

Hardox 500 Çeliğinin Lazerle İşlenmesinde Kesme Geometrisine ve İşleme Parametrelerine Bağlı Kesim Kalitesinin Değerlendirilmesi

Nihal EKSİLMEZ¹, Barış ÖZLÜ^{2*}, Halil DEMİR³

¹Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

²Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 68100, Aksaray

³Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

¹<http://orcid.org/0000-0001-9623-903X1>

²<http://orcid.org/0000-0002-8594-1234>

³<http://orcid.org/0000-0002-9802-083X>

*Sorumlu yazar: barisozlu@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.10.2021

Kabul tarihi: 28.01.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Lazer kesim

Hardox 500

Yüzey pürüzlülüğü

Üst kerf genişliği

Üst kerf genişliği

ÖZ

Lazer kesme işleminde yüzey pürüzlülüğünün (Ra), üst kerf genişliğinin (ÜKG) ve alt kerf genişliğinin (AKG) kalitesi farklı kesme geometrilerinde uygun kesme parametrelerinin seçimine bağlıdır. Lazer kesme işlemi yapan firmaların minimum RA, ÜKG ve AKG en önemli talepleri arasındadır. Bu çalışmada, lazerle Hardox 500 çeliği farklı geometrilerde ve kesme parametrelerinde kesilerek kesim geometrilerinin ve kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde üç farklı kesme geometrisi (Düz, V ve yay) kullanılmıştır. Her geometri farklı kesme parametrelerinin kombinasyonunda kesilmiştir. Sonuç olarak; Hardox 500 çeliğinin, lazerle düz geometride kesilmesinde odak noktasının (ON) iş parçasına yaklaşması, gaz basıncının (GB) ve kesme hızının (KH) artırılması ile Ra'nın en düşük değerine (2,099 µm) ulaşılmıştır. En yüksek Ra değeri yay geometrisinde ON'nin iş parçasından uzaklaşması, GB'nin en düşük değerinde ve KH'nin maksimum değerinde 4,795 µm ölçülmüştür. Üç kesme geometrisi için -0,5 mm ON'da, 850 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da ÜKG'nin ve AKG'nin minimum değerlerine ulaşılmıştır.

Evaluation of Cut Quality Based on Cutting Geometry and Machining Parameters in Laser Machining of Hardox 500 Steel

Research Article

Article History:

Received: 17.10.2021

Accepted: 28.01.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Laser cut

Hardox 500

Surface roughness

Top kerf width

Bottom kerf width

ABSTRACT

The quality of surface roughness (Ra), top kerf width (TKW) and bottom kerf width (BKW) in laser cutting depends on the selection of appropriate cutting parameters in different cutting geometries. Minimum RA, TKW and BKW are among the most important demands of laser cutting companies. In this study, the effect of cutting geometries and cutting parameters on the cutting quality was investigated by cutting Hardox 500 steel in different geometries and cutting parameters with laser. Three different cutting geometries (Flat, V and arc) were used in the experiments. Each geometry was cut at combination of different cutting parameters. As a result; In laser cutting of Hardox 500 steel in flat geometry, the lowest value of Ra (2,099 µm) was reached by increasing the gas pressure (GP) and cutting speed (CS), while the focal point approached the workpiece. The highest Ra value, the moving away of FP from the workpiece in the arc geometry, was measured at 4.795 µm at the lowest value of GP and maximum value of CS. The minimum values of TKW and BKW were reached at -0.5 mm FP, 850 mm/sec CS, and 0.7 bar GP for the three cutting geometries.

To Cite: Eksilmez N., Özlü B., Demir H. Hardox 500 Çeliğinin Lazerle İşlenmesinde Kesme Geometrisine ve İşleme Parametrelerine Bağlı Kesim Kalitesinin Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):301-314.

Giriş

Lazerle kesme işlemi, imalat endüstrisinde, metal, ahşap, cam ve plastik gibi çeşitli malzemeleri kesmek için kullanılan termal tabanlı işleme yöntemlerinden biridir. Lazer kesim teknolojisi, kullanım kolaylığı, düşük maliyet, yüksek hassasiyet, küçük ısıdan etkilenen bölge, minimum deformasyon, minimum atık malzeme, yüksek ürün kalitesi ve işleme hızı nedeniyle imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Madić ve Radovanović 2013; Wei ve ark., 2016). Ayrıca temassız bir işlem olan lazer kesme işlemi, kesilmesi zor, kırılğan, yumuşak, ince, elektrik iletkenliği olan ve olmayan gelişmiş mühendislik malzemelerin kesilmesi için çok uygun bir işlemdir (Chen ve ark., 2016). Lazer kesme işleminde, iş parçası yüzeyine odaklanmış lazer ışını odak yoğunluğu ve iş parçası malzemesine bağlı olarak iş parçasının erimesine ve buharlaşmasına neden olur. Lazer kesme işleminde kullanılan gaz yardımıyla erimiş ve buharlaşmış malzeme kesme bölgesinden uzaklaştırılır (Tamrin ve ark., 2015; Moradi ve ark., 2017). Ergimiş metalin yüksek basınçlı gaz yardımıyla kesme bölgesinden uzaklaştırılması ile kerf adı verilen boşluk oluşmaktadır. Elde edilen bu boşluk ne kadar küçük olursa o kadar iyi olacağı bildirilmiştir. Ayrıca kesme işlemi sırasında oluşan üst kerf genişliği genelde alt kerf genişliğinden daha geniş olmaktadır (Nyon ve ark., 2012).

