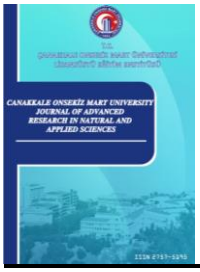
e-ISSN 2757-5195



Çanakkale Onsekiz Mart University
Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences
Open Access

doi.org/10.28979/jarnas.1072471 2023, Cilt 9, Sayı 1, Sayfa: 78-88 dergipark.org.tr/tr/pub/jarnas

Yüksek Mukavemetli DP1200 Çeliği Fiber Lazer Bindirme Kaynağında Lazer Açısı Parametresinin Etkisi

Meryem Altay[1,*], Hakan Aydın[2]

[1,2] Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 12.02.2022
Kabul: 22.09.2022
Yayım: 05.03.2023

Araştırma Makalesi

Öz – Çalışma kapsamında yüksek mukavemete sahip DP 1200 çelik malzemenin, fiber lazer kaynak işlemiyle birleştirilmesi bindirme formunda yapılmıştır. Lazer gücü (2500 W) ve ilerleme hızı (55 mm/s) sabit tutularak lazer açısı (70°, 80°, 90°) değişiminin kaynaklı bağlantıların kaynak dikiş yüzeyi, kaynak geometrisi, kırılma yüzeyleri ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Lazer kaynaklı numunelerin arka yüzeylerinde, ön yüzeylerine göre sıçrama etkilerinin (spatter effect) daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Eşit ısı girdisinde lazer açısının, ara seviyede kullanılmasındansa düşük (70°) ya da yüksek seviye (90°) kullanılmasının kaynak geometrisinde optimum sonuçlar vereceği tespit edilmiştir. Çekme testinde yüksek kuvvet ve yüzde uzama değerleri elde edilmiştir: 70° lazer açısına sahip numunede maksimum kesme kuvveti 5.8266 kN olarak elde edilmiştir. Ayrıca kesme kuvveti ile kaynak geometrisindeki erime bölgesinde ölçülen tam birleşme mesafesi (bonding) arasında ilişki kurulmuştur. Düşük lazer açısı parametresi (70°) ile üretilen numunelerde yüksek gevrekliğin göstergesi klivaj kırılmalar gözlenmiştir; yüksek lazer açısı (90°) ile üretilen numunelerde ise kırılma yüzeyleri sünektir, oluşan çukurlar küçük boyutludur. Lazer açısının yüksek dereceye sahip olması (90°), kırılmanın gerçekleştiği bölgenin Isı Tesiri Altındaki Bölge içerisinde yer almasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler – *Lazer kaynak, kaynak işlem parametreleri, kırılma yüzeyi, mekanik özellikler, DP1200 çeliği*

Effect of Laser Angle Parameter in High Strength DP1200 Steel Fiber Laser Overlap Welding

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, Bursa, Türkiye

Article History

Received: 12.02.2022
Accepted: 22.09.2022
Published: 05.03.2023

Research Article

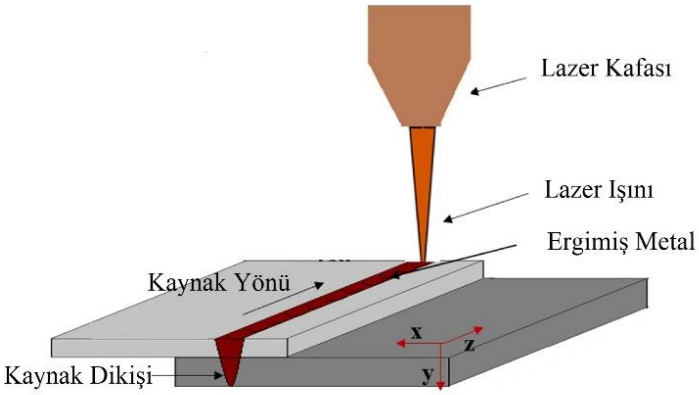
Abstract – In this study, high-strength DP 1200 steel plates were welded with fiber laser welding method in the form of overlapping without gaps. The effects of the laser angle (70°, 80°, 90°) changed on the weld bead surface, weld geometry, fracture surfaces and mechanical properties were investigated by keeping the laser power (2500 W), and the scanning speed (55 mm/s) was constant. It has been determined that the rear surfaces of the laser-welded specimens have more spatter effects than the front surfaces. Low level (70°) or high level (90°) laser angle was achieved a good result in terms of weld geometry rather than an intermediate level. High strength and relatively high percent elongation values were obtained in the tensile test: the highest shear force was achieved as 5.8266 kN in the sample with a laser angle of 70°. In addition, the shear force and the fusion zone bonding distance were correlated. Cleavage fractures in specimens produced with a low laser angle (70°), demonstrated high embrittlement; the fracture surfaces were ductile and the voids formed were small in size in specimens manufactured with a high laser angle (90°). The high laser angle parameter (90°) was caused the fraction region to moved away from the weld center and stayed within the Heat Affected Zone (HAZ) region.

