



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## METAL EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN MİKRO İŞLENMESİNDE KESME MESAFESİNİN ÇAPAK GENİŞLİĞİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF CUTTING LENGTH ON BURR WIDTH  
IN MICRO-MACHINING OF 316L STAINLESS STEEL  
PRODUCED THROUGH METAL ADDITIONAL  
MANUFACTURING

**Yazarlar (Authors):** Zihni Alp Çevik<sup>id</sup>, Koray Özsoy<sup>id</sup>, Ali Erçetin<sup>id\*</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çevik Z. A., Özsoy K., Erçetin A., "Metal Eklemeli İmalat ile Üretilen 316L Paslanmaz Çeliğin Mikro İşlenmesinde Kesme Mesafesinin Çapak Genişliğine Etkisi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(2): 338-346, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1146846

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# METAL EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN MİKRO İŞLENMESİNDE KESME MESAFESİNİN ÇAPAK GENİŞLİĞİNE ETKİSİ

Zihni Alp Çevik<sup>a</sup>, Koray Özsoy<sup>b</sup>, Ali Erçetin<sup>c</sup>\*

<sup>a</sup> Adıyaman Üniversitesi, Besni Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, Adıyaman, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta OSB Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE

\*Sorumlu Yazar: [aliercetin@bingol.edu.tr](mailto:aliercetin@bingol.edu.tr)

(Geliş/Received: 21.07.2022; Düzeltme/Revised: 03.08.2022; Kabul/Accepted: 27.08.2022)

## ÖZ

Endüstri devrimi 4.0 temel bileşenlerinden birisi olan eklemeli imalat karmaşık geometriye sahip parçaların imalatını yaparak imal edilebilirlik kısıtını ortadan kaldırmıştır. Ham maddenin katı, sıvı ve gaz esaslı olmak üzere malzeme türüne göre eklemeli imalat sınıflandırılmaktadır. Günümüzde metallere yönelik çok sayıda eklemeli imalat teknolojisi kullanılmaktadır. Çalışmada metal eklemeli imalat çeşitlerinden seçici lazer ergitme yöntemiyle 316L paslanmaz çelik malzemeden standart parametre ile numune üretilmiştir. Daha sonra sabit kesme hızı, ilerleme hızı ve derinlik parametreleri ile numunenin ilk orta ve son olmak üzere farklı kesme mesafelerinden çapak genişlikleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kesme işleminin başlangıcında çapak genişlikleri (109  $\mu\text{m}$ ) genel olarak düşük seviyededir. Sağ kenardaki çapak genişliği (372  $\mu\text{m}$ ) sol kenardakinden oldukça fazladır. Artan kesme mesafesiyle birlikte, numunenin sol kenardaki çapaklar (1001  $\mu\text{m}$ ) genellikle kanal kenarından uzaklaşarak yatık bir vaziyette iken sağ kenardaki çapaklar (539  $\mu\text{m}$ ) genellikle kanal içinden kenara yaslı bir biçimde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Metal Eklemeli İmalat, 316L Paslanmaz Çelik, CNC, İşlenebilirlik.

## THE EFFECT OF CUTTING LENGTH ON BURR WIDTH IN MICRO-MACHINING OF 316L STAINLESS STEEL PRODUCED THROUGH METAL ADDITIONAL MANUFACTURING

### ABSTRACT

Additive manufacturing, which is one of the basic components of the Industrial Revolution 4.0, has eliminated the manufacturability constraint by manufacturing parts with complex geometry. Additive manufacturing is classified according to the material type as solid, liquid and gas based raw materials. Today, many additive manufacturing technologies are used for metals. In the study, a sample was produced from 316L stainless steel material with standard parameters by selective laser melting method, which is one of the metal additive manufacturing types. Then, burr width measurements were carried out from different cutting distances, including the first, middle and last of the sample, with constant cutting speed, feed rate and depth parameters. According to the obtained results, burr widths (109  $\mu\text{m}$ ) are generally low at the beginning of the cutting process. Burr width (372  $\mu\text{m}$ ) on the right edge is considerably higher than on the left edge. With increasing cutting distance, it was observed that the burrs (1001  $\mu\text{m}$ ) on the left side of the sample generally moved away from the canal edge and were in a horizontal position, while the burrs (539  $\mu\text{m}$ ) on the right side were generally in the form of leaning against the side of the slot.

**Keywords:** Metal Additive manufacturing, 316L Stainless Steel, CNC, Machinability.

## 1. GİRİŞ

İmalat işlemleri temel olarak bir makine parçasını imal edilme sürecidir. Endüstride kullanılan tornalama, frezeleme, delme, vargelleme, taşlama, döküm, plastik şekil verme ve kaynak gibi imalat yöntemleri sıklıkla kullanılır [1]. İmalat yöntemleri alışılmış (klasik) imalat yöntemleri ve alışılmamış (modern) imalat yöntemleri olarak iki kategoriye ayrılır [2]. Alışılmamış imalat yöntemlerinden biri olan eklemeli imalat yöntemleri, 1980'lerde gelişmeye başlamıştır [3].