Literatürde farklı malzemelerin lazerle kesilmesinde parça kalitesini etkileyen lazer kesme parametrelerinin optimizasyonu için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Stournaras ve ark. (2009), alüminyum alaşımının lazerle kesilmesinde işleme parametrelerinin (lazer gücü, kesme hızı, frekans ve gaz basıncı) kerf genişliği ve ısıdan etkilenen bölgeye etkileri incelenmiştir. Kesme hızı ve lazer gücünün kerf genişliği ve ısıdan etkilenen bölge üzerine en etkin parametrelerin olduğunu görülmüştür. Genel olarak, artırılan lazer gücü ve azaltılan kesme hızı, kerf genişliğinin ve ısıdan etkilenen bölgenin artmasına neden olduğunu tespit edilmiştir.

Çırakoğlu ve ark. (2021), Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisini hem deneysel hem de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kesme hızının ve lazer gücünün artması yüzey pürüzlülüğünü azalttığı, gaz basıncının ve odak noktasının artması yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmüştür. Gaz basıncı, kesme hızı ve lazer gücünün artması ile üst ve alt delik dairesellik toleransı artarken, odak noktasının azalması üst ve alt delik dairesellik toleransının azalmasına neden olmuştur. Varyans analizi sonucu yüzey pürüzlülüğü ile üst ve alt delik dairesellik toleransı için sırası ile en etkin parametre %77,17 %51,40 ve %71,80 ile gaz basıncı olmuştur. Duan ve ark. (2001), farklı lazer kesme parametrelerinin, çoklu yansımalarını ve gaz basıncının kesilen bölgenin geometrisine etkisi değerlendirilmiştir. Kesilen bölgenin şeklini kesme hızı, lazer gücü ve odak noktası güçlü bir şekilde etkilediği görülmüştür. Bununla birlikte, yardımcı gaz basıncının kesme geometrisi üzerinde hafif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Lamikiz ve ark. (2005), lazer kesme işlemi ile farklı kalınlıklara sahip sac malzemelerin kesilmesinde optimum çalışma alanı ve kesme koşulları araştırılmıştır. Farklı malzeme kalınlığının lazerle işlenmesinde çalışma alanı ve kesme koşulları bakımından çok farklı davranışlar göstermiştir. Son olarak, odak

noktasının en iyi pozisyonu iş parçasının alt kısmında olduğu tespit edilmiştir. Işık ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada, lazerle St-37 malzemesinin kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf genişliğine ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Lazer kesme işleminde kullanılan deney tasarımı Taguchi L32 dizinine göre hazırlanmıştır. Lazer kesme parametresi olarak iki farklı frekans, dört farklı gaz basıncı ve dört farklı kesme hızı kullanılmıştır. Kerf genişliği ve yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametreleri sırası ile A1B1C4 ve A2B1C4 olmuştur. ANOVA sonucunda kerf genişliği ve yüzey pürüzlülüğü için en etkili kesme parametreleri sırası ile %54,26 gaz basıncı ve %55,78 frekans olduğu tespit edilmiştir. Özlü (2021), yaptığı çalışmada, Al 5083 alaşımının lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf kalitesine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi hem deneysel hem de istatistiksel (Taguchi ve Gray Taguchi) olarak incelemiştir. Deney tasarımı için Taguchi L18 ortogonal dizini kullanılmıştır. Al 5083 alaşımının kesilmesinde, iki farklı gaz basıncı, üç farklı kesme hızı ve lazer gücü kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Üst ve alt kerf genişliği, kerf koniği ve yüzey pürüzlülüğü en düşük değerleri sırasıyla 2,219 mm, 2,010 mm, 0,9840° ve 2,394 µm olmuştur. S/N oranları incelendiğinde en ideal kesme parametrelerinin üst ve alt kerf genişliği için A1B3C1, kerf koniği için A2B1C3 ve yüzey pürüzlülüğü için A2B3C3 olarak belirlenmiştir. Gri ilişki analizine göre bütün çıktı parametrelerinin en küçük değerleri için optimum lazer kesme parametreleri A1B3C1 olarak belirlenmiştir. Joshi ve Sharma (2018), tarafından yapılan çalışmada, 1,3 mm kalınlığında alüminyum alaşımının lazer kesme işlemi sonrası kesme parametrelerinin işlenen yüzeyin kerf geometrisini ve ısıdan etkilenen bölgeye (HAZ) etkisinin belirlenmesinde GRA ve bulanık mantık melez yaklaşımı kullanılarak eş zamanlı olarak optimize edilmiştir. Çalışmada kesme parametresi olarak lamba akımı, darbe genişliği, darbe frekansı ve kesme hızı seçilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre en etkin lazer kesme parametresi %35,32 ile darbe frekansının olduğunu, hibrit yaklaşımın uygulanmasıyla da lazer kesme işleminde KT'nin ve HAZ'ın azaltılabildiği tespit edilmiştir. Jarosz ve ark. (2016), 10 mm kalınlığında AISI 316 L paslanmaz çeliğinin lazer kesme işlemi ile işlenmesinde lazer kesme hızının, HAZ'ın ve kesilen yüzeylerin Ra üzerine etkisini ve kesilen yüzeylerin mikro yapıları incelemiştir. Çalışmanın sonucunda lazer kesme hızının; Ra, HAZ'ın genişliği, çapak yüksekliği ve yanmış malzeme varlığı gibi makro düzensizlikler üzerine gözle görülür bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Cebeci ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, lazer tezgâhında AISI 310 paslanmaz sac malzemesinin farklı kesme parametrelerinde kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf genişliğine ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelemiştir. Sonuç olarak; en düşük yüzey pürüzlülüğü basıncın 1bar, frekansın 5000Hz ve kesme hızının 32 mm/dk olduğu kesme parametrelerinde 2,78 µm ölçülmüştür. En düşük kerf genişliği basıncın 0,8 bar, frekansın 3500 Hz ve kesme hızının 20 mm/dk olduğu kesme parametrelerinde 0,79 mm olmuştur. Yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızının ve frekansın yükselmesi ile düştüğü görülmüştür. Artan kesme hızı ile kerf genişliğinin azaldığı, frekans değerinin artması kerf genişliğinin arttığı görülmüştür.