Keywords – *Laser welding, welding parameters, fracture surface, mechanical properties, DP1200 steel,*

[1] meryemaltay@uludag.edu.tr
[2] hakanay@gmail.com
*Sorumlu Yazar

1. Giriş

Lazer ışını yüksek genliğe sahip, aynı frekanslı ve birbirine paralel dalgalardan oluşur. Lazer kaynak metodu, lazer ışınının kaynak yapılacak yüzeye aktarılması, malzemelerin ergitilerek birleştirilmesi prensibine dayanır (Şekil 1). Yüksek penetrasyon, yüksek mekanik dayanım, korozyona dayanım, düşük distorsiyon, yüksek kalitede ve hızlı üretim avantajları sayesinde tercih edilmektedir. Kaynak alanına yeterli ısı girdisi sağlandığı için ergime dar bir bölgede gerçekleşir ve deformasyondan korunur. Ancak, kullanılan temel malzemenin yansıtma özelliği olması nedeniyle verimliliğin düşmesi ve ilk yatırım maliyetinin fazla olması dezavantajlarıdır.



Şekil 1. Lazer kaynak metodu şematik gösterim (Indhu vd., 2018)

Lazer kaynak işleminde proses parametreleri: lazer gücü, ilerleme hızı, odak mesafesi, lazer açısı, koruyucu gazdır. İstenilen kaynak kalitesini elde edebilmek ve kaynak hatalarının önüne geçebilmek adına optimum proses parametrelerinin seçilmesi gereklidir (Altay, 2021). Alves ve ark. (2018) ferritik martenzitik özellikteki DP1000 çeliğinin birleştirmelerinde lazer kaynak yönteminin uygunluğunu araştırmışlardır. Lazer gücü (0.4 kW, 2 kW) ve kaynak hızı (20 mm/s, 150 mm/s) parametre değişimlerinin mikroyapıdaki etkilerini taramalı elektron mikroskobunda incelemişler; optimum kaynak koşulunun 2.0 kW lazer gücü ve 150 mm/sn kaynak hızı olduğunu tespit etmişlerdir (Alves vd., 2018). DP800 malzemesinin lazer kaynak işlemine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Özgültekin ve ark. alın kaynak konfigürasyonunda mikroyapı ve mekanik özellikler için incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapıda ince tanelerin gevrek kırılmayı tetiklediğini tespit etmişlerdir (Özgültekin vd., 2022). Li ve ark. DP800 galvanizli çeliklerin birleştirilmesinde çift ışınlı lazer kaynağını kullanmışlardır. Lazer gücü (7-8-9-10 kW) ve ilerleme hızı (100 mm/s) parametre değişimlerinin ergiyik havuz ve anahtar deliği davranışı üzerindeki etkilerini bir termal kamera yardımıyla izlemişlerdir.Tandem ışın ile lazer kaynak işleminde öncü ışın gücünün azalması ile sıçrama etkisinin azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca Erime Bölgesinde uzamış martenzit yapısı oluşurken, Isı Tesiri Altındaki Bölgede ise temperlenmiş martenzit ve ferrit içeren kalın martenzitlerin bulunduğunu gözlemlemişlerdir (Li vd., 2022). Kim ve ark. (2012) alüminyum alaşımlarının (5J32) bindirme kaynağında lazer gücü, kaynak hızı ve lazer geliş açısı değişkenlerinin kaynak dikişi şekli ve kopma mukavemetine etkilerini incelemişlerdir. Lazer gücü arttıkça ve kaynak hızı azaldıkça çekme mukavemeti artmıştır. Proses parametrelerinin kaynak özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonucunda lazer gücü parametresinin en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Kim & Park, 2012).