Üç boyutlu baskı (3-D baskı) olarak da bilinen eklemeli üretim (AM), onlarca yıldır birçok endüstride bazı ürünlerin yapımında kullanılmaktadır [4]. Hızlı teknolojik gelişmelerle birlikte son yıllarda imalat sektörüne giren ve hızla gelişen çok çekici bir üretim seçeneği haline gelen bir imalat yöntemi olan eklemeli imalattır [5]. Günümüzde metallere yönelik çok sayıda eklemeli imalat teknolojisi kullanılmaktadır. Metal eklemeli imalat yöntemi toz yatak süreci ve yönlendirilmiş enerji biriktirme veya yığma şeklinde en genel iki kategoride sınıflandırılmaktadır [6]. ASTM f2792 standardında metal eklemeli imalat yöntemleri Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Direk Metal Lazer Sinterleme, Seçici Lazer Ergitme (SLE), Elektron Işınli Ergitme, Lazer İşleme ile Net Şekillendirme ve Elektron Işın Kaynağı olarak sınıflandırılmıştır [7, 8]. Metal eklemeli imalat teknolojilerinde sıklıkla kullanılan alüminyum, paslanmaz çelik, kobalt-krom, nikel, titanyum ve diğer alaşımlar gibi çeşitli metal toz karışımları kullanılmaktadır [9].

Eklemeli imalat ile seri üretim söz konusu olduğunda baskı boyutları ve farklı malzemelere uygulanması kısıtlı olduğundan dolayı bu yöntemin kusuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemdeki yüzey kalitesi bozukluğu ek bir uygulama gereksinimini ortaya çıkarmakta, dolayısıyla bu bozukluğun giderilmesi de ancak talaşlı imalat ile olabilmektedir. Dolayısıyla, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, eklemeli imalat ile üretilen parçalarda ilave işleme operasyonları ve talaşlı imalat ile işlenebilirliği günümüzde büyük önem arz etmektedir [5, 10].

Talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan, mikro işlenebilirlik olarak karşımıza çıkan mikro

frezeleme işlemi ise, işleme prosesleri arasında en çok karşımıza çıkan bir mikro talaşlı imalat yöntemidir. Mikro frezelemedeki yüzey kalitesi diğer işleme çeşitlerine göre daha kalitelidir. Mikro frezeleme işleminde, 25-100 µm arasında değişen takım çapları kullanılmaktadır. Dezavantaj olarak ise, takım çapları küçük olması hasebiyle en küçük hatalı bir işlemde bile takımların kırılmasına neden olacağından, çok dikkat ve doğruluk gerektirmektedir [11-12]. Diğer bir dezavantaj ise, uygun kesme parametresinin uygulanmaması veya kesici takımın çok çabuk aşınması neticesinde işlenen parça yüzeyinde çapak oluşumudur. Mikro-işleme yöntemlerinde çapağın alınması çok zordur. Daha önemlisi ise, çapağın parçadan alınması esnasında parçanın zarar görmesidir. Bu nedenle, daha uygun kesme koşullarında kesme testleri gerçekleştirilmelidir [13-15].

316L paslanmaz çelik malzeme üzerinde yapılan çalışmalara baktığımızda yüzey kalitesinin değerlendirilmesi üzerine yapılmış bir kısım çalışmalar bulunmaktadır. Gong ve Li [16], yapmış olduğu bir çalışmada eklemeli imalat ile üretilen 316L paslanmaz çeliğin takım aşınması ve yüzey kalitesi incelemiştir. Hajiahmadi [17], 316L paslanmaz çelik üzerinde mikro-işleme ile yapmış olduğu bir çalışmada, iş mili hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelerin çapak yüksekliği ve kalınlığı üzerindeki etkisini yukarı frezeleme ve aşağı frezeleme olarak iki türlü incelenmiştir. Aydın ve ark. [18], farklı helis ve talaş açısı olan helis kesici kenarları bulunan dalgalı parmak frezelerde, çalışma esnasındaki sertleşme, takımlardaki yüksek aşınma ve yığılma talaş oluşumu eğiliminde olmaları sebebiyle, zor işlenen malzeme grubunda olan AISI 316L östenitik paslanmaz çelik üzerindeki işleme performanslarını araştırılmışlardır. Greco ve ark. [19], eklemeli imalat ile ürettikleri 316L malzemesinin mikro frezelemedeki çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Uçurum ve ark. [20], östenitik 316LVM paslanmaz çeliğin çeşitli kesme parametreleri altında kuru kesme şartlarında frezeleme işlemi yapmışlar ve sonrasında bu malzemenin yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Şirin ve ark. [21], yaptıkları bir çalışmada AISI 316L paslanmaz çeliğinin işlenebilirliğinde, üç farklı soğutma ve yağlama şartlarında, üç adet kesme hızında, ilerleme ve kesme derinliğini sabit

arak yüzey frezeleme işlemi yapmışlardır. Yasir ve ark. [22], AISI 316L paslanmaz çeliğin parmak freze ile kesme hızı ve ilerleme hızlarını değiştirerek yüzey pürüzlülüğü ve yüzey morfolojisi üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Literatürden de anlaşılacağı üzere 316L paslanmaz çeliğin mikro-işlenmesinde çapak oluşumlarının incelenmesi ve yapılan mevcut araştırma benzeri bir çalışma çok nadirdir. Çalışmada, metal eklemeli imalat yöntemlerinden seçici lazer ergitme cihazı ile 316L paslanmaz çelik numune üretilmiştir. 316L paslanmaz çeliğin CNC ile

işlenebilirliğinde kullanmak üzere sabit kesme hızı, ilerleme hızı ve derinlik parametreleri literatür ekseninde belirlenmiştir. CNC takım tezgahı ile numune üzerinde parmak freze ile farklı kesme mesafesinde kanallar açılmıştır. Daha sonra açılan kanallardan oluşan çapaklar genişliğini ölçmek üzere incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Numunelerin malzemesi için; 316L paslanmaz çelik alaşımının Consept Laser firması tarafından üretilen metal tozu tercih edilmiştir. Kullanılan metal tozunun kimyasal bileşimi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

