

AISI 52100 Rulman Çeliğinin İşlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Ömrü ve Sıcaklık Kriterlerine Göre Araştırılması

Ulaş ÇAYDAŞ^{1*}, Osman KUNCAN², Mahmut ÇELİK¹

¹Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 23119 Elazığ

²Siirt Üniversitesi Siirt Meslek Yüksekokulu Makine Teknolojileri Bölümü Siirt

(Geliş/Received : 10.04.2016 ; Kabul/Accepted : 18.05.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliği, küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak kuru ve minimum miktarda yağlama (MMY) ortamlarında tornalanmıştır. Deneysel sonuçlarında numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a), kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınma değerleri (V_B) ve kesici takımındaki sıcaklık değerleri (T) ölçülmüştür. Deneysel sonuçlarda, DNMG 150408 – TF ve DNGA 150408T IN 23 ISO standart numaralı karbür ve seramik takımlar kullanılarak, talaş derinliği (a) ve ilerleme miktarı (f) sabit tutulmuş, kesme hızı (V), belirli sınırlar içerisinde değiştirilerek kesme hızı, iş parçasının mikroyapısı ve kesici takım cinsinin işlenebilirlik üzerindeki izafi etkileri deneysel olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak AISI 52100 malzemesinin ekonomik işlenebilirliği için en uygun şartlar araştırılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 52100 Çeliği, Küreselleştirme Isıl İşlemi, Takım Ömrü, Yüzey Pürüzlülüğü.

Investigation of The Machinability of AISI 52100 Bearing Steel for Surface Roughness, Tool Life and Temperature Criteria

ABSTRACT

In this study, spheroidized AISI 52100 bearing steel was machined in dry and minimum quantity of lubrication (MQL) conditions. After experiments, the average surface roughness (R_a) of samples, tool flank wears (V_B) and tool – chip interface temperature (T) values were measured. The ISO DNMG 150408 – TF and DNGA 150408T IN 23 carbide and ceramic cutting tool materials were used. In the experiments, the depth of cut (a) and tool feed rate (f) factors were fixed, while the cutting speed (V), cutting tool and workpiece materials and machining conditions factors were changed in certain intervals to experimentally explore their relatively effects on the machining responses. Consequently, optimum parameter conditions were determined and evaluated for the economic machining of AISI 52100 bearing steel.

Keywords: AISI 52100 Steel, Spheroidization Heat Treatment, Tool Life, Surface Roughness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AISI 52100 (DIN 100Cr6) çeliği, %1,3 – 1,6 krom içerikli, yüksek karbonlu (%0.98-1.10) ve düşük alaşımli ötektoid üstü bir çeliktir. Bu çelikler, ısı işlemi yoluyla derinlemesine sertleştirilebilirler. Farklı ısı işlemler neticesinde mikroyapıları değiştirilerek sertlik kazandırılan bu çelikler; otomotiv, dişli, rulman, takım ve kalıp endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 52100 çeliği genellikle talaşlı imalat yoluyla şekillendirilmektedir. Ancak, tavllanmış durumdaki ötektoid üstü çelikler, içyapılarında yer alan sert ve gevrek sementit lamelleri nedeniyle talaşlı işlenmeye elverişli değildir. Küreselleştirme ısı işlemi, çelikleri AC₁ sıcaklığı civarında uzun süre tuttukten ve bu bölgede salımlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile

karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem sonrasında malzemenin içyapısındaki lamelli yapı, taneli sementite dönüştürülerek süneklik ve talaşlı işlenebilirlik özelliklerinde iyileşme sağlanmaktadır.

Talaş kaldırma esnasında kesici takım ile iş parçası ara yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve iş parçası malzemesinin plastik deformasyonu sonucu oldukça yüksek bir ısı açığa çıkmaktadır. Oluşan yüksek ısı, kesme bölgesinde sıcaklık artışına yol açarak kesici takım malzemesinin sertliğinin azalmasına ve hızla aşınmasına sebep olmaktadır. Takım aşınmasıyla birlikte, takım ömrü azalmakta ve işlenmiş yüzeyin kalitesi kötüleşmektedir. Kesme bölgesinde oluşan ısıyı ve takım-talaş temas ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak (yağlama yapmak) amacıyla endüstride malzeme cinsine bağlı olarak, basınçlı hava, çeşitli kesme yağları ve emülsiyonlar kullanılmaktadır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ucaydas@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 409-417