Otomotiv sektöründe son yıllarda güvenlik açısından kritik komponentlerde DP (dual phase) çelikleri tercih edilmektedir, kaynaklı birleştirmeleri kritik öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, yüksek mukavemete sahip DP 1200 çelik malzeme seçilerek, bindirme kaynağı fiber lazer kaynak yöntemi için araştırılmıştır. Lazer gücü, ilerleme hızı, lazer açısı için uygun parametre değerleri belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiş; kaynaklı bağlantılar kaynak dikiş yüzeyleri, kaynak geometrisi, kırılma yüzeyleri ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Elde edilen çıktılarının hem literatüre hem de sektöre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan DP1200 (dual phase) çelik malzeme: akma mukavemeti 900-1100 MPa, çekme mukavemeti 1180-1350 MPa ve minimum uzama %6 değerlerine sahiptir. Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir.

Tablo 1
DP1200 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

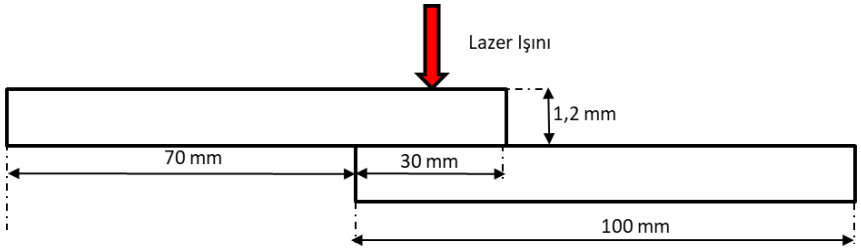
Element	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr+Mo	Nb+Ti
% ağırlık	0.23	1	2.9	0.15-1	0.05	0.01	1	0.15

Kaynak işlemleri 1070 nm dalga boyu, 100 µm lazer ışın çapı, maksimum 6 kW lazer gücüne sahip fiber lazer kaynak teknolojisi ile üretilen lazer ışını ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan fiberi 0.2 mm, odak lensi 200 mm, kolimatör lensi 100 mm, lazer ışını odak çapı 0.4 mm, odaklamada kullanılan mesafe 190 mm değerlerindedir. Fiber optik kablolar ve altı eksende çalışabilen KUKA marka robot sayesinde lazer ışını hareket ettirilmektedir (Şekil 2). Koruyucu gaz olarak 12 lt/dk akış hızında Argon kullanılmıştır.



Şekil 2. Lazer kaynak işlemlerinde kullanılan cihaz

Birleştirilecek sac malzemeler bindirme kaynağı formunda konumlandırılmıştır, plakaların boyutları (Şekil 3)'de gösterilmiştir. Lazer ışını, bindirme mesafesinin ortasına konumlandırılarak kaynak işlemi uygulanmıştır



Şekil 3. Fiber lazer bindirme kaynak formu

Lazer kaynak işleminde yüksek etkinliğe sahip lazer gücü, ilerleme hızı, lazer açısı parametreleri incelenmek üzere belirlenmiştir. Otomotiv sektöründeki uygulamalarda kullanılmakta olan parametre değerleri tespit edilmiştir, belirlenen değerler (Tablo 2)'de gösterilmiştir. Lazer açısı değişiminin kaynak dikiş yüzeyleri, kaynak geometrisi, kesme kuvveti, kırılma yüzeyine etkileri incelenmiştir. Isı girdisi, lazer gücü ve ilerleme hızı parametrelerinin birbirine oranlanması ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 2.1), kaynak işlemleri sırasında ısı girdisi 45.45 J/mm'dir.

