

# Serbest Formlu İnce Cidarlı AA 5083-H111 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkilerini Deneysel ve İstatistiksel Değerlendirilmesi

Uğurcan ÇELİK<sup>1</sup>, Barış ÖZLÜ<sup>2\*</sup>, Halil DEMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Plascam Plastik Otocam Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kalıp Tasarım Bölümü, Gebze/Kocaeli

<sup>2\*</sup>Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Aksaray

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

Sorumlu yazar e-posta\*: barisozlu@aksaray.edu.tr

Ucelik@plascam.com

hdemir@karabuk.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8594-1234>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7434-4488>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9802-083X>

Geliş Tarihi: 18.07.2022

Kabul Tarihi: 02.03.2023

## Öz

**Anahtar kelimeler**  
AA 5083-H111 alaşımı;  
Serbest form; İnce  
cidar; Yüzey  
pürüzlülüğü; Taguchi  
yöntemi

Bu çalışmada, kuru işleme koşullarında serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımın kaplamasız karbür parmak freze ile işlenmesinde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Ayrıca en düşük yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemi ve regresyon analizi uygulanmıştır. Deneysel tasarım Taguchi L32 (21x42) dizinine göre hazırlanmıştır. Deneysel ve analiz sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için optimum kesme parametre seviyeleri A2B1C4 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak) belirlenmiştir. ANOVA analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için yapılan regresyon analiz sonuçlarında ikinci derece regresyon analiz sonuçları lineer regresyon sonuçlarına göre gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmüştür.

## Experimental and Statistical Evaluation of the Effects of Cutting Parameters on Surface Roughness in Milling of Freeform Thin-Walled AA 5083-H111 Alloy

### Abstract

**Keywords**  
AA 5083-H111 alloy,  
Free form, Thin wall,  
Surface roughness,  
Taguchi method

In this study, freeform thin-walled AA 5083-H111 alloy under dry machining conditions focused on determining the effects of wall thickness, cutting speed, and feed rate on surface roughness in machining uncoated carbide end mills. In addition, Taguchi method and regression analysis were applied to determine the optimum cutting parameters for the lowest surface roughness. The experimental design was prepared according to the Taguchi L32 (21x42) array. According to the test and analysis results, optimum cutting parameter levels A2B1C4 (5 mm wall thickness, 0.05 mm/tooth feed rate and 200 m/min) were determined to minimize the surface roughness. According to the ANOVA analysis results, it was determined that the most effective cutting parameter on the surface roughness was the feed rate with 57.14%. In the regression analysis results for the surface roughness, it was seen that the second-order regression analysis results gave the closest results to the true values according to the linear regression results.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Teknolojinin ilerlemesi ve üretim tekniklerinin gelişmesi ile beraber üretim endüstrisinde farklı birçok ürünün imalatında Alüminyum alaşımları

kullanılmaktadır (Mia *et al.* 2018). Alüminyum alaşımları, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, korozyon direnci, iyi şekillendirilebilirlik ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, havacılık, otomotiv, gemi yapımı, plastik kalıplama ve

elektronik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri bünyesinde bulundurmaları ve bu kadar yaygın bir kullanım yelpazesine sahip olması nedeni ile Alüminyum alaşımları dünya metal sektöründe çelikten sonra en çok kullanılan mühendislik malzemelerinin ikincisi olmasına neden olmuştur (Il *et al.* 2018, Cheng *et al.* 2020, Özlü 2021). Alüminyum alaşımlı ince duvarlı parçaların işlenmesi sırasında düşük sertlik nedeniyle ince duvarlar elastik olarak deforme olacağı bildirilmiştir (Qin *et al.* 2019). Bünyesinde ince duvar bulduran Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde elastik deformasyon yaygın bir sorundur. Özellikle ince duvarlı parçaların işlenmesi sonucu performans değerlendirilmesinde en önemli çıktı parametrelerinden biride yüzey pürüzlülüğüdür. İnce duvarlı parçaların üretilmesinde yüzey pürüzlülüğü değeri, parçanın aşınma direncini, yorulma mukavemetini, korozyon direncini, yağlamayı ve sürtünmeyi doğrudan etkilemektedir (Cagan *et al.* 2020, Vakondios *et al.* 2012). İnce duvarlı ürünler, eklemeli imalat teknolojileri, enjeksiyon kalıplama, dövme, döküm, talaşlı imalat yöntemleri (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) veya elektro erozyon işleme ile üretilebilir (Isaev *et al.* 2016). Genellikle ince duvarlı parçaların işlenmesinde en yaygın işleme yöntemlerinden biride frezeleme yöntemidir. Bu nedenle Alüminyum alaşımlı ince duvarlı bileşenlere sahip parçaların işlenmesinde, istenen boyutsal doğruluk ve üstün yüzey kalitesine ulaşmak için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bazı araştırmacıların ince duvarlara sahip parçaların işlenmesinde istenen boyutsal doğruluk ve üstün yüzey kalitesine ulaşmaya odaklanarak kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Shamsuddin *et al.* (2013) çalışmalarında ince duvarlı alüminyum parçaların frezelenmesinde farklı işleme stratejilerinin bir karşılaştırmasına odaklanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, işleme süresi ve duvar kalınlığının doğruluğu ile ilgili sınırlamaların, ince duvarlı parçaların işlenmesinde yüksek verimlilik elde edilmesi açısından çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Dutta *et al.* (2017) yaptıkları çalışmada, firefly algoritmasını kullanarak

kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım çapının değiştirilmesiyle verimli kapalı ince duvarlı cebin işlenmesi için optimal proses parametrelerini incelediler. Deney sonuçlarına dayanarak, takım çapının yüzey pürüzlülüğü üzerine en büyük etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Qu *et al.* (2017), ince duvarlı parçaların frezelenmesinde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için optimum işleme parametrelerini belirlemek ve doğrulamak için bir optimizasyon tekniği uygulamışlardır. Sonuç olarak, kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu için ikinci dereceden polinom modelleri geliştirmişlerdir. Diş başına ilerleme ve kesme derinliğinin artırılması hem kesme kuvvetinin hem de yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, iş mili hızının artmasının bu iki çıktı hedef üzerinde zıt etki yarattığını belirtmişlerdir. Vukman *et al.* (2020), AA 7075 alaşımında ince duvarlı parçaların frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü analiz etmek amacıyla bulanık mantığın geliştirilmesini ve uygulanmasını sunmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü için karşılaştırılan verilerin ortalama sapması %12,3 idi. ANOVA analizine ve bulanık modele dayanarak, minimum yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en iyi işleme stratejisinin Spiral takım yolu olduğu sonucuna varmışlardır. Öte yandan, Zigzag takım yolunda en büyük yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandığını görmüşlerdir. Ayrıca ilerleme miktarı ve et kalınlığı gibi diğer parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Son olarak, girdi parametrelerinin analizi ve mümkün olan en iyi çözümün elde edilmesi amacıyla bulanık mantık uygulamasının başarıyla gerçekleştirildiği sonucuna varmışlardır. Wang *et al.* (2021), ince cidarlı 7075-T651 alüminyum alaşımının mısır nişastası süspansiyonu kullanılarak frezelenmesinde titreşimi bastırarak yüzey kalitesini artırmak için bir dizi kesme deneyi ve teorik simülasyon yapmışlardır. Deneysel ve teorik sonuçlarda mısır nişastasının titreşimi azalttığı ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Oliveira *et al.* (2018), çark ve kanat imalatına katkı sağlamak amacıyla 4 eksenli CNC tezgahında ince cidarlı H13 takım çeliği parçaların frezelenmesinde uygulanan kesme parametrelerinin form hataları ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmişlerdir.

Form hatası üzerine en etkin kesme parametresinin işleme yönü olduğunu kesme parametrelerinin artmasının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını rapor etmişlerdir.

Üretim endüstrisinde ve mühendislik uygulamalarında serbest formlu ince cidarlı parçaların üretiminde AA 5083-H111 alaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak ince cidarlı alüminyum alaşımların işlenmesinde en büyük sıkıntılardan biri işleme sırasında iş parçasının elastik olarak deforme olmasıdır. Literatürde özellikle ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının işlenmesinde bu sorunun giderilmesi konusunda yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür.

Bu nedenle yapılan çalışmada AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerine odaklanmıştır. Ayrıca Taguchi yöntemi ile optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Sinyal/Gürültü (S/N) oranı, yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresinin tayininde varyans (ANOVA) analizi ve regresyon analizi yapılarak istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır.

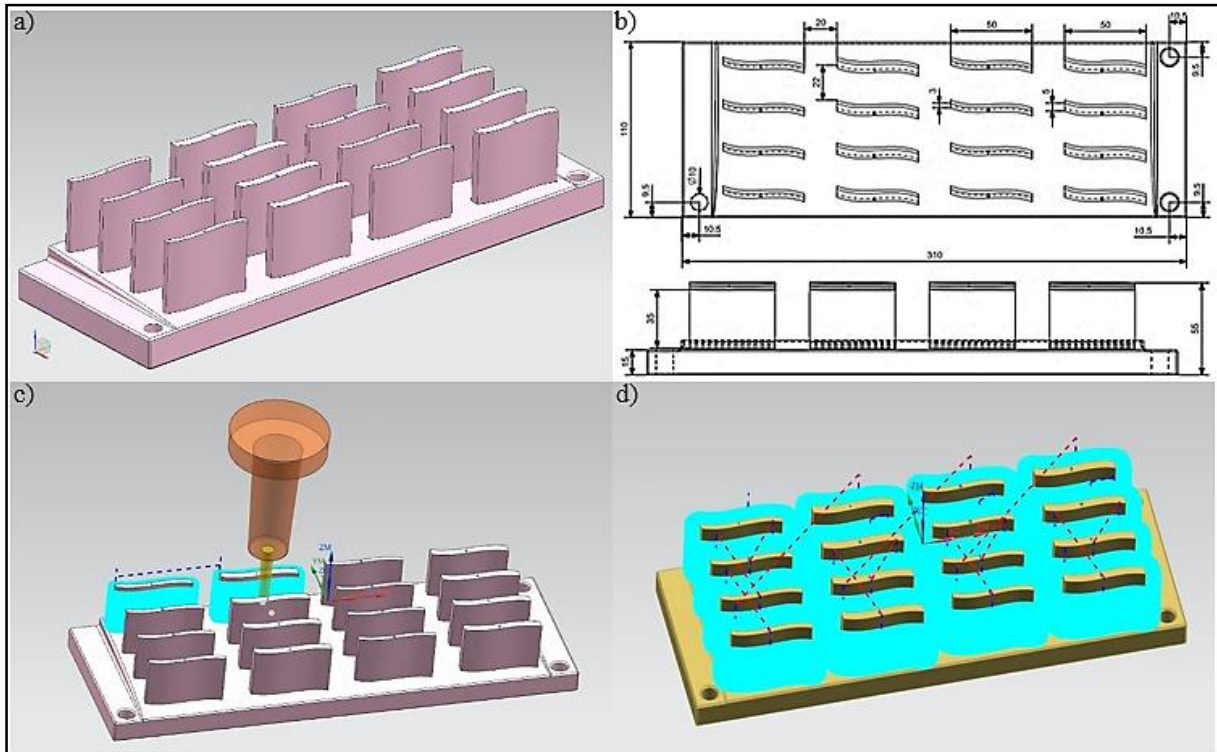
## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, iş parçası olarak 130x330x75 mm boylarında iki adet AA 5083-H111 ticari olarak temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan AA 5083-H111 alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** AA 5083-H111 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Element	% Ağırlık	Element	% Ağırlık
Fe	0,40	Zn	0,25
Si	0,40	Cr	0,21
Cu	0,10	Ti	0,15
Mn	0,48	Al	Kalan
Mg	4,72		