Yapılan literatür taramasında, imalat endüstrisinde farklı malzemelerin lazerle kesilmesinde farklı kesme parametrelerinin ÜKG'ne, AKG'ne ve Ra'ya etkilerini incelemek için farklı çalışmaların

yapıldığı görülmüştür. Ancak Hardox 500 çeliğinin lazerle kesilmesi üzerine çok az ya da hiç çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile Hardox 500 çeliğinin lazerle kesilmesinde kesim geometrisinin ve kesme parametrelerinin ÜKG'ne, AKG'ne ve Ra'ya etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, lazer kesme işlemlerinde kullanılmak üzere ticari olarak temin edilen 6 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliği seçilmiştir. 1500 MPa çekme mukavemetine, 1300 MPa akma mukavemetine ve 420-540 HB sertliğe sahip iş parçasının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İş parçasının kimyasal kompozisyonu (ağırlıkça %).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,048	0,203	0,253	0,012	0,026	12,24	1,388	9,064	1,582

Lazer kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca her kesme geometrisi için kullanılan deney kombinasyonları ile Ra, ÜKG ve AKG sonuçları Tablo 3'de görülmektedir. Kesme deneyleri Bystronic-BySprint Pro 4020 CNC lazer tezgâhında yapılmıştır. Lazer kesme işlemleri sırasında lens çapı 38,04 mm ve nozul çapı 1 mm seçilmiştir. Lazer kesme işlemleri sırasında Oksijen (O₂) gazı kullanılmıştır.

Tablo 2. Lazer kesme parametreleri ve seviyeleri.

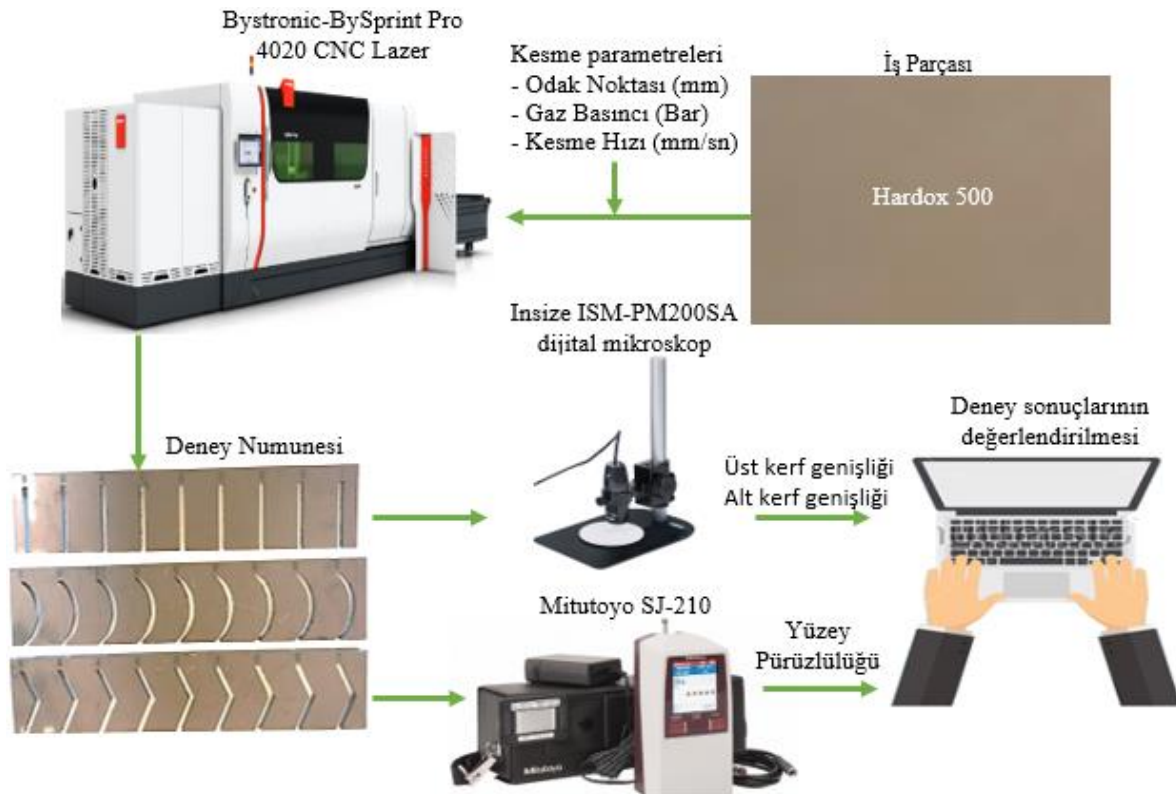
Kesme Parametreleri	Birimler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Geometrisi		Düz Kesim	V Kesim	Yay Kesim
Odak Noktası (ON)	mm	-0,5	0	0,5
Gaz Basıncı (GB)	bar	0,7	0,8	0,9
Kesme Hızı (KH)	mm/sn	850	900	950

Tablo 3. Lazer kesme işleminde kullanılan deney kombinasyonları ve sonuçları.

