şekil 2a). Taşlama sırasında termokopulun sabit kalması için deliğe sıvı haldeki epoksi enjekte edilmekte ve katılaşması için bir süre beklenmektedir. Epoksi katılaşmış ve sertleştikten sonra taşlama işlemine başlanmakta ve bu sırada termokopul yardımıyla ölçülen sıcaklıklar kaydedilmektedir.



Şekil 2: (a) Gömülü termokopul yöntemi şematik resmi, (b) Şekil 4.8 : Bir taşlama pasosu sırasında sıcaklığın zamanla değişimi.

Her hangi bir pasodaki sıcaklıkların zamanla değişimi Şekil 2b'de görüldüğü şekildedir. Taş iş parçasına temas etmeye başladıktan sonra sıcaklıklar artmaya başlamakta ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra giderek düşmektedir. Her bir paso sonunda iş parçasının tamamen soğuması için bir süre beklendikten sonra

bir sonraki paso kesilmektedir. Her pasoda yüzeye biraz daha yaklaşıldığı için ölçülen maksimum sıcaklık değerleri artmaktadır. Termokopul deliği taşlama sonucunda yüzeye çıkmaktadır ve devam eden taşlama işlemi sırasında iş parçası yüzeyi ile birlikte yüzey malzemesinin plastik deformasyon ile sıvandığı termokopul da taşlanmaktadır. Bu sırada artan paso sayısı ile birlikte ölçülen maksimum sıcaklık yaklaşık sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu sıcaklık değeri yüzey sıcaklığı olarak alınmaktadır. Taşlamaya devam edildikçe termokopulun küçülmesine bağlı olarak sıcaklıklar giderek düşmektedir. Bunun devamında termokopulun tamamen kesilip uçları arasındaki bağlantının kopması sonrasında herhangi bir sıcaklık verisi alınamamaktadır. Bu noktada taşlama işlemi bitirilmektedir.

Bu çalışmada sıcaklık etkisinin incelenmesinin nedeni iş parçasının sahip olduğu 4 W/mK'lik düşük ısı iletkenlik katsayısıdır. Malzemenin cam geçiş sıcaklığı (T_g) 399°C ve kristalleşme sıcaklığı (T_x) 445°C'dir. KCM'yi diğer malzeme gruplarından ayıran fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini taşlama sonrası da koruyabilmesi ancak işlem sırasında amorf içyapının bozulmasına sebep olacak bu sıcaklıkların altında kalınması ile sağlanabilir.

2.3 Deney Tasarımı

Zr-esaslı kalın camsı metal için amorf mikroyapının korunduğu ve istenilen yüzey kalitesini veren kuru taşlama parametrelerinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada kesme hızı, ilerleme hızı, paso kalınlığı ve taş malzemesi gibi bazı önemli taşlama parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda CBN'nin ısı iletkenlik katsayısının Al₂O₃'ye göre yaklaşık 15 kat daha büyük olduğu, bunun ise oluşan ısının Al₂O₃'e göre daha yüksek miktarının CBN taşla geçmesine yol açtığı ve böylece iş parçasının sıcaklığının daha az artmasına sebep olduğu görülmüştür. Bu yüzden taş malzemesi etkisi hariç diğer parametrelerin belirleneceği testlerde CBN taş kullanılmasına karar verilmiştir. En son taş malzemesinin etkisini görmek için Al₂O₃ taş kullanılarak bir deney daha yapılmıştır.

İlk olarak yapılan öncü deneylere literatürde KCM'nin taşlanması ile alakalı her hangi bir veri olmadığı için çelikler için kullanılmakta olan parametreler ile başlanılmıştır. Ancak başta kesme hızı olmak üzere kullanılan bu parametrelerin KCM'nin taşlanmasında uygun olmadığı yapılan sıcaklık ölçümleri ve X-ışını difraksiyonu incelemeleriyle görülmüştür. Ayrıca bu parametreler kullanılarak yapılan taşlama işleminde ışık gözlemlenmiştir. Bu ise daha önce yapılmış olan tornalama işlemindeki gibi oluşan yüksek sıcaklıklar sonucunda meydana gelen ekzotermik oksitlenme reaksiyonunun bir sonucudur [1]. KCM'nin içyapısının amorf tan kristale dönüşmesine yol açan yüksek sıcaklıklara özellikle kesme hızının sebep olduğu belirlenmiş ve bundan sonraki deneylere düşük kesme hızlarıyla devam edilmiştir. Kesme hızının etkisinin görülmesi ve camsı metalin kristalleşme sıcaklığı civarında sıcaklıklara yol açan kritik kesme hızının belirlenebilmesi için ilk olarak kesme hızı değiştirilmiştir. Daha sonra ilerleme hızı, paso derinliği ve kullanılan taşlama taşının malzemesi değiştirilmiştir. Bütün yapılan testler Tablo 2'de verilmiştir.