Deneylerde kullanılan numuneler 110x310x55 mm boyutlarında işlenmiştir. İlk olarak işlenecek iş parçasının tasarımı NX programında yapılmıştır. Tasarlanan parçanın CNC işleme merkezinde işlenebilmesi için takım yolu hazırlanmış ve bunun için spiral takım yolu dıştan içe doğru hareket seçilmiştir. Son olarak NC kodları çıkarılmıştır. Şekil 1'de tasarlanan iş parçası, ölçüleri, iş parçası için hazırlanan takım yolu ve görünüşü verilmiştir.



**Şekil 1.** (a) Tasarlanan iş parçası. (b) Tasarlanan iş parçasının ölçüleri. (c) Takım yolunun hazırlanması. (d) Takım yolunun üst görünüşü.

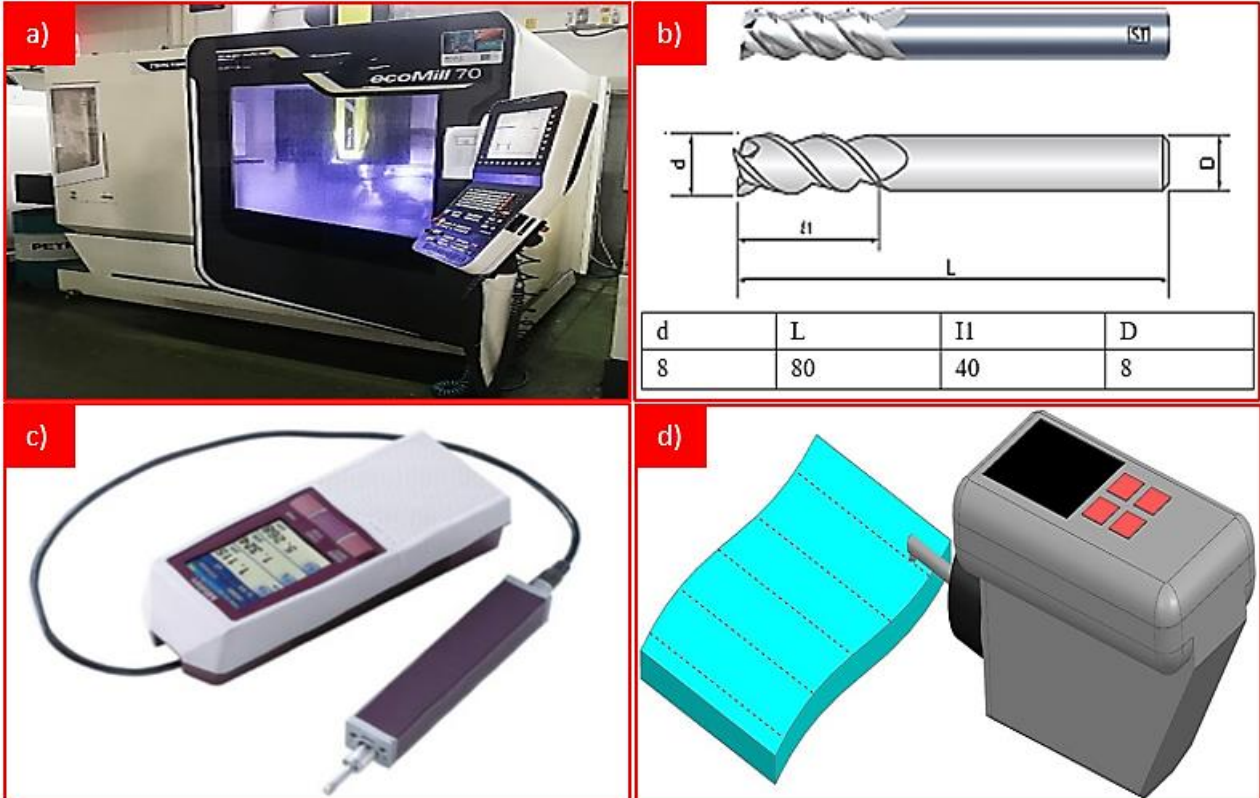
Deneyler 28 kW güce, iş mili maksimum 12000 dev/dak olan Siemens kontrol ünitesine sahip DMG MORI Ecomil 70 5 eksenli CNC işleme merkezinde yapılmıştır. Deneylerde 8 mm çapa sahip dört ağızlı, kaplamasız yekpare karbür parmak freze kullanılmıştır. Deneyler sırasında kesme parametrelerinin ve cidar kalınlığının yüze pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemek için işlenen yüzeylerin pürüzlülükleri Mitutoyo Surface SJ-210 model yüze pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi için iş parçası açılı mengeneye bağlanmıştır. Ölçümler işleme yönüne dik her yüzeyden dört ölçüm yapılmıştır. Elde edilen ölçümlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak ortalama yüze pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir. Şekil 2’de deneylerde kullanılan CNC işleme merkezi, karbür parmak freze ve yüze pürüzlülük cihazı görülmektedir.

