

ALÜMİNYUM 7050 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE TAKIM PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

N.Bircan Buğdaycı^a, İsmail Lazoğlu^{a*}, Recep Akçay^b

^{a*}. Koç Üniversitesi, Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi,

Tel:0-212-3381587 ilazoglu@ku.edu.tr Sarıyer, İstanbul/Türkiye

^b. TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.

Tel:0-312-8111800 Ankara/Türkiye

Özet

Çağımızın rekabetçi ortamında yüksek performanslı üretimin önemi giderek artmaktadır. Dünya üzerinde benzer ürünleri üreten çok sayıda firma olmasına rağmen daha üstün performanslı ürünleri daha düşük fiyatlara üreten firmalar diğer firmaların yerine tercih edilmektedir. Özellikle talaşlı imalat sırasında takım maliyetleri, ortaya çıkan ürünlerin fiyatlarını belirlemede önemli bir etkidir.

Bu çalışmada farklı firmalar tarafından üretilmiş tungsten karbür kobalt helis parmak frezelerin Al-7050 işlerken ortaya koydukları performanslar incelenmiştir. Frezeleme işlemi sırasında takımların maruz kaldıkları kuvvetler ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Daha sonra takım ömürlerinin incelenmesi açısından takımlar aşınma testlerine tabi tutulmuş ve aşınma miktarları ölçülmüştür. Son olarak aşınan takımların malzeme özellikleri incelenmiş ve farklı aşınma eğilimlerinin nedenleri araştırılmıştır. Bu çalışmaların neticesinde AL-7050 malzemesinin frezelenmesi sırasında kullanılacak olan tungsten karbür kobalt takımların sahip olması gereken özellikler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Al-7050, frezeleme, tungsten karbür kobalt

1. Giriş

Küreselleşen dünyada benzer ürünleri birçok farklı firma üretebilmekte, ancak bu firmalar arasında en kaliteli ürünü en ucuza üreten firma tercih edilmektedir. Bu açıdan bilimsel takım maliyeti ve performans analizi önemlidir. Üretimi doğrudan etkileyen kesici takımların seçimini, önceki deneyimlere dayandırmak yerine, takım maliyeti ve performans ilişkisini dikkate alan, rasyonel analizlere dayanan seçimler yapmak firmalar için kritik bir konudur.

Havacılık endüstrisinde de durum böyledir. Ancak havacılık endüstrisini diğer sektörlerden ayıran nokta ise kullanılan malzemelerin geleneksel malzemelerden farklı oluşu ve bu nedenle literatürde haklarında nispeten daha az yayın ve araştırmanın yer almasıdır. Hafifliği ve çeliğe yakın mukavemeti nedeni ile havacılık endüstrisinde yapısal parçalar için yaygın olarak kullanılan alüminyum ve alaşımları üzerinde sınırlı sayıda makale ve araştırma vardır.

Altintas [1], üretim alanında yol gösterici sayılan kitabında dik kesmeden frezelemeye kadar tüm imalat yöntemlerini analiz etmiş ve kesme kuvvetlerinin bulunmasını sağlayan kuvvet modellemesini ayrıntılı bir biçimde anlatmıştır. Shih-Ming Wang [2] anlık kesme kuvvetini, takımı diferansiyel elemanlara bölerek ve her bir elemanın dik kesme yaptığını varsayarak hesaplamış, bu modelin doğruluğu yapılan kesme deneyleriyle göstermiştir. R.F Hamade [3] kesme katsayılarını bulmak için delik delme