Deney Numarası	Ana mil hızı (dev/dak)	Kesme Hızı (m/s)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Paso Kalınlığı (mm)	Aşındırıcı Malzemesi	Soğutucu
1	1000	5,24	2000	0,01	CBN	Kuru
2	2000	10,47	2000	0,01	CBN	Kuru
3	2500	13,09	2000	0,01	CBN	Kuru
4	2000	10,47	1000	0,01	CBN	Kuru
5	2000	10,47	4000	0,01	CBN	Kuru
6	1000	5,24	2000	0,015	CBN	Kuru
7	1250	5,24	2000	0,01	Al ₂ O ₃	Kuru

Tablo 2: Yapılan taşlama testleri.

Geleneksel aşındırıcıların aşınma ile körleşmesi ve aşınma düzlüklerinin alanının artması ile kuvvetlerin de artması, ayrıca taneler arası boşluklara kopan işparçalarının dolması ve bunun sonucunda taşın tıkanması da taşlama işlemini etkilemektedir. Bu etkileri elimine etmek için deneylerde kullanılan Al₂O₃ aşındırıcılı taş her 10 pasodan sonra bilenmiştir. Ancak geleneksel aşındırıcılara göre çok daha sert olan CBN aşındırıcılar çok daha yavaş aşınmaktadır. Düzeltme sonrasındaki yüksek kuvvetlerin olduğu geçiş bölgesi geçilip de kararlı rejime ulaşıldıktan sonra kuvvetler sabit kalmaktadır. Taşın formu da bir kez düzeltildikten sonra kolay kolay bozulmamaktadır. Bu sebeple deneylere başlamadan önce bir kere düzeltilen ve bilen CBN taş geçiş bölgesinin geçilmesi için önce sert bir çelik üzerinde kullanılmış ve kuvvetler sabitlenince deneylere başlanmıştır. Daha sonra da düzenli olarak her 40 pasodan sonra bilenmiştir.

2.4 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

CBN taş ile 1000 dev/dak devirde, 2000 mm/dak ilerleme hızında ve 0.01mm paso derinliğinde kuru olarak gerçekleştirilen ilk deneyde ölçülen yüzey sıcaklığı yaklaşık 270°C'dir. Bu sıcaklık değeri deneylerde kullandığımız Zr-esaslı camsı metal numunenin 445°C olan kristalleşme sıcaklığının altındadır.

2000 dev/dak'a çıkartılan ikinci deneyde taş cinsi, ilerleme hızı ve paso kalınlığı değiştirilmemiştir. Bu taşlama işlemi sırasında yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 390°C olarak ölçülmüş olup yine kristalleşme sıcaklığı geçilmemiştir. İlerleme hızı ve paso kalınlığı değiştirilmeden 2500 dev/dak'a çıkılan işlemde yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 600°C olarak ölçülmüş olup bu defa kristalleşme sıcaklığı üzerine geçilmiştir.