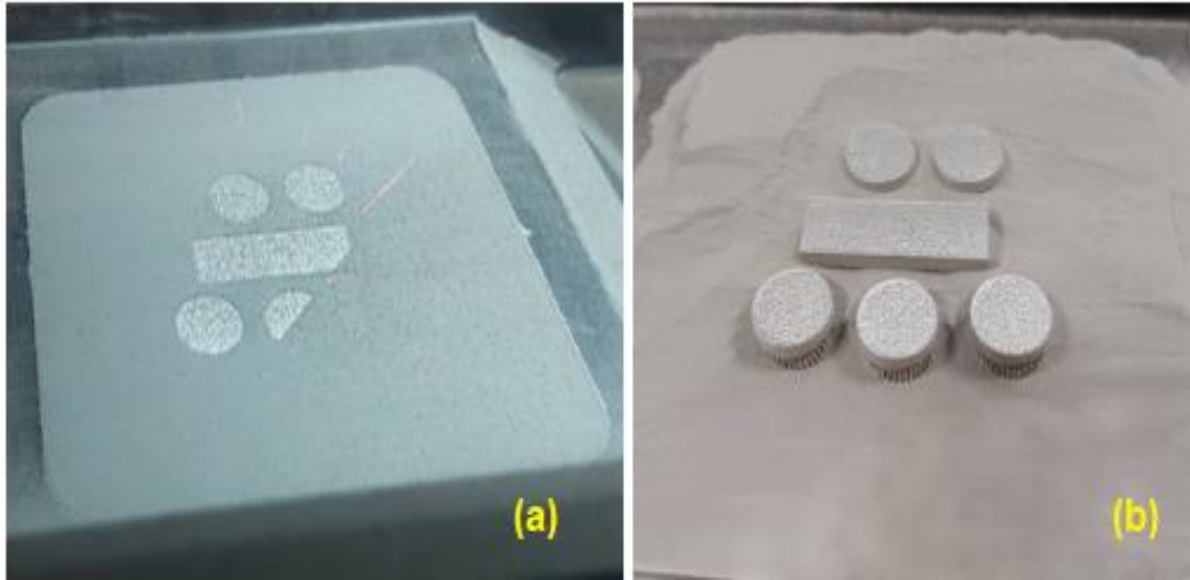
Çizelge 1. 316L SS metal tozu alaşımı kimyasal bileşimi [10].

Element	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	C	Fe
%Ağırlık	16,5-18,5	10-13	2-2,5	0-2	0-1	0-0,045	0-0,03	Kalan

### 2.2. Yöntem

Çalışmada, Consept Laser MLab Seçici Lazer Ergitme cihazı ile Şekil 1'de 30x10x3,5 dikdörtgen prizma geometrili numune imalatı 316L SS metal toz malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parçanın CAD modeli, takım yolu için Consept Laser MLab Seçici

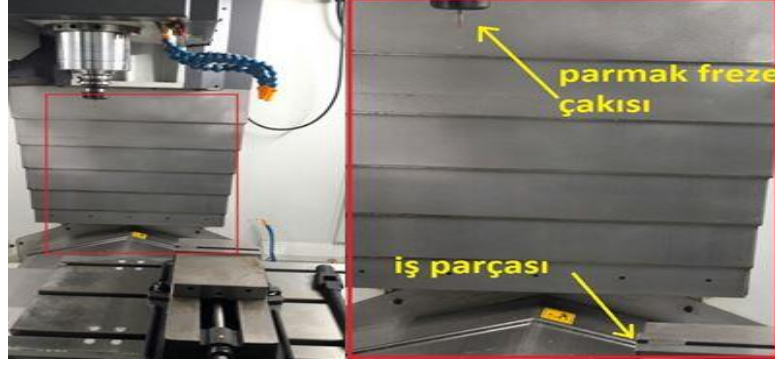
Lazer Ergitme makinesine giriş için standart dilimleme (.stl) formatına dönüştürülmüştür. Numune, 0,025 mm sabit katman kalınlığı ve standart üretim parametreleri ile imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Seçici Lazer Ergitme cihazı ile 316L numunenin görüntüsü a) imalat süreci b) imalat sonrası.

Bilgisayarlı takım tezgahı ve işleme şartları Şekil 2'de görülen MCV – M5 H DELTA SEIKI 3 eksenli 4. eksene uyumlu CNC dikey işleme tezgahında, kesme durumu ise kuru olarak gerçekleştirilmiş ve farklı kesme mesafelerinden çapak ölçümleri alınmıştır. Tezgahın iş mili devri en yüksek 12.000

dev/dak hıza çıkabilmektedir. Kesme işlemlerinde kullanılan kesici takım ise 1 mm çapında 4 ağızlı karbür parmak freze çakısı olup HRC55 sertliğindedir. İşleme parametreleri olarak kullanılan veriler Çizelge 2'de verilmiştir.



