

CoCrMo Tibial Komponentin Karbür Takım ile İşlenmesinde Yüzey Özelliklerinin Araştırılması

Erkan BAHCE^{1*}, Mehmet Sami GÜLER², Ender EMİR¹, Cihan ÖZEL³

¹Inönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

²Ordu Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ordu

³Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ,

(Geliş Tarihi/Recived Date: 07.05.2018; Kabul Tarihi/Accepted Date: 05.06.2018)

Öz

Yüksek dayanımından dolayı diz protezlerinde kullanılan CoCrMo malzemesinden yapılmış tibial bileşenin tormalanmasında büyük kesme kuvvetleri, vuruntu, titreşim ve takım aşınması gibi olumsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu durum hem imalat maliyetini hem de imalat süresini artırmaktadır. Bu çalışmada, CoCrMo malzemesinin karbür kesici takım ile alın tormalanmasında devir sayısının ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne, yüzey defektlerine ve mikro sertliğe etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda ilerlemenin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve defektlerin arttığı, devir sayısının artmasına bağlı olarak ise pürüzlülüğün azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca CoCrMo alaşımının sonlu elamanlarla işleme analizi yapılarak tormalama boyunca sıcaklık dağılımları da tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CoCrMo, Tormalama, Mikro Sertlik, Yüzey Defekti, Yüzey Pürüzlülüğü

Investigation of Surface Properties of CoCrMo Tibial Component Machining with Carbide Tool

Abstract

Due to its high strength, turning of tibial component made from CoCrMo material used in knee prostheses is faced with high cutting forces, pinking, vibration and tool wear. This situation both manufacturing cost and manufacturing time. In this study, the effects of surface roughness, vibration, surface defects and micro hardness on the number of revolutions and progress of turning of CoCrMo material with carbide cutting tool were investigated. As a result of the experiments, it has been found that surface roughness and defects increase due to the increase of the progress, and the roughness decreases due to the increase of the number of revolutions. In addition, CoCrMo alloy was analyzed by machining with finite element processing temperature distributions were also determined during turning.

Keyword: CoCrMo, Turning, MicroHardness, Surface Defect, Surface Raughness

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: erkan.bahce@inonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Co esaslı alaşımlar yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık direnci ve yüksek korozyon direncine sahip olmaları nedeniyle biyomalzeme alanında kullanımı yaygındır. Özellikle kırık kemik parçalarının birleştirilmesinde, diz ve kalça kemiği protezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyouyumluluğu olan Co esaslı metalik alaşımların temelde iki tipi vardır; Bunlardan birincisi CoCrMo alaşımı döküm ile ikincisi ise CoCrNiMo alaşımı olup sıcak haddeleme ile şekillendirilir. Co bazlı alaşımlar ağırlıkça %65 Co içerir, Mo ise ince taneli bir yapı sağlayarak mekanik özellikleri iyileştirirken Cr'da katı çözültü yaparak dayanımı artırır. CoCrMo alaşımının şekillendirilmesinde eğer geometrik tolerans ve yüzey hassasiyeti gibi durumlar isteniyor ise talaş kaldırma adımı gerçekleştirilir. Ancak nikel bazlı süper alaşımlar ve titanyum alaşımları gibi dayanımı yüksek olan CoCrMo alaşımlardan talaş kaldırmak oldukça zordur. Bu da takım aşınmasını arttırmakta, yüzey bütünlüğünü azaltmakta ve sonuç olarak üretim performansını önemli oranda etkilemektedir.

Co bazlı alaşımların talaş kaldırılabilirliği üzerine birçok çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda tornalama veya frezeleme yapılarak takım aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkileri araştırılmış ayrıca yüzey bütünlüğü üzerine etkileri de incelenmiştir. Çalışmaların bazılarında takım malzemesi ve kaplanmasının veya geometrisinin değiştirilerek takım aşınması üzerindeki etkileri incelenmiş, bazı çalışmalarda ise yüzeyde oluşan hasarlar, yüzey pürüzlülüğü, artık gerilmeler, mikro yapıdaki değişimler gibi diğer özellikler incelenmiştir.

Literatürde CoCrMo alaşımların işlenebilirlikleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde Bordin et al.(2014) dövme ve elektron ışın ergitme yöntemi ile elde edilmiş CoCrMo alaşımlarının işlenebilirliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı ilerleme ve farklı kesme hızında talaş kaldırma işlemi uygulamışlardır. İşleme yüzeyinden pürüzlülük ölçümleri, mikro sertlik ölçümleri almışlardır. Her iki yöntem ile üretilen numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçlarına göre kesme hızının artması ve ilerleme hızının azalması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca alınan sertlik ölçümlerinde de kesme hızının artmasına bağlı olarak talaş kaldırılan yüzeylerde sertlik değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Bordin et al (2014) CoCrMo alaşımının kesme sıvısız tornalamasında farklı kesme hızı ve besleme hızının yüzey bütünlüğüne etkisini incelemişlerdir. Talaş kaldırma işlemi sonrasında aldıkları yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kesme hızının azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kimyasal bileşimi haritalama yöntemi (EDX) ile yüzey katmanlarında tungsten parçacıklarının varlığını tespit etmişlerdir. Yüzeylerde oluşan kusurları gözlemek için talaş kaldırma işlemine başladıktan 3 dakika sonra alınan SEM görüntüleri ile de yüzeylerde yapışık talaş, yırtılmalar ve oluk oluşumu gibi durumları gözlemlemişlerdir. Karpuschewski et al (2016) CoCrMo malzemeli femur başlarının işlenmesinde takım geometrisinin takım ömrüne, yan kenar aşınmasına etkilerini incelemişlerdir. İşleme için tek bir ilerleme hızı ve kesme derinliğinde deneyler yapmışlardır. Çalışma sonucunda karbür kesici takım ile CoCrMo alaşımının sağlıklı bir şekilde işlenmesinin mümkün olabileceğini söylemişlerdir. Özellikle farklı kesici kenar geometrisine sahip kesici takımlarda kesme hızının artışı ile takım ömründe azalma meydana geldiğini söylemişlerdir. Shokrani et al (2016) kobalt krom alaşımının -197°C sıcaklığa soğutma işlemi yaparak yüksek hızlı tornalanması üzerine çalışma yapmışlardır. İşleme sonucunda elde edilen deneysel verilerde yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma

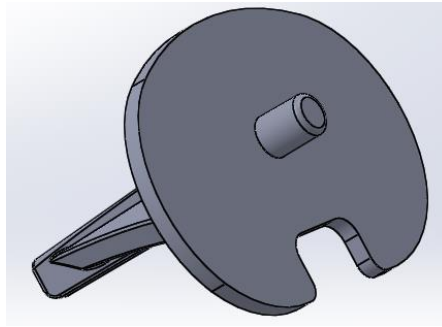
gözlemlemişlerdir. Song et al (2010) eliptik titreşim kesme yöntemini kullanarak CoCrMo alaşımını işlemişlerdir. Ulaştığı deneysel sonuçlara göre elips şeklindeki titreşim kesme işleminin, takım titreşimi olmaksızın normal elmas kesimine kıyasla üstün performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Bruschi et al (2013) CoCrMo alaşımının tornalanmasına yönelik kesme sıvısı kullanılarak farklı ilerleme ve kesme hızlarında gerçekleştirilen deneylerde yüzey pürüzlülüğü ve mikrosertlik ölçümleri almışlardır. Deneyler sonucunda kesme hızının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde azalma, ilerleme hızının artmasına bağlı olarak ise artış gözlemlemişlerdir. Diğer yandan kesme hızının ve ilerleme hızının artışı ile sertlik değerlerinde artış meydana geldiğini söylemişlerdir. Bunun yanında literatürde en iyi işleme koşullarının belirlenebilmesi adına istatistiksel yöntemlerden yararlanarak çalışmalar da yapılmıştır. Jagtap et al (2016) kesme sıvısız ve bor yağı kullanılarak yapılan işleme ortamlarında CoCrMo bio-implant alaşımının hassas torna edilmesinde kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Deneysel çalışma için hazırlanan deney setinde üç farklı kesme derinliği, üç farklı ilerleme ve kesme hızı değerlerine göre deney seti hazırlanmıştır. Ayrıca seramik, karbür ve kübik bor nitrür (CBN) malzemelerinden imal edilmiş 3 farklı çakı kullanmışlardır.

CoCrMo malzemesinden yapılmış total diz protezlerinde kullanılan tibial komponentinin şekillendirilmesinde yaygın olarak tornalama işlemi yapılmaktadır ve tornalanması işleminde yüksek dayanımdan dolayı büyük kesme kuvvetleri, vuruş, titreşim, takım aşınması gibi olumsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu durum imalat maliyetini, imalat süresini arttırmakta ve yüzey kalitesini bozmaktadır. Meydana gelen bu problemleri en aza indirmek amacıyla bu çalışmada işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne, yüzey kusurlarına, takım aşınmasına ve mikrosertliğe etkileri araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1. Malzeme

Bu çalışmada materyal olarak, diz protezi bileşenlerinden tibial bileşeninde yoğun olarak kullanılan CoCrMo alaşımı seçilmiştir (Şekil 1). Değişik büyüklüklerde üretilen tibial bileşenin nihai şekle getirilmesinde, önce döküm daha sonra ise talaşlı imalat adımları uygulanmaktadır. Bu alaşıma ait kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 1 ve 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Tibial Bileşenin CAD Modeli

Figure.1. Tibial Component With CAD Model

Çizelge 1. CoCrMo Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu (% ağırlık)*Table 1. Chemical Composition of CoCrMo Material (% weight)*

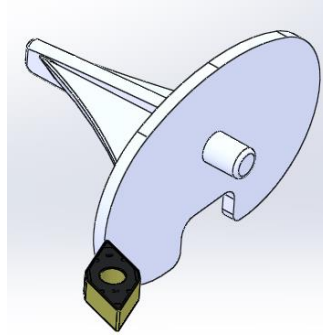
	Cr	Mo	C	Fe	Mn	Si	Ni	Co
% Bileşen	27,30	5,96	0,057	0,37	0,62	0,67	0,22	Kalan

Çizelge 2. CoCrMo Alaşımının Mekanik Özellikleri*Table 2. Mechanical Properties of CoCrMo Alloy*

Elastik Modülü	220 GPa
Poisson's Oranı	0.29
Sertlik	35 HRc
Uzama (%)	14
Kopma Gerilmesi	1020 MPa
Akma Gerilmesi	600 MPa

2.2. Talaş Kaldırma Parametreleri

Döküm yoluyla CoCrMo alaşımından yapılan tibial komponentinde istenilen geometrik tolerans ve yüzey hassasiyetini sağlamak için talaş kaldırma işleminde CNC tornalama işlemi uygulandı. Tornalama işlemi kaba ve finish işleme olarak iki aşamada Şekil 2'de görüldüğü gibi alın tornalama ile yapıldı ve bu işleme ait kontrol edilen parametrelerden ilerleme ve devir sayısı değerleri Çizelge 3'de verildi. Tornalama işleminde kullanılan kesici takım literatür ve yapılan imalat yöntemleri dikkate alınarak Çizelge 4'deki gibi belirlendi. Tornalama işleminde kesme sıvısı olarak bor yağı kullanıldı.