Deney No	Kesme Parametreleri			Ra (µm)	ÜKG (mm)	AKG (mm)
	ON (mm)	GB (Bar)	KH (mm/sn)			
Düz Kesim						
1	-0,5	0,7	850	2,704	5,06	5,02
2	-0,5	0,8	900	2,592	5,18	5,13
3	-0,5	0,9	950	2,096	5,27	5,24
4	0,0	0,7	900	3,082	5,19	5,15
5	0,0	0,8	950	2,950	5,29	5,26
6	0,0	0,9	850	2,555	5,25	5,22
7	0,5	0,7	950	3,312	5,33	5,29
8	0,5	0,8	850	3,063	5,26	5,24
9	0,5	0,9	900	2,810	5,37	5,32
V Kesim						
1	-0,5	0,7	850	3,538	5,12	5,07
2	-0,5	0,8	900	3,303	5,28	5,22
3	-0,5	0,9	950	2,756	5,37	5,32
4	0,0	0,7	900	4,112	5,29	5,24

5	0,0	0,8	950	3,620	5,4	5,35
6	0,0	0,9	850	3,138	5,36	5,3
7	0,5	0,7	950	4,378	5,42	5,38
8	0,5	0,8	850	3,899	5,37	5,33
9	0,5	0,9	900	3,498	5,51	5,45
Yay Kesim						
1	-0,5	0,7	850	3,849	5,21	5,13
2	-0,5	0,8	900	3,524	5,38	5,29
3	-0,5	0,9	950	3,009	5,45	5,37
4	0,0	0,7	900	4,532	5,37	5,26
5	0,0	0,8	950	3,753	5,48	5,39
6	0,0	0,9	850	3,257	5,43	5,32
7	0,5	0,7	950	4,795	5,49	5,41
8	0,5	0,8	850	4,158	5,47	5,40
9	0,5	0,9	900	3,667	5,59	5,49

Kesilen numunelerin Ra ölçümleri öncesi kesme sırasında yüzeyde biriken tozlar basınçlı hava ile temizlenmiştir. Numunelerin Ra ölçümlerinde Mitutoyo SJ-210 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçümleri kesme eksenine dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Lazerle kesilen yüzeyin farklı noktalarından beş ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama Ra değeri belirlenmiştir. Lazer kesme işlemleri sonucu oluşan ÜKG'nin ve AKG'nin ölçümünde 1600x1200 çözünürlüğe, 200X'e kadar büyütme kapasitesi olana insize marka dijital stereo mikroskop kullanılmıştır. Kesme geometrisi boyunca yapılan 5 ölçümün aritmetik ortalaması hesaplanarak ÜKG ve AKG elde edilmiştir. Yapılan çalışmada izlenen deney akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



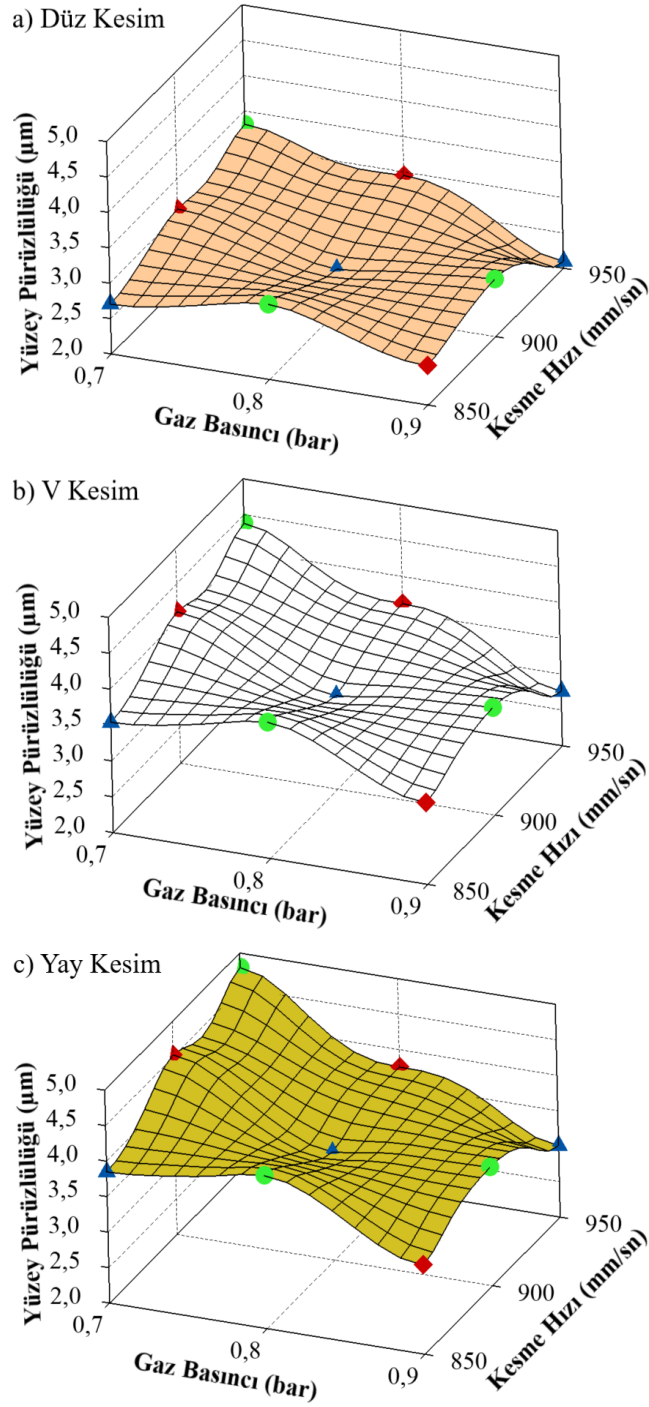
Şekil 1. Deney akış şeması.