Özellikle talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda deney sayısını azaltmak, ürün kalitesini artırmak, üretim ve test

maliyetlerini düşürmek için birçok optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında mühendislik analizlerinde en yaygın kullanılanı Taguchi metodudur. Bu yöntem optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunar. Bunun için AA 5083-H111 alaşımında ince cidarların frezelenmesinde en düşük Ra değerlerinin belirlenmesi için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bunun için seçilen kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 2’de sunulmuştur. Seçilen kesme parametrelerine göre deney tasarımı, Taguchi L32 ( $2^1 \times 4^2$ ) dizinine göre hazırlanmıştır.

**Çizelge 2.** Frezeleme deneyleri için kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme Parametreleri	Seviyeler			
		1	2	3	4
A	Cidar kalınlığı (Ck), mm	3	5	-	-
B	İlerleme Miktarı (f), mm/diş	0,05	0,1	0,15	0,2
C	Kesme Hızı (Vc), m/dk	80	120	160	200



**Şekil 2.** (a) DMG MORI Ecomill 70 5 eksenli CNC işleme merkezi. (b) Karbür parmak freze ve teknik bilgileri. (c) Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük cihazı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

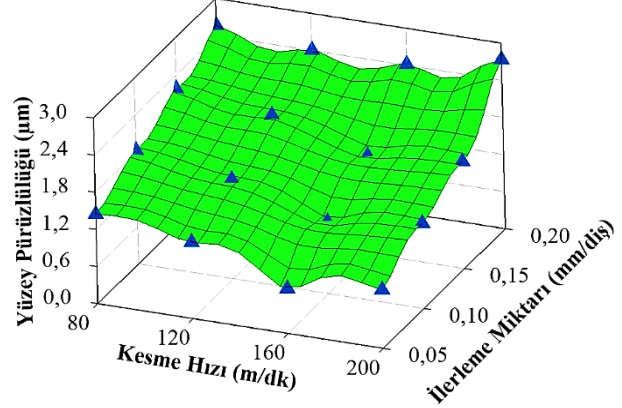
#### 3.1 Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Günümüzde ince cidarlı bileşenlere sahip serbest biçimli geometriler içeren ürünler özellikle elektronik, otomotiv, havacılık ve uzay sanayinde karmaşık ve pahalı ürünler olarak bulunmaktadır. Özellikle bu parçaların talaşlı imalatla üretilmesinde kesme parametrelerinin uygun seçilmesi üretim sürecini, işlenen parçadaki yüzeylerin durumunu ve imalat maliyetini etkilemektedir (Cheng et al. 2020, Vukman et al. 2020). Bunun için yapılan çalışmada, serbest olarak tasarlanan 3 mm ve 5 mm kalınlığında ince duvarlara sahip parçaların dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir.

3 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 3'de görülmektedir. 3 mm cidar kalınlığına sahip numunelerin frezelenmesi sonucu Ra değerleri 0,72  $\mu\text{m}$  ile 2,73 arasında değişme göstermiştir. 80 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/diş ilerleme miktarında Ra değeri 1,449  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1-0,15-0,2 mm/diş çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değeri sırası ile %26,29, %51 ve %77,09 arttığı görülmüştür. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızının 120-160-200 m/dk çıkarılmasıyla Ra değeri 80 m/dk kesme hızına göre sırası ile %16, %50,31 ve %34,92 oranlarında azaldığı görülmüştür. 3 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dk kesme hızında frezelenmesinde minimum Ra değeri 0,72  $\mu\text{m}$  ölçülürken, maksimum Ra değeri 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dk kesme hızında 2,73  $\mu\text{m}$  olmuştur.

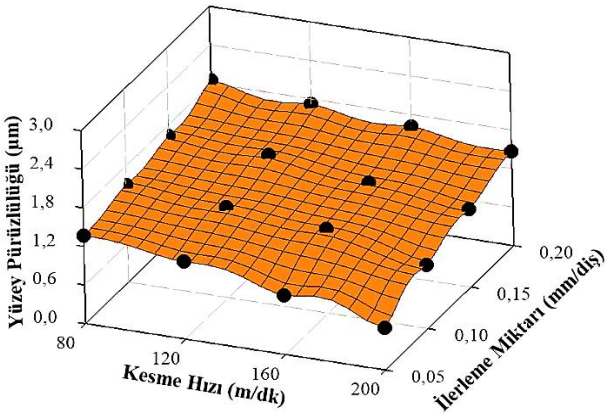
Şekil 4'de 5 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının dört farklı kesme hızında ve dört farklı

ilerleme miktarında işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğündeki değişimler verilmiştir. 5 mm cidar