**Şekil.2. Tibial bileşenin tornalanma şekli***Fig.2. Turning of The Tibial Component***Çizelge.3. CoCrMo Alaşımını İşleme Parametreleri***Table 3. CoCrMo Alloy Processing Parameters*

İşleme Türü	İlerleme (f)	Devir (n)
Kaba İşleme	0.2	150
	0.08	150
Finish İşleme	0.09	150
	0.1	100-125-175

Çizelge 4. Kesici Takım Özellikleri
Table 4. Cutting Tool Specifications

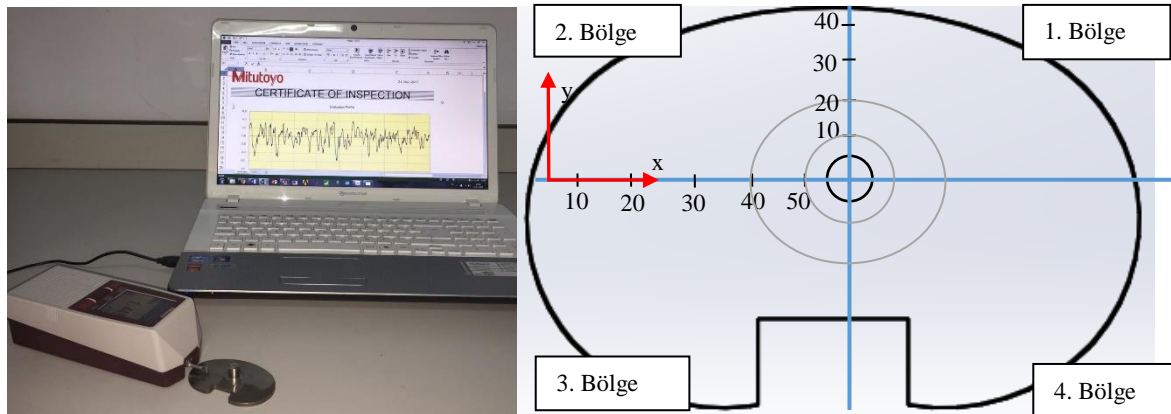
	Kaba paso	Finish paso
Uç Açısı	55°	55°
Uç Radyusu	0.8	0.4
Malzeme	Karbür	Karbür

2.2. Metot

Deneysel çalışmaların sonucunda yüzey pürüzlülüğü, yüzey defektleri, takım aşınması ve mikro sertlik olmak üzere dört çeşit yüzey durumu incelendi. Pürüzlülük ölçümü Şekil 3-a'da görülen MITUTOYO SJ-210 marka ve ölçüm hassasiyeti 0.001 μm cihaz kullanılarak gerçekleştirildi. Pürüzlülük ölçümü yapılırken, değerlendirme boyu (kesme mesafesi) 0.8 mm, prob ilerleme hızı 0.5 mm/sn alınarak Ra cinsinden belirlendi. Pürüzlülük ölçümü için tibial komponent Şekil 3-b'de görüldüğü gibi 4 farklı bölgeye ayrıldı ve işleme merkezine doğru oluşan dairesel halkaların çevresinde ortalama pürüzlülük değerlerinin ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümün kararlılığını artırmak için her bir bölgedeki halkalardan beşer adet ölçümün ortalaması alınarak pürüzlülük değerleri belirlendi.

Talaş kaldırma esnasında malzemenin sert olmasından dolayı işleme yüzeylerinde plastik deformasyonlar meydana geldiği bilinmektedir (Thakur et al 2010). Bunun işlenmiş yüzeydeki mikro sertlik değişimlerine etkilerinin incelenmesi önemlidir. Bu çalışmada mikro sertlik ölçümleri yüzeyinin merkezinden dışarıya doğru, Şekil 4-a'da görülen SHIMADZU HVM-G marka cihaz ile Şekil 4-b'de gösterildiği gibi 4 farklı yönde (0°, 45°, 135° ve 180°) yapıldı.

Yüzeyde oluşan hasarların tespiti amacıyla Şekil 5'de görülen LEVO-EVO40 marka SEM cihazından alınan görüntüler de incelendi.



a) Pürüzlülük Ölçüm Düzeneği

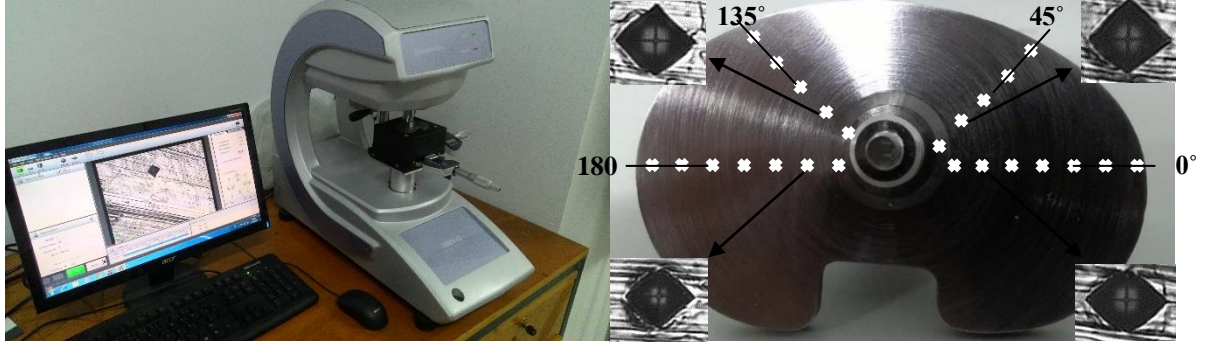
b) Ölçüm Alınan Bölgeler

Şekil.3. Pürüzlülük Ölçüm Yöntemi

a) Roughness Measurement System

b) Measured Regions

Fig.3. Roughness Measurement Method



a) Sertlik Ölçüm Düzenegi

b) Sertlik Ölçümü Alınan Bölgeler ve Doğrultuları

Şekil 4. Sertlik ölçüm yöntemi

a) Hardness Measurement Method

b) Hardness Measurement Areas and Directions

Figure 4. Hardness Measurement Method



Şekil 5. LEVO-EVO40 marka SEM cihazı

Figure 5. LEVO-EVO40 Brand SEM Device

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

Yapılan deney sonuçlarına göre CoCrMo'nin tormalanmasında işleme parametrelerinin talaş kaldırma kabiliyetine ve yüzey özelliklerine önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler aşağıda ayrı başlıklar halinde incelenmiştir.