operasyonunun kullanılmasını önermiş, bu yöntemin klasik yöntemlere göre daha az zamanda yakın sonuçları verdiğini iddia etmiştir. Çalışmasının deneysel kısmında kesme kuvvet ve momentleri ölçülmüş ve teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. N.Fang [4], takım geometrisinin kesme üzerine olan etkisini incelemiş, yapılan deneyler sırasında 3 farklı alüminyum alaşımı (7075-T6, 6061-T6 ve 2024-T351) kullanılmıştır. Yang Yun [5] değişken eğimli yüzeylerin frezelenmesi sırasında, kesme takımındaki kesme yüzeylerinin aksel olarak simetrik olmamasının (cutter runout) geometri ve kuvvetlere olan etkisini incelemiştir. Dang Jian-Wei [6] kesme takımının alt yüzeyinin kesme işlemine olan etkisini de içeren yeni bir kesme modellemesi yapmıştır. Bu modelin yapılan testlerle değerlendirildiğinde, deneysel sonuçlar ile modelin verdiği sonuçların büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Andrea Gatto [7] alüminyum kalıp üretiminde performans optimizasyonu için deneysel bir çalışma yapmış, minimum takım aşınmasının yüksek kesme hızlarında düşük ilerlemelerde ulaşıldığını göstermiştir. Tang Z.T [8], alüminyum 7050 alaşımının frezelenmesi işlemi sırasında oluşan takım aşınmalarının artık gerilmelere olan etkisini incelemiştir. Bunun için sonlu eleman analizi kullanan Tang, takımdaki aşınma arttıkça parça üzerindeki en yüksek sıcaklığın da aşırı miktarda arttığını ve bunun parça yüzeyinde artık çekme gerilmelerine yol açtığını belirtmiştir. Buna karşın artık gerilme katmanının kalınlığını belirleyen baskın faktörün termal yükler olduğunu söylemiştir.

Rubio EM [9] alüminyum 7050 materyalinin işlenmesi sırasında işleme süresinin yüzey kalitesine olan etkisini incelemiştir. Yüzey kalitesinin ölçüsü olarak aritmetik ortalama pürüzlülük (Ra) tanımlanmış ve test sonuçlarına göre bu değer artan işleme süresiyle birlikte azalma eğilimi göstermiştir. Bu genel eğilim içerisinde kesme hızı arttıkça yüzey kalitesi azalmış, besleme hızı arttıkça yüzey kalitesindeki düşme daha şiddetli olmuştur.

Sanchez JM [10] havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının kuru kesilmesi sırasında, takımının üzerinde biriken malzemenin mikro yapısal karakterini incelemiştir. Bu çalışmaya göre elektron mikroskopuyla yapılan incelemelerde talaşın yapışmasının esas sebebinin termo-mekanik mekanizmalar olduğu gösterilmiş, yığılma ağızı bir kere oluştuktan sonra belli bir değere kadar kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Yığılma ağızı plastik olarak deforme olduktan sonra talaş yüzeyinde büyümeye başlamıştır. Bu yüzey bazen net belli olmamakta ve yüzey analizi çelik kesme işleminde kullanılan takım yüzeyine benzerlik gösterebilmektedir.

Termal analiz alanında I. Lazoğlu ve araştırma grubu [11], Al-7075 malzemesinin, ortogonal talaşlı imalat sürecinde oluşan sıcaklıkları kızılötesi kamera sistemi ile görüntülemeyi başarmış ve geliştirdikleri matematiksel modelin geçerliliğini ispatlamışlardır. Ayrıca oblik işleme süreçleri için hassas ve hızlı hesaplamaya imkan veren yeni bir termal model geliştirmişlerdir [12].

Bu çalışmalardan da görüldüğü üzere takım performanslarını değerlendirmek, içinde birden çok değişkeni barındıran çok boyutlu bir mühendislik problemidir. Takım malzeme ikilisine göre değişkenlik gösterecek üretim şartları kesme sırasında oluşacak kuvvetleri etkilerken, seçilecek takım geometrisi hem kuvvetleri hem de oluşan sıcaklığı etkileyecek, bunların yanı sıra takımın üretildiği malzeme de takımın aşınma karakterini belirleyecektir.

Bu çalışmada, TAI işbirliği ile Al-7050 malzemesinin frezelenmesinde kullanılacak bir helis parmak frezenin sahip olması gereken özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