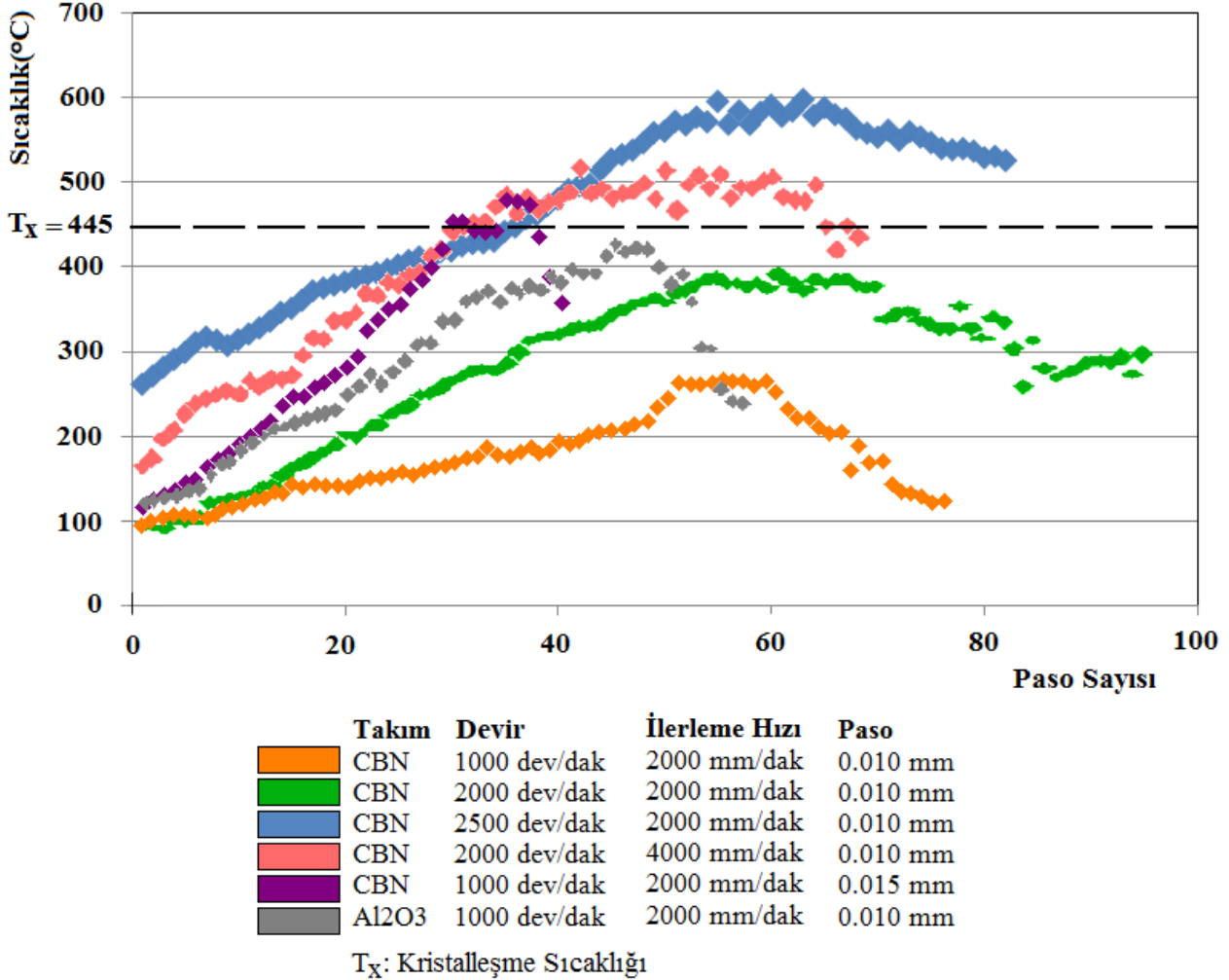
Bu ana kadar yapılan deneylerde ilerleme hızı ve paso derinliği değiştirilmeden kesme hızı artırılmıştır ve 1000 ve 2000 dev/dak'lık ana mil hızlarında sıcaklıkların kristalleşme sıcaklığının altında kaldığı ama 2500 dev/dak'lık ana mil hızında sıcaklığın kristalleşme sıcaklığının üzerine çıktığı belirlenmiştir.

2000 dev/dak devirde, 4000 mm/dak ilerleme hızında ve 0.01mm paso derinliğinde kuru olarak gerçekleştirilen deneyde yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 500°C olarak ölçülmüş olup kristalleşme sıcaklığı üzerine geçilmiştir.

Bundan sonra kesme hızı ve ilerleme hızı sabit tutularak paso kalınlığı değiştirilmiş ve bu sayede paso kalınlığının sıcaklık üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. 1000dev/dak ana mil devir ve 2000mm/dak

ilerleme hızında paso kalınlığı 15 μ m'ye çıkarılmıştır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 460°C olarak ölçülmüş olup kristalleşme sıcaklığı üzerine geçilmiştir.