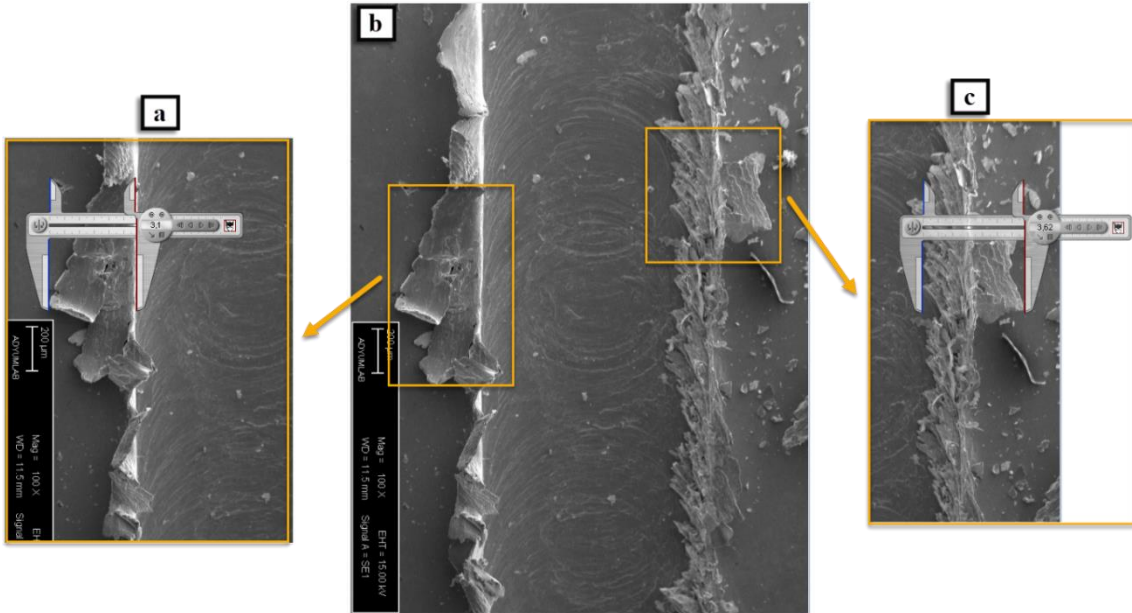
Şekil 2. CNC tezgahta mikro işleme süreci.

Çizelge 2. Eklemeli imalat ile üretilmiş 316L çeliğinin mikro-işlenmesinde uygulanan parametreler

Parametreler			
Kesme hızı (Vc) m/dk	İlerleme hızı (F) mm/dk	Kesme derinliği (ap) mm	Kesme Mesafeleri (mm)
31,4	25	0,2	0, 15, 30

Mikro-işleme sonrasında oluşan kanallardan çapak genişliğinin ekran kumpası yardımıyla ölçüm yöntemi Şekil 3'te verilmektedir. Öncelikle ekran kumpası ile SEM görüntüsü üzerindeki ölçü çubuğu ölçülmüş ve elde edilen sonuç ile ölçü çubuğundaki değer birbirine oranlanmıştır. Çapak genişliği

ölçümünde ise, kumpasın bir çenesi kanal sınırı hizasında, diğer çenesi ise ölçümü gerçekleştirilen çapağın en uç noktasındadır. Ekran kumpasında elde edilen değer, başlangıçta elde edilen oran ile çarpılarak çapağın gerçek genişliği ölçülmektedir.



Şekil 3. Ekran kumpası yardımıyla çapak genişlikleri ölçüm yöntemi; (a) sol kenar çapak genişliğinin ekran kumpası ile ölçümü, (b) işlenen kanalda ölçüm alınan konuma ait SEM görüntüsü, (c) sağ kenar çapak genişliğinin ekran kumpası ile ölçümü.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