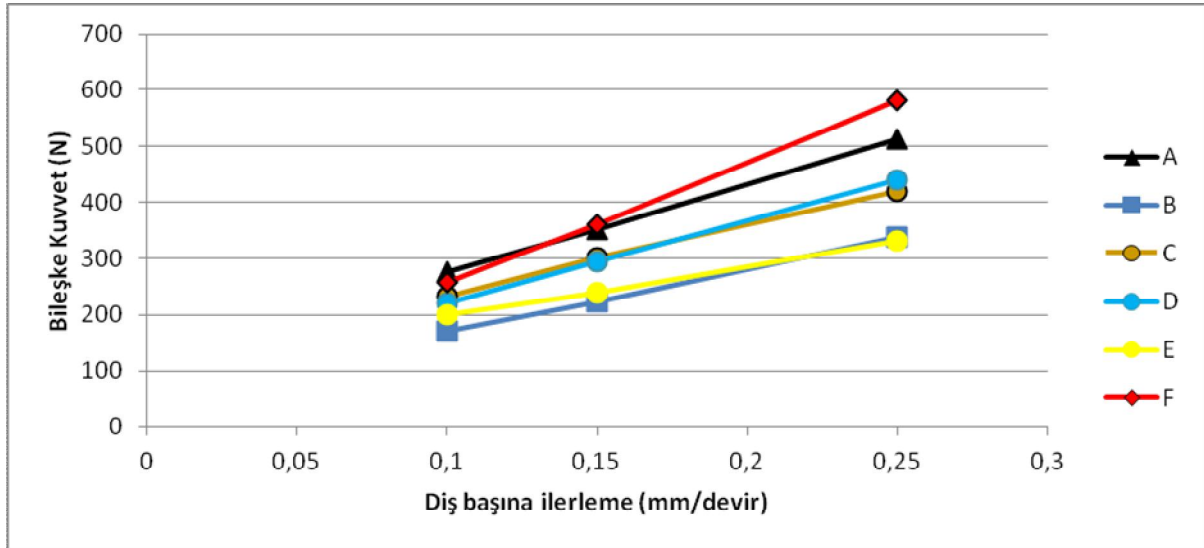
2. Deneysel Yöntem

2.1 Kuvvet Testleri

İlk olarak lojistik ve maliyet gibi kriterler göz önünde tutularak altı takım üretici firma seçilmiş, testler için üretim sırasında boşaltma ve şekil verme işlemlerinde sıkça kullanılan 16 mm'lik takımlarda karar kılınmıştır.

Öncelikle takımlarla tam dalma ve yarım dalma olmak üzere 2 farklı tipte kuvvet testleri yapılmasına karar verilmiştir. İş mili hızının kuvvetlere etkisini görmek açısından da bu testler 4000 ve 8000 devir/dakika hızlarında yapılmıştır. Testler Mori Seiki NMV500DCG beş eksenli CNC tezgâhında yapılmış, veri toplamak için yüksek hassasiyetli Kistler tipi döner dinamometre ve yüksek hızlı veri toplama sistemi kullanılmıştır. Takımların maruz kaldığı kuvvetler 0.10, 0.15 ve 0.25 mm/dev ilerlemelerinde kaydedilmiş ve takımların kuvvet-ilerleme grafikleri çıkartılmıştır. Testler sırasında bütün takımlar tezgâha aynı uzunlukta bağlanmış ve salgısız tutucular kullanılmıştır.

Beklenildiği gibi testler sonucunda ilerleme ile ortaya çıkan kuvvetler arasında lineer bir ilişki vardır. Bunun yanı sıra makro özellikler (16 mm çap, 0,5 mm köşe çap, takım uzunluğu) açısından birbirinin aynı olan 6 takımın 6'sının da kuvvet eğrileri birbirlerinden tamamen farklıdır. Ayrıca bu testler sonucunda kesme tipinin (tam dalma vs yarı dalma) takımların göreceli performansları üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bir başka deyişle tam dalma testleri sonucunda takımlar arasında yapılan sıralama ile yarı dalma testleri sonuçları birbirinin aynıdır. Bu bilgiler ışığında takımların yüksek hızda üretim performanslarının karşılaştırılması açısından aşınma testlerinin 8000 devir/dakika, 0.25 mm/dev ve tam dalma şartlarında yapılmasına karar verilmiştir.