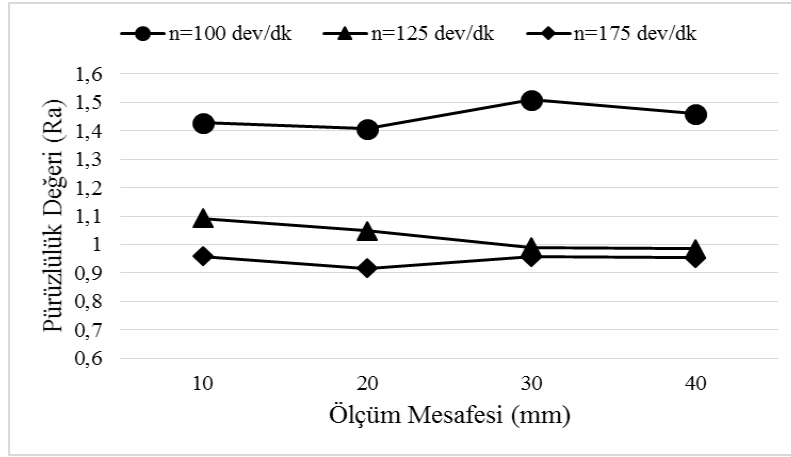
3.1 Yüzey Pürüzlülüğü

Tornalama sonrası, CoCrMo tibia yüzeylerinde yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra) işleme parametrelerine bağlı olarak değişimleri Şekil 6-a ve Şekil 6-b'deki grafiklerde verilmiştir.

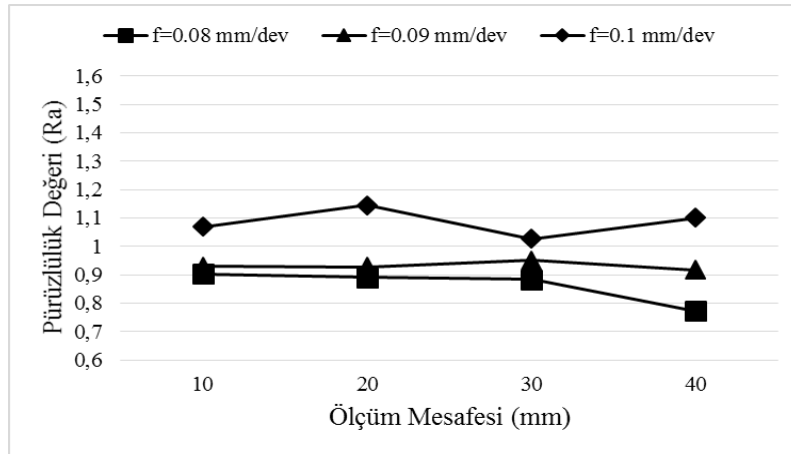
Yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek pürüzlülük değeri 1.509 μm olarak 100 dev/dak -0.1 mm/dev'de, en düşük pürüzlülük değeri ise 0,772 μm olarak 150 dev/dak - 0.08 mm/dev de ölçülmüştür. Şekil 6-a ve Şekil 6-b'deki grafikler incelendiğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığı, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Bu durum, geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklenen tarzda gelişmiştir. Nitekim literatürde de, artan kesme hızı ile artan enerji tüketiminin kesme esnasında ısı enerjisine dönüşmesi sonucu artan sıcaklık plastik

deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmakta, buna bağlı olarak da yüzey kalitesinde bir iyileşmenin olduğu belirtilmiştir (Ulutan et al 2011).

Artan ilerleme değerlerinde ise birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına ve literatürde belirtildiği gibi buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin büyümesine sebep olacaktır (Akhtaret al 2016). Takım üzerinde artan bu yüklerin yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Yapılan CoCrMo'in tornalanmasında da ilerleme değerlerinin artması ortalama pürüzlülüğün artmasına neden olmuştur.



Şekil 6-a) 0.1 mm/dev ilerleme hızında işlenmiş numunelere ait yüzey pürüzlülük değişimi
Figure 6-a) Surface Roughness in CoCrMo Turning for 0.1 mm/rev



Şekil 6-b) 150 dev/dk dönme hızında işlenmiş numunelere ait yüzey pürüzlülük değişimi
Figure 6-b) Surface Roughness in CoCrMo Turning for 150 rpm

3.2 Yüzey Kusurları

Talaş kaldırma süresince iş parçası termal, mekanik ve kimyasal enerjiye maruz kalmaktadır. Bu durum malzemenin gerilme yaşanmasına ve yeniden kristalleşmesine neden olabilmektedir (Ulutan et al 2011). Gerilme yaşanması malzemenin sertleşmesine ve sünekliğinin azalmasına, yeniden kristalleşme ise malzemenin sertliğinin düşmesine ve sünekliğinin ise artmasına neden olabilmektedir. Bu termal ve mekanik etkiler malzemenin

mikro yapısının, faz dönüşümlerinin ve plastik deformasyonlarının ana nedenleridir (Thakur et al 2010). Bu durum CoCrMo işlenmesinde de yüzey kusurlarının oluşmasına neden olmuştur.

Bu bölümde de CoCrMo alaşımının işlenmesinde bu etkilerin yüzeyde oluşan kusurlara etkileri araştırılmıştır.

Literatürde yüzey kusurlarının birçok yapısından bahsedilmiştir. Özellikle yüksek takım aşınması, yüksek kesme gücü ve yüksek sertlik işleme sıcaklığının artmasına neden olarak yüzey kusurlarının oluşmasına neden olmaktadır (Hassan et al 2014). CoCrMo malzemesinden yapılmış tibial bileşenin işlenmiş yüzeyinden alınan SEM görüntülerinde yaygın olarak işleme izleri, metal parçacık kalıntıları, yapışmış malzeme parçacıkları, yırtılmalar ve beyaz çizgilerin olduğu görülmüştür.

İşleme izleri kusurları, işlenmiş yüzey örneklerinden alınan bütün görüntülerde görülmüştür (Şekil 7). İşleme izleri, takım ilerleme hareketinin doğal sonucu olarak oluşmaktadır. İlerleme hızı işlemede etkilidir ve izlerin büyüklüğü ilerlemenin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 7'de görülen V_c kesme hızını, V_f ilerleme hızını ifade etmektedir. İşleme hızının artması (0.1 mm/dev - 175 dev/dak) Şekil 8'de görüldüğü gibi takımın serbest yüzeyinin aşınmasını hızlandırmakta ve işlenmiş yüzeyde önemli oranda ilerleme izlerinin oluşmasına sebebiyet vermiştir.