**Şekil 3.** 3 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

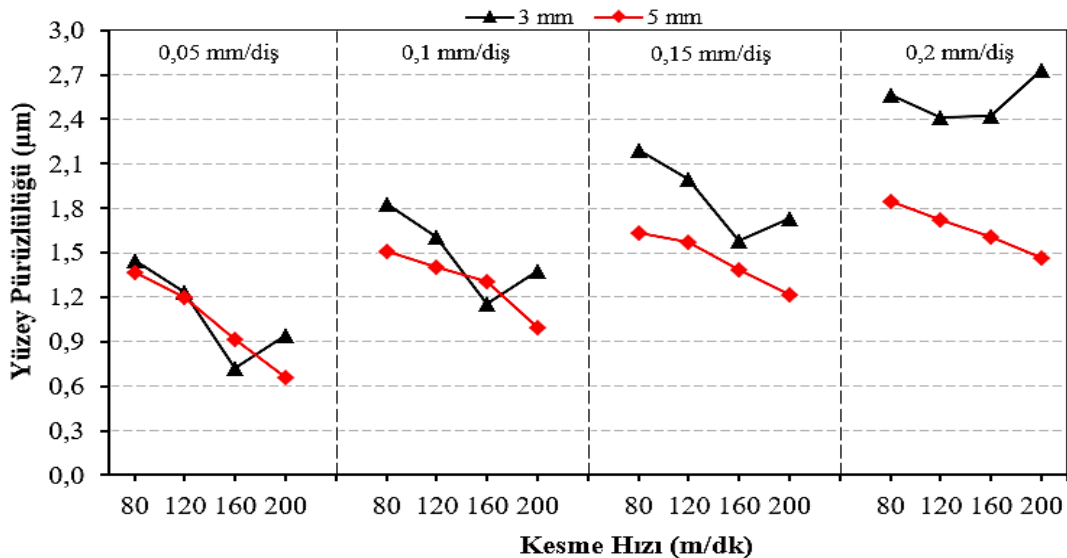
kalınlığına sahip numunelerin frezelenmesinde Ra değerlerinde 0,657  $\mu\text{m}$  ile 1,85  $\mu\text{m}$  arasında değişimler olmuştur. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 80 m/dk kesme hızında Ra değeri 1,371  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Ancak aynı kesme hızında ilerleme miktarının sırası ile 0,1-0,15-0,2 mm/diş çıkarılması ile Ra değeri sırası ile %10,21, %18,9 ve %34,94 artmanın olduğu tespit edilmiştir. 0,05 mm/diş ilerleme miktarında kesme hızının 120-160-200 m/dk çıkarılmasıyla Ra değeri 80 m/dk kesme hızına göre %12,33, %32,97 ve %52 oranlarında azalmanın olduğu görülmüştür. 5 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dk kesme hızında frezelenmesinde minimum Ra değeri 0,657  $\mu\text{m}$  ölçülürken, maksimum Ra değeri 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 80 m/dk kesme hızında 1,850  $\mu\text{m}$  olmuştur.



**Şekil 4.** 5 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

Yapılan çalışmada genel olarak kesme hızının artırılması ile azalan yüzey pürüzlülük değerleri, kesici takım üzerinde BUE oluşum eğiliminin azalması ile açıklanabilir. Alüminyum gibi malzemelerin işlenmesinde yüksek süneklilik kesici takımda BUE oluşum eğilimini artırır. İşleme sırasında kesici takım ucunda oluşan BUE, kararsız yapısı nedeniyle zayıf bir yüzey kalitesine neden olur. Dolayısıyla düşük kesme hızında kesici takım üzerinde meydana gelen BUE yüzey pürüzlülük değerinin artmasına ve zayıf bir yüzey oluşmasına neden olacağı bildirilmiştir. Kesme hızının artırılması ile azalan yüzey pürüzlülüğünü, takım/talaş ara yüzey sıcaklığının artması ile BUE oluşum eğiliminin azalması ile açıklanabilir (Barbosa et al. 2006, Demir and Gündüz 2019).

Şekil 5'de farklı kesme hızlarında ve ilerleme miktarında 3 mm ve 5 mm kalınlığında ince



duvarlara sahip AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde duvar kalınlığına bağlı Ra değişimi gözükmemektedir. Genel olarak 3 mm ve 5 mm kalınlığında ince duvarlara sahip AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme hızının artması ile Ra değerleri azalırken ilerleme miktarının artmasıyla Ra değerlerinin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Ancak 3 mm cidar kalınlığına sahip AA 5083-H111 alaşımının 160 m/dk kesme hızına kadar işlenmesinde Ra değerinin azaldığı bu noktadan sonra kesme hızının 200 m/dk çıkarılması ile Ra değerinin arttığı görülmüştür.

Deney sonuçlarına göre duvar kalınlığının artması ile yüzey pürüzlülüğünün daha düşük çıktığı Şekil 5'de görülmektedir. Özellikle kesme hızının artması ile ince cidarlı parçalarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Kesme hızının artması tezgâh fener milinin dönüş hızının (devir sayısının) artmasına neden olmakta buda tezgâh ve iş parçasının titreşiminin artmasına neden olmaktadır. Bu durumun ince cidarlı parçaların titreşimden daha fazla etkilenmesine neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak talaşlı imalat işlemlerinde titreşimin artması yüzey pürüzlülüğünü artmasına neden olduğu bilinmektedir (Şahinoğlu et al. 2017). Literatürdeki bir başka çalışmada titreşim ve pürüzlülük ilişkisi, artan ilerleme miktarı ile helis kanallardaki derinliğin artması, artan ilerleme ile yüzeyden koparılan talaşın derinliğinin dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olacağı bildirilmiştir (Şahinoğlu and Rafiği 2021).

**Şekil 5.** AA 5083-H111 alaşımının farklı kesme parametrelerinde frezelenmesinde duvar kalınlığına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi.

### 3.2 Sinyal-Gürültü (S/N) oranının analizi

Yapılan çalışmada en küçük Ra değeri için kesme parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi yöntemi seçilmiştir. Taguchi yöntemiyle kesme parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde Sinyal/Gürültü (Signal-to-Noise, S/N) oranı olarak adlandırılan istatistiksel bir ölçüt kullanılmaktadır. Çalışmanın temel amacı en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri istendiğinden S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan üç ana karakteristikten biri olan “En Küçük En İyi” yaklaşımı verilmiş ve Eşitlik 1’de verildiği gibi hesaplanmıştır (Özlu *et al.* 2019, Çırakoğlu *et al.* 2021, Uğur *et al.* 2020).

$$S/N = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum y^2 \right) \quad (1)$$