Bulgular ve Tartışma

Yüzey pürüzlülüğü

Bu çalışmada, farklı kesme parametrelerinde 6 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliği düz, V ve yay geometrilerinde kesilmiştir. Kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin Ra üzerine etkileri araştırılmıştır. Lazer kesme işleminde kesme geometrisine ve kesme parametrelerine bağlı Ra değerlerindeki değişimler yüzey grafiği olarak Şekil 2' de verilmiştir.

Şekil 2-a'da Hardox 500 çeliğinin düz geometride -0,5 mm ON'da, 850 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da lazerle kesilmesinde Ra değeri 2,704 μm olmuştur. KH ve GB'nın sırası ile %10,5 ve %28,6 oranında artırılmasıyla Ra değeri 2,096 μm ölçülmüştür. ON'nın 0 mm çıkarılması ile 0,7 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da Ra değeri 3,082 μm ölçülmüştür. GB'nın %28,6 artırılması ve KH'nın %5,6 oranında azaltılması ile Ra değeri %17,09 oranında azalmıştır. ON'nın 0,5 mm çıkarılmasıyla, 950 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da Ra değeri 3,312 μm ölçülmüştür. KH'nın 900 mm/sn düşürülmesi ve GB'nın 0,9 bar'a çıkarılması ile Ra değeri %15,16 oranında azalarak 2,810 μm olmuştur.



Şekil 2. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin Ra etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)

Şekil 2 b-c incelendiğinde ise kesme parametrelerine ve kesme geometrisine bağlı Ra değerlerinde artma görülmüştür. Şekil 2-b'ye bakıldığında -0,5 mm ON'da, 0,7 bar GB'da ve 850 mm/sn KH'da V kesim için 3,538 µm ile en düşük Ra değerleri ölçülmüştür. Aynı lazer kesme parametrelerinde yay kesim için en düşük Ra değeri, V kesime göre ortalama %8,8 oranında artarak 3,849 µm olmuştur (Şekil 2-c).

Genel olarak Ra için deney sonuçlarına bakıldığında her üç geometride ON'nın iş parçasına yaklaşması, KH'nın ve GB'nın artması ile Ra değerlerinde azalma görülmüştür. ON'nın iş parçasına

yaklaşması, KH'nın ve GB'nın artmasıyla Ra'nın azalması literatürdeki diğer çalışmalarla uyumluluk göstermiştir (Chen, 1999; Ghany ve Newishy 2005; Stournaras ve ark., 2009). Yüksek KH ve GB'da yapılan kesme işlemlerinde ergimiş malzeme kesme bölgesinden daha hızlı ve etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu da lazer kesme işlemlerinde iş parçalarının yüzeylerini daha pürüzsüz hale geleceği ifade edilmiştir. Kesim geometrisi için Ra değerleri incelendiğinde, bütün lazer kesme parametrelerinde en düşük Ra değeri düz şekilde yapılan kesmelerde ölçülürken, en büyük Ra yay şeklinde yapılan kesme işlemlerinde ölçülmüştür. Bunun nedeninin, lazer kesme sırasında CNC lazer tezgâhının iki eksenin aynı anda hareket etmesi girinti ve çıkıntılı yüzeyleri oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca CNC tezgâhlarında birden çok eksenin aynı anda hareket etmesi ile istenen kesme hızına ulaşamamasına neden olmaktadır. Buda V ve yay biçiminde kesme işlemlerinde Ra'nın artmasının diğer bir nedeni olarak düşünülmektedir.

