

AA7475-T7351 ve AA2219-T851 Alaşımlarının Frezelenmesinde Kesici Takım Kaplamalarının ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Simge GENÇALP İRİZALP^{1*}, Handenur KARAOĞLU², Yiğit ERÇAYHAN³, Selda AKGÜN KAYRAL⁴

^{1,2} Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

³ Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir, Türkiye

⁴ Makina Mühendisliği, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

*simge.gencalp@cbu.edu.tr, ²handenurkaraoglu555@hotmail.com, ³yigit.ercayhan@ieu.edu.tr, ⁴selda.akgun@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 20/07/2023);

Kabul/Accepted: 09/12/2023)

Öz: Bu çalışmada AA 2219-T851 ve AA 7475-T7351 alaşımlarının frezelenmesinde kesme hızı (500, 600, 700m/dk), ilerleme miktarı (0,1 ve 0,15 mm/diş) ve talaş derinliği (1 ve 8 mm) değişkenleri kullanılmış ve kaplamasız tungsten karbür (WC) kesici uç ve zirkonyum nitrür (ZrN) kaplamalı kesici uç kullanılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda en ideal yüzey kalitesinin elde edildiği kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici uç belirlenmiştir. Sonuç olarak, iki farklı mekanik dayanıma sahip alüminyum alaşımının yüzey sonuçları karşılaştırılıp optimum işleme değerleri bulunmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü 700 mm/dk kesme hızı, 0,1 mm/diş ve 1 mm ilerleme miktarı parametrelerinde elde edilmiş ve ilerleme hızı arttıkça yüzey kalitesinin artmasının yanında ZrN kaplamalı kesici uç kullanılması ile daha iyi yüzey özelliklerine ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: AA7475-T7351, AA2219-T851, Frezeleme, Kesme Parametreleri, Yüzey Pürüzlülüğü

Experimental Investigation of the Effect on Surface Roughness of Cutting Tool Coating and Cutting Parameters on CNC Milling of AA7475-T7351 and AA2219-T7351 Alloys

Abstract: In this study, cutting speed (500, 600, 700 m/min), feed (0.1 and 0.15 mm/tooth), and depth of cut (1 and 8 mm) were used as parameters in the machining of AA2219-T851 and AA7475-T7351 alloys, and the effects of cutting parameters on surface roughness were investigated by using uncoated WC cutting tool and ZrN coated cutting tool. The surface roughness of the machined surfaces was investigated by surface profilometer. As a result of the machining operations, the cutting speed, feed, depth of cut, and cutting tool were determined at which the optimum surface quality was obtained. As a result, the surface results of two aluminum alloys that have different strengths were compared, and optimum machining parameters were found. The lowest surface roughness was obtained at 700 mm/min cutting speed, 0.1 mm/tooth, and 1 mm feed parameters, and as the feed rate increased, the surface quality increased and better surface properties were achieved by using ZrN-coated cutting tool.

Keywords: AA7475-T7351, AA2219-T851, Milling, Cutting Parameters, Surface Roughness

1. Giriş

Günümüzde alüminyum alaşımları hafif ve korozyona karşı dirençli olmaları gibi üstün özellikleri sebebiyle otomobil, uzay, havacılık ve savunma sanayisinde kullanılmakta olup gün geçtikçe kullanım alanları artmaktadır [1]. Alüminyum yüksek dayanım özelliğiyle birlikte iyi ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Alüminyum saf halde iken bazı mekanik özellikleri düşük değerdedir ancak alaşım durumunda bu özellikler iyileştirilir. Hem döküm hem dövme endüstrisinde pek çok ürün grubuna hitap eden malzeme kategorisindedir [2]. Bu sebeple farklı ürünler için gerek nihai şekil gerekse bitiş işlemi için talaşlı işleme ihtiyacı duyulmaktadır.

Alüminyum sünek bir malzemedir ve talaşlı işleme esnasında çelik malzemelere göre farklı davranışlar sergilemektedir. Alüminyum alaşımları üretim esnasında sıvanma davranışı göstererek ve kesici takımların üzerine yapışarak işleme parametrelerini olumsuz etkilemektedirler. Hassas boyut ve yüzey gereksinimi olan endüstrilerde hafifliği nedeniyle çok tercih edilen alüminyum alaşımlarının işlenmesi sırasında parametrelerin dikkatli seçilmesi oldukça önem arz etmektedir [3].

Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır [4]. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar. Üretim sonucunda parça üzerinde istenen/hedeflenen belirli bir pürüzlülük değeri vardır; parçanın kullanıldığı yere göre bu değer değişiklik göstermektedir. Talaşlı işlemede amaç parçaları istenilen geometri, boyut ve yüzey bakımından belirli bir doğruluk

* Sorumlu yazar: simge.gencalp@cbu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0339-5699, ² 0009-0008-0272-6012, ³ 0000-0002-1213-1572, ⁴ 0000-0003-1971-1550

dercesine göre üretmektir. Yüzey kalitesi; yüzeyin düzgünlüğü, ölçü tamlığı ve geometrik doğruluk olarak değerlendirilir. Parçaların düzgünlüğünü, doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, talaş kaldırma işleminin belirlenmesini yönlendiren en önemli özelliğidir [5]. Talaşlı işleme yapılırken parçaların yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. İşlenecek olan parçanın türü, kesme hızı, ilerleme hızı, kesici takım türü, talaş derinliği ve soğutma sıvısının kullanımı gibi faktörler dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Parametreler seçilirken kullanılacak malzemeye bağlı olarak kesici takım seçilmeli ve ona uygun standartlaştırılmış değer aralıklarında kesme parametreleri belirlenmelidir.