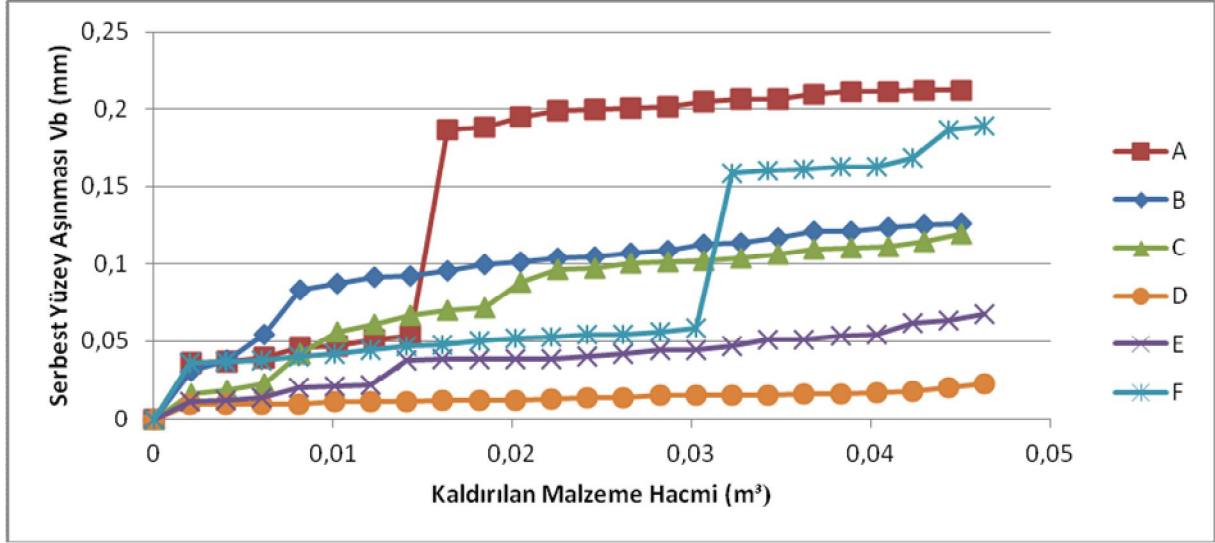
Şekil 1. Altı farklı takım için bileşke kesme kuvvetinin dış başına ilerleme ile değişimi

(İş mili hızı 8000 dev/dak, tam dalma durumu)

2.2 Aşınma Testleri

Aşınma testler için kuvvet testlerine sokulan 6 takım 8000 devir/dakika ve 0.25 mm/dev şartlarında, 2 mm derinliğinde tam dalma yaparak alüminyum malzemeyi kesmiş, yaklaşık olarak 20 dakikaya karşılık gelen aralıklarla (her 64 m. kesme uzunluğunda bir) serbest yüzeydeki aşınma miktarları ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda elde edilen, takımların aşınma karakterleri aşağıda gösterilmektedir.

Yapılan testler sonucunda kuvvet testlerinde ortaya çıkan sıralama ile aşınma performanslarının paralellik göstermediği ortaya çıkmıştır. Normal şartlar altında daha az kuvvete maruz kalan takımların daha az aşınması gerekirken takımların malzemelerindeki farklılıklar aşınma karakterlerini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle takımların performanslarının değerlendirilmesi açısından takımlar hem taramalı elektron mikroskobuna sokulmuş hem de mikro sertliklerine bakılmıştır.

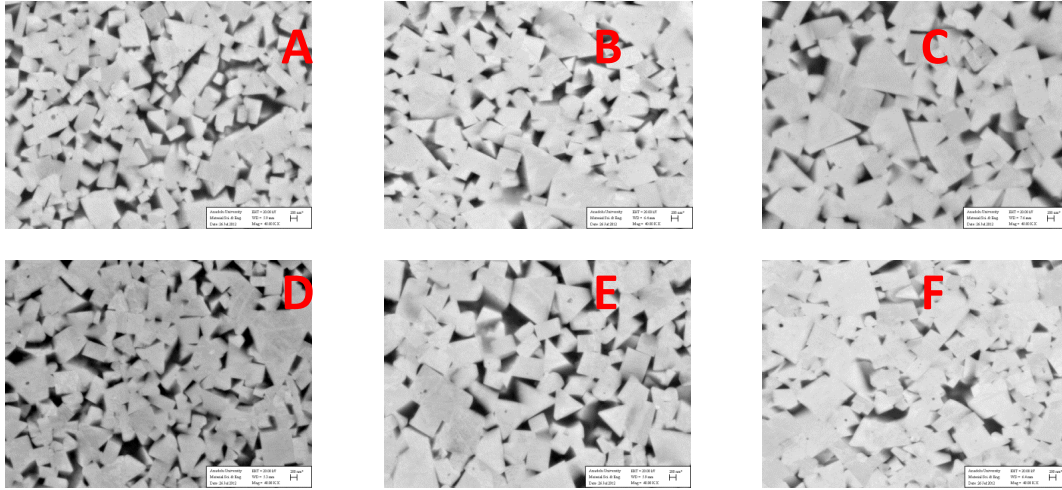


Şekil 2. Takımlardaki serbest yüzeydeki aşınma değerinin kaldırılan malzeme miktarı ile değişimi

2.3 Mikro Yapı Karakterizasyonu

2.3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Takımları ortaya koydukları farklı aşınma performanslarının kaynağının bulunması açısından öncelikle takımlardan numuneler hazırlanmış ve bu numuneler taramalı elektron mikroskobuna sokulmuştur.