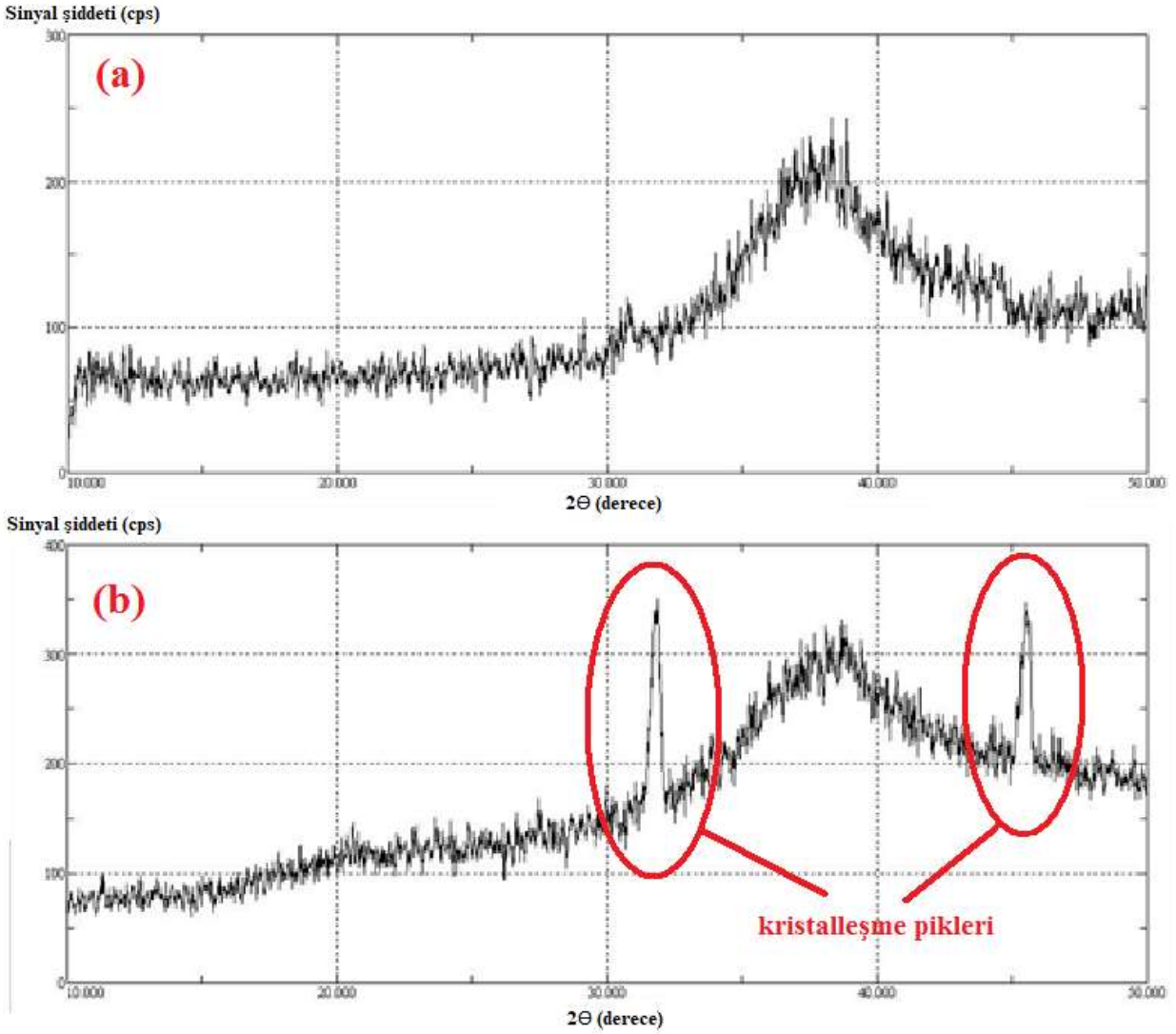
Aşındırıcı malzemesinin etkisini belirlemek için Al₂O₃ aşındırıcı taş ile 1000dev/dak devirde, 2000mm/dak ilerleme hızı ve 0.01mm paso kalınlığı ile taşlama yapıldığında ölçülen maksimum sıcaklık yaklaşık 415°C olmuştur. Bu ölçülen sıcaklık kristalleşme sıcaklığının altındadır.



Şekil 3: Deneysel sıcaklıkların paso sayısına göre değişimi.