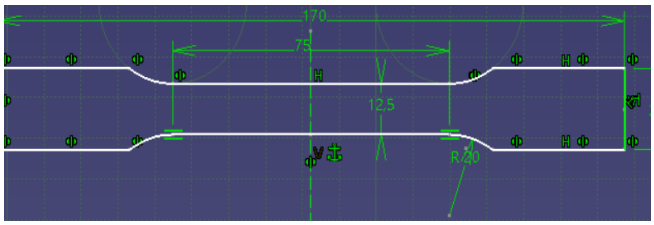
$$Isı\ Girdisi\left(\frac{J}{mm}\right) = \frac{Lazer\ Gücü\ (W)}{İlerleme\ Hızı\ (\frac{mm}{s})} \quad (2.1)$$

Tablo 2
Çalışmada kullanılan işlem parametreleri

Deney No	Lazer Gücü (W)	İlerleme Hızı (mm/s)	Lazer Açısı (°)	Isı Girdisi (J/mm)
1	2500	55	70	45.45
2	2500	55	80	45.45
3	2500	55	90	45.45

Metalografik inceleme ve çekme deneyleri için, lazer kesim yapılarak kaynak işlemi uygulanmış plakalardan numuneler üretilmiştir. Numuneler metalografik kesme cihazı ile kesilerek bakalite alınmış, zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Mikroyapının ortaya çıkarılması için uygulanan dağlama işleminde %3 Nital kullanılmıştır. Nikon Eclipse MA100 mikroskobu ve Clemex programı ile numunelerin 50 büyütmede fotoğrafları alınmıştır.

Çekme deneyinde kullanılacak numuneler lazer kesim yöntemiyle elde edilmiştir (Şekil 4) (Liu vd., 2020). Çekme deneyleri 3 mm/dk çekme hızında UTEST-7014 çekme test cihazında yapılmıştır. Çekme deneyleri üç adet numune ile gerçekleştirilerek sonuçların ortalaması hesaplanmıştır. Deneyler gerçekleştirildikten sonra maksimum kesme kuvveti ve yüzde uzama değerleri belirlenmiştir; numunelerin kırılma yüzeyi Scanning Electron Microscope (SEM) ile incelenmiştir.