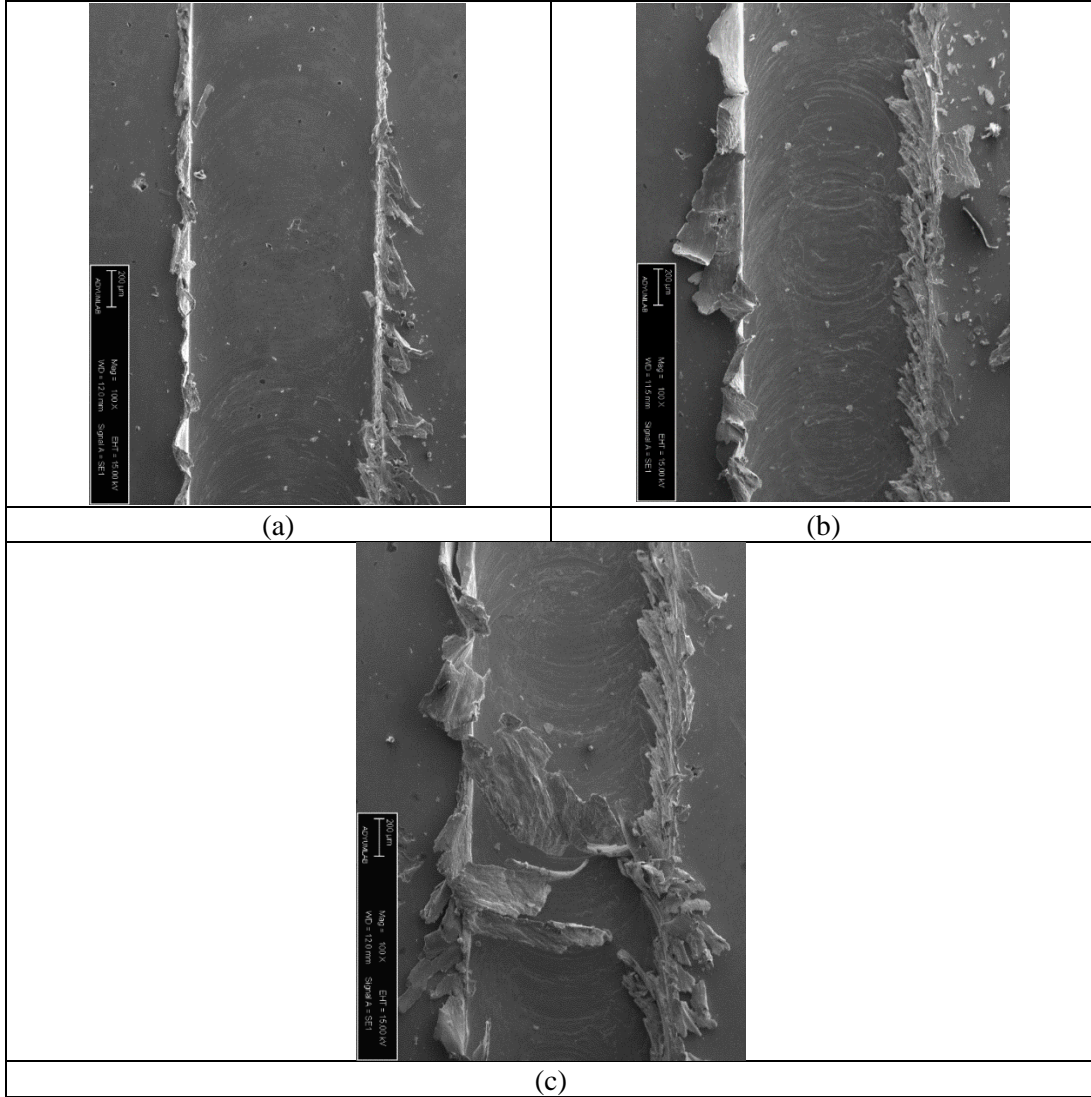
İstenilen yoğun yapıda üretilmeyen malzemelerin işlenmesi neticesinde yüzeyde gözenekli yapılar belirgin gözlemlendiği ve yüzey kalitesini olumsuz etkilediği bilinen bir durumdur. Ancak mevcut çalışmada mikro-

işlemeye tabi tutulan parçanın yüzeyinde gözenekli yapıya rastlanmamıştır. Mikro-işlemede istenilen düzeyde bir yüzey kalitesi elde edilebilmesi, uygulanan kesme mesafesine de bağlıdır. Parçaya kuru kesimi esnasında soğutma sıvısı kullanılmaması durumunda

kesici takım çabuk aşınabilir veya sürtünmenin etkisiyle kesici takımın ısınması ve parça yüzey kalitesinin bozulması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Ancak, kesici takım performansının kuru kesme koşullarında en iyi elde edilebileceği durumlarda ise, kesici takım uygun kesme parametrelerinde çalıştırılmalı ve belirli periyotlarda kesme mesafesinde parça yüzey kalitesinin incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4'de, kuru kesme koşullarında mikro-işleme yapılmış bir parçanın, farklı kesme mesafelerindeki kanallardan alınmış SEM görüntüleri verilmiştir. Kesme işleminin başlangıcında sol kenarda çapak yoğunluğu az iken, sağ kenarda çapak genişliğinde artış olduğu görülmektedir (Şekil 4a). 15 mm kesme mesafesindeki kanaldan alınan SEM görüntüsünde, çapak miktarı her iki kenar için de artış göstermiştir. Sol kenardaki çapaklar genellikle kanal kenarından uzaklaşarak yatık

bir vaziyette iken sağ kenardaki çapaklar genellikle kanal içinden kenara yaslı bir şekildedir (Şekil 4b). Artan kesme mesafesi 30 mm olduğunda ise, çapak boyutları çok iri ve uzun boyutlara ulaşmış ve hem kanal içine hem de kanal dışına doğru sıvanmış bir biçimdedir (Şekil 4c).