Deneyler sonucu elde edilen Ra sonuçları ve S/N oranı Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3’de verilen Ra değerlerinden faydalanarak ortalama Ra değeri 1,554 µm iken, buna karşılık gelen ortalama S/N değeri -3,367 dB olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.** Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	Ra (µm)	Ra S/N (dB)	Deney No	Ra (µm)	Ra S/N (dB)
1	1,449	-3,221	17	1,371	-2,741
2	1,232	-1,812	18	1,202	-1,598
3	0,720	2,853	19	0,919	0,734
4	0,943	0,510	20	0,657	3,649
5	1,830	-5,249	21	1,511	-3,585
6	1,605	-4,110	22	1,406	-2,960
7	1,158	-1,274	23	1,306	-2,319
8	1,376	-2,772	24	0,992	0,070
9	2,188	-6,801	25	1,630	-4,244
10	1,998	-6,012	26	1,571	-3,924
11	1,583	-3,990	27	1,383	-2,816
12	1,727	-4,746	28	1,214	-1,684
13	2,566	-8,185	29	1,850	-5,343
14	2,408	-7,633	30	1,720	-4,711
15	2,418	-7,669	31	1,610	-4,137

16	2,730	-8,723	32	1,464	-3,311
----	-------	--------	----	-------	--------

Ra için kesme parametrelerinin optimum seviyelerine ait S/N yanıt tablosu Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4’de verilen Ra değerleri için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri Şekil 5’deki grafikte verilmiştir. Herhangi bir kesme parametresi için en iyi seviye o kesme parametresinin tüm seviyeleri içerisindeki en büyük S/N oranını ifade etmektedir. Buna göre Ra için optimum seviyeleri veren kesme parametrelere seviyeleri A2B1C4 (5 mm, 0,05 mm/diş ve 200 m/dak) olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

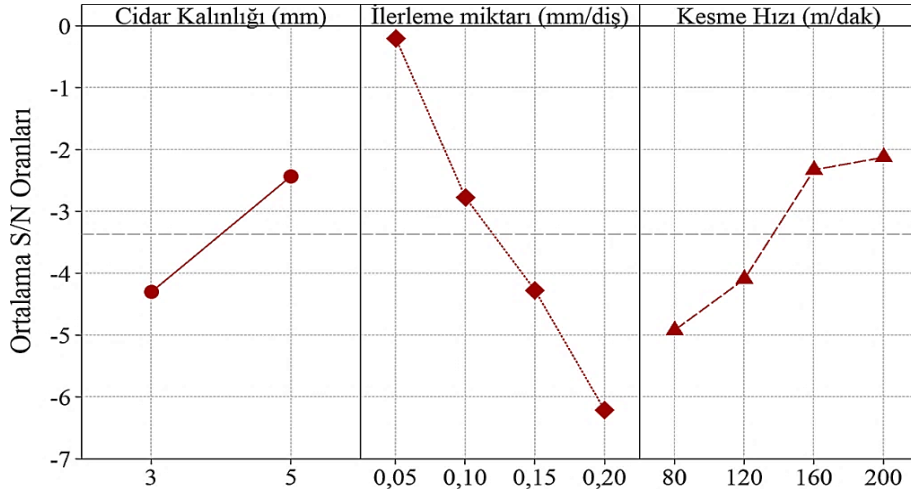
**Çizelge 4.** Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Kesme Parametreleri			
Seviyeler	Ck (mm)	f (mm/diş)	Vc (m/dk)
Seviye 1	-4,302	-0,203	-4,921
Seviye 2	-2,433	-2,775	-4,095
Seviye 3		-4,277	-2,327
Seviye 4		-6,214	-2,126
Delta	1,870	6,011	2,795

### 3.3 Varyans analizi (ANOVA)

Cidar kalınlığının, ilerleme miktarının ve kesme hızının Ra üzerine etkilerini belirlemek için %95 güven seviyesinde Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ra için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5’deki P değeri 0.05’den küçük olması kesme parametrelerinin Ra üzerine etkisini istatistiksel olarak anlamlı olacağını bildirmişlerdir (Çırakoğlu *et al.* 2021, Işık *et al.* 2021, Akgün *et al.* 2021).

Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametrelerinin Ra üzerine yüzde etki oranlarını Çizelge 5’de verilmiştir. Ra üzerine en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %14,64 cidar kalınlığı ve %12,34 ile kesme hızı takip etmiştir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.

Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Ck (mm)	1	1,1724	1,1724	22,12	0,000	14,64
f (mm/diş)	3	4,5750	4,5750	28,78	0,000	57,14
Vc (m/dk)	3	0,9882	0,9882	6,22	0,003	12,34
Hata	24	1,2717	1,2717			15,88
Toplam	31	8,0073				100