Dişbudak [2] tarafından yapılan çalışmada AA7075 alaşımının sırasıyla üniversal torna ve freze tezgâhında kaplamasız karbür kesici takımlarla işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızının artmasıyla azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünde etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğinin olduğu görülmüştür. Pul [3] tarafından yapılan çalışmada AA7075, AA6061 ve AA2024 alaşımlarının talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülük değeri ve kesici takım aşınma davranışları incelenmiş üç farklı alüminyum alaşımı arasında sonuçlar karşılaştırılıp optimum değerlerin bulunması amaçlanmıştır. Çalışmalarda sementit karbür uç kullanılmıştır. Sonuç olarak ilerleme miktarındaki küçük artışlara bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Yontar [6], yaptığı çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde, en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Parçalar farklı ilerlemeler, kesme hızları ve talaş derinliklerinde soğutma sıvısı kullanılmadan işlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sabit talaş derinliği ve ilerleme değerleri için; kesme hızının artan değerlerinde kesme kuvvetlerinin azaldığı; sabit talaş ve kesme hızı değerlerinde ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin de arttığı, sabit kesme hızı ve ilerleme değeri için; talaş derinliğinin artan değerlerinde kesme kuvvetlerinin de arttığını bulmuşlardır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülük değerine oldukça önemli bir seviyede etki ettiği görülmüştür. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı bunun sebebi olarak da yüksek hızlarda artan sıcaklıktan kaynaklandığı yazarlar tarafından öngörülmüştür.

Bu çalışmada, CNC freze tezgâhında AA7475-T7351 ve AA2219-T851 alaşımlarının talaşlı olarak işlenmesinde kesme parametrelerinin ve farklı kesici takımların yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada materyal seçimi literatürdeki boşluğu doldurmak amacıyla yapılmıştır. Literatürde, bu alüminyum alaşımları için işlenebilirlik, yüzey kalitesi ve parametrelerin etkisi hakkında yeterli çalışma olmadığı görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kullanılan takım belirlenmiştir. Özellikle ZrN takım ile söz konusu iki alaşımın işlenmesi hakkında az çalışma olması ve özellikle AA2219-T851' in talaşlı işlenmesinin girdi parametreleriyle ilişkilendirildiği az sayıda çalışma olması bu çalışmanın ileride yapılacak olan araştırmalara fayda sağlaması amaçlanmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. İş parçası

Bu çalışmada kullanılan AA7475-T7351 ve AA2219-T851 alaşımlarının kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. AA7475-T7351 korozyona karşı dirençlidir ve zorlu çevre koşulları uygulamalarında en çok uçak tasarımında tercih edilmektedir. AA2219-T851 ise iyi kaynaklanabilir ve korozyona karşı dirençli bir malzemedir. Havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Deneylerde iş parçası olarak 350x350x40 mm boyutlarına sahip prizmatik alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Talaşlı işleme deneylerinden önce numunelerin Rockwell B yöntemi ile sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sırasıyla, AA7475-T7351 için 77 HRB ve AA2219-T851 için 68,8 HRB değerlerinde bulunmuştur.

Tablo 1. AA7475-T7351 ve AA2219-T851 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları

*	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Cr	Diğer El.	Al
AA7475	1,20-1,90	0,12 maks.	1,90-2,60	0,06 maks.	0,10 maks.	0,06 maks.	5,20-6,20	0,18- 0,25	<0,05	Kalan
AA2219	5,80-6,80	0,30 maks.	0,02 maks.	0,20-0,40	0,20 maks.	0,02- 0,10	0,10 maks.	-	Ti+Zr 0,10-0,25	Kalan

2.2. Kesici takım

Tablo 2’de kesici takımların özellikleri verilmiştir. Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde kullanılan 16 mm çapında, 3 ağızlı alüminyum işlemeye uygun WC uç ve magnetron püskürtmeli PVD tekniği ile WC üzerine ZrN kaplamalı ucun görüntüleri Şekil 1’ de verilmiştir. ZrN kaplama film kalınlığı yaklaşık 1,5 μm ’ dir. İki freze ucu için de aynı boylara sahip 70 mm uzunluğunda takım tutucular kullanılmıştır.

Tablo 2. Kesici takımların özellikleri

Kesici uç	Şaft çapı	Takım çapı	Takım boyu	Helis boyu
WC uç	$\phi 16$ mm	$\phi 16$ mm	89 mm	35 mm
ZrN kaplamalı uç	$\phi 16$ mm	$\phi 16$ mm	92 mm	32 mm