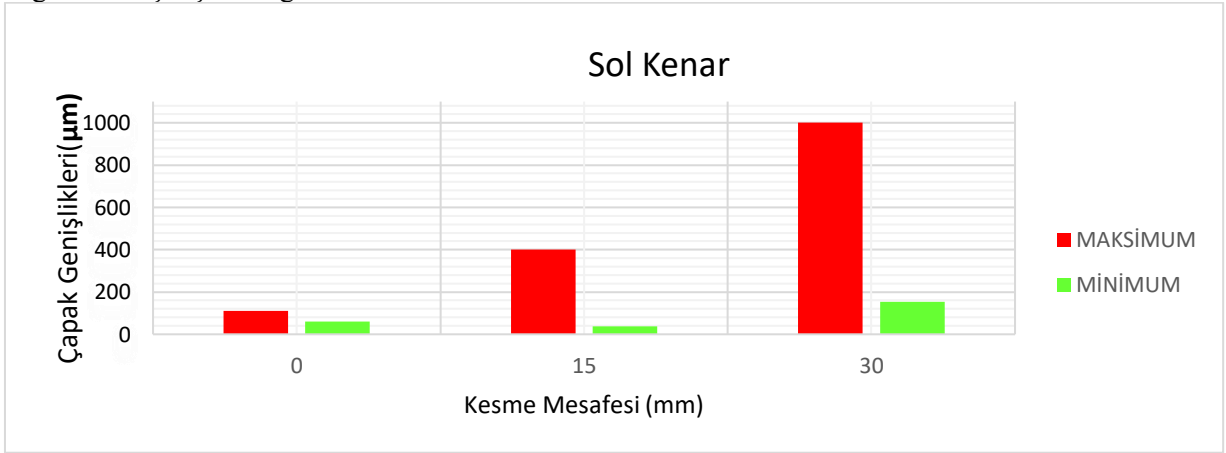
Mikro-işleme esnasında talaş oluşumlarına benzer bir şekilde çapak oluşumları da gözlenmektedir. İşlenmiş parçalar montaj işlemlerini engelleyebileceği gibi taşıma veya biyo-implant gibi kullanımlarda tehlike arz edebilmektedir. Bu nedenle çapakların minimize edilmesi için kesici takım test edilerek belirli periyotlarla izlenmesi gerekmektedir. Böylece parça yüzeyinde istenilen toleranslar sağlandığında uygulanan kesme parametresi kabul görecektir [23-24].



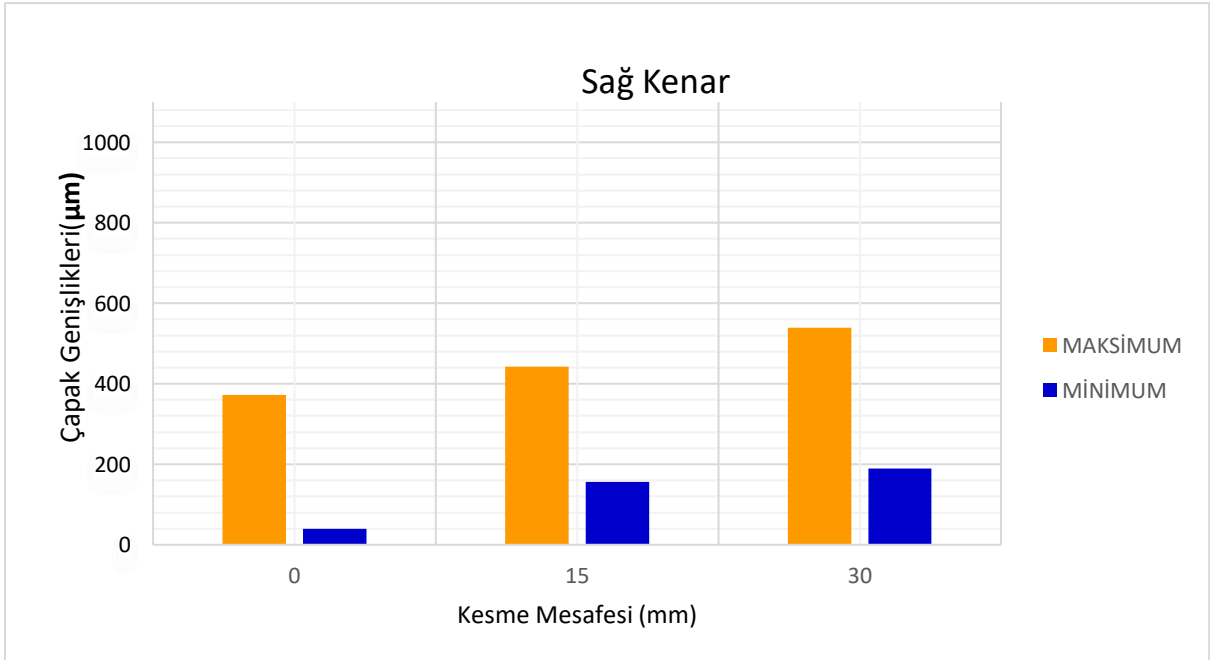
Şekil 4. Kesme mesafesine bağlı olarak mikro-işlenmiş kanallara ait 100x büyütmede alınan SEM görüntüleri ve oluşan çapaklar; (a) Başlangıç, (b) 15 mm, (c) 30 mm.