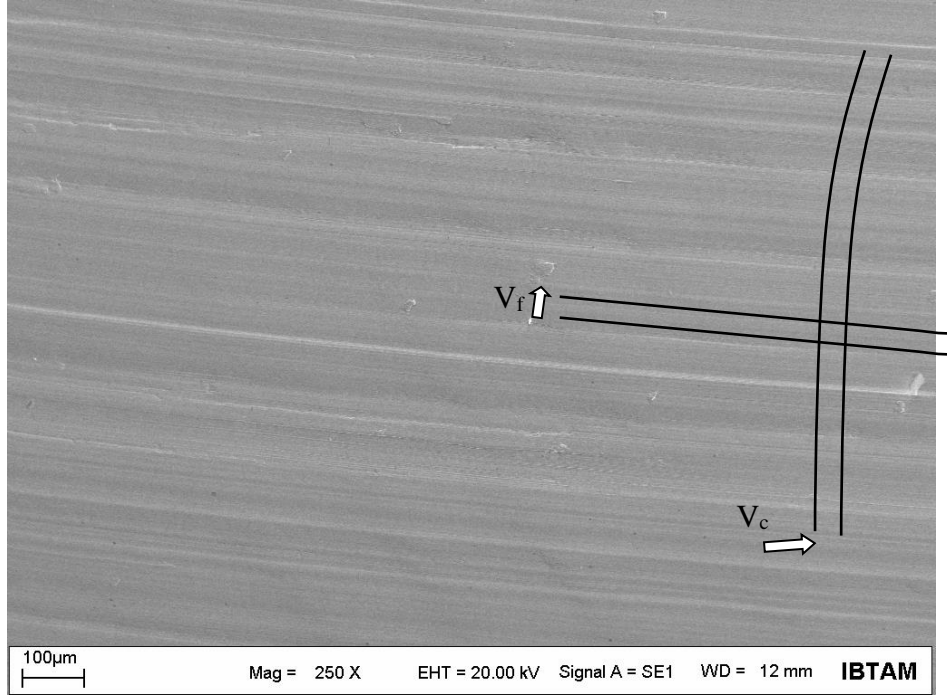
Ayrıca kesme hızı değerleri mikro boyuttaki talaş parçacıklarının boyutunu da etkilemiştir. Kesme hızının artması, yüzey üzerindeki mikro boyuttaki talaş parçacıkların artmasına neden olmuştur (Şekil 9). Kesme derinliğinin artması ise talaş sıvanmasına, yüzeyde mikro yırtıklara, kopmalara ve çentiklerin oluşmasına da neden olmuştur (Şekil 9).

İşleme sonrası, yüzeylerde rastgele mikro çatlakların olduğu da görülmüştür (Şekil 10). Yüzeydeki mikro çatlakların, BUE (Built up Edge), kesici takımdan kopan partiküller ve iş parçasındaki karbür parçacıklar ile ilişkili olduğu görüldü. Malzemedeki karbür parçacıklar, kesici takımın küçük bir bölgesi ve BUE iş parçasından daha serttir ve bu sert partiküller plastik tabakada deforme olmazlar. Bu yüzden bu parçacıklar kesme işleminin devamında oluşan gerilmeler altında işlenmiş yüzeyden uzaklaşır, böylece talaş ayrılır ve işlenmiş yüzeyde çatlaklar oluşturur (Houchuan et al 2015). Bu olayın bir sonraki talaş kaldırmada iş parçasının mekanik özelliklerini etkilemesi, yüzeyde mikro çatlaklar oluşmaması ve yapısal bütünlük için istenmemektedir.

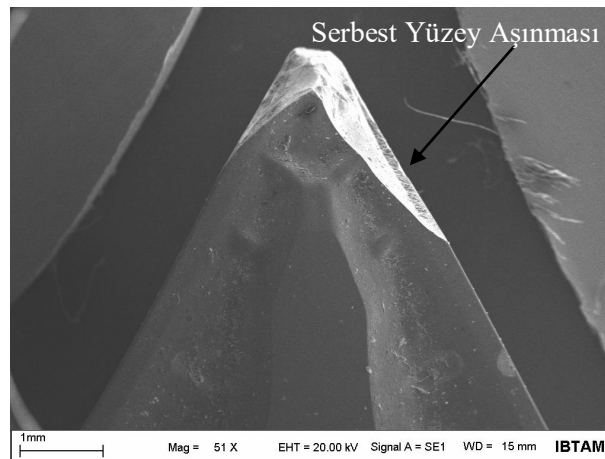
Ayrıca kesici takıma sıvanmış talaş ile uzun süreli işlemede, iş parçasında sıvanma oluşur ve ilerleme izleri Şekil 12' de gösterildiği gibi keskin ve daha belirgin hale gelir. Sıvanma, takımın ilerleme yönünde hareket ederken işlenen yüzey ile boşluk açısı arasında talaşın sıkışması sonucu talaşın akış yönünü etkileyebilmektedir.

Literatürde sert malzemelerin işlenmesi sonucunda oluşan beyaz çizginin CoCrMo tibia bileşenin tornalanması sonucunda da olduğu görülmüştür (Ulatan et al 2011; Sipos et al 2008). Bunun sebebi ise işleme esnasında yüksek sıcaklığın oluşması, plastik deformasyon ve serbest yüzey aşınması sonrası sürtünmenin artmasıdır. Nitekim bu durum Şekil 11'de görüldüğü üzere işlenmiş yüzeyden alınan SEM görüntülerinde de net şekilde görülmektedir. Sürtünme sonrası açığa çıkan ısı CoCrMo tabakasının yüzeyinde östenitleşmeye kadar yükselmektedir, ardından malzeme üzerinden ısının yayılması