2.5 X-Işını Difraksiyonu Analizleri

Sıcaklık ölçümünün yanı sıra doğrulama amacıyla, taşlanan numunelerde kristalleşme olup olmadığı yapılan X-ışını difraksiyonu analizleriyle de incelenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi difraksiyon grafiğinde piklerin olması malzemede kristalleşmenin olduğunu göstermektedir. 1000 ve 2000dev/dak'lık devirde herhangi bir kristalleşme pikine rastlanmamıştır. 2500dev/dak'lık devirde ise yaklaşık 32° ve 45°'lerde iki adet kristal piki görülmüştür. Arka planda amorf faza ait geniş pik hala varlığını sürdürmektedir.



Şekil 4: Farklı ana mil hızlarında taşlanan numunelerin X-ışını difraksiyonu sonuçları
(a) 2000dev/dak (b) 2500dev/dak.

İki farklı ilerleme hızında taşlanan numunelerin X-ışını difraksiyonları incelendiğinde, 2000dev/dak'lık devirde ve 1000mm/dak'lık ilerleme hızında yapılan taşlama sonucunda yaklaşık 32° ve 45° 'de iki adet kristalleşme piki görüldüğü ancak ana milin hızı değiştirilmeden ilerleme hızı 4000mm/dak'ya çıkarıldığında herhangi bir kristalleşme piki görülmediği ve amorf faza ait geniş pik değişmeden kaldığı kaydedilmiştir.

1000dev/dak devir, 2000mm/dak ilerleme hızı ve 0.015mm paso kalınlığıyla taşlandığında burada da aynı derecelerde iki adet kristalleşme piki gözlenmektedir.

Al_2O_3 aşındırıcılı taş ile taşlanmış numunede herhangi bir kristalleşme izine rastlanmamıştır.

2.6 Enerji Paylaşımı Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Taşlama işlemi sırasında iş parçasına geçen ısı miktarının belirlenmesi işlemin anlaşılabilirliği açısından oldukça önemlidir. İş parçasındaki sıcaklık artışı, iş parçasına geçen bu ısıyla doğrudan alakalıdır. İş parçasına ısı şeklinde geçen enerji miktarının taşlama sırasında harcanan toplam enerjiye oranına "enerji paylaşımı" (energy partition) adı verilmektedir. Enerji paylaşımının belirlenebilmesi için iş parçasındaki taşlama sıcaklığı dağılımı klasik "hareketli ısı kaynağı teorisi" ile hesaplanmaktadır. Daha sonra bu

hesaplanan sonuçlar ölçülen sıcaklık değerleriyle birleştirilerek taşlama sırasında harcanan enerjinin iş parçasına ısı şeklinde geçen miktarı bulunmaktadır.

Taşlama işleminde kullanılan hareketli ısı kaynağı modelinde, taşlamada harcanan enerjinin tamamının taş ile iş parçası arasındaki temas bölgesinde ısıya dönüştürüldüğü kabul edilmektedir. İş parçasındaki sıcaklık dağılımı hesaplanırken sanki kararlı hareketli ısı kaynağı modeli kullanılmaktadır [4].

Deney No	Ölçülen Maksimum Sıcaklık (°C)	Taşlama Sırasında Harcanan Güç (W)	Özgül Enerji (J/mm ³)	Taşlama Bölgesindeki Isı Akısı (W/m ²)	Enerji Paylaşımı (ε)	İş Parçasına Geçen Isı Akısı (W/m ²)
1	270	167,55	79,16	6981	0,16	1116,96
2	390	180,12	85,10	7505	0,2	1501
3	600	187,19	88,43	7799	0,33	2573,67
4	500	251,33	59,37	10470	0,32	3350,4
5	400'den çok	-	-	-	-	-
6*	460	198,97	62,67	8290	0,26	2155,4
7**	415	209,44	98,95	6613	0,27	1785,51

*Bu testte paso kalınlığı 0,01 yerine 0,015'dir.

**Bu testte CBN yerine Al₂O₃ aşındırıcılı taş kullanılmıştır.

Tablo 3: Yapılan taşlama testleri.