Mikro-işlenen kanal kenarlarında oluşan maksimum ve minimum çapak genişlikleri ölçülmüş ve sayısal değerler Çizelge 3’de verilmiştir. Sol kenarda ve sağ kenarda oluşan çapak genişlikleri sırasıyla Şekil 5 ve 6’da verilmektedir. Kesme işleminin başlangıcında, sol kenardaki maksimum çapak genişliği, sağ kenardaki maksimum çapak genişliğinden daha azdır. Artan kesme mesafesiyle birlikte, 30 mm’lik kesme mesafesinde durum tersi bir hal alarak sol kenardaki maksimum çapak genişliği çok daha fazla olmuştur. Sol kenardaki maksimum çapak genişliği yaklaşık 109  $\mu\text{m}$  iken, 30 mm’lik kesme mesafesi sonrasında yaklaşık 10 kat bir artışla 1001  $\mu\text{m}$  değerine ulaşmıştır. Sağ kenardaki maksimum

çapak genişliği ise, yaklaşık 372  $\mu\text{m}$  iken, 30 mm’lik kesme mesafesi sonrasında yaklaşık 2 kat artışla 539  $\mu\text{m}$  değerine ulaşmıştır. Sol kenarda oluşan minimum çapak genişlikleri, sağ kenardakilere göre genellikle daha az seviyededir. Her iki grafik birlikte incelendiğinde maksimum ve minimum çapak genişliklerinin kesme mesafesine bağlı olarak sürekli arttığını da söylemek mümkündür. Literatürdeki benzer çalışmalarda, artan kesme mesafesine bağlı olarak çapak oluşumlarında artış gerçekleştiği belirtilmiş ve bu durumun takım aşınması veya işleme esnasında takımın ısınmasından kaynaklı olabileceğinden bahsedilmiştir [25-26].



Şekil 5. Kesme mesafesine bağlı olarak kanalın sol kenarında oluşan maksimum ve minimum çapak genişlikleri.



Şekil 6. Kesme mesafesine bağlı olarak kanalın sağ kenarında oluşan maksimum ve minimum çapak genişlikleri.

**Çizelge 3.** Kesme mesafesine bağlı olarak çapak genişliklerinin değişimi.

Kesme Mesafesi (mm)	Sol Kenar Çapak Genişlikleri (µm)		Sağ Kenar Çapak Genişlikleri (µm)	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
0	109,43	60,38	372,33	40,25
15	400	36,48	442,77	155,97
30	1001,26	153,46	539,62	189,94

Belirli kesme mesafesinde ölçülen kanal genişliklerinin sayısal değerleri Çizelge 4'te verilmektedir. Kesme mesafesinin 0, 15 ve 30 mm olduğu konulardan ölçülen kanal genişlikleri sırasıyla 1011, 988 ve 968 µm olarak ölçülmüştür. Artan kesme mesafesine

bağlı olarak kanal genişliklerinin azaldıkları ve toplamda yaklaşık olarak %5 oranında bir azalma kanal genişliğinde tespit edilmiştir. Bu durumun artan kesme mesafesinde kesici takımında aşınma başlangıcına işaret ettiği düşünülmektedir.

**Çizelge 4.** Kesme mesafesine bağlı olarak kanal genişliklerinin değişimi.

Kesme Mesafesi (mm)	Kanal Genişliği (µm)
0	1011
15	988
30	968

#### 4. SONUÇ

Çalışmada metal eklemeli imalat ile üretilen 316L paslanmaz çeliğinin farklı kesme mesafelerinde mikro-işlenebilirliğinin incelenmesi sonucunda genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Metal eklemeli imalat ile 316L paslanmaz çelik numune üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Mikro-işlenmiş yüzeylerde herhangi bir gözeneksi yapılar rastlanılmaması, paslanmaz 316L çeliğinin eklemeli imalat yöntemiyle üretiminin uygun olduğunu göstermektedir.
- Artan kesme mesafesine bağlı olarak çapak genişliklerinin yaklaşık 10 kat kadar arttığı tespit edilmiştir. Buna karşın kanal genişliğinin artan kesme mesafesiyle birlikte azaldığı belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., & Duysak, A. "Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 31, Sayfa 53-70, 2013.

2. Çoşkun, İ., & Işık, M.F. "Elektroerozyon yöntemi ile tornalama", Politeknik Dergisi, Cilt 11, Sayı 4, Sayfa 285-291, 2008.

3. Duman, B., & Kayacan, M.C. "Seçmeli lazer sinterleme tezgâhı için imalat yazılımı geliştirilmesi", Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Cilt 8, Sayı 3, Sayfa 27-45, 2016.

- Çapak oluşumlarının artması, kesici takım ile iş parçası arasında sürtünmenin olması gerektiğinden fazla olduğuna ve istenilen kesme performansının sağlanamadığına bağlanmıştır.
- Mevcut çalışmada kuru kesme işlemlerinde sürtünmeden kaynaklı kesici takımında ısı artışının gerçekleştiği, bu durumun takım aşınmasına da neden olduğu düşünülmektedir. Kesme testlerinin tamamlandığı noktada oldukça fazla miktarda çapak oluşumları da bu duruma bağlanmaktadır. Dolayısıyla, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinde değişiklik önerilmektedir.
- Metal eklemeli imalat ile daha farklı parametreler ile daha fazla numune üretilip işlenebilirliği incelenebilir.

4. Attaran, M. "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing", Business Horizons, Vol. 60, Issue 5, Pages 677-688, 2017.