2.3. Deneysel yöntem

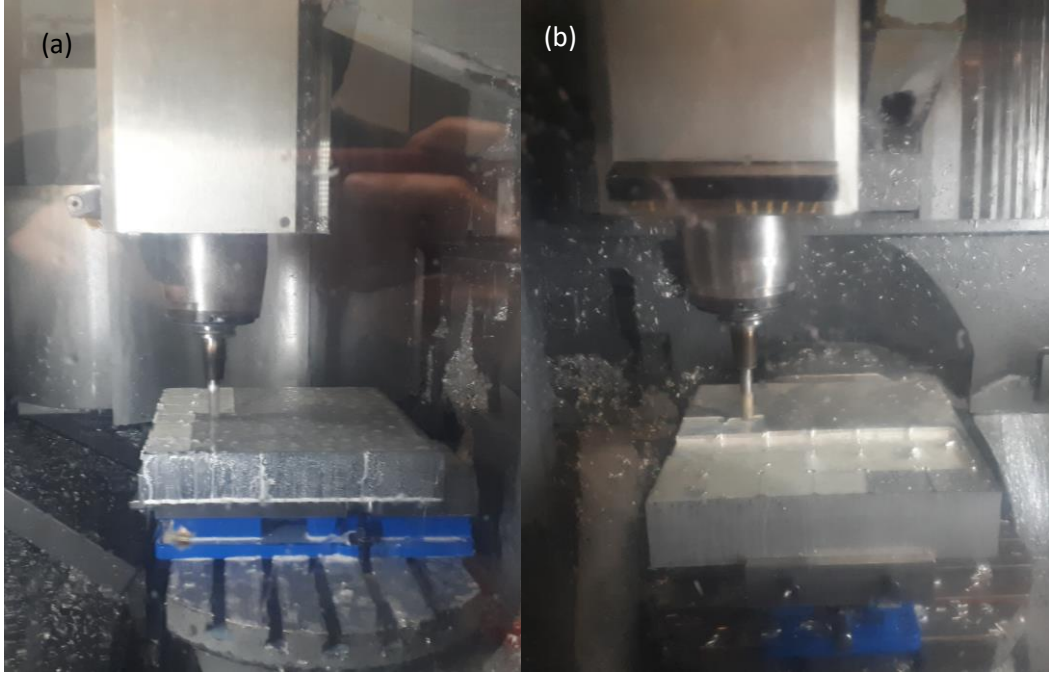
AA7475-T7351 ve AA2219-T851 malzemelerine frezeleme işlemi gerçekleştirmek için Tablo 3’de listelenen işleme parametreleri kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı ve iki farklı kesici takım olarak tartışılmıştır. Malzemeleri işlerken minimum yüzey pürüzlülüğü sağlayan parametrik kombinasyonu belirlemek için Tablo 3’deki seviyelerden faydalanılmıştır. Faktörlerin seviyeleri ön denemeler esnasında talaşlı işlem kesme bölgesinde minimum sıcaklık artışı oluşturan değerlerden referansla seçilmiştir ve işleme operasyonlarında soğutma sıvısı kullanılmıştır. Her bir parametredeki etkiyi görebilmek için her bir parametre setinden 24, iki aşım için toplam 48 adet talaşlı işlem operasyonu yapılmıştır. Frezeleme deneyleri esnasında alınan örnek görüntü Şekil 2’ de verilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan parametreler

Kesme Hızı (m/dk)	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme miktarı (mm/diş)	Kesici Takım (malzeme)
500	1	0,1	WC
600	8	0,15	ZrN Kaplamalı
700			

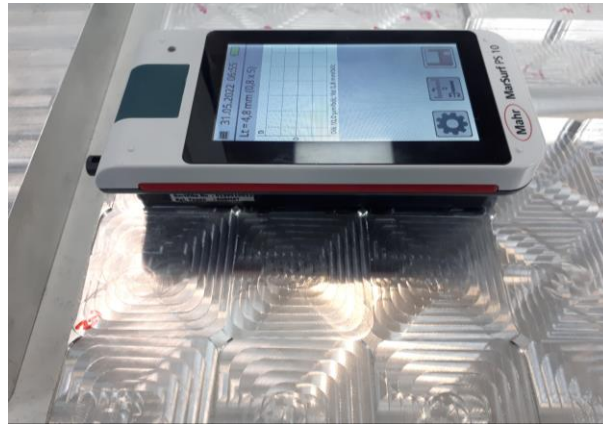


Şekil 1. Kesici freze uçları



Şekil 2. Bu çalışmada uygulanan frezeleme operasyonu (a) 1 mm talaş derinliği, (b) 8 mm talaş derinliği

Parçalara alın frezeleme yapılarak yüzey işlenmeye hazır hale getirilmiştir ve parçalar işlenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri her bir parametre bölgesinden toplam 5 değer alınarak ortalama R_a ve R_z değerleri tablo ve grafiklerle verilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri Mahr MarSur PS10 cihazı kullanılarak mekanik profilometre ile gerçekleştirilmiştir. Çizgisel ölçüm yapan, iğne büyüklüğü 2 μm olan bir proba sahip cihaz ile numunelerin yüzeyinde detaylı olarak tarama gerçekleştirilmiş ve ölçümler tamamlanmıştır. Değerlendirme uzunluğu 12,5 mm' ye kadar çıkabilen bu cihazda, deneysel çalışmalarda 4,8 mm olarak belirlenmiştir. Örnek ölçüm görüntüsü Şekil 3' de sunulmuştur.