AISI 52100 çeliğinin talaşlı işlenebilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. J.Guddat vd. çalışmalarında sertleştirilmiş AISI 52100 (58-62 HRC) çeliğinin kübik bor nitrid kesici takım ile işlenmesinde oluşan yüzey kalitesi ve kesme kuvvetlerinin değişimlerini incelemişlerdir. Kullanılan deney şartlarında kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden istatistiksel bir deneysel tasarım modeli kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, silici geometri uçların geleneksel uç geometrisine nazaran daha kaliteli yüzeyler oluşturdukları ve daha yüksek artık gerilmelere yol açtıkları tespit edilmiştir [1]. Galoppi vd. çalışmalarında, sertleştirilmiş ve temperlenmiş (62 HRC) DIN 1006 (AISI 52100) çeliğini silici geometri, TiAlN kaplamalı, TiN kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere farklı CBN uçlar (ISO CNGA120408SO1020 geometrisinde) kullanarak işlemişlerdir. Çalışmada, en büyük yanak aşınma miktarı, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), talaş kaldırma oranı ve takım ömrü değerleri Taylor'un modeline göre deneysel ve teorik olarak belirlenmiştir [2]. Poulachon vd. çalışmalarında, AISI D2 soğuk iş takım çeliği, AISI H11 ve 35NiCrMo16 sıcak iş takım çelikleri ve 100Cr6 rulman çeliği (AISI 52100) malzemelerinin CBN kesici takımlarla kuru işlenmesinde takım aşınma oranlarını ölçmüşlerdir. Takım yanak aşınma izlerinin çeliklerin içyapılarında yer alan farklı karbür parçalarıyla ilişkili olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Talaş kesitleri incelenmiş ve bu çeliklerin işlenmesinde farklı miktarlarda beyaz tabakaların oluştuğu belirlenmiştir [3]. Paiva vd. çalışmalarında, AISI 52100 çeliğinin farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği şartlarında işlenmesinde takım ömrü, işleme süresi, maliyet, talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü gibi çıktılar üzerinde çoklu performans analizleri yapmışlardır. Çalışmada yüzey yanıt metodolojisi (RSM) ve temel bileşen analizi (PCA) yöntemleri kullanılmış ve deneysel ölçümler ile teorik sonuçların uyum içerisinde oldukları tespit edilmiştir [4]. Singh ve Rao çalışmalarında, AISI 52100 rulman çeliğinin sert tormalanmasında (58 HRC sertliğinde) kesme koşullarının ve takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, farklı uç yarıçapları ve efektif talaş açılarında sahip alüminyum oksit ve titanyum karbonit karışık seramik uçlar kullanılmıştır. Çalışmada, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin faktörün ilerleme miktarı olduğu, bunu sırasıyla burun yarıçapı ve kesme hızı faktörlerinin takip ettiği belirtilmiştir. Efektif talaş açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin az olmasına karşın, bu faktörün burun yarıçapıyla birlikte etkilerinin önemli derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, RSM yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü için tahminsel matematiksel modeller geliştirilmiştir [5]. Umbrello yaptığı çalışmada, AISI 52100 rulman çeliğinin kriyojenik soğutma uygulaması (sıvı azot) ile işlenmesinde işlenmiş yüzeyde meydana gelen metalurjik değişimleri araştırmıştır. Çalışmada kuru işleme ve kriyojenik şartlarda farklı sertlik değerlerine ve geometrilere sahip CBN uçlar kullanılmıştır. Yüzey

topografyası, optik ve taramalı elektron mikroskopları (SEM) yardımıyla incelenirken, yüzeyde meydana gelen mikroyapısal faz değişimleri X ışınları yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarına göre, uygun kriyojenik şartlarda yüzeyde oluşan beyaz tabakanın kısmen veya tamamen elemine edilebileceği vurgulanmıştır [6]. Ambrogio vd. çalışmalarında, AISI 52100 çeliğinin sert tormalanmasında (62 HRC sertliğinde) oluşan artık gerilmeleri tahmin etmek amacıyla sonlu elemanlar (FEM) ve yapay sinir ağları (ANN) modelleri sunmuşlardır. Çalışmalarında takım geometrisi, iş parçasının sertlik değeri, takım burun yarıçapı ve köre pah ölçüleri, ilerleme miktarı, devir sayısı, talaş açısı faktörleri sinir ağının giriş katmanlarını; yüzeyde ekstenel ve radyal doğrultularda oluşan artık gerilmeler ise çıkışları oluşturmuştur [7]. Manco vd. çalışmalarında, AISI 52100 çeliğinin sert tormalanmasında mikroyapıda meydana gelen değişimleri sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Malzemenin sertlik ölçümlerine bağlı olarak değişen akma mukavemet değerleri, yüze ve yüzey altında oluşan beyaz ve siyah tabaka formları; kesme parametreleri ile istatistiksel olarak ilişkilendirilmiştir [8]. Escalona vd. çalışmalarında, 62 HRC sertliğindeki AISI 52100 çeliğini çok kristalli kübik bor nitrid takım ile işlemişlerdir. Çalışmada DEFORM-2D paket programı yardımıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri modellenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [9]. Huang ve Liang çalışmalarında, AISI 52100 çeliğinin CBN takımlarla işlenmesinde abrazyon, adhezyon ve difüzyon mekanizmaları sonucu takımda meydana gelen krater aşınması değerleri hacim yöntemiyle ölçerek belirlemişlerdir. Ayrıca işleme faktörlerinin parametrik optimizasyonu yapılmıştır. Kesme parametreleri ile krater aşınması arasındaki ilişki, ampirik modellerle ifade edilmiştir. Deneysel sonuçlar, model tahminleri ile karşılaştırılmış ve geliştirilen modellerin uygun oldukları tespit edilmiştir [10]. Azizi vd. AISI 52100 çeliğinin sert tormalanmasında, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve iş parçası malzemesinin sertlik değerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, Al₂O₃ + TiC karışımı seramik uçlar kullanılmıştır. Taguchi deneysel tasarım yöntemine göre toplam 27 deneylik ortogonal dizin seçilmiştir. Lineer regresyon ve varyans analizi (ANOVA) yardımlarıyla parametrelerin etkinlik dereceleri belirlenmiştir. İstatistiksel sonuçlar; ilerleme miktarı, iş malzemesi sertliği ve kesme hızlarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede iyileştiğini; diğer yandan talaş derinliği, ilerleme oranı ve malzeme sertliğinin kesme kuvvetleri üzerinde kesme hızından daha büyük bir etkiye sahip olduklarını göstermiştir [11].

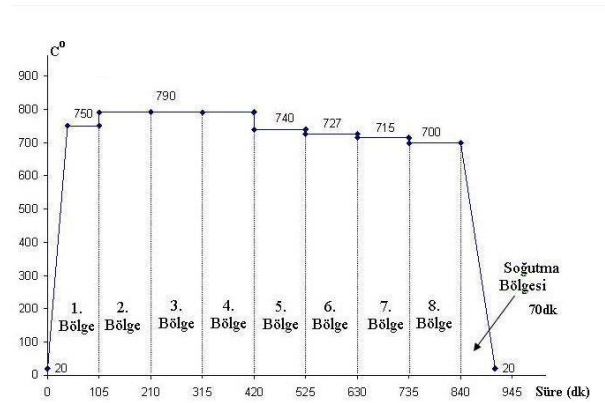
Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde, AISI 52100 çeliğinin CBN, seramik ve karbür kesici takımlarla farklı sertliklerdeki işlenebilirliklerinin araştırıldığı görülmektedir. Literatürden ayrıca işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin ölçüldüğü ve işlenen yüzeylerde meydana gelen metalurjik değişimlerin de araştırıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ise, mevcut literatürden farklı olarak, AISI 52100 rulman çeliğine küreselleştirme ısıl işlemi uygulanarak seramik ve karbür kesici takımlar yardımıyla kuru ve MMY koşullarında, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım – talaş ara yüzey sıcaklığı ve takım ömrü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma sonrasında, işleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki anlamlılık düzeyleri istatistiksel olarak varyans analizi yöntemi (ANOVA) ile incelenmiştir.

2. DENEYSSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Deneylerde 30 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda AISI 52100 rulman çeliği kullanılmıştır. Bu çelik, sahip olduğu yüksek aşınma dayanımı nedeniyle çeşitli kalıplar, hadde merdaneleri, rulman kafesleri ve soğuk iş kalıp matrisleri gibi birçok imalat alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çeliğe ait kimyasal bileşim Çizelge 1’de verilmiştir.

Küreselleştirme ısıl işlemleri, Ortadoğu Rulman Sanayi A. Ş.’de yaptırılmıştır. Küreselleştirme ısıl işlemine ait şematik diyagram Şekil 1’de görülmektedir.

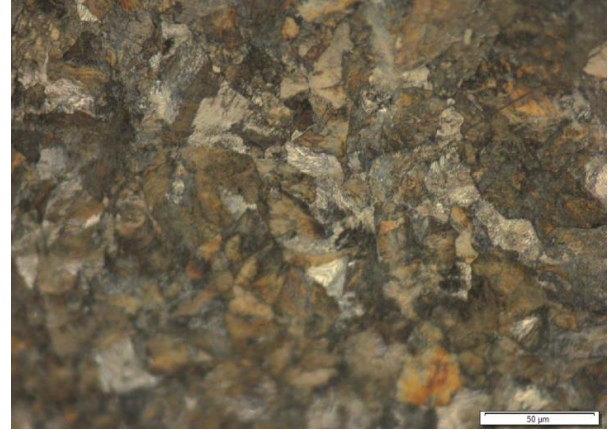


Şekil 1. AISI 52100 çeliğine uygulanan küreselleştirme ısıl işleminin şematik diyagramı. (Schematic diagram of spheroidization heat treatment)

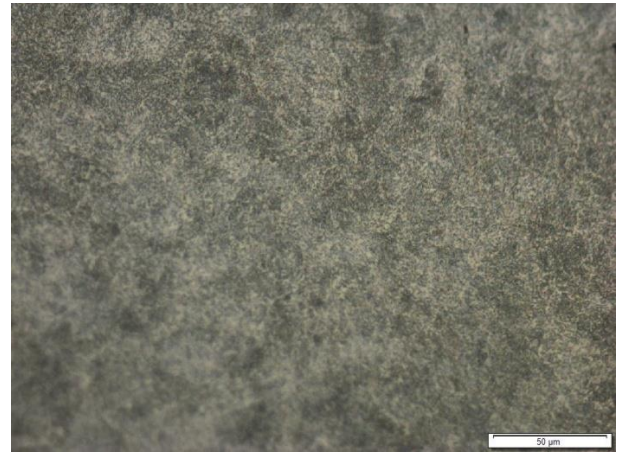
Çizelge 1. AISI 52100 çeliğinin kimyasal bileşimi. (Chemical composition of AISI 52100 steel)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Fe
0.99	0.24	0.37	0.008	0.005	1.41	0.07	0.02	0.016	Kalan

Numunelerin ısıl işlemsiz ve küreselleştirme ısıl işlemi sonrasındaki sertlik değerleri sırasıyla 352 HRC ve 190 HRC olarak ölçülmüştür. Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş numunelere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 2’de görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, işlem öncesi ferrit ve perlitten oluşan mikroyapı, ısıl işlem sonrasında ferrit ve yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmış küresel sementitlerden meydana gelmektedir



a)



b)

Şekil 2. Numunelere ait mikroyapı fotoğrafları (a: ısı işlemsiz, b: küreselleştirilmiş). (Microstructure pictures of specimens (a: without heat treatment, b: spheroidized))

Deneyler, 6kW gücünde ve dakikadaki maksimum devir sayısı 3500 olan, Johnford TC35 torna tezgahında kuru ve MMY işleme koşullarında yapılmıştır. Kesici takım olarak Iscar takım imalatçı firması tarafından üretilen ve DNMG 432 – TF (IC907) ve DNGA 150408T IN 23

standart numaralı karbür ve seramik uçlar kullanılmıştır. MMY uygulaması, UNIST GRAND RAPID M1 marka mikro sıvı uygulama sistemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Uygulamada Accu Lube firması tarafından üretilmiş bitkisel esaslı LB-200 numaralı yağ kullanılmıştır. Bu kesme yağı, geri dönüşümü olan, toksin içermeyen, suyla inceltilebilen bir yapıda olup, oldukça yüksek bir korozyon dayanımına sahiptir. Kesme yağı/su oranı 1/5 olacak şekilde karışım hazırlanmış ve bu karışım kesme bölgesine tek bir nozul yardımıyla, 200 atım/dakika sıklığında, 0.8 MPa basınç

değerinde ve uygun bir pozisyonunda konumlandırılarak gönderilmiştir. Nozul ile iş parçası arasındaki mesafe 30mm olarak ayarlanmıştır. Deneyleerde, talaş derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutulurken, kesme hızı, kesici takım ve malzeme cinsi ve işleme ortamı gibi faktörler değişken olarak alınmıştır. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri ve faktör seviyeleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de yer alan faktör ve seviyelerine bağlı olarak tam faktöriyel deneysel tasarım metodu

ölçümlerin aritmetik ortalamaları ortalama yüzey pürüzlülüğü olarak kabul edilmiştir. Takım – talaş ara yüzey sıcaklık değerleri, 400 mm mesafeye konumlandırılmış ve sürekli olarak ara yüzeye odaklanmış bir IMPAC Portawin 1.11 kızılötesi pirometre yardımıyla ölçülmüştür. Bu cihazın ölçüm aralığı 250 – 1800 °C’dir. Sıcaklık ölçümleri zamana bağlı olarak cihaza kaydedilmiş ve maksimum sıcaklık değeri esas alınmıştır.