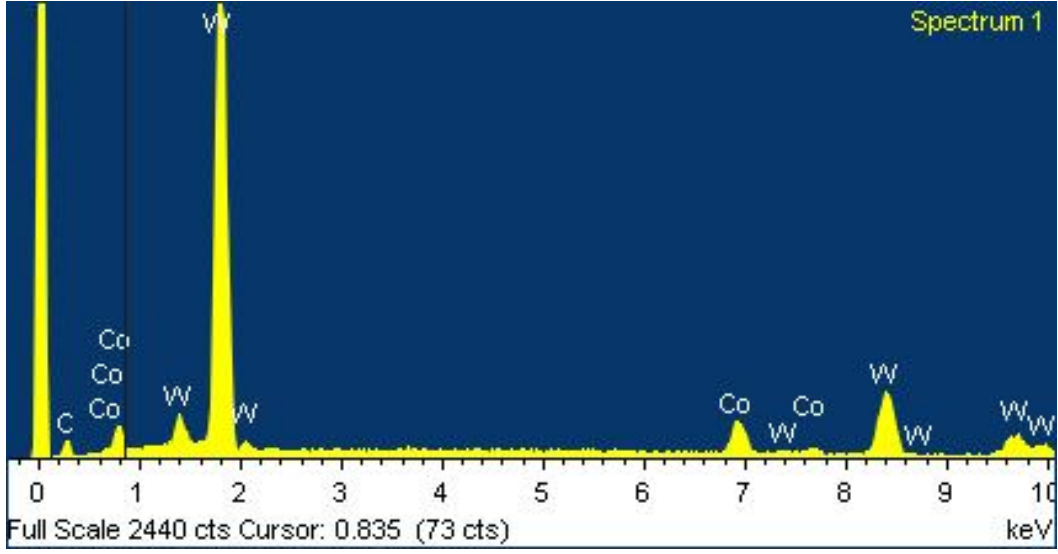


Şekil 3. Takımların taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Mikroskoptan alınan görüntüler incelendiğinde takımların üretimi sırasında ufak taneli seramiklerin kullanıldığı görülmektedir.

2.3.2 Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

Mikroskobun Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) özelliği kullanılarak numunelerin içerisinde bulunan maddelerin miktarları incelenmiştir.