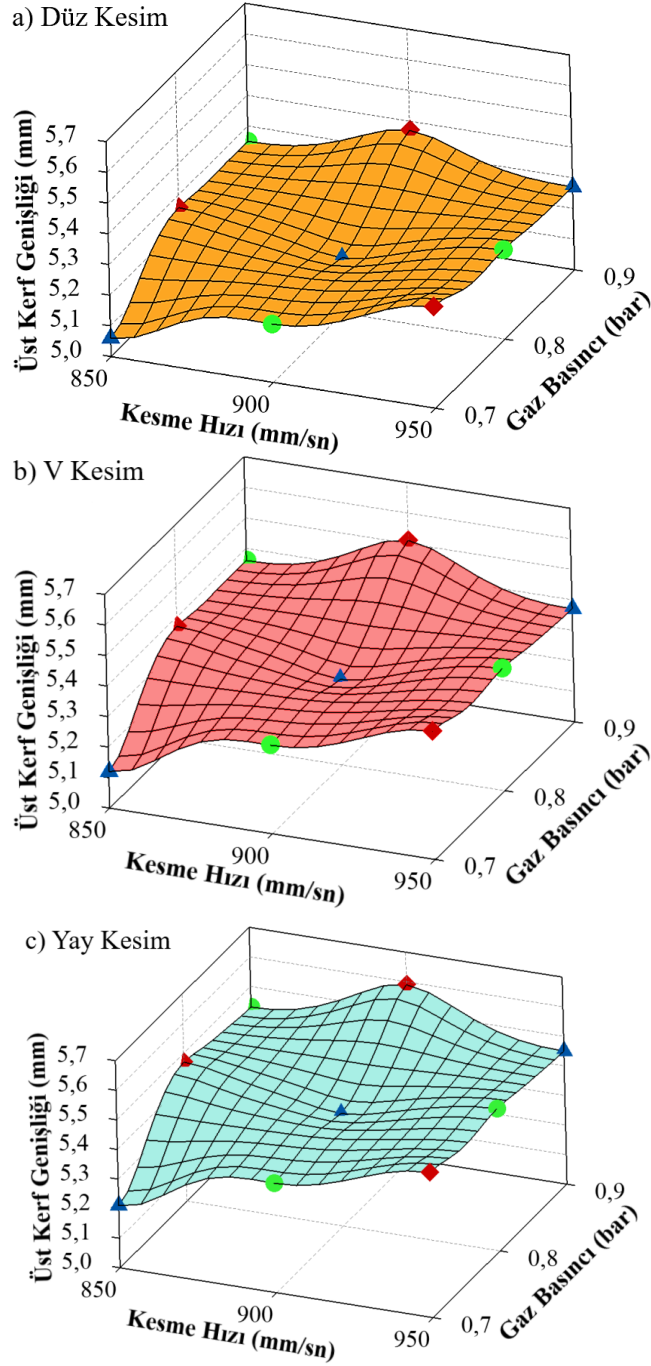
Üst kerf genişliği

Lazer kesme işleminde kesim kalitesi için kerf genişliğinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Kerf genişliği, lazer kesme parametrelerinden ve kesme geometrisinden etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin ÜKG'ne etkileri değerlendirilmiştir.

Düz kesim ve kesme parametrelerinin ÜKG etkileri Şekil 3-a'da sunulmuştur. İş parçası ON'nın -0,5 mm, GB'nın 0,7 bar ve KH'nın 850 mm/sn olduğu deney kombinasyonunda yapılan düz kesimde 5,02 mm ile en düşük ÜKG ölçülmüştür. GB'nın ve KH'nın sırası ile 0,9 bar ve 950 mm/sn'ye çıkarılması ile ÜKG %4,15'lik artışla 5,27 mm ölçülmüştür. ON'nın 0 mm'ye çekilmesi ile GB'nın 0,7 bar ve KH'nın 900 mm/sn yapılan kesme deneylerinde ÜKG 5,19 mm olmuştur. GB'nın %28,6 (0,9 bar) artırılması ve KH'nın %5,6 (850 mm/sn) düşürülmesiyle yapılan deneyde ÜKG %1,17 oranında artarak 5,25 mm olmuştur. ON'nın 0,5 mm'ye çekilmesiyle 0,7 bar GB'da ve 950 mm/sn KH'da ÜKG 5,33 mm ölçülmüştür. Aynı ON'da GB'nın 0,9 bar çıkarılması ve KH'nın 900 mm/sn düşürülmesiyle ÜKG %0,75 oranında artarak 5,37 mm ölçülmüştür. V ve yay geometrileri için aynı kesme parametreler kullanılarak ÜKG'deki değişimler Şekil 3 b-c'de verilmiştir. İş parçasının V ve yay geometrilerinde -0,5 mm ON'da, 0,7 bar GB'da ve 850 mm/sn KH'da lazerle kesilmesinde en düşük ÜKG'leri sırası ile 5,12 mm ve 5,21 mm olmuştur.

Düz, V ve yay kesimler için optimum kesme parametrelerinde elde edilen ÜKG'lerine ait mikroskop görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, GB'nın ve KH'nın artması ile ÜKG artışı görülmüştür. KH'nın artması kerf genişliğini azaltacağı literatürde yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Işık ve ark., 2021). Ancak GB'nın artırılması ergimiş metali kesme bölgesinden daha fazla miktarda uzaklaştırılması nedeni ile kerf genişliğinin artmasına sebep olmaktadır (Ay ve Yücelişli, 2018). Ayrıca ON iş parçasının içerisinde kaldığı zaman kerf genişliği minimuma düştüğü görülmüştür. Bu durumu, kerften kütle çıkarma hızı ve ekzotermik oksidasyon reaksiyonları ile açıklanabilir. Bu da

literatürde yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir (Karatas ve ark., 2006; Dubey ve Yadava, 2008). Kesme geometrisinin ÜKG'ne etkisine bakıldığında en düşük ÜKG'nin düz kesimde ölçüldüğü ve bunu sırası ile V kesim ve yay kesim takip ettiği görülmüştür. Bunun nedeni V ve yay geometriye sahip kesme işlemlerinde lazer ışınının düz kesime göre kesme bölgesinden daha geç uzaklaşacaktır. Bu da kesme bölgesinin daha fazla ısınmasına ve ergimiş metalin miktarının yüksek basınçlı gazla kesme bölgesinden daha fazla malzeme uzaklaştırılacağından ÜKG artmasına neden olacağı düşünülmektedir.



Şekil 3. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin ÜKG'ne etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)



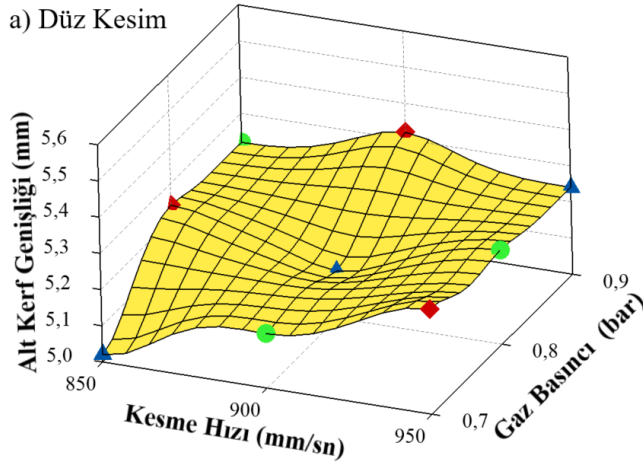
Şekil 4. Lazer kesme işleminde ÜKG için optimum kesme parametrelerine ait görüntüler.