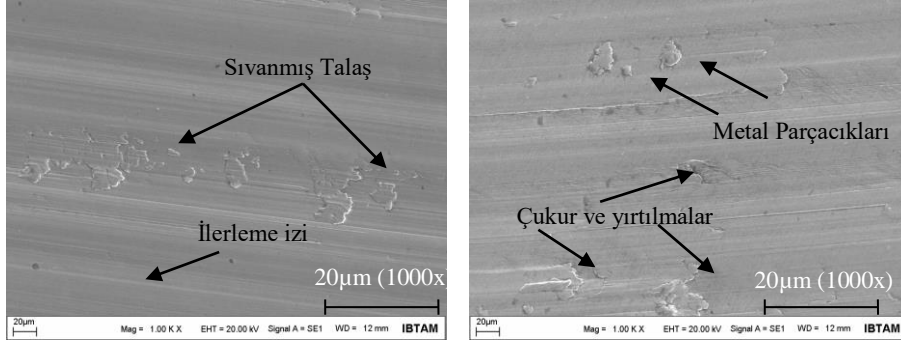
nedeniyle hızlı soğuma oluşur. Bu termal etkiler, östenitin martenzite dönüştüğü yeni mikroyapısal bir değişikliğe neden olacak kadar büyüktür. Bu yeni faz sadece çok küçük bir bölgede bulunur ve ultra ince taneli veya nanokristal yapılara sahip çok ince bir beyaz tabaka olarak optik mikroskop ile gözlemlenebilir. Literatürde de belirtildiği üzere beyaz çizgiler yorulma ömrünü, korozyon direncini, aşınma karakteristiklerini etkilediği ve farklı mekanik özelliklerin oluşması sonucu hatalara neden olabilmektedir (Sipos et al 2008).



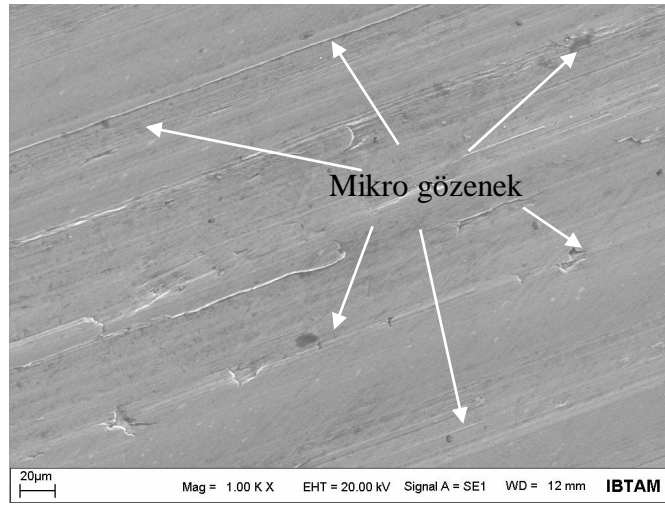
Şekil 7. CoCrMo alaşımının 0.1mm/dev - 175 dev/dak'ya göre tornalanması sonucu oluşan izler
Figure 7. Traces Of CoCrmo Alloy Turning at 0.1mm / rev - 175 rpm



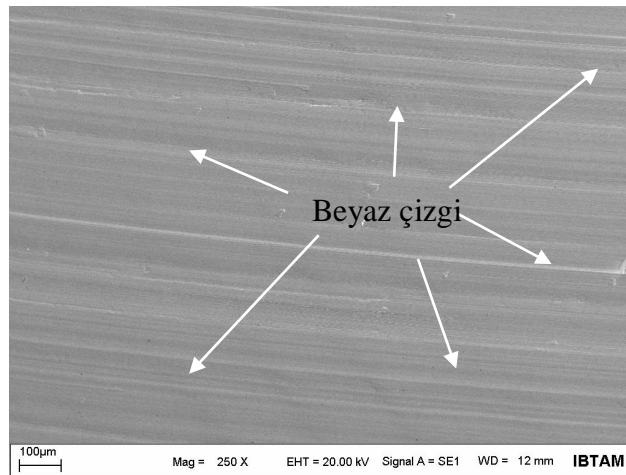
Şekil 8 Karbür takımında 0.09 mm/dev ve 150 dev/dak İle İşlenmede Oluşan Serbest Yüzey Aşınması
Fig. 8 Find Free Surface Wear Of Carbide Tool With 0.09 mm / rev and 150 rpm



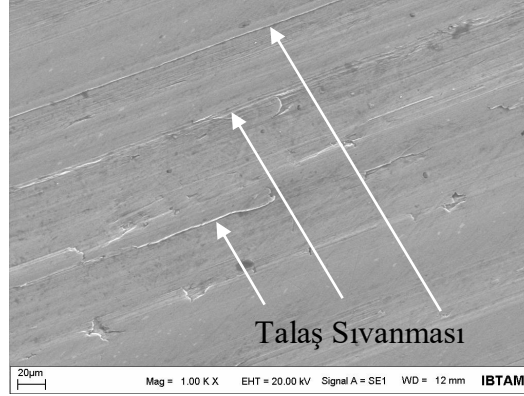
Şekil 9 CoCrMo'nin 0.1 mm/dev - 100 dev/dak'ya göre tornalanmasında oluşan yüzey defektleri
Figure 9 Surface Defects in CoCrMo Turning for 0.1 mm/rev - 100 rpm



Şekil 10. CoCrMo alaşımının tornalanması sonrası oluşan mikro çukurlar
Figure 10. Microcracks After CoCrMo Alloy Turning



Şekil 11. CoCrMo alaşımının tornalanması sonrası oluşan beyaz çizgiler
Figure 11. White Layers After CoCrMo Alloy Turning



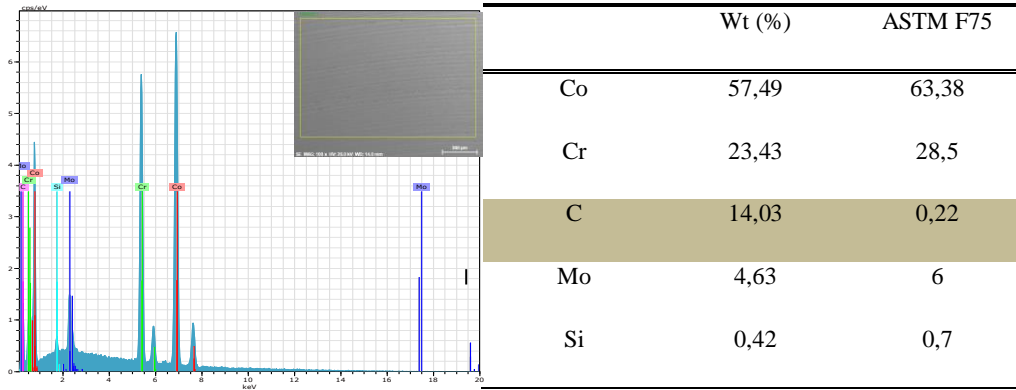
Şekil 12. CoCrMo alaşımının tornalanması sonrası oluşan talaş sıvanması