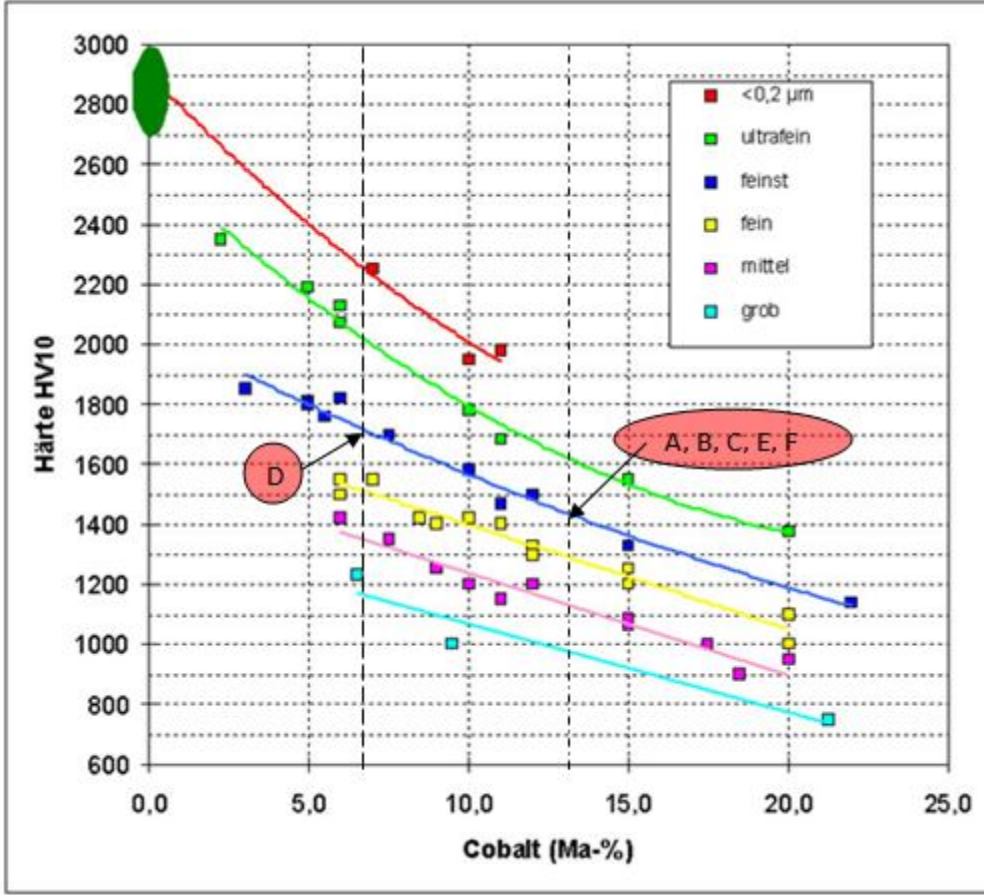


Şekil 4. Tungsten karbür kobalt malzemesi için örnek bir EDX spektrumu

Tablo 1. Takımların içeriklerinin element dağılımı yüzdeleri

	W		C		Co	
	Kütlesel	Atomik	Kütlesel	Atomik	Kütlesel	Atomik
A	79,8	30,36	9,85	57,36	10,35	12,29
B	83,06	37,04	7,25	49,49	9,69	13,47
C	83,59	38,89	6,56	46,73	9,34	13,56
D	84,4	35,29	8,68	55,57	6,2	8,08
E	82,19	35,6	7,64	50,65	10,18	13,75
F	83,87	40,44	5,98	44,15	9,48	14,26

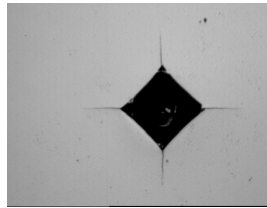
Takımların içerikleri incelendiğinde D takımının kobalt oranının diğer takımlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5'te de görüldüğü gibi tungsten karbür kobalt malzemesinde kobalt oranının azaltılması, malzemenin sertliğini arttırmaktadır.



Şekil 5. Tungsten karbür kobalt malzemesinin farklı tanecik boyutlarında sertlik kobalt oranı grafiği [13]

2.3.3 Mikro Sertlik Ölçümleri

Mikro yapının takımların sertliklerine olan etkisini görmek için numunelere elmas uçlar batırılmış ve eşzamanlı olarak bu izlerin mikroskop yardımıyla ölçülmesi sonucu takım malzemelerinin sertlik değerleri bulunmuştur.



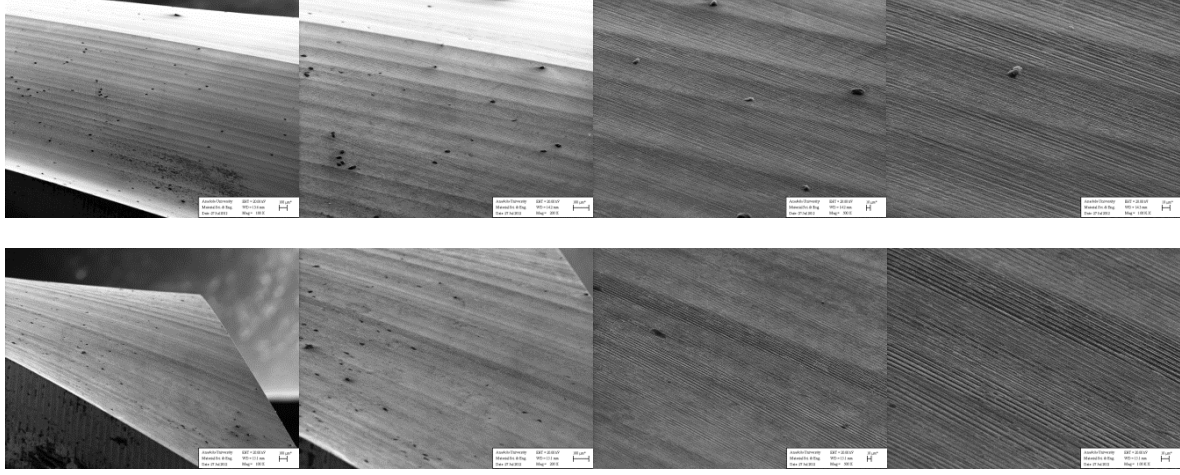
Şekil 4. Örnek bir mikro sertlik ölçümü görüntüsü (Takım B)

Tablo 2. Takımların Mikro sertlik Değerleri

	A	B	C	D	E	F
Sertlik (Gpa)	16	15,9	15,6	18,1	15,7	15,9

2.3.4 Yüzey taşlamasının incelenmesi

Aşınma testleri sonucunda en iyi performansı gösteren takımın kesici yüzeyi de SEM'de incelenmiş, yapılan perdahlama işleminin etkisi görüntülenmiştir.