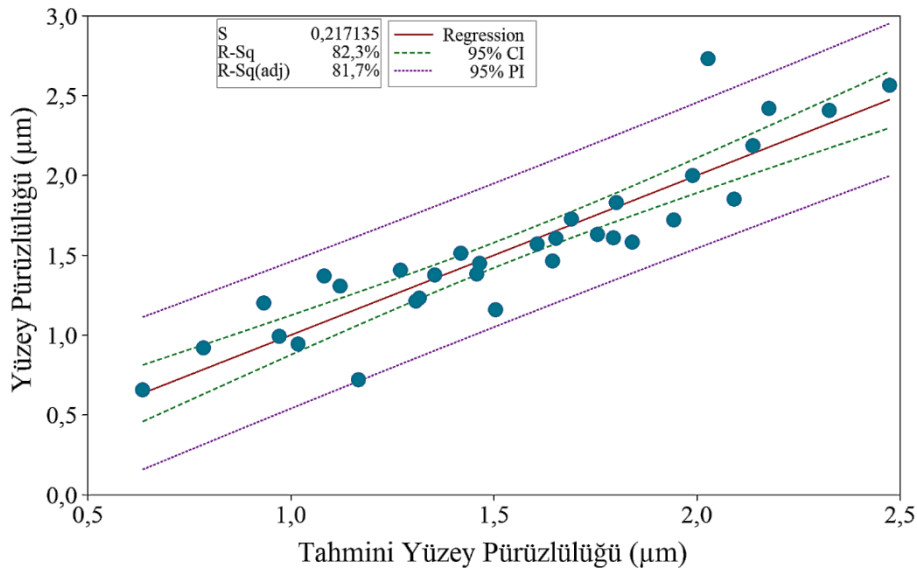
### 3.4. Regresyon analizi

Deneysel olarak kullanılan kesme parametreleri ile  $R_a$  arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır.  $R_a$ 'nın tahmini için lineer ve ikinci dereceden regresyon modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur.  $R_a$  için elde edilen lineer regresyon modelleri Eşitlik 2'de verilmiştir. Lineer regresyon modeli ile  $R_a$  için elde edilen denklem korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) %82,34 hesaplanmıştır.  $R_a$  için elde

edilen deney sonuçları ile lineer regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir.

$$R_a (\mu m) = -2,0 - 0,1914Ck + 6,732f - 0,003725 Vc \quad (2)$$

$$R^2 = \%82,34 \quad R^2 (\text{Düzeltilmiş}) = \%80,44$$



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile lineer regresyon modeliyle elde edilen tahmini değerlerinin karşılaştırılması.



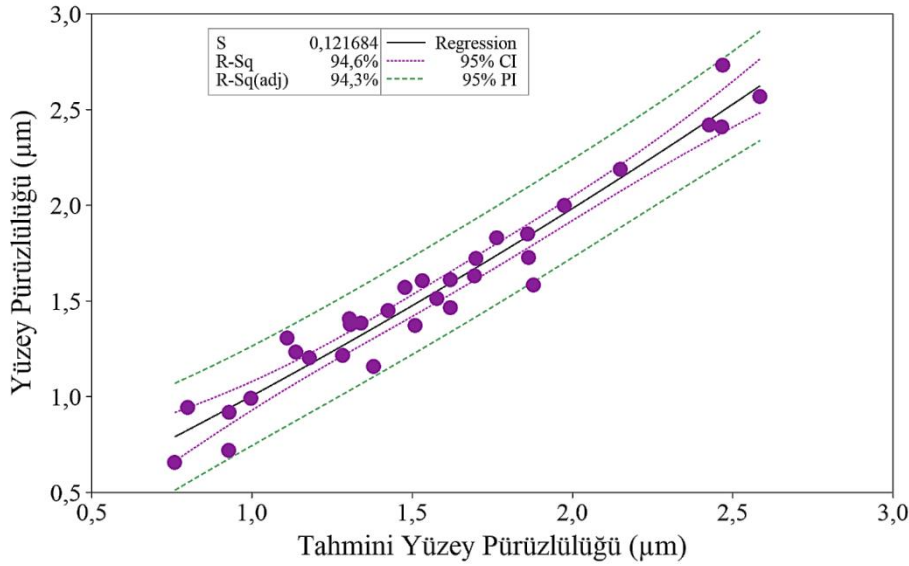
Ancak yapılan analiz %95 güven seviyesinde yapıldığı için elde edilen tahmini Ra değerleriyle gerçek Ra değerleri arasındaki farkın fazla olmasından dolayı kesme parametrelerin etkileşimlerini de kapsayan ikinci dereceden denklem üretilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için daha yüksek tahmin gücünün elde edilmesi amacıyla oluşturulan ikinci dereceden regresyon modeli Eşitlik 3'de görülmektedir. İkinci dereceden regresyon modeli ile yüzey pürüzlülüğü için elde edilen denklem katsayısı (R<sup>2</sup>) %94,49 hesaplanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen deney sonuçları ile ikinci dereceden regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini sonuçların karşılaştırılması Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde

gerçek değerlere en yakın sonuçlar ikinci dereceden regresyon modeli ile hesaplanan tahmin değerlerin olduğu görülmüştür.

$$Ra (\mu m) = 1,411 + 0,2181 Ck + 0,01208 Vc + 9,76 f * f + 0,000025 Vc * Vc - 2,698 Ck * f - 0,000516 Ck * Vc + 0,02825 f * Vc \quad (3)$$

$$R^2 = \%94,49 \quad R^2 (\text{Düzeltilmiş}) = \%92,57$$



Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ile ikinci dereceden regresyon modeliyle elde edilen tahmini değerlerinin karşılaştırılması.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AA 5083-H111 alaşımın kuru koşullarında dört ağızlı kaplamasız yekpare karbür parmak freze ile işlenmesinde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Ayrıca işleme parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular şu şekilde özetlenmiştir:

- ❖ 3 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,72 µm iken 5 mm cidar

kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,657 µm ölçülmüştür.

- ❖ 3 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülüğü 2,73 µm iken 5 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 80 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülüğü 1,85 µm ölçülmüştür.
- ❖ Yüzey pürüzlülüğünün optimum değerleri için yapılan optimizasyon sonucu kesme parametrelere seviyeleri A2B1C4 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 200 m/dak) elde edilmiştir.

- ❖ ANOVA analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametresi %57,14 ile ilerleme miktarı olmuştur. Bunu sırası ile %14,64 cidar kalınlığı ve %12,34 ile kesme hızı takip etmiştir.
- ❖ Yüzey pürüzlülüğü için yapılan regresyon analiz sonuçlarında ikinci derece regresyon analiz sonuçları ( $R^2 = \%94,49$ ), lineer regresyon sonuçlarına ( $R^2 = \%82,34$ ) göre gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmüştür.