Figure 12. Adhered Chip After CoCrMo Alloy Turning

Ayrıca iş parçası işlenirken takım aşınmasına bağlı olarak karbür parçacıkları talaştan veya takımdan ayrılarak iş parçası yüzeyine yapışır. Karbür parçalanması olarak adlandırılan bu durum, kesme boyunca kayma gerilmesinin artmasına neden olur ve talaşın kopması esnasında yüzeyde çukurlar ve çatlaklar oluşturur. Buda CoCrMo malzemesinin ileriki zamanlarda kullanımında sorunlara yol açmaktadır. İşleme sonrası CoCrMo malzemenin yüzeyinden alınan EDX analizleri sonucunda takım ve iş parçası çifti yüzeyleri arasında metal iyonizasyonunun gerçekleştiği görüldü. (Çizelge 5).

Çizelge 5. CoCrMo alaşımının tornalanması sonrası EDX analizi sonuçları

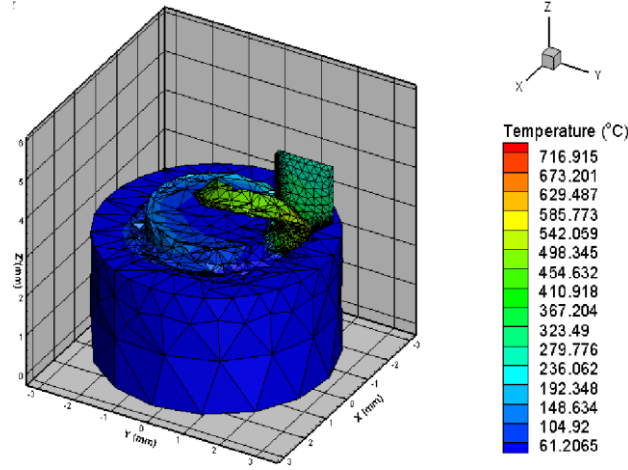
Table 5. EDX Analysis Results After Turning CoCrMo Alloy



Tibial komponentin yüzeyinden alınan bölgesel EDX analizi sonuçlarına göre Co, Cr ve Mo oranında düşük yüzdelere bir azalma söz konusu iken, C oranında aşırı bir artış görülmüştür. Bunun sebebi ise işleme esnasında 700-900 °C arasında işleme sıcaklıklarının oluşmasıdır. Bu sıcaklıklarda metal iyonizasyonu literatürde belirtildiği üzere ileriki yıllarda ağır metal iyonlarının toksit etki göstermesine neden olacaktır.

CoCrMo malzemenin tornalanması işleminde takım talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı ise sonlu elemanlar ile analiz edilerek incelendi. Bu analiz de kesici takım 0.091 mm mesh boyutu, işlenen parça için ise 0.119 mm mesh boyutları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizine göre yapılan analiz sonucunda oluşan sıcaklık dağılımı ise Şekil 13'de

verildi. Sıcaklık değişimi deneylerde kullanılan kesme hızlarına göre gerçekleştirildi. Devir sayısı ve ilerlemenin artmasına bağlı olarak kesme sıcaklığının 700 °C - 800 °C arasında olduğu ölçüldü. Ortaya çıkan bu sıcaklık değerlerinde CoCrMo malzemede faz dönüşümlerinin oluştuğu da bilinmektedir (Houchuan et al 2015).

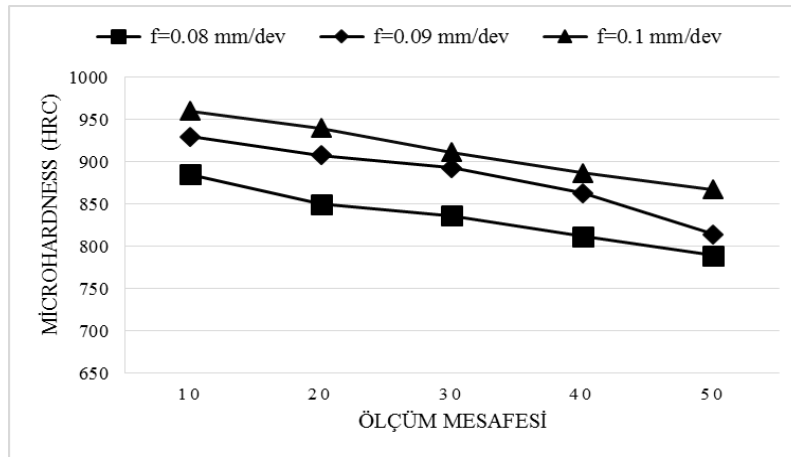


Şekil 13. CoCrMo alaşımının sonlu elemanlar ile tormalanmasının analizi ve sıcaklık dağılımı
Figure 13. Analysis of the turning of the CoCrMo alloy with the finishing elements and distribution of temperature

3.3. Mikro Sertlik

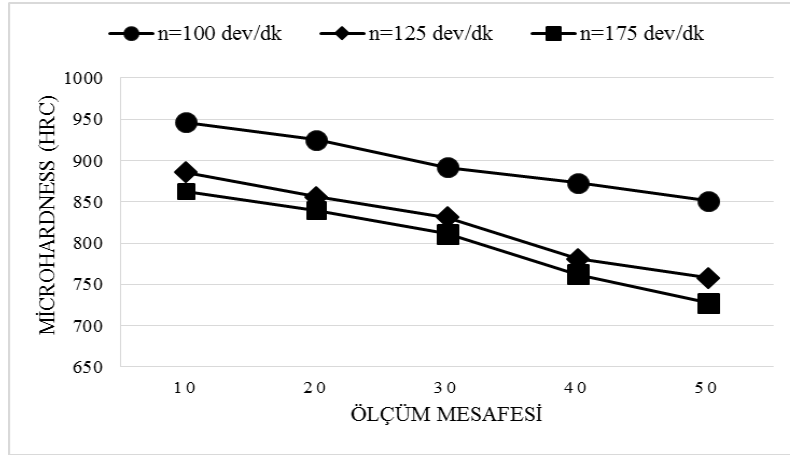
CoCrMo işlenmesi sonucunda mikrosertliğin işleme parametreleri ve işleme yöntemine göre değiştiği de görüldü. Tormalama işlemi sonrası mikro sertliğin değişimleri Şekil 14' te verilmiştir.