Şekil 5. 100X, 200X, 500X, 1000X büyütmelerde takımların kesme yüzeyleri
(Üst sıra D takımı, alt sıra F takımı)

4. Gözlemler

Yapılan testler sırasında A, B, C, E ve F takımlarında aksel kaçıklıktan dolayı bir ağız diğerinden daha fazla tahrip olmuştur. D marka takımında ise aşınmalar iki kenarda paralel ilerlemiştir.

Aşınmalar bütün takımlarda radyal serbest kenarda gerçekleşmiş aksel kenarlarda bir aşınma görülmemiştir.

Bu testlere göre 6 takım arasından en kötü aşınma performansını A takımı, en iyi performansı ise D takımı göstermiştir.

D marka takım haricindeki diğer bütün takımların aşınmalarında ani kırılmalar ve radyal serbest kenarlarda lokal küresel oyuklar oluşurken D marka takımın aşınması tüm keskin kenar boyunca ve homojen ilerleme eğilimindedir.

Kuvvet testleri sonucunda B, E ve D takımları en az kuvvete maruz kalan 3 takım olurken aşınma testleri sonucunda D, E ve C takımlarının en az aşınan 3 takım olduğu anlaşılmıştır.

Takımların üretildiği malzemeler incelendiğinde testlere tabi tutulan 6 takımın 5'inin %10 kobalt içeren seramikten imal edildiği D marka takımında ise kobalt oranının %6 olduğu görülmektedir.

Yine D marka takımında kesme işleminin gerçekleştiği bölgede yapılan taşlamanın yüzey pürüzlüğünü azalttığı görülmektedir. Aşınma eğrilerinin bir doğruyu izlediği varsayılır ve takımların serbest yüzeydeki aşınma miktarları 300 mikrona ulaşınca ömürlerini doldurdukları kabul edilirse takımların bir metreküp malzemeyi ne kadar maliyetle kaldıracakları hesaplanabilir. Bu araştırmada çıkan takım maliyeti-performans sonuçları şöyledir;

Tablo 3 görüleceği üzere, en iyi ve en düşük performansı gösteren takımlar arasında 7 kat, en iyi performansı gösteren D takımına en yakın performansı gösteren C takımı arasında 3.8 kat fark gözlenmiştir.

Tablo 3. Takım Performansları

	A	B	C	D	E	F
Performans (€/m ³)	651	569	459	120	840	755

5. Sonuçlar

Yapılan testler ve çalışmalar sonucunda alüminyumun frezelenmesi sırasında performansı doğrudan etkilediği görülen önemli bazı hususlar vardır. Bu durumları dikkate alarak alüminyum kesmek için kullanılacak bir frezenin sahip olması gereken özellikler şöyle sıralanabilir;

Alüminyumun kesme kenarına sıvanması önlenmeli ya da asgariye indirilmelidir. Kesme kenarında sıvanan ve biriken alüminyum takımın kesme yeteneğini önemli ölçüde azaltmakta ve performansı olumsuz etkilemektedir. Bu sıvanmayı engellemek için kenarın mümkün olduğu kadar keskin olması ve öyle kalması gerekmektedir. Takımın daha keskin olması için ise içerdiği tungsten karbür taneciklerinin mümkün olduğu kadar küçük olmasını gerektirmektedir. Bu yaklaşım geleneksel kesme işlemleri için doğru olsa da küçük tanecikli yapının oluşturulması ve korunması için kobalt matrisin içeriğinin artırılması gerekmektedir. Ancak alüminyum frezelenmesi sırasında çıkılan yüksek sıcaklıklarda alüminyum ile kobalt tepkimeye girmekte ve takımın üzerindeki kobalt alüminyum atomlarına bağlanarak sıvanmayı arttırmaktadır. Bu nedenle alüminyum kesmek için kullanılacak bir frezenin sertliğini arttırmak için tanecik boyutu ve kobalt içeriğinin arasında bir denge sağlanmalıdır.