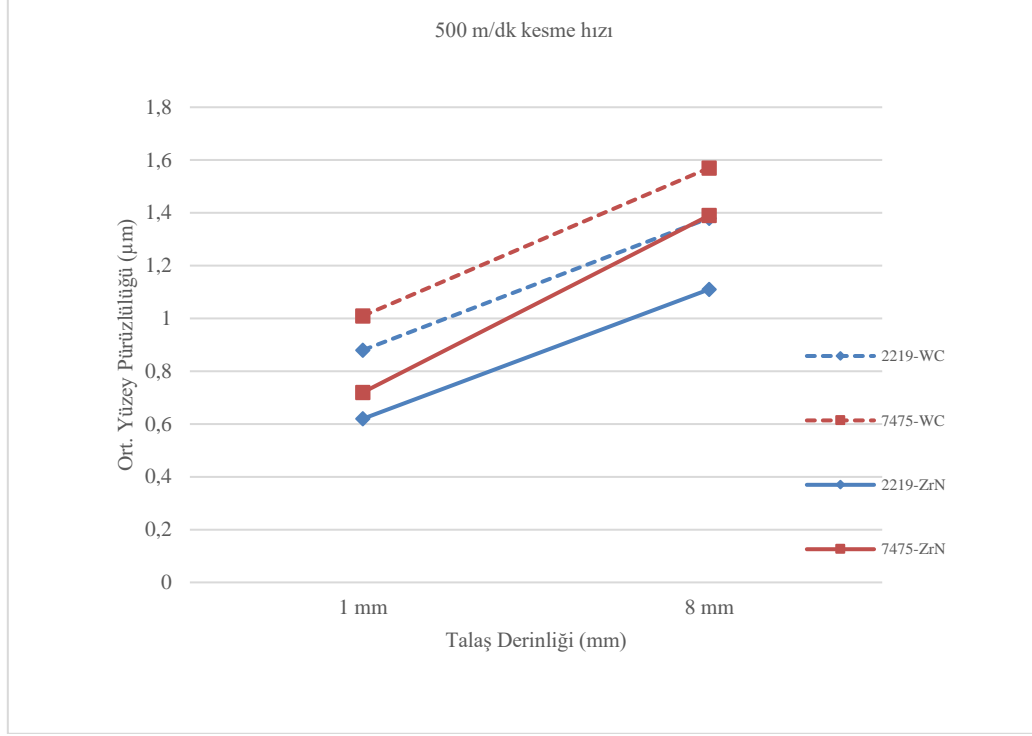


Şekil 3. Talaşlı işlenmiş parça üzerinden yüzey pürüzlülük ölçümü

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada 1 ve 8 mm olmak üzere iki farklı kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Talaş derinliği malzemelerin işlenmesinde yüzey kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Üretimde ilerleme hızı gibi diğer parametrelere de uygun olduğu sürece talaş derinliğinin yüksek tutulması tercih edilmektedir bu şekilde aynı zamanda imalat işlemlerinin verimliliği artar [2]. Literatürdeki çalışmaların sonuçları incelendiğinde talaş

derinliğinin artmasıyla numunelerin yüzeyinde olumsuz bir etki olduğu görülür [7]. Talaş derinliğinin etkisi Şekil 4'deki grafikte verilmiştir.



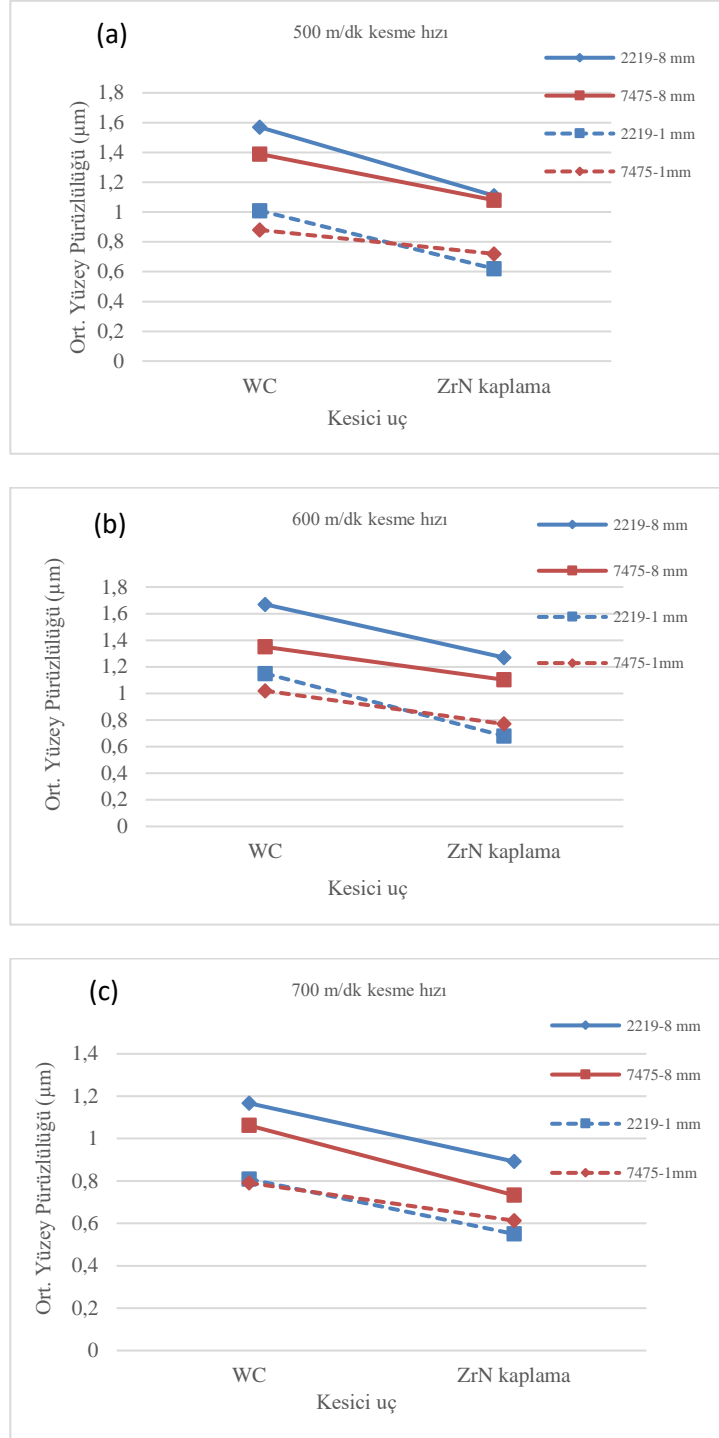
Şekil 4. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 4'de görüldüğü gibi talaş derinliği yüzey pürüzlülüğünü etkiler [8]. Talaş derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü hem AA7475 ve hem AA2219 alaşımı için artmıştır. Çetin vd. [9]' ne göre talaş derinliğinin yüzey üzerindeki bu etkisi kesici takımında meydana gelen plastik deformasyondur. Talaş derinliğiyle beraber talaş kesit alanında da büyüme olacağı için numune işlenirken kesici takım daha fazla sıcaklık ve basınç etkisi altında kalır. Sıcaklık ve basınç etkisiyle kesici takımdaki deformasyon artacağı için yüzey kalitesi de bu durumdan olumsuz etkilenir.

Deneyde her iki malzeme de aynı koşullarda WC uç ve ZrN kaplamalı uç kullanılarak işlenmiştir. Karşılaştırmalı yüzey durumlarını veren grafikler Şekil 5'de sunulmuştur. ZrN kaplamalı ucun kaplamasız uca kıyasla her iki alaşımda ve farklı kesme hızlarında daha iyi yüzey durumu yarattığı elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçlarına bağlı olarak görülmektedir. Kaplamasız WC takım malzemesinin sertlik değeri 1950 HV0.05, ZrN kaplı takımın sertlik değeri ise 2450 HV0.05'dir.