3 Sonuç ve Öneriler

KCM'nin CBN aşındırıcılı taş ile taşlanması sırasında ilk olarak 3 farklı kesme hızında sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında ilerleme hızı 2000mm/dak olarak seçilmiş ve sabit tutulmuştur. Ölçümler kesme hızının artmasıyla sıcaklıkların arttığını göstermiştir. 1000dev/dak ve 2000dev/dak'lık devirde yapılan taşlama işleminde ölçülen sıcaklıklar kristalleşme sıcaklığının altında iken 2500dev/dak'lık ana mil hızıyla yapılan taşlama işleminde sıcaklıklar kristalleşme sıcaklığının üzerine çıkmıştır. Yapılan X-ışını difraksiyonu analizleri de bu durumu kanıtlamıştır. Düşük kesme hızlarında her hangi bir kristalleşme piki görülmezken, yüksek kesme hızında iki adet kristalleşme piki görülmüştür.

Bu deney sonuçları göz önünde bulundurularak kristalleşmenin olmadığı en yüksek devir olan 2000dev/dak sabit tutularak ilerleme hızı değiştirilmiştir. 2000dev/dak devir ve 2000mm/dak ilerleme hızıyla yapılan taşlama deneyine ilave olarak 1000mm/dak ve 4000mm/dak'lık ilerleme hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklıklar 2000mm/dak'lık ilerleme hızında en düşük değeri (270°C) alırken, ilerleme hızının artırılmasıyla ve azaltılmasıyla sıcaklıklar artmış ve kristalleşme sıcaklığının üzerine çıkmıştır. İlerleme hızının 2000'den 4000'e çıkarken sıcaklıkların artması daha agresifleşen işleme koşullarına bağlanmıştır. İlerleme hızının 2000'den 1000'e düşerken artması ise taşın iş parçası üzerinde daha uzun süre kalması ve bu yüzden iş parçasına daha fazla ısı girdisi olması ile açıklanmıştır.

Yapılan X-ışını difraksiyonu analizleri düşük ilerleme hızında kristalleşmenin olduğunu göstermiştir. Ancak sıcaklıklar kristalleşme sıcaklığının üzerine çıkmasına rağmen yüksek ilerleme hızında amorf yapı değişmeden kalmıştır. Bu ise kristalleşmenin gerçekleşmesi için sadece sıcaklıkların yeterli seviyeye gelmesinin yeterli olmadığını, aynı zamanda dönüşüm için sürenin de yeterli olması gerektiğini göstermiştir. Çünkü bu yüksek ilerleme hızında taş iş parçası üzerinde çok kısa bir süre kalmakta ve bu kısa sürede amorf yapıdan kristal yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Paso kalınlığı değiştirilerek yapılan deneylerde daha agresif hale gelen taşlama koşullarına bağlı olarak taşlama sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Kristalleşme sıcaklığının üzerine çıkan sıcaklıklar nedeniyle X-ışını difraksiyonu grafiklerinde kristal piklerine rastlanmıştır.

İlk 5 testte CBN aşındırıcılı taş kullanılmıştır. Aşındırıcının CBN olarak seçilmesinde CBN'nin Al_2O_3 'e göre 15 kat daha büyük olan ısı iletkenlik katsayısı etkili olmuştur. Bu sayede CBN kullanılarak yapılan taşlama işleminde Al_2O_3 'e göre daha fazla ısı taşa geçecek ve böylece iş parçasının sıcaklığı daha az yükseleceği düşünülmüştür. Nitekim yapılan deneylerle bu durum kanıtlanmıştır. Al_2O_3 kullanılarak yapılan taşlama işleminde iş parçası sıcaklıkları CBN kullanılarak yapıldığına göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak kullanılan düşük parametrelere bağlı olarak sıcaklıklar kristalleşme sıcaklığının altında kalmış ve malzemenin amorf yapısı değişmemiştir.

Diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre çok daha fazla enerji girdisinin olduğu taşlama işleminin ısı yönlerinin incelenmesinde enerji paylaşımı değerinin belirlenmesi de önem arz etmektedir. Çünkü iş parçasındaki sıcaklık artışı, taşlama sırasında harcanan enerjiyle bu enerjinin iş parçasına ısı şeklinde geçen miktarının yani enerji paylaşımı değerinin çarpımıyla doğru orantılıdır. Enerji paylaşım değerlerinin belirlenmesi ile farklı koşullarda iş parçasına geçen enerjinin nasıl değiştiğinin anlaşılması mümkün olmaktadır. Bu çalışmada bu nedenle enerji paylaşımı değerleri de hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar kesme hızı ve ilerleme hızının artmasıyla enerji paylaşımının arttığını göstermiştir. Ayrıca kalın camsı metal için bulunan enerji paylaşımı değerleri çeliklerle kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bu ise kalın camsı metalin düşük iletkenlik katsayısına sahip olmasındadır. Bu nedenle taşlama bölgesindeki ısının büyük kısmı yüksek ısı iletkenliğe sahip aşındırıcılara geçerken, daha az kısmı iş parçasına geçmektedir.