Alt kerf genişliği

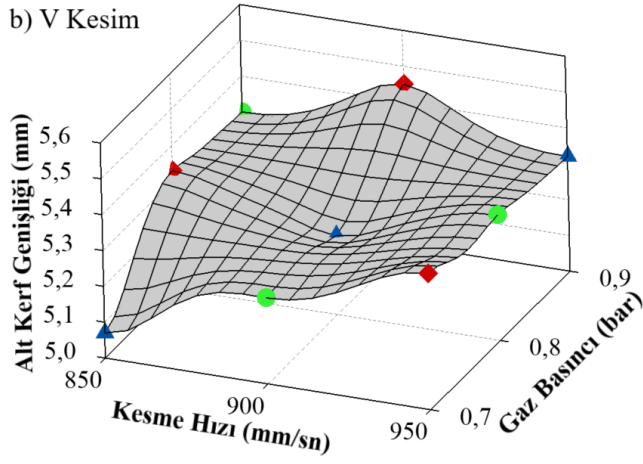
İş parçasının lazerle kesilmesinde elde edilen AKG'leri ölçülüp, AKG ile kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin ilişkileri incelenmiştir. İş parçasının farklı kesme parametrelerinde düz kesim yapılması ile AKG'deki değişim Şekil 5'de görülmektedir.

ON'nın -0,5 mm, KH'nın 850 mm/sn ve GB'nın 0,7 bar olduğu kesme koşullarında 5,02 mm ile düz kesim için en küçük AKG ulaşılmıştır. GB 0,9 bar ve KH'nın 950 mm/sn çıkarılmasıyla AKG %4,38 oranında artma olduğu görülmüştür. ON'nın 0 mm çekilmesiyle 0,7 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da AKG 5,15 mm olmuştur. KH'nın %5,6 oranında azaltılması ve GB'nın %28,6 oranında artırılmasıyla AKG 5,22 mm olmuştur. ON'nın 0,5 mm çıkarılmasıyla KH'nın 950 mm/sn ve GB'nın 0,7 bar olduğu deney kombinasyonunda AKG 5,29 mm ölçülmüştür. Aynı ON için 0,9 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da AKG 5,32 mm olmuştur.

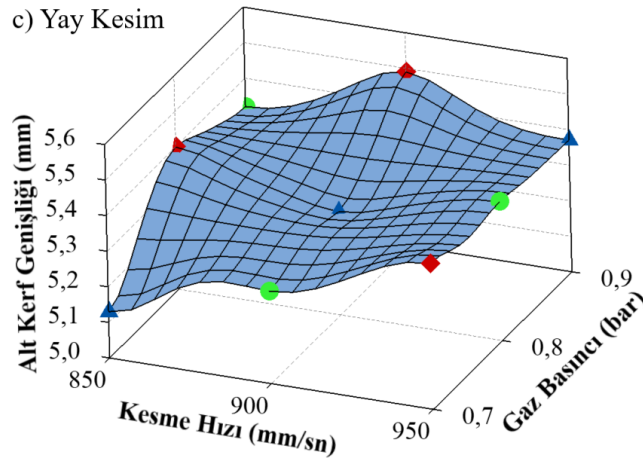
a) Düz Kesim



b) V Kesim



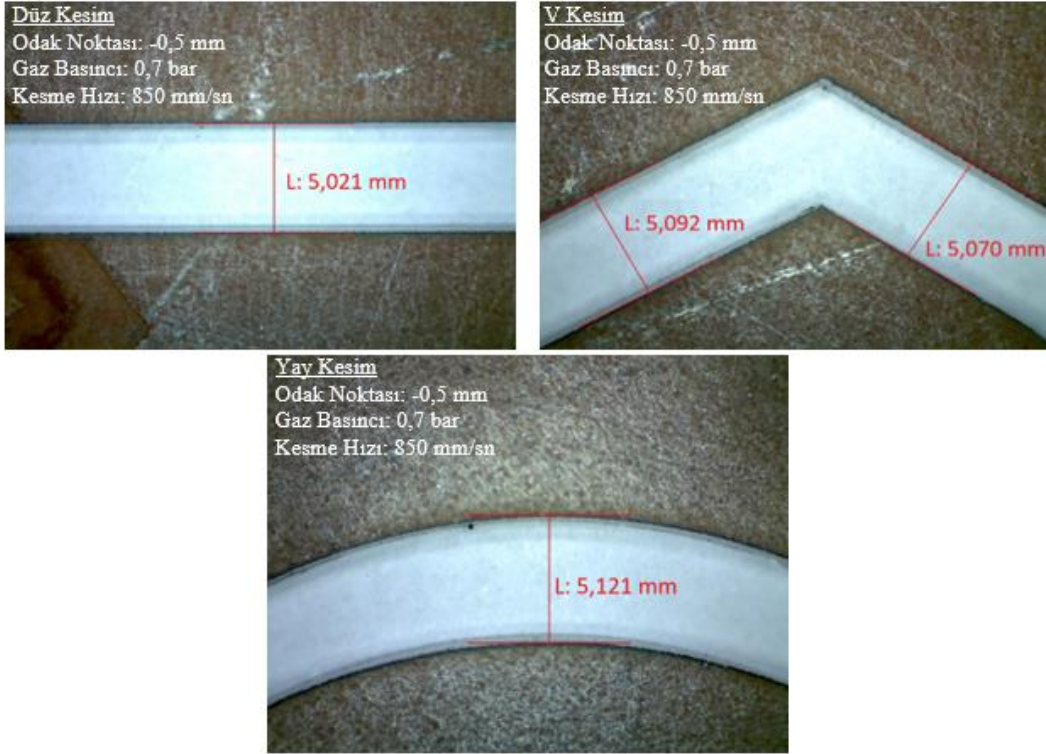
c) Yay Kesim



Şekil 5. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin AKG'ne etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)

Şekil 5 b-c'de aynı kesme parametrelerinde V ve yay geometrileri için AKG'deki değişimler verilmiştir. V ve yay geometrileri için -0,5 mm ON, 850 mm/sn KH ve 0,7 bar GB'da sırası ile en küçük AKG'leri 5,07 mm ve 5,13 mm olmuştur. Şekil 6'da düz, V ve yay kesim için en iyi kesme parametrelerinde ulaşılan AKG'ne ait mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Yapılan çalışmada AKG'nin ÜKG'ne göre daha düşük değerler ölçülmüştür. Bunun nedeninin lazer kesme işleminde iş

parçası kalınlığı boyunca ışın yoğunluğunun, GB'nın azalması ve odağın değişmesinin bir sonucu olduğu bildirilmiştir (Ay ve Yücelişli, 2018).