5. Dedeakayoğulları, H., & Kaçal, A. "Eklemeli imalat teknolojileri ve kullanılan talaşlı imalat yöntemleri üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi", İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 1-12, 2020.

6. Duman, B., & Özsoy, K. "A deep learning-based approach for defect detection in powder bed fusion additive manufacturing using transfer learning", Journal of the Faculty of Engineering and



Architecture of Gazi University, Vol. 37, Issue 1, Pages 361-375, 2022.

7. Astm Standard F2792-12a. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.

<http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>. Yayın tarihi: 2015. Erişim Tarihi: Temmuz 20, 2022.

8. Kayacan, M.C., Delikanlı, Y.E., Duman, B., & Özsoy, K. "Ti6Al4V toz alaşımı kullanılarak SLS ile üretilen geçişli (değişken) gözenekli numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 33, Sayı 1, Sayfa 127-143, 2018.

9. Dursun, A.M., "Değişken gözenekli hücreli yapıların metal eklemeli imalat için tasarımı ve üretilen yapıların tasarım ile uyumluluğunun araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.

10. Uçak, N., Çiçek, A., & Aslantas, K. "Machinability of 3D printed metallic materials fabricated by selective laser melting and electron beam melting: A review", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 80, Pages 414-457, 2022.

11. Masuzawa, T. ve Tönshoff, H.K. "Three-dimensional micromachining by machine tools", CIRP Annals, Vol 46, Issue 2, 621-628, 1997.

12. Aslantas, K., Hascelik, A., & Çiçek, A. "Performance evaluation of DLC and NCD coatings in micro-milling of Al7075-T6 alloy", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 81, Pages 976-990, 2022.

13. Lee, K., Stirn, B and Dornfeld, D.A. "Burr Formation in Micro-machining Aluminum 6061-T6", In: Inasaki, I. (eds) Initiatives of Precision Engineering at the Beginning of a Millennium. Springer, Boston, MA 2002.

14. Fang, F.Z. and Liu Y.C. "On minimum exit-burr in micro cutting", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 14, Issue 7, Pages 984, 2004.

15. Erçetin, A., & Aslantaş, K. "The effect of different cutting parameters on cutting force, tool wear and burr formation in micro milling WCu composite material fabricated via powder metallurgy", Turkish Journal of Nature and Science, Vol. 5, Issue 2, Pages 1-5, 2016.

16. Gong, Y., & Li, P. "Analysis of tool wear performance and surface quality in post milling of

additive manufactured 316L stainless steel", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 33, Issue 5, Pages 2387-2395, 2019.

17. Hajiahmadi, S. "Burr size investigation in micro milling of stainless steel 316L", International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, Vol. 2, Issue 4, Pages 296-304, 2019.

18. Aydın, K., Katmer, Ş., Arif, G. Ö. K., & Şeker, U. "Dalga formu parmak frezelerin AISI 316L paslanmaz çelik üzerindeki işleme performansının deneysel ve istatistiksel olarak araştırılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 36, Sayı 4, Sayfa 2225-2238, 2021.

19. Greco, S., Kieren-Ehse, S., Kirsch, B., & Aurich, J. C. "Micro milling of additively manufactured AISI 316L: impact of the layerwise microstructure on the process results", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 112, Issue 1, Pages 361-373, 2021.

20. Uçurum, M., Güneşsu, E., Şirin, T. B., & Kaynak, Y. "Farklı kesme parametreleriyle işlenmiş 316LVM paslanmaz çelik malzemesinin talaşlı imalat-yüzey bütünlüğü-aşınma direnci arasındaki ilişkinin incelenmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 27, Sayı 4, Sayfa 449-457, 2021.

21. Şirin, E., & Şirin, Ş. "Investigation of the performance of ecological cooling/lubrication methods in the milling of AISI 316L stainless steel", Manufacturing Technologies and Applications, Vol. 2, Issue 1, Pages 75-84, 2021.

22. Yasir, M., Danish, M., Mia, M., Gupta, M. K., & Sarikaya, M. "Investigation into the surface quality and stress corrosion cracking resistance of AISI 316L stainless steel via precision end-milling operation", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 112, Issue 3, Pages 1065-1076, 2021.

23. Erçetin, A., Aslantas, K., & Özgün, Ö. "Micro-end milling of biomedical TZ54 magnesium alloy produced through powder metallurgy", Machining Science and Technology, Vol. 24, Issue 6, Pages 924-947, 2020.

24. Akkoyun, F., Ercetin, A., Aslantas, K., Pimenov, D.Y., Giasin, K., Lakshmikanthan, A., & Aamir, M. "Measurement of micro burr and slot widths through image processing: Comparison of manual and automated measurements in micro-milling", Sensors, Vol. 21, Issue 13, Pages 4432, 2021.

25. Aslantas, K., Danish, M., Haşçelik, A., Mia, M., Gupta, M., Ginta, T., & Ijaz, H. “Investigations on surface roughness and tool wear characteristics in micro-turning of Ti-6Al-4V alloy”, *Materials*, Vol. 13, Issue 13, Pages 2998, 2020.

26. Aslantas, K.; Ekici, E.; Çiçek, A. “Optimization of process parameters for micro milling of Ti-6Al-4V alloy using Taguchi-based gray relational analysis”, *Measurement*, Vol. 128, Pages 419–427, 2018.