Çizelge 2. İşleme parametreleri ve seviyeleri. (Working parameters and levels.)

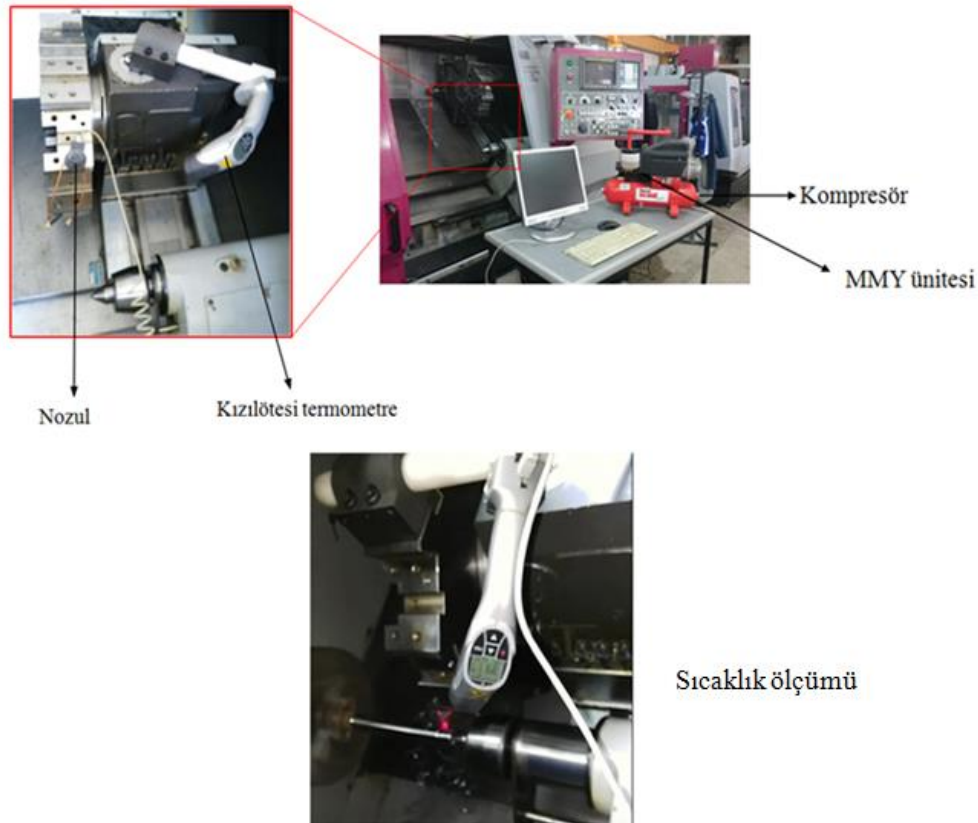
Parametre	Seviye 1	Seviye 2
Kesme hızı (m/dak)	150	200
Kesici takım	Karbür	Seramik
Malzeme	Isıl işlemsiz	Küreselleştirilmiş
İşleme koşulu	Kuru işleme	Minimum miktarda yağlama (MMY)
Talaş derinliği (mm)	1 (sabit)	
İlerleme miktarı (mm/devir)	0.25 (sabit)	

kullanılmıştır.

Takımlarda oluşan serbest yüzey aşınma değerleri, Olympus optik mikroskop yardımıyla 5 dakika aralıklarla ölçülmüş ve takım ömrü kriteri olan $V_B=0.3\text{mm}$ sınır değerine ulaşıncaya kadar geçen süre takım ömrü olarak kaydedilmiştir. Numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a), farklı noktalardan ölçülerek kaydedilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, Mitutoyo SurfTest SJ-201 taşınabilir bir ölçüm cihazı yardımıyla 0.8mm örnekleme uzunluğu aralığında ölçülmüştür. Her noktadan 5 farklı ölçüm alınmış ve bu

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS and DISCUSSION)

İşlenebilirlik deneyleeri sonrasında alınan yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve takım – talaş ara yüzey sıcaklığı ölçüm sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir. Sıcaklık ölçümleri sadece kuru işleme koşullarında gerçekleştirilen deneyleerden alınmıştır. Bu Çizelgede yer alan kuru işleme değerleri için etki grafikleri ise Şekil 4’te görülmektedir. Şekil 4 (a)’dan da görüldüğü gibi,



Şekil 3. Deneyle düzeneği. (Experimental Setup)