## Teşekkür

Yapılan çalışmada desteklerini esirgemeyen, bünyesinde bulunan ekipmanların kullanılmasına izin veren PLASCAM A.Ş yönetimine teşekkür ederim.

## 5. Kaynaklar

- Akgün, M., Demir, H., 2021. Optimization of cutting parameters affecting surface roughness in turning of Inconel 625 superalloy by cryogenically treated tungsten carbide inserts. *SN Applied Sciences*, **3**, 277. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04303-2>
- Barbosa, C., Dille, J., Delplancke, J. L., Rebello, J. M. A., Acselradc, O., 2006. A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys. *Materials Characterization*, **57**, 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2006.01.002>
- Cagan, S. C., Venkatesh, B., Buldum, B. B., 2020. Investigation of surface roughness and chip morphology of aluminum alloy in dry and minimum quantity lubrication machining. *Materials Today: Proceedings*, **27**, 1122-1126. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.547>
- Cheng, D. J., Xu, F., Xu, S. H., Zhang, C. Y., Zhang, S. W., Kim, S. J., 2020. Minimization of Surface Roughness and Machining Deformation in Milling of Al Alloy Thin-Walled Parts. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, **21**, 1597-1613. <https://doi.org/10.1007/s12541-020-00366-0>
- Çırakoğlu, F., Özlü, B., Demir, H., 2021. Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **8**, 913-923. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.977412>

Demir, H., Gündüz, S. 2009. The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy. *Materials & Design*, **30**, 1480-1483.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.08.007>

Dutta, A., Das, A., Joshi, S. N., 2017. Optimum process parameters for efficient and quality thin wall machining using firefly algorithm. *International Journal of Additive and Subtractive Materials Manufacturing*, **1**, 3-22.

Il, A., Chatelain, J. F., Lalonde, J. F., Balazinski, M., Rimpault, X., 2018. An experimental investigation of the influence of cutting parameters on workpiece internal temperature during Al2024-T3 milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **97**, 413-426.

<https://doi.org/10.1007/s00170-018-1948-3>

Isaev, A., Grechishnikov, V., Pivkin, P., Kozochkin, M., Ilyuhin, Y., Vorotnikov, A., 2016. Machining of thin-walled parts produced by additive manufacturing technologies. *Procedia CIRP*, **41**, 1023-1026.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.088>

Işık, R., Özlü, B., Demir, H., 2021. St-37 malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **33**, 161-171. <https://doi.org/10.35234/fumbd.769716>

Mia, M., Singh, G. R., Gupta, M. K., Sharma, V. V., 2018. Influence of Ranque-Hilsch vortex tube and nitrogen gas assisted MQL in precision turning of Al 6061-T6. *Precision Engineering*, **53**, 289-299.

<https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2018.04.011>

Oliveira, E. L., Souza A. F., Diniz, A. E., 2018. Evaluating the influences of the cutting parameters on the surface roughness and form errors in 4-axis milling of thin-walled free-form parts of AISI H13 steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering volume*, **40**, 334.

<https://doi.org/10.1007/s40430-018-1250-1>

Özlü, B., Akgün, M., Demir, H., 2019. AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **5**, 151-158.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.02.04>

- Özlü, B., 2021. Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters*, **28**, 2150093.  
<https://doi.org/10.1142/S0218625X21500931>
- Qin, G., Wang, H., Lin, F., Sun, S., Guo, Y., Wu, T., Wu, Z., 2019. A new approach to deformation control of aeronautical monolithic components for aluminum alloy plates based on stress inverse and stress evaluation. *SCIENTIA SINICA Technologica*, **50**, 85-102.  
<https://doi.org/10.1007/s12541-020-00366-0>
- Qu, S., Zhao, J., Wang, T., 2017. Experimental study and machining parameter optimization in milling thin-walled plates based on NSGA-II. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **89**, 2399-2409.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-016-9265-1>
- Shamsuddin, K. A., Ab-Kadir, A. R., Osman, M. H., 2013. A comparison of milling cutting path strategies for thinwalled aluminium alloys fabrication. *The International Journal of Engineering & Science*, **2**, 1-8.
- Şahinoğlu, A., Güllü, A., Dönertaş, M. A., 2017. GGG50 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim, ses şiddeti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin araştırılması. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **2**, 67-79.
- Şahinoğlu, A., Rafighi, M., 2021. Machinability of hardened AISI S1 cold work tool steel using cubic boron nitride. *Scientia Iranica*, **28**, 2655-2670.
- Uğur, A., Nas, E., Gökkaya, H., 2020. Investigation of the machinability of SiC reinforced MMC materials produced by molten metal stirring and conventional casting technique in die-sinking electrical discharge machine. *International Journal of Mechanical Sciences*, **186**, 105875.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105875>
- Vakondios, D., Kyratsis, P., Yaldiz, S., Antoniadis, A., 2012. Influence of milling strategy on the surface roughness in ball end milling of the aluminum alloy Al7075-T6. *Measurement*, **45**, 1480-1488.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.03.001>
- Vukman, J., Lukic, D., Borojevic, S., Rodic, D., Milosevic, M., 2020. Application of fuzzy logic in the analysis of surface roughness of thin-walled aluminum parts. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, **21**, 91-102.  
<https://doi.org/10.1007/s12541-019-00229-3>
- Wang, S. Q., He, C. L., Li, J. G., Wang, J., 2021. Vibration-free surface finish in the milling of a thin-walled cavity part using a corn starch suspension. *Journal of Materials Processing Technology*, **290**, 116980.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116980>