İşleme öncesi 350-400 HV arasında ölçülen mikrosertlik değerleri işleme sonrası yapılan ölçümlerde 825-955 HV arasındaki değerlere ulaşmıştır. Şekil 14-a'da görüldüğü üzere ilerlemenin artmasıyla mikro sertlik değerinin arttığı görüldü. Bunun sebebi düşük kesme hızı ve yüksek ilerlemede işleme basıncını artıracığından ilerlemenin artmasıyla sertlik artmıştır.



Şekil 14-a) 150 dev/dak dönme hızında işlenmiş numunelere ait yüzey pürüzlülük değişimi
Figure 14-a) Microhardness in CoCrMo Turning for 150 rpm

Şekil 14-b’de görüldüğü üzere ise devir sayısının artmasıyla ve dış çaptan merkeze doğru mikro sertliğin azaldığı ölçüldü. Devir sayısının artmasıyla kesme hızının artmasından dolayı malzemenin kesici takım ile temas süresi kısalmaktadır. Bu durum, kesme alanının plastik deformasyon büyüklüğünü azaltmaktadır. Yine tibial komponentin dışından merkeze doğru gidildikçe mikro sertlik azalmaktadır. Bunun sebebi ise kesme hızının artması sıcaklığın artışına neden olduğundan malzemenin yumuşamasına da neden olarak işlenmiş yüzeyin sertliğini azaltır.



Şekil 14-b) 0.1 mm/dev ilerleme hızında işlenmiş numunelere ait yüzey pürüzlülük değişimi
Figure 14-b) Microhardness in CoCrMo Turning for 0.1 mm/rev

4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, diz eklem protezinde kullanılan CoCrMo alaşımından yapılmış tibial bileşenin tornalanması sonrasında işleme parametrelerinin yüzeye etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, ilerleme değeri ile pürüzlülüğün arttığı devir sayısının artması ile azaldığı ölçülmüştür.
2. İşleme parametrelerine bağlı olarak yüzeyde mikro çukurların ve yırtılmaların, sıvanmış metalin, ilerleme izlerinin ve beyaz çizgilerin oluştuğu görülmüştür. Bu durumun hem mekanik hem de cerrahi operasyon sonrası sorunlar oluşturacağı düşünülmektedir.
3. Yapılan sonlu elamanlar analizi ile malzeme üzerinde işlemeye bağlı oluşan sıcaklığın faz dönüşümünde etkili olduğu görülmüştür.
4. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, yüzey kusurları, takım aşınması ve mikro sertlik üzerinde de büyük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, CoCrMo malzemesinin tornalanmasında işleme parametrelerinin doğru seçilmemesi durumunda yüzeyde kusurlar oluşmakta ve oluşan kusurlar imalat maliyetini artmasına neden olmaktadır.

Teşekkür

Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 'AP-1723' numaralı projeye desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardım ve desteğini esirgemeyen OTTOMAN Grup İmplant'a (OTİMED) teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

1. Akhtar W, Sun J & Chen W (2016). Effect of Machining Parameters on Surface Integrity in High Speed Milling of Super Alloy GH4169/Inconel 718. *Materials and Manufacturing Processes*. 620-627
2. Bordin A, Ghiotti A & Bruschi S & Facchini L & Bucciotti L (2014). Machinability Characteristics of Wrought and EBM CoCrMo Alloys. In: 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014, pp. 89 – 94
3. Bordin A, Bruschi S & Ghiotti A (2014). The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo alloy. In: 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI), pp. 219 – 224
4. Bruschi S, Ghiotti A & Bordin A, (2013). Effect of the Process Parameters on the Machinability Characteristics of a CoCrMo Alloy. *Trans Tech Publications*. Vols 554-557. 1976-1983
5. Hassan M R, Mehrpouya M & Dawood S (2014). Review of the Machining Difficulties of Nickel-Titanium Based Shape Memory Alloys. *Mechanics and Materials*. 533-537
6. Houchuan Y, Zhitong C & ZiTong Z (2015). Influence of cutting speed and tool wear on the surface integrity of the titanium alloy Ti-1023 during milling. *International Journal Adv Manufacturing Technology*. 1113-1126
7. Karpuschewskia B & Döringa J (2016). Influence of the tool geometry on the machining of cobalt chromium femoral heads. In: *The Second CIRP Conference on Biomanufacturing*, pp. 67 – 71
8. Jagtap K & Pawade R (2016). A Comparative Analysis of Cutting Forces in Precision Turning of Co-Cr-Mo Bio-implant Alloy in Dry and Wet Machining Environments. *Advances in Intelligent Systems Research Vol. 137*: 234-241
9. Shokrani A, Dhokia V & Newman S T (2016). Cryogenic high speed machining of cobalt chromium alloy. In: 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting, pp. 404 – 407
10. Sipos K, Lopez M & Trucco M (2008). Surface Martensite E-White Layer Produced By Adhesive Sliding Wear-Friction In AISI 1065 Steel. *Revista Latinoamericano de Metalurgia Materiales*. 28(1), 46-50
11. Song Y C, Park C H & Moriwaki T (2010). Mirror finishing of Co–Cr–Mo alloy using elliptical vibration cutting. *Precision Engineering* 34: 784–789
12. Thakur D G, Ramamoorthy B & Vijayaraghavan L (2010). Effect of High Speed Cutting Parameters on the Surface Characteristics of Superalloy Inconel 718. In:

Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol III WCE, June 30 - July 2, London, U.K., pp: 978-988

- 13.** Ulutan D & Özel T (2011). Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review International Journal of Machine Tool & Manufacture. 250-280