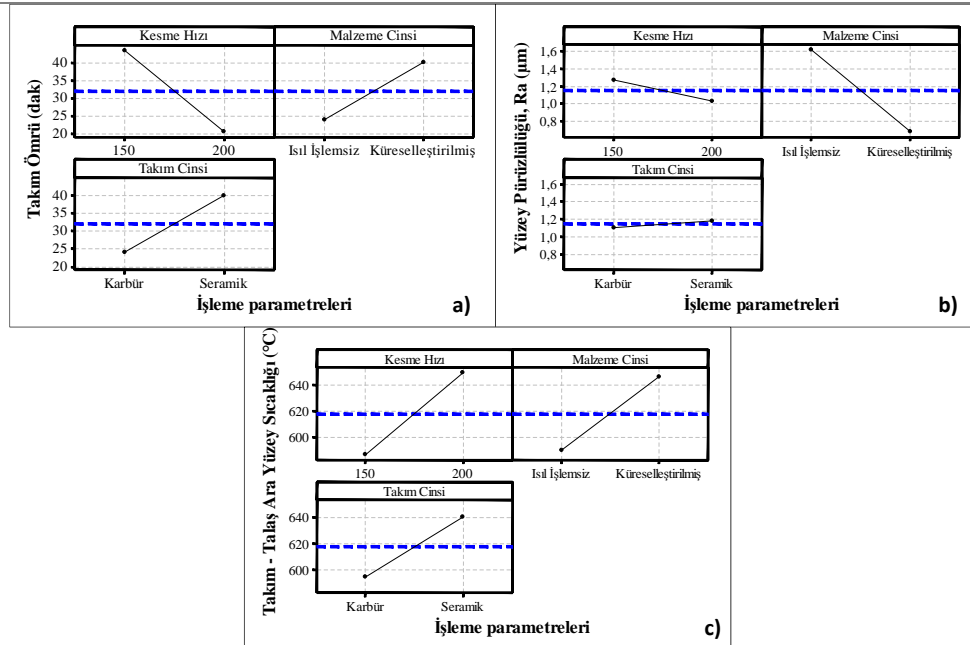
küreselleştirme ısıl işlemi görmüş numunelerin düşük kesme hızı değerlerinde (150 m/dak) seramik takımlarla işlenmeleri durumunda takım ömrü artmaktadır.

Küreselleştirme ısıl işlemi sonrasında malzemenin sertlik değerinde yaklaşık olarak % 46 oranında bir azalma (352 HRC' den 192 HRC ye) meydana gelmektedir. Dolayısıyla malzemenin akma mukavemeti ve çekme dayanımı değerleri de azalmakta, kopma uzaması artmakta ve işlenebilirliği ve kesici takım ömrü artmaktadır [12].

Grafik yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, kesici takım malzemesinin çok önemli bir etkisinin olmadığı ancak karbür takımlarla nispeten daha kaliteli yüzeylerin elde edildiği görülmektedir (Şekil 4 b). Ayrıca kesme hızının artmasıyla, ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Küreselleştirilmiş numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ise ısıl işlemsiz numunelere nazaran oldukça düşüktür.

Çizelge 3. Deneysel koşulları ve ölçüm sonuçları. (Experimental conditions and measurement results)

Deneysel No	Kesme hızı (m/dak)	Kesici takım	Malzeme	İşleme ortamı	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra (µm)	Maksimum sıcaklık (°C)	Takım ömrü (dak)
1	200	Karbür	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0.564	657	10
2	150	Karbür	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0.656	671	22
3	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1.408	585	16
4	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1.807	530	48
5	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1.506	640	42
6	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1.757	605	80
7	200	Seramik	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0.624	626	24
8	150	Seramik	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0.865	694	40
9	200	Karbür	Isıl işlemsiz	MMY	0.461	-	24
10	150	Karbür	Isıl işlemsiz	MMY	0.545	-	108
11	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	MMY	1.202	-	74
12	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	MMY	1.508	-	126
13	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	MMY	1.186	-	82
14	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	MMY	1.319	-	172
15	200	Seramik	Isıl işlemsiz	MMY	0.598	-	81
16	150	Seramik	Isıl işlemsiz	MMY	0.743	-	142



Şekil 4. İşleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri (a: Takım ömrü, b: yüzey pürüzlülüğü, c: takım-takıy ara yüzey sıcaklığı). (Main effect graphs of working parameters on measured results (a: tool life, b: surface roughness, c: tool-chip interface temperature))

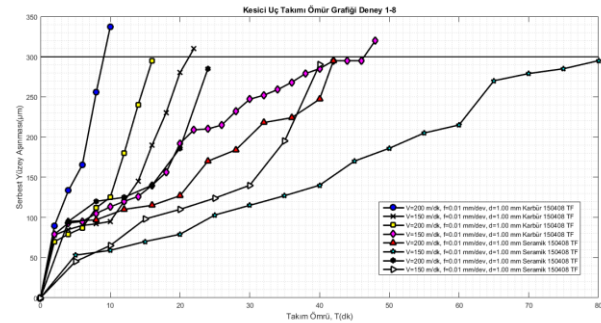
Diğer yandan, Şekil 4 (c)'de işleme parametrelerinin takım – talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla ara yüzey sıcaklığı da artma eğilimindedir. Yüksek kesme hızlarında, birim zamanda takım – talaş temas süresi artacağından, sürtünmelerin şiddeti ve dolayısıyla ara bölgedeki ısı ve sıcaklık değerlerinin artması beklenen bir sonuçtur. Ancak seramik takımların daha yüksek sıcaklıklara rağmen, ömürlerinin daha yüksek olduğu ve daha kaliteli yüzeyler sağladığı görülmektedir. Bu durum, takım ömrünün yüksek olması nedeniyle, işleme süresinin artması ve takım – iş parçası ve takım – talaş arasındaki sürtünmelerin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Benzer etki, küreselleştirme ısıl işleminin sıcaklık üzerindeki etkisi için de düşünülebilir. Şekil 5'te işleme sürecine bağlı olarak, seramik takımlarda $V=150$ m/dak ve $V=200$ m/dak kesme hızı değerlerinde meydana gelen serbest yüzey aşınmasının değişimi görülmektedir. SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi kuru işleme şartlarında, yanak aşınması değerleri kesme hızı ve zamana bağlı olarak artmaktadır. Kesme hızının 200 m/dak değerine çıkmasıyla, aşınma oranının göreceli olarak önemli derecede arttığı görülmektedir.