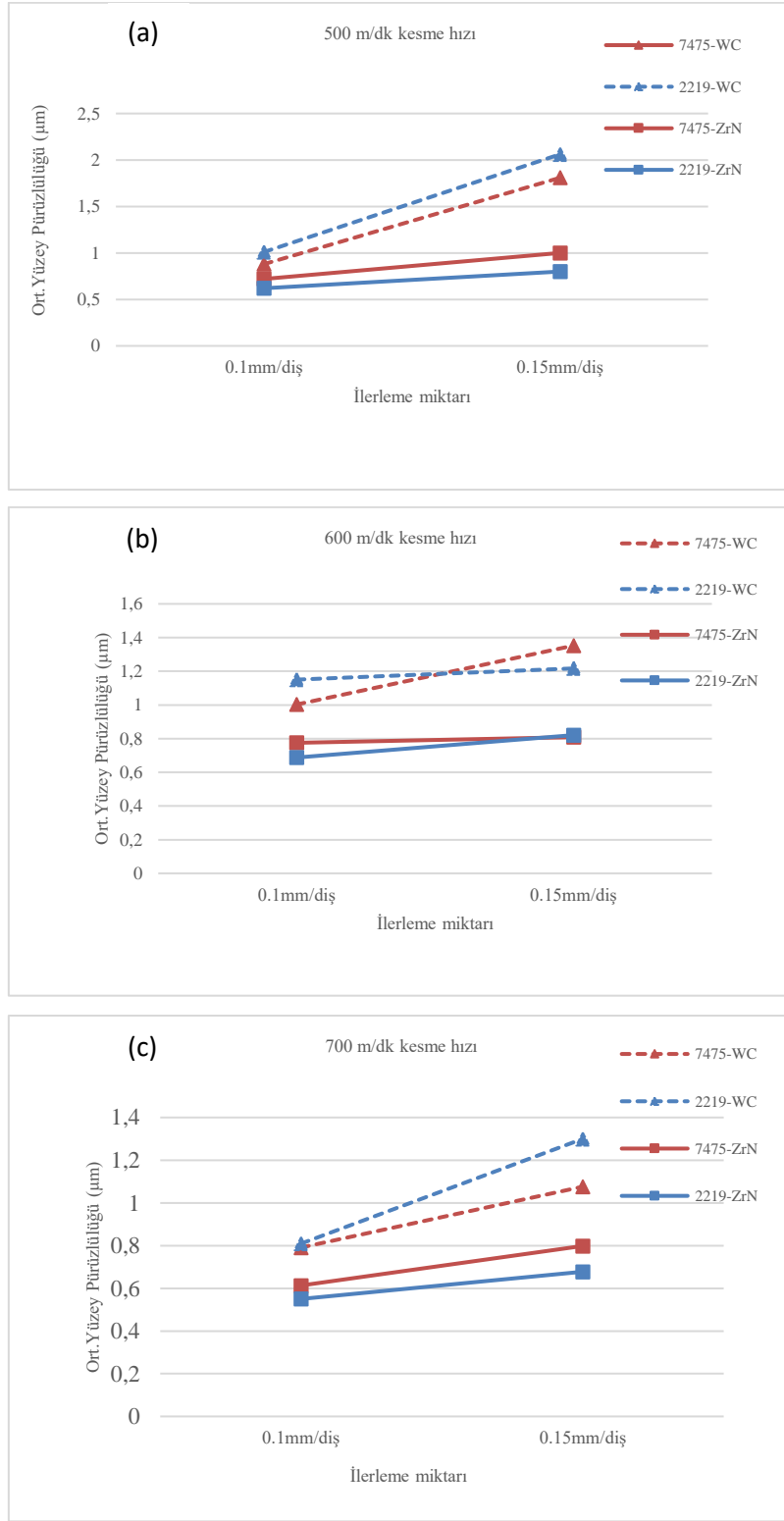
Yüzey pürüzlülük değerleri AA2219 malzeme yüzeyinde kaplamasız WC takımı için 1 mm talaş derinliği operasyonunda ortalama 0,989 µm, ZrN kaplı takım için 0,616 µm olarak, 8 mm talaş derinliği operasyonunda ise ortalama değerler sırasıyla WC takım için 1,26 µm ve ZrN kaplamalı takım için 1,075 µm olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri AA7475 malzeme yüzeyinde kaplamasız WC takımı için 1 mm talaş derinliği operasyonunda ortalama 0,897 µm, ZrN kaplı takım için 0,676 µm olarak, 8 mm talaş derinliği operasyonunda ise sırasıyla ZrN kaplı takım için 1,471 µm ve WC takım için 1,091 µm olarak bulunmuştur. Bu noktada elde edilen sonuçlar ZrN kaplamalı takımın iş parçası üzerinde kaplamasız WC takıma göre daha iyi bir yüzey kalitesi sağladığını göstermiştir. Daha sert takım ile daha iyi nihai yüzey durumu elde etmek mümkündür. Kesici uçlar iki alaşımda da benzer trendlere sahip sonuçlar yaratmıştır.

AA7475-T7351 ve AA2219-T851 Alaşımının Frezelenmesinde Kesici Takım Kaplamalarının ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