Sonuç olarak kalın camsı metallerin taşlama sıvısı kullanılmadan taşlanması sırasında kesme hızını arttırmak iş parçasının daha fazla ısınmasına yol açmaktadır. Çünkü kesme hızını arttırmak hem taşlama sırasında harcanan enerjiyi arttırmakta, hem de bu enerjinin iş parçasına geçen miktarını arttırmaktadır. Bu nedenle kesme hızını çok yüksek tutmamak iş parçasının yapısının bozulmamasını sağlamak açısından faydalıdır. Ancak ilerleme hızının değişimi sıcaklıkları ve içyapıyı farklı etkilemektedir. İlerleme hızını çok düşük seçmek taş ile iş parçasının uzun süre temasta kalmasına ve bu sebepten de iş parçasına daha uzun süre ısı akısının girmesine ve böylece iş parçasında sıcaklıkların yükselmesine sebep olmaktadır. Ayrıca iş parçasının yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması iş parçasında kristal fazların oluşumu için yeterli zamanı sağlamakta ve böylece ilerleme hızının düşük olması içyapıyı olumsuz etkilemektedir. Ancak ilerleme hızını çok yükseltmek de sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır, fakat taşın iş parçasıyla teması çok kısa sürdüğü için bu sırada sıcaklıklar kristalleşme sıcaklığını geçse bile kristal fazların oluşumu bu kısa sürede gerçekleşmemektedir. Bu çalışmada kullanılan ilerleme hızlarından 2000mm/dak'lık ilerleme değerinde sıcaklıkların en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Paso kalınlığını arttırmak da kesme hızıyla aynı sebeplerden ötürü sıcaklıkları arttırmakta ve amorf yapıyı olumsuz etkilemektedir. Literatürde de daha önce belirtildiği üzere Al_2O_3 'e göre daha yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip CBN aşındırıcılı taşları kullanmak bu tarz sıcaklığa duyarlı malzemelerin taşlanmasında daha uygun olduğu da görülmüştür. Yapılan testler içinde 100mm çapa sahip CBN aşındırıcılı taş ile ve 2000dev/dak ana mil hızı, 2000mm/dak ilerleme hızı ve 0,01mm paso kalınlığı en uygun taşlama parametreleri olarak belirlenmiştir. Ancak burada parametrelerin uygun olup olmadığı kalın camsı metalin içyapısı göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bunun dışında bu değerlendirmeyi yaparken taşlanan yüzeyin pürüzlülüğü ve morfolojisi ile taşlama kuvvetleri de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca bu çalışmadaki bütün testlerde kuru çalışılmıştır ve bu

parametreler kuru taşlama için geçerlidir. Taşlama sıvıları kullanılması ile taşlama sıvısının taşlama bölgesindeki ısıyı uzaklaştırması sonucunda içyapı bozulmadan daha yüksek talaş kaldırma hızlarına çıkmak mümkün olabilecektir.

4 Kaynakça

- [1] Bakkal, M., Liu, C.T., Watkins, T.R., Scattergood, R.O. and Shih, A.J., 2004. "Oxidation and crystallization of Zr-based bulk metallic glass due to machining", *Intermetallics*, sayı 12, s. 195–204.
- [2] Bakkal, M., Shih, A.J., McSpadden, S.B. and Scattergood, R.O., 2005. "Thrust force, torque, and tool wear in drilling of bulk metallic glass", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, sayı 45.
- [3] Malkin, S. and Guo, C., 2007. "Thermal Analysis of Grinding", *Annals of CIRP*, sayı 56/2, s. 760-782.
- [4] Shen, J.Y., Zeng W.M., Huang, H., and Xu, X.P., 2002. "Thermal aspects in the face grinding of ceramics", *Journal of Materials Processing Technology*, sayı 129, s. 212.