Takım ömrünü belirleyen kriter ($V_B=0.3$ mm) için aşınma ve işleme süresi arasındaki ilişki ise Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 ve Çizelge 4 birlikte incelendiğinde, karbür takımlarla ısıl işlemsiz numunelerdeki takım ömrü T_{150}/T_{200} oranının 2.2 (22:10); küreselleştirilmiş numunelerde ise 3 (48:16) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kesme hızıyla birlikte küreselleştirme ısıl işleminin takım ömrünü önemli derecede etkilediği söylenebilir. Bu değerler seramik takımlarla yapılan işlemlerde ısıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş numuneler

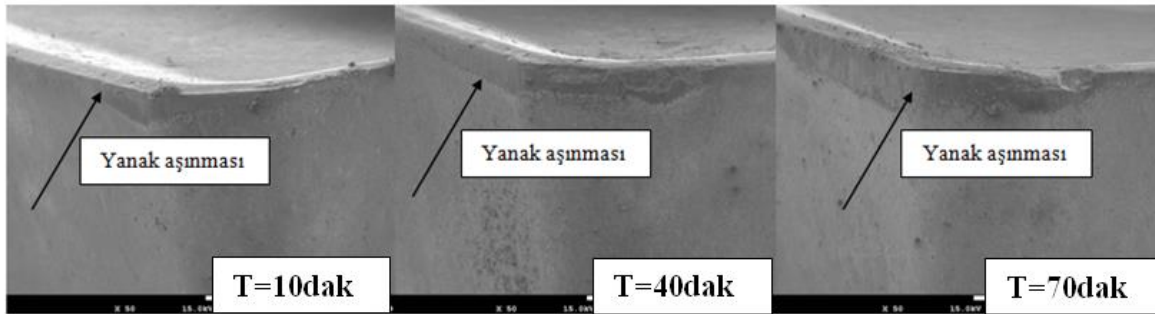
için sırasıyla 1.66 (40:24) ve 1.904 (80:42) olmaktadır. Kesici takım malzemeleri karşılaştırıldığında, seramik takımların daha uzun ömürlü olmalarına karşın, karbür takımlardaki ömür oranlarının daha yüksek oldukları görülmektedir. Her iki kesici takım malzemesi için kesme hızı ve takım ömrü arasındaki ilişki Taylor Takım Ömrü modeliyle hesaplanmıştır. Bu model;

$$V \cdot T^n = C \quad (1)$$

şeklinindedir. Burada V kesme hızını, T takım ömrünü, n ise ikisi arasındaki ilişkiyi gösteren logaritmik doğrunun eğimini vermektedir. Ömür deneylerinde, deneysel plandan farklı olarak 3. bir kesme hızı seviyesi ($V=250$ m/dak) kullanılmıştır. Deneysel sonuçların onluk tabana göre logaritmaları alınmış ve LogV - LogT grafiği çizilerek takımlar için ömür denklemleri bulunmuştur. Takımlar için elde edilen ömür denklemleri Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 6. Kuru işleme koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi. (Progression of flank wear in dry working condition)



Şekil 5. Yanak aşınmasının zamanla gelişimi ($V=150$ m/dak, küreselleştirilmiş numune). (Flank wear progression over time ($V=150$ m/min, spheroidized specimen))

Çizelge 4. İşleme parametreleri ve seviyeleri. (Working parameters and levels.)

Takım malzemesi	İş parçası Malzemesi	Kesme hızı (m/dak)	Takım ömrü (dak)	Log V	Log T	Denklem	R ²
Karbür	Isıl işlemsiz	150	22	2.176	1.342	$y = -9,5 \cdot x + 30,667$	0,977 4
Karbür	Isıl işlemsiz	200	10	2.301	1.000		
Karbür	Isıl işlemsiz	250	3	2.397	0.477		
Seramik	Küreselleştirilmiş	150	80	2.176	1.903	$y = -31 \cdot x + 108,67$	0,983 3
Seramik	Küreselleştirilmiş	200	42	2.301	1.623		
Seramik	Küreselleştirilmiş	250	18	2.397	1.255		

Çizelge 4’de yer alan herhangi 2 farklı LogV ve bu değerlere karşılık gelen LogT değerleri alınarak aşağıdaki eşitlikte yerlerine konulmuş ve ömür denklemindeki “n” üstel değerleri hesaplanmıştır [13].

$$n = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_1 - \log T_2} \quad (2)$$

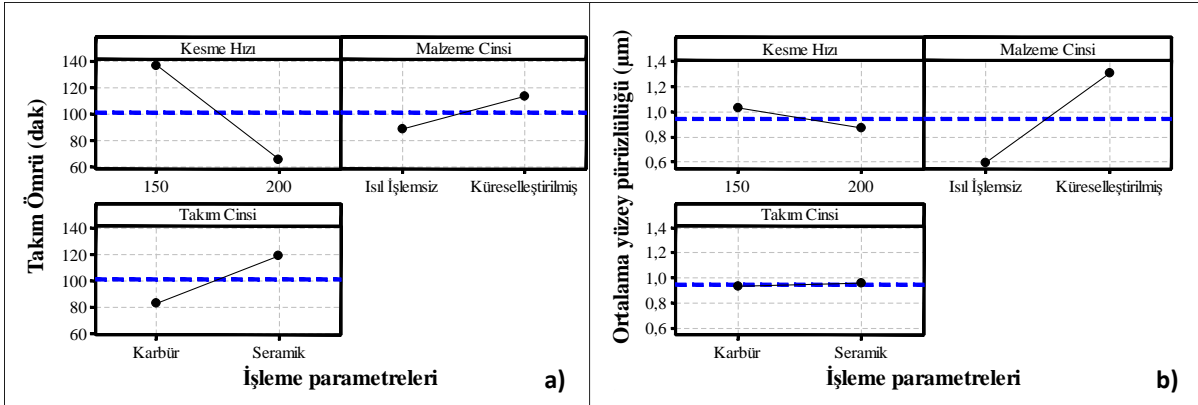
Bu formül yardımıyla karbür ve seramik takımlar için n değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$n_{\text{karbür}} = \frac{2.397 - 2.301}{1 - 0.477} = 0.183 \text{ ve } n_{\text{seramik}} = \frac{2.397 - 2.301}{1.625 - 1.255} = 0.259$$

n değerleri karşılaştırıldığında, kuru işleme koşullarında seramik takımlar için n üstel değerinin karbür takımlara nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