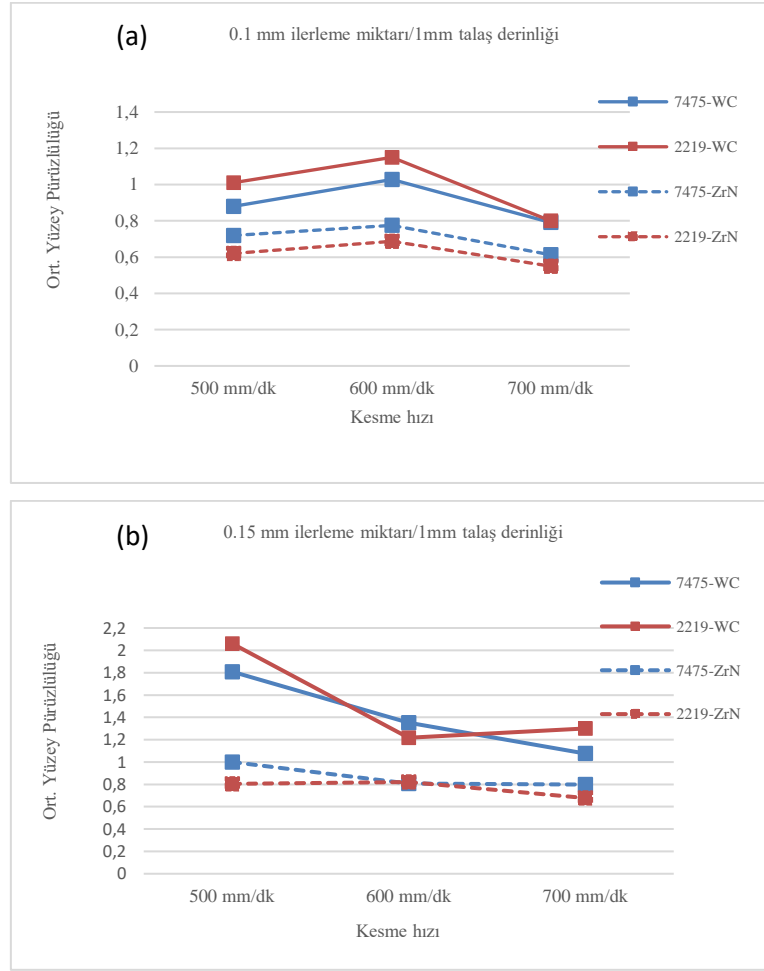


Şekil 5. Kesici ucun yüzey pürüzlülüğüne etkisi (a) 500 m/dk kesme hızı, (b) 600 m/dk kesme hızı, (c) 700 m/dk kesme hızı

Yapılan deneyler, ilerleme hızının artmasına bağlı yüzey kalitesi olumsuz olarak etkilendiğini göstermiştir. İlerleme miktarının etkisi Şekil 6' da, kesme hızının etkisi ise Şekil 7'deki grafiklerde verilmiştir. Kesme hızında lineer bir etki bulunmamıştır.



Şekil 6. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (a) 500 m/dk kesme hızı, (b) 600 m/dk kesme hızı, (c) 700 m/dk kesme hızı



Şekil 7. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (a) 0,1 mm ilerleme miktarı/1mm talaş derinliği, (b) 0,15 mm ilerleme miktarı/1mm talaş derinliği

Gökkaya vd. [10] AISI 1030 çeliği üzerine yaptıkları çalışmada benzer şekilde yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme miktarında doğru orantılı bir değişim olduğunu rapor etmişlerdir. Hüseyinoğlu [11]' da AA7075 alüminyum alaşımının freze ile işlenmesi üzerine yaptığı çalışmada benzer şekilde ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmiştir. Bu çalışmada ilerleme miktarında 0,15 mm/diş' ten 0,1 mm/diş' e ufak bir azalma bile yüzey kalitesinde malzeme cinsi ve takımın kaplama durumuna bağlı olarak %66 ile %100 arasında değişen oranlarda düşüş meydana getirdiği tespit edilmiştir. İlerlemenin artmasıyla beraber kesme bölgesindeki yük artar ve takımda ısınma meydana gelir bunun sonucunda da kesici takımda aşınmalar meydana gelir [12].

Kesme hızlarında oluşan değişim incelendiğinde ise (Şekil 7) kesme hızının 600 m/dk' ya artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde ufak bir artış elde edilirken, 700 m/dk' ya artmasıyla ise yüzeyde iyileşme elde edilebildiği raporlanmıştır. Bu trend tüm parametrelerde tekrarlı deney sonuçlarına dayanarak aynıdır. Kesme hızındaki artışla yüzey pürüzlülüğündeki bu değişimin sebebi olarak hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısılması ve kesme kuvvetlerinin azalması ile deformasyonların küçülmesinin sağlanmasıdır [2]. Kesme hızı arttıkça takım-talaş-iş parçası arayüzünde yapışan tabakanın varlığı değişir. Bu fenomeni tam olarak ölçmek ve nedenlerini ve önleme yöntemlerini belirlemek için daha fazla çalışma gereklidir [13]. Tablo 4 ve Tablo 5'de AA7475-T7351 ve AA2219-T851 alaşımlarının işlenen her bir yüzeyinden alınan tüm ölçümlerin ortalama *Ra* ve *Rz* değerleri gösterilmektedir. Kaplanmamış takımlarla elde edilen işlenmiş yüzeylerin, kaplanmış takımlarla elde edilen yüzeylere göre daha yüksek düzensizliklere sahip olduğu açıktır.

Tablo 4. AA7475-T7351 alaşımının talaşlı işlemler sonrası elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük sonuçları

7475-T7351								
WC 1 mm					WC 8 mm			
	İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)		İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)	
	Yüzey Pürüzlülük Değerleri				Yüzey Pürüzlülük Değerleri			
Kesme Hızı	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)
500	0,88	4,74575	1,809	8,482333	1,39	7,31312	1,574667	8,518
600	1,02866667	5,496	1,352333	7,023667	1,351667	7,949333	1,492	8,5532
700	0,791	4,13425	1,076	5,31475	1,0625	6,16475	1,589333	9,307
ZrN 1 mm					ZrN 8 mm			
	İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)		İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)	
	Yüzey Pürüzlülük Değerleri				Yüzey Pürüzlülük Değerleri			
Kesme Hızı	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)
500	0,72	4,36	1	5,03925	1,08	6,4508	1,333	6,436333
600	0,77533333	4,187	0,809	4,04625	1,103	5,2045	1,543	9,438
700	0,61325	3,3645	0,7985	4,10325	0,733667	4,064	1,453	6,529

Tablo 5. AA2219-T851 alaşımının talaşlı işlemler sonrası elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük sonuçları