Bu kimyasal özellikler dışında fiziksel olarak freze yüzeyinin pürüzlülüğü arttıkça alüminyumun sıvanması ihtimali de artmaktadır. Aşınma testlerinde en iyi performansı veren D marka takımın kesim yapılan bölgesinin perdelama işlemine tabi tutulduğu görülmüştür. Alınan SEM görüntülerinden de bu işlemin yüzey kalitesini arttırdığı görülmüştür.

Kesme işlemi sırasında oluşan talaş kesme işleminin gerçekleştiği bölgeden hızla uzaklaştırılmalıdır. Alüminyum göreceli olarak yumuşak bir malzeme olduğundan genelde yüksek hızlarda kesilir ve bu nedenle büyük ve fazla miktarda talaş çıkartır. Özellikle çok ağızlı ve yüksek helis açılı frezeler daha fazla talaş kaldırmaya olanak sağlarlar da, yüksek helis açısının ilk anda talaşı parçadan daha hızlı kaldırması daha fazla ısı oluşmasına neden olur. Bu da alüminyumun takıma sıvanma ihtimalini artırır. Ayrıca kesme sırasında oluşan bu yüksek sıcaklıktaki talaşların kesme işleminin gerçekleştiği bölgeden hızla uzaklaştırılması gereklidir. Bunun için frezenin tasarımının talaşın tahliye edilmesini sağlayacak bir hacme sahip olması gerekmektedir. İşte bu nedenle düşük helis açılı ve iki ağızlı freze geometrisi alüminyum işleme için daha uygundur. Bunların yanı sıra mümkün olduğu kadar keskin bir kesme kenarı alüminyumun esnemenen kesilmesini sağlayarak kesme işlemi için harcanacak enerjiyi azaltacaktır. Keskin kesme kenarının sağlanması ise yukarıda belirtildiği gibi mikro yapıya bağlıdır.

Kaynaklar

Altintas, Y. (2000), "Manufacturing Automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design", Cambridge University Press.

Wang, S.-M., Chiou, C.-H., & Cheng, Y.-M. (2004). An improved dynamic cutting force model for end-milling process. *Journal of Materials Processing Technology*, 148(3), 317-327.
doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.02.034

Hamade, R. F., Seif, C. Y., & Ismail, F. (2006). Extracting cutting force coefficients from drilling experiments. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(3-4), 387-396.
doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.05.016

Fang, N., & Wu, Q. (2005). The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(10), 1178-1187.
doi:10.1016/j.ijmachtools.2004.12.003

Yang, Y., Zhang, W.-H., & Wan, M. (2011). Effect of cutter runout on process geometry and forces in peripheral milling of curved surfaces with variable curvature. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(5), 420-427. Elsevier. doi:10.1016/j.ijmachtools.2011.01.005

Dang, J.-W., Zhang, W.-H., Yang, Y., & Wan, M. (2010). Cutting force modeling for flat end milling including bottom edge cutting effect. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(11), 986-997. Elsevier. doi:10.1016/j.ijmachtools.2010.07.004

Gatto, A., Bassoli, E., & Iuliano, L. (2010). Performance Optimization in Machining of Aluminium Alloys for Moulds Production: HSM and EDM. *Aluminum alloys , Theory and Applications*, 354-376.
intechopen.com.

Tang, Z. T., Liu, Z. Q., Pan, Y. Z., Wan, Y., & Ai, X. (2009). The influence of tool flank wear on residual stresses induced by milling aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(9), 4502-4508. doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.10.034

Rubio, E. M., Camacho, a. M., Sánchez-Sola, J. M., & Marcos, M. (2005). Surface roughness of AA7050 alloy turned bars. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 682-689.
doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.096

Sánchez, J. M., Rubio, E., Álvarez, M., Sebastián, M. a., & Marcos, M. (2005). Microstructural characterisation of material adhered over cutting tool in the dry machining of aerospace aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 911-918.
doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.058

Dinc, C., Lazoglu, I., Serpenguzel, A., 2008, "Analysis of thermal fields in orthogonal machining with infrared imaging", *Journal of Materials Processing Technology*, vol.198, pp.147-154.

Lazoglu, I., Islam, C., "Modeling of 3D Temperature Fields for Oblique Machining", *CIRP Annals*, Vol. 61/1, 127-130, 2012.

<http://www.nanopartikel.info/cms/lang/en/Wissensbasis/wolframcarbide>