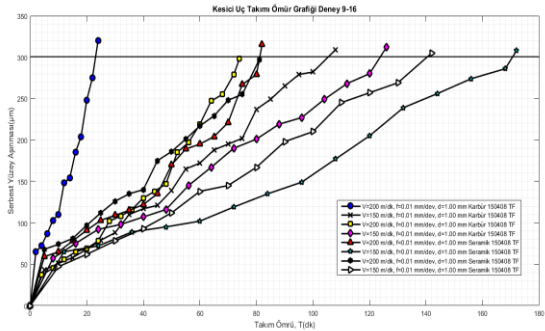
MMY koşullarında yapılan deneylere ait seramik takımlardan alınan SEM mikroskop fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 8), serbest yüzey aşınmasının zamanla değişiminin, kuru işleme koşullarına nazaran daha yavaş olduğu görülmektedir. 10. dakika itibarıyla takımların kesme kenarı hattında herhangi bir aşınma, bozulma ve kırılma gözlemlenmezken, 30 dak işleme süresi sonrasında yanak aşınmasının başladığı ve ilerleyen kesme süresiyle birlikte aşınmanın şiddetlenerek takımın burun kısmında küçük çaplı kenar kopmalarına dönüştüğü görülmektedir.

Diğer takımlar için, serbest yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi Şekil 9’da görülmektedir.

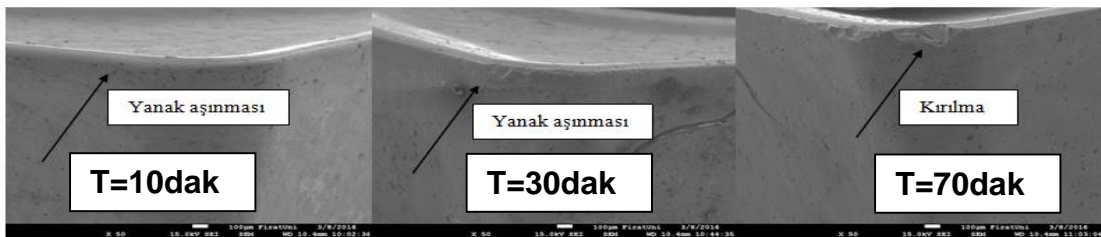


Şekil 7. MMY koşullarında işleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri (a: Takım ömrü, b: yüzey pürüzlülüğü). (Main effect graphs of working parameters on measured results in MQL conditions (a: tool life, b: surface roughness.))

Benzer şekilde, MMY uygulamasıyla elde edilen sonuçlar için etki grafiği ise Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 ve Çizelge 3 birlikte değerlendirildiğinde, MMY uygulamasıyla takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kuru işleme koşullarına nazaran daha iyi olduğu görülmektedir. İşleme parametrelerinin performans üzerindeki etkileri, kuru işleme koşullarına benzer şekildedir. Ancak küreselleştirilmiş numunelerin yüzey pürüzlülükleri, kuru işleme koşullarındaki sonuçlardan farklı olarak artmıştır. Dolayısıyla MMY yönteminin uygulanmasının, takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından avantajlı olduğu, ancak küreselleştirme ısıl işlemi ile birlikte uygulanmasının yüzey kalitesine katkısının olmadığı görülmüştür.



Şekil 9. MMY işleme koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi. (Progression of flank wear in MQL working condition)



Şekil 8. Yanak aşınmasının zamanla gelişimi (V=150m/dak, küreselleştirilmiş numune). (Flank wear progression over time (V=150m/min, spheroidized specimen))

MMY yönteminin uygulanmasıyla takım ömründe ve yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen iyileşme oranları, her bir deney için aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir.

$$\%R_a = \frac{R_{akuru\ işleme} - R_{akuru\ işleme}}{R_{akuru\ işleme}} \times 100 \quad (3)$$

$$\%T = \frac{T_{MMY} - T_{akuru\ işleme}}{T_{MMY}} \times 100 \quad (4)$$

alan % katkı sütunları, o parametrenin işlemin verimliliği üzerindeki etkilerini, p değeri ise anlamlılık düzeyini göstermektedir. Bu yöntemde, bir parametrenin anlamlı sayılabilmesi için, p değerinin 0.05 değerinden küçük olması gerekmektedir. Çizelge 6 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün iş parçası malzemesi olduğu (%84,97); bunu sırasıyla kesme hızı (%5,26), işleme ortamı (%5,09) ve kesici takım

Çizelge 5. MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne katkı oranları. (Contents of MQL technique on surface roughness and tool life)

Sıralama	Kesme hızı (m/dak)	Kesici takım	Malzeme	%Ra	%T
1	200	Karbür	Isıl işlemsiz	18.26	58.33
2	150	Karbür	Isıl işlemsiz	16.92	79.62
3	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	14.63	78.37
4	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	16.54	61.90
5	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	21.24	48.78
6	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	24.92	53.48
7	200	Seramik	Isıl işlemsiz	4.16	70.37
8	150	Seramik	Isıl işlemsiz	14.10	71.83

Çizelge 5 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü bakımından, MMY yönteminde en etkili şartların % 24.92 oranla 150 m/dak kesme hızı değerinde seramik takımlarla küreselleştirilmiş numunelerin işlenmesinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan, ısıl işlemsiz numunelerin 150 m/dak kesme hızı değerinde karbür takımlarla işlenmesinde takım ömrünün %79.62 oranında arttığı belirlenmiştir.