2219-T851								
WC 1 mm					WC 8 mm			
	İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)		İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)	
	Yüzey Pürüzlülük Değerleri				Yüzey Pürüzlülük Değerleri			
Kesme Hızı	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)
500	1,01	5,54325	2,061	10,55325	1,57	7,5015	1,883	10,374
600	1,1505	5,3545	1,2175	7,1335	1,677667	12,443	1,953	13,297
700	0,8095	4,30525	1,3	5,371	1,16775	6,674	1,55975	8,217
ZrN 1 mm					ZrN 8 mm			
	İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)		İlerleme (0,1 mm/diş)		İlerleme (0,15 mm/diş)	
	Yüzey Pürüzlülük Değerleri				Yüzey Pürüzlülük Değerleri			
Kesme Hızı	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)
500	0,62	3,6855	0,80375	4,17875	1,11	5,98625	1,69	8,1985
600	0,68775	3,981	0,821	4,0455	1,271	8,552	1,5	11
700	0,55025	3,13875	0,67775	3,3695	0,892	5,109	1,515	8,1535

Düşük mekanik özelliğe sahip malzemede (AA2219) aynı talaşlı işlem parametrelerinde yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir. Daha sert malzemede (AA7475) daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. AA2219-T851 alaşımında yüzey düzensizliklerinin daha fazla olması, yüzey pürüzlülüğü sonuç tablolarındaki R_z değerlerinin genel olarak daha yüksek olması ile anlaşılır. AA2219-T851 alüminyum alaşımı %5.8-6.8 oranında bakır içermektedir. Bakır alüminyuma ilave edilen temel alaşım elementlerinden biridir. Genellikle %1-12 oranında katılırlar. %12'den fazla ilavesi yapıda gevreklik oluşturur. Alaşımdaki bakır miktarı arttıkça alaşımın akıcılığı, çekme dayanımı ve sertliği artar. Dövme alaşımlarda bakır %3-5 oranlarında kullanılır. %5'ten fazla kullanıldığı takdirde malzemenin mekanik olarak işlenebilmesi güçleşir [14-15]. AA2219-T851 alaşımlı malzemede bulunan yüksek bakır oranından kaynaklı olarak işlenmesi zor olduğundan yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelebildiği düşünülmektedir. İşlenmesi zor malzemelerin işlenmesi, araştırmacılar için her zaman birincil araştırma alanı olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, işleme proseslerinin performansını değerlendirmek için en önemli

işlenebilirlik göstergelerinden biridir. Bu sorunun ZrN kaplı uç ile işleme yapıldığında çözüldüğü görülmüştür. %5' den yüksek bakır miktarı ile işlenebilirlik kabiliyetindeki düşüş, daha sert olan bu uç ile aşılabilmektedir. Sert kaplamalar, işleme sıcaklıklarında alt tabakadan daha yüksek bir sertliği korudukları sürece artan aşınma direncine katkıda bulunmaktadır [16]. İşlenmiş yüzeyin yüzey kalitesi kaplamasız takımın kaplamalı takıma göre daha hızlı bozulmuş yani kaplamalı takımlarla frezeleme durumunda düşük pürüzlülükler elde edilmiştir. Sert kaplamanın varlığından dolayı takım-iş parçası arayüzü arasındaki düşük sürtünme katsayısı, bunun arkasındaki olası sebeptir [17]. AA7475-T7351 malzemesinde de %5,2-6,2 oranında çinko bulunmaktadır. Alüminyum esaslı alaşımlarda çinko, sertlik, mukavemet, tribolojik ve işlenebilirlik özelliklerinin yanı sıra yüzey kalitesini de iyileştirdiği bilinir [18]. Yüksek çinko içeren AA7475 alaşımında sert kaplamayla en iyi yüzeyler elde edilse de, WC kesici uç ile de elverişli yüzey özellikleri sağlanabilmektedir (Şekil 5).

Erkal [19] yaptığı çalışmada değişik şartlarda yaşlandırma ısıl işleme tabii tutulmuş AA2024 alaşımının mekanik özellikler ve işlenebilirlik açısından incelemiştir. Düşük çekme dayanımına sahip numunelerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüklerinde artış gözlenirken, yüksek çekme dayanımına sahip numunelerde daha düşük pürüzlülük ve kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Vorasri vd. [20] sert takım çeliklerinde yüksek hızda frezelemede işlenen yüzeyin kalitesini incelediklerinde yüksek hızda işlemede ilerleme ve talaş kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızından fazla olduğunu bulmuşlardır. İlerleme değeri düşüktüğü, talaş kalınlığı azaldıkça ve yüksek bir kesme hızında en iyi yüzey durumunu elde etmişlerdir. Bu çalışmada, her iki alüminyum alaşımında da düşük ilerleme miktarı, düşük talaş derinliği ve yüksek kesme hızıyla en iyi yüzey kalitesinin elde edileceği sonucuna varılmıştır. Kesici takıma gelen kesme kuvvetlerinin etkisiyle parça istenilmeyen şekilde deforme olabilir. İlerleme miktarı ve talaş derinliği tarafından artan kesme kuvvetleri, yoğun plastik deformasyon etkisiyle özellikle sünek yapıdaki alüminyumun nihai yüzey durumunu olumsuz etkileyebilir [21]. Öte yandan sünek malzemelerde düşük kesme hızları işlem sırasında talaş yığılmasını arttırabilir [22]. Burada kesme hızının makul oranlarda arttırılması kritiktir. Ayrıca sert ZrN kaplamalı uç kullanıldığında yüzey kalitesi iyileşir.

4. Sonuçlar

Yapılan deneyler sonucunda talaş kaldırma esnasında yüzey işleme parametrelerinin ve kesici takımların yüzey kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Talaşlı işleme deneylerinde, farklı kesici freze takım ucunun her biri için farklı kesme parametreleri uygulanarak yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu deneylerin sonuçlarında AA7475-T7351 ve AA2219-T851 alaşımlarının ideal işlenebilirlik koşulları elde edilmiştir.