Şekil 6. Lazer kesme işleminde AKG için optimum kesme parametrelerine ait görüntüler.

Sonuçlar

Lazer kesme işleminde en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi kesim kalitesi için hayati önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada, 6 mm kalınlığında Hardox 500 çeliğinin lazer kesme işleminde kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, üst ve alt kerf genişliği üzerine etkileri incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ❖ Düz geometride yapılan kesme işlemlerinde odak noktasının malzeme yüzeyinin altında, maksimum gaz basıncında ve kesme hızında 2,096 μm ile en düşük yüzey pürüzlülüğüne ulaşılmıştır.
- ❖ Düz geometride yapılan kesme işlemlerinde odak noktasının malzeme yüzeyinin altında, minimum gaz basıncında ve kesme hızında 5,06 mm ile en düşük üst kerf genişliği elde edilmiştir.
- ❖ Alt kerf genişliği için en iyi sonuç 5,02 mm ile düz geometride yapılan kesme işlemi için odak noktasının -0,5 mm, gaz basıncının 0,7 bar ve kesme hızının 850 mm/sn olarak belirlenmiştir.
- ❖ Yapılan çalışmada kesme geometrisinden ve kesme parametrelerinden yüzey pürüzlülüğünün, üst ve alt kerf genişliklerinin etkilendiği tespit edilmiştir.

- ❖ Özellikle yapılan çalışmada V ve yay gibi kesme geometrilerinin kesilmesi sırasında lazerin kesme bölgesinden hızlı bir şekilde uzaklaşmaması yüzey pürüzlülüğünü, üst ve alt kerf genişliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Ay M., Yücelişli F. Ti-6Al-4V alaşımının fiber lazer ile kesilmesinde işlem parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 30(2): 215-223.
- Cebeci İ., Özlü B., Demir H. AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzemenin lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin incelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 10(4): 2791-2799.
- Chen SL. The effects of high-pressure assistant-gas flow on high-power CO2 laser cutting. Journal of Materials Processing Technology 1999; 88(1-3): 57-66.
- Chen MF., Ho YS., Hsiao WT., Wu TH., Tseng SH., Huang KC. Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis. Optics and Lasers in Engineering 2011; 49(2): 222-228.
- Çırakoğlu F., Özlü B., Demir H. Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 8(2): 913-923.
- Duan J., Man HC., Yue TM. Modelling the laser fusion cutting process: III. Effects of various process parameters on cut kerf quality. Journal of Physics D: Applied Physics 2001; 34: 2143-2150.
- Dubey AK., Yadava V. Laser beam machining-A review. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2008; 48(6): 609-628.
- Ghany KA., Newishy M. Cutting of 1.2 mm thick austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser. Journal of Materials Processing Technology 2005; 168(3): 438-447.
- Işık R., Özlü B., Demir H. St-37 Malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 33(1): 161-171.
- Jarosz K., Löschner P., Niesłony P. Effect of cutting speed on surface quality and heat-affected zone in laser cutting of 316L stainless steel. Procedia Engineering 2016; 149: 155-162.

- Joshi P., Sharma A. Simultaneous optimization of kerf taper and heat affected zone in Nd-YAG laser cutting of Al 6061-T6 sheet using hybrid approach of grey relational analysis and fuzzy logic. *Precision Engineering* 2018; 54: 302-313.
- Karatas C., Keles O., Uslan I., Usta Y. Laser cutting of steel sheets: Influence of workpiece thickness and beam waist position on kerf size and stria formation. *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 172(1): 22-29.
- Lamikiz A., De Lacalle LL., Sanchez JA., Del Pozo D., Etayo JM., Lopez JM. CO₂ laser cutting of advanced high strength steels (AHSS). *Applied Surface Science* 2005; 242(3-4): 362-368.
- Madić M., Radovanović M. Application of RCGA-ANN approach for modeling kerf width and surface roughness in CO₂ laser cutting of mild steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 2013; 35: 103-110.
- Moradi M., Mehrabi O., Azdast T., Benyounis KY. Enhancement of low power CO₂ laser cutting process for injection molded polycarbonate. *Optics ve Laser Technology* 2017; 96: 208-218.
- Nyon K., Nyeoh CY., Mokhtar M., Rahman RA. Finite element analysis of laser inert gas cutting on Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2012; 60: 995-1007.
- Özlü B. 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* 2021; 28(10): 1-18.
- Stournaras A., Stavropoulos P., Salonitis K., Chryssolouris G. An investigation of quality in CO₂ laser cutting of aluminum. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2009; 2(1): 61-69.
- Tamrin KF., Nukman Y., Choudhury IY., Shirley S. Multiple-objective optimization in precision laser cutting of different thermoplastics. *Optics and Lasers in Engineering* 2015; 67: 57-65.
- Wei J., Ye Y., Sun Z., Liu L., Zou G., Control of the kerf size and microstructure in inconel 738 superalloy by femtosecond laser beam cutting. *Applied Surface Science* 2016; 370: 364-372.