5. VARYANS ANALİZİ (ANOVA)

Çalışmanın bu bölümünde, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerindeki etkileri ve anlamlılık düzeyleri istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bunun için varyans analizi yöntemi (ANOVA) kullanılmıştır. Bu yöntem sonrasında yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü için elde edilen analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 6 ve Çizelge 7’de verilmiştir. Çizelgelarda yer

malzemesi (%0,39) faktörlerinin takip ettikleri görülmektedir. Aynı Çizelgedeki p değerlerine bakıldığında, yüzey pürüzlülüğü açısından iş parçası malzemesinin anlamlı bir etkisinin olduğu ($p < 0,05$), diğer faktörlerin anlamlı olmadıkları görülmektedir. Dolayısıyla, istatistiksel olarak, küreselleştirme ısıl işlemi ile yüzey pürüzlülüğü arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

Benzer şekilde Çizelge 7 incelendiğinde, takım ömrü üzerinde en etkili parametrenin işleme ortamı (%49,33) olduğu, bunu sırasıyla kesme hızı (%24,94), kesici takım malzemesi (%10,09) ve iş parçası malzemesi (%5,82) faktörlerinin takip ettikleri görülmektedir. Takım ömrü ile kesme hızı ($p = 0,049$) ve işleme koşulu ($p = 0,02$) arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu, diğer faktörlerin takım ömrü üzerinde anlamlı bir etkilerinin olmadığı ($p > 0,05$) tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları. (ANOVA results for surface roughness)

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	F oranı	% katkı	P değeri
Kesme hızı	1	0,170	0,78	5,26	0,393
Kesici takım malzemesi	1	0,012	0,05	0,39	0,819
İş parçası malzemesi	1	2,7531	79,13	84,97	0,000
İşleme koşulu	1	0,165	0,75	5,09	0,401
Hata	14	2,4650		4,29	
Toplam	18	5,5651		100	

Çizelge 7. Takım ömrü için ANOVA sonuçları. (ANOVA results for tool life)

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	F oranı	% katkı	P değeri
Kesme hızı	1	8978	4,65	24,94	0,049
Kesici takım malzemesi	1	3630	1,57	10,09	0,231
İş parçası malzemesi	1	2093	0,86	5,82	0,368
İşleme koşulu	1	17756	13,63	49,33	0,02
Hata	14	27878,25		9,82	
Toplam	18	60335,25		100	

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliği ısıtılmış ve küreselleştirme ısıtılmış işlemi sonrasında karbür ve seramik takımlarla farklı kesme hızlarında tormalanmıştır. Çalışma sonrasında elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kuru işleme koşullarında, kesme hızının artmasıyla, her iki takım malzemesi için de takım ömrü azalmıştır. Küreselleştirme ısıtılmış işlemi uygulanmış numunelerin seramik takımlarla daha uzun süre işlendikleri gözlemlenmiştir. En yüksek takım ömrü değeri, seramik takım için $V=150$ m/dak hızı değerinde küreselleştirilmiş numunenin işlenmesinde durumunda 80 dak. olarak ölçülmüştür.
- Kuru işleme koşullarında, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır. Küreselleştirilmiş numunelerde daha kaliteli yüzeyler elde edilirken, kesici takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Seramik takım malzemesi için LogV ve LogT ilişkisi yardımıyla belirlenen Taylor modelindeki n üstel değerinin karbür takımından daha yüksek olduğu görülmüştür.
- MMY işleme koşullarında, kuru işleme şartlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu tekniğin uygulanmasıyla takım ömrünün ısıtılmış işleme birlikte %79.62 oranında; yüzey kalitesinin ise %24.92 oranında iyileştirilebileceği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar bu çalışmaya mali destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: TKF.14.01) teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. Guddat, R. M'Saoubi, P. Alm, D. Meyer, "Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity", *Procedia Engineering*, 19: 118- 124, (2011).
- [2] G. S. Galoppi, M. S. Filho, G. F. Batalha, "Hard turning of tempered DIN 100Cr6 steel with coated and

no coated CBN inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, 179: 146-153, (2006) .

- [3] Gérard Poulachon, B.P. Bandyopadhyay, I.S. Jawahir, Sébastien Pheulpin, Emmanuel Seguin, "Wear behaviour of CBN tools while turning various hardened steels ", *Wear*, 256: 302-310, (2004).
- [4] Anderson P. Paiva, João Roberto Ferreira, Pedro P. Balestrassi, "A multivariate hybrid approach applied to AISI 52100 hardened steel turning optimization", *Journal of Materials Processing Technology*, 189: 26-35, (2007).
- [5] D. Singh, P. V. Rao, "A surface roughness prediction model for hard turning process" *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 32: 1115-1124, (2007).
- [6] D. Umbrello, F. Micari, I.S. Jawahir, "The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining: A comparison with dry machining" *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61: 103-106, (2012).
- [7] G. Ambrogio, L. Filice, R. Shivpuri, D. Umbrello, "Application of NN technique for predicting the in-depth residual stresses during hard machining of AISI 52100 steel" *Int J Mater Form* 1: 39-45, (2008).
- [8] G.L. Manco, S. Caruso, G. Rotella, "FE modeling of microstructural changes in hard turning of AISI 52100 steel" *International Journal of Material Forming* 3: 447-450, (2010).
- [9] P. M. Escalona, S. Melkote, K. Liu, "Influence of the Stress, Strain, and Temperature on the Surface Roughness of an AISI 52100 Steel Due to an Orthogonal Cut" *JMEPEG* 14: 582-590, (2005).
- [10] Huang, Y., & Liang, S. Y. "Effect of cutting conditions on tool performance in CBN hard turning. *Journal of manufacturing processes*", 7(1): 10-16, (2005).
- [11] Azizi, M. W., Belhadi, S., Yaltese, M. A., Mabrouki, T., & Rigal, J. F. "Surface roughness and cutting forces modeling for optimization of machining condition in finish hard turning of AISI 52100 steel" *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26 (12): 4105-4114, (2012).
- [12] Motorcu, A. R., "Isıl İşlemsiz ve Küreselleştirilmiş Ç52100 Rulman Çeliğinin Farklı Takımlarla İşlenmesinde Takım Ömrü Ve Aşınmasının İncelenmesi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 25(1): 65 – 75, (2010).
- [13] Uluğ, D., "Kaplama ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar İçin Taylor Takım Ömrü Modeli'ndeki "n" Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).