- En ideal kesme parametreleri olarak belirlenen 700 mm/dk kesme hızı, 0,1 mm/diş ve 1 mm ilerleme miktarında işlenen AA7475-T7351 malzemede ZrN uç kullanılması ile R_a değeri 0,791 μm ' den 0,613 μm ' ye azalırken, AA2219-T851 malzemede ZrN uç kullanılması ile R_a değeri 0,81 μm ' den 0,55 μm ' ye azalmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğüne takımın etkisinin, mekanik dayanımı daha düşük olan AA2219-T851 parçada %32' lik bir etki ile daha yüksek oranda olduğu bulunmuştur.
- Sonuçlar değerlendirildiğinde kesme hızındaki kritik bir artışla beraber yüzey kalitesinin iyileştiği ve yüzeyi olumlu etkilediği görülmektedir. Öte yandan sabit kesme hızında, ilerleme miktarındaki ufak bir düşüş bile yüzeyi oldukça olumlu etkilerken, talaş derinliğinin azalmasıyla kesme kuvvetleri azaldığı için yüzey iyileşmektedir.
- AA2219-T851 malzemesinde mekanik özelliklerinden kaynaklı AA7475-T7351' e göre daha pürüzlü sonuçlar elde edilmiştir.
- Sertliğin göreceli artması yüzey işlenebilirliğini arttırmış bunun yanında AA7475-T7351' in düşük bakır ve yüksek çinko miktarı buna katkı sağlamıştır.
- Yüzey pürüzlülüğünü düşürmek için kesme hızını arttırmak talaşlı imalat işlemlerinde uygulanan yaygın parametre yaklaşımlarından biridir. İlerleme miktarındaki ufak bir düşüş yüzey kalitesine önemli ölçüde katkı sağlar. WC uca göre daha sert ZrN kaplamalı uç kullanılması ile daha iyi yüzey özellikleri elde edilmiştir ve özellikle işlenmesi zor olan AA2219 malzemesi için yazarlar tarafından önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada malzeme temini ve talaşlı işlem operasyonları HMS Makine Sanayi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, S.İ. fikir sahibi ve makaleyi yazan, H.K. deneyleri gerçekleştiren ve makaleyi yazan, Y.E tartışma bölümünü yazan ve S.K. ise makaleyi düzenleyen ve giriş bölümünü yazan yazardır.

Kaynaklar

- [1] Yaka, H. (2021). Tornalama Sonrası Çıkan Talaşlardan Elde Edilen Alüminyum 5000 Alaşımının Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Yöntemi ile Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 464-473
- [2] Dişbudak T. Alüminyum alaşımının talaşlı işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ocak 2015.
- [3] Pul M. 7075,6061 ve 2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının karşılaştırılması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*,2017; (9): 65-75.
- [4] Korucu, S. 1996. Hidrolik kopya aparatı yardımı ile elde edilen parçalarda yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [5] Nas E, Samtaş G, Demir H, CNC frezelemede yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2012; (18): 47-59.
- [6] Yontar A, AISI 304 Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya,2011.
- [7] Yaka, H., Demir, H., Gök, A., & Akkuş, H. (2018). Determination of optimum cutting parameters on free form surfaces in terms of form errors and machining times. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(4), 1153-1164
- [8] Akkuş, H., & Yaka, H. (2021). Optimization of cutting parameters in turning of titanium alloy (grade 5) by analysing surface roughness, tool wear and energy consumption. *Experimental Techniques*, 1-12
- [9] Çetin, M. , Bilgin, M. , Ulaş, H. B. & Tandıroğlu, A. (2011). Kaplamasız Sermet Takımla A1sı 6150 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi . *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)* , 1 (1) , 168-176
- [10] Gökkaya H, Sur G, Dilipak H, PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Teknoloji*, 2004; 7(3):473-478
- [11] Hüseyinoğlu, M., (2008) 7075 Alüminyum Alaşımın Freze ile İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi. *Fırat Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 48s, Elazığ.
- [12] Akkuş, H., & Yaka, H. (2021). Experimental and statistical investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness, vibration and energy consumption in machining of titanium 6Al-4V ELI (grade 5) alloy. *Measurement*, 167, 108465
- [13] Kishawy, H. A., Dumitrescu, M., Ng, E. G., & Elbestawi, M. A. (2005). Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(2), 219-227.
- [14] Kaufman, J. G. (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers, p.26, ASM international.
- [15] Açıci, N.(2018). A356 ve A380 alaşımlarının eğilimli soğutucu ile dökümü ve yarı katı dövme işlemi. *Yıldız Teknik Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 59s, İstanbul.
- [16] Prengel, H. G., Pfouts, W. R., & Santhanam, A. T. (1998). State of the art in hard coatings for carbide cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, 102(3), 183-190.
- [17] Sharma, N., & Gupta, K. (2019). Influence of coated and uncoated carbide tools on tool wear and surface quality during dry machining of stainless steel 304. *Materials Research Express*, 6(8), 086585
- [18] Hekimoğlu A. P, Turan Y. E, Çinko oranının Al-(5-50)Zn alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi, *GÜFBED/GUSTIJ* (2019) 9 (1): 16-25
- [19] Erkal S, AA2024 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işlemlerinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara,2011.
- [20] Vorasri, M, Jirapattarasilp, K, Kaewkuekool, S, 2011. The effect of high-speed milling on surface roughness of hardened tool steel. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 59: 469-472
- [21] Korkut İ. , Dönertaş M. A. Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkileri *Politeknik Dergisi*. 2003; 6(1): 385-391
- [22] Erdoğan M, Gürdal A, Korkut İ. Şeker U, 1999. Çift fazlı çeliklerde martensit hacim oranı ve morfolojinin işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri üzerine etkisi, *G.Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sa yfa 11-24, Mart 1999