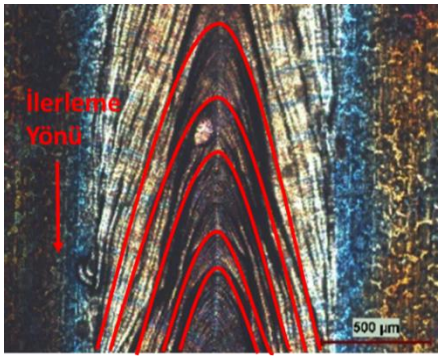


Şekil 4. Çekme deneyi numune boyutları

3. Bulgular ve Tartışma

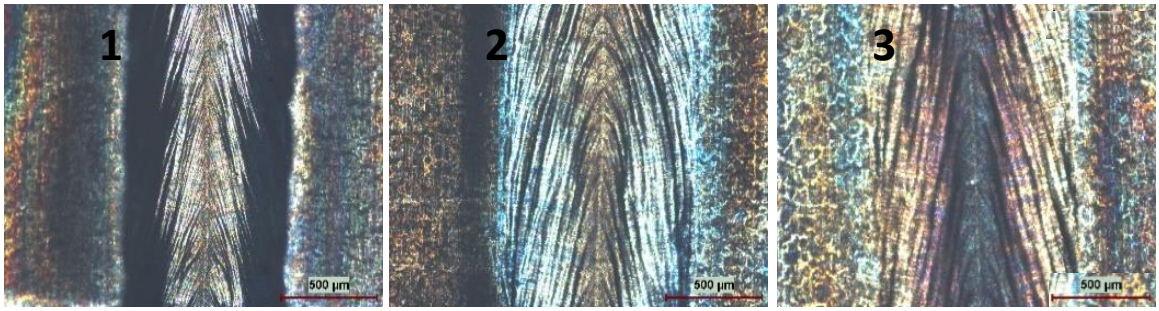
3.1. Kaynak Dikişi İncelemeleri

Numunelerin kaynak dikiş yüzeyi ilerleme yönüne zıt doğrultuda olacak şekilde, dışbükey bir yapıdadır (Şekil 5). Numunelerin tamamında tam penetrasyon gerçekleşmiştir: bu durum ısı girdisinin yeterli düzeyde olduğunun göstergesidir. Kaynak dikişinde sıçrama problemleri gözlenmiştir (spatter effect). Ergiyik haldeki metal üzerinde geri tepme basıncı, yüzey gerilimi ve viskozite etkileri bulunmaktadır, sıvı hareketi bu etkiler ile birlikte metal kaynak havuzunun arka tarafına doğru gerçekleşir. Geri tepme basıncı etkisiyle anahtar deliği dinamik dengesi değişir ve ergimiş metal damlacıklar şeklinde kaynak dikişi ve çevresine sıçramaktadır. Numunelerin kaynak dilişi ön ve arka yüzey görüntüleri çekilmiştir ve sıçrama (spatter) etkisi ortaya konulmuştur, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir. Sıçrama etkisi numunelerin arka yüzeyinde daha fazla görülmüştür.

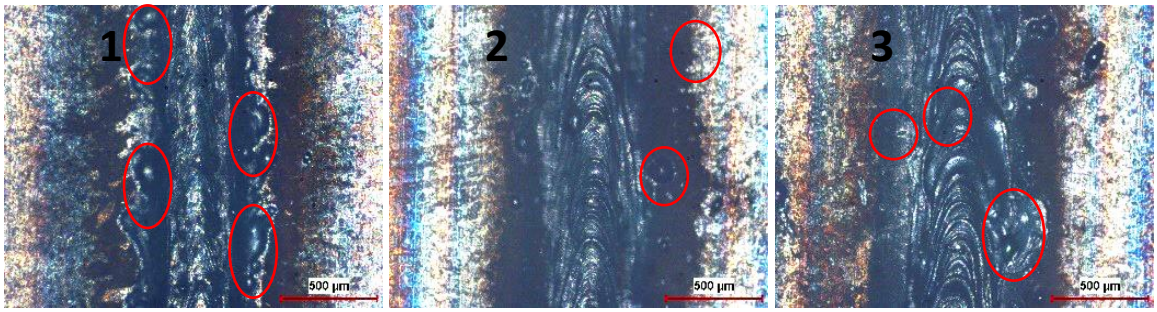


Şekil 5. Lazer kaynak dikişi görüntüsü (50 büyütme)

Ergiyik metal, ilerleme yönünün tersinde ve aşağı yönde hareket etme eğilimindedir:bu hareketlerinde geri tepme basıncı etkisi ve yer çekimi etkilidir, yukarıya hareket yüzey gerilimi nedeniyle daha zordur. Alt yüzeyde sıçrama etkisinin daha fazla gözlemlenmesinin nedeni geri tepme basıncı, yüzey gerilimi ve yer çekimi etkisi ile ergimiş metalin hareketinin aşağı yönde olmasındandır. Metal ergiyiğin geriye doğru hareketi olsa da yüzeyin üst kısmına sıçrama etkisinin meydana gelmesi zordur; aşağıya akış, geriye akış hareketinden hızlı gerçekleşmektedir. Ek olarak, kaynak sırasında bir buhar bulutu oluşmaktadır. Buhar bulutunun yarattığı geri tepme basıncı etkisiyle sıvı metal aşağı yönde hareket eğilimindedir. Anahtar deliği çıkışının yüzey gerilimi sebebiyle dar olmasıyla buhar bulutu ile birlikte dışarıya çıkan metal, damlacık olarak anahtar deliğinden sıçrama gerçekleştirmektedir (M. J. Zhang vd., 2013).



Şekil 6. Numunelerin ön yüzey kaynak dikişi görüntüleri

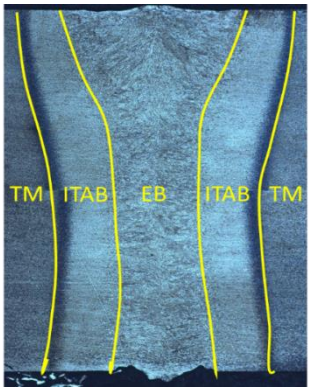


Şekil 7. Numunelerin arka yüzey kaynak dikişi görüntüleri

3.2. Kaynak Geometrisi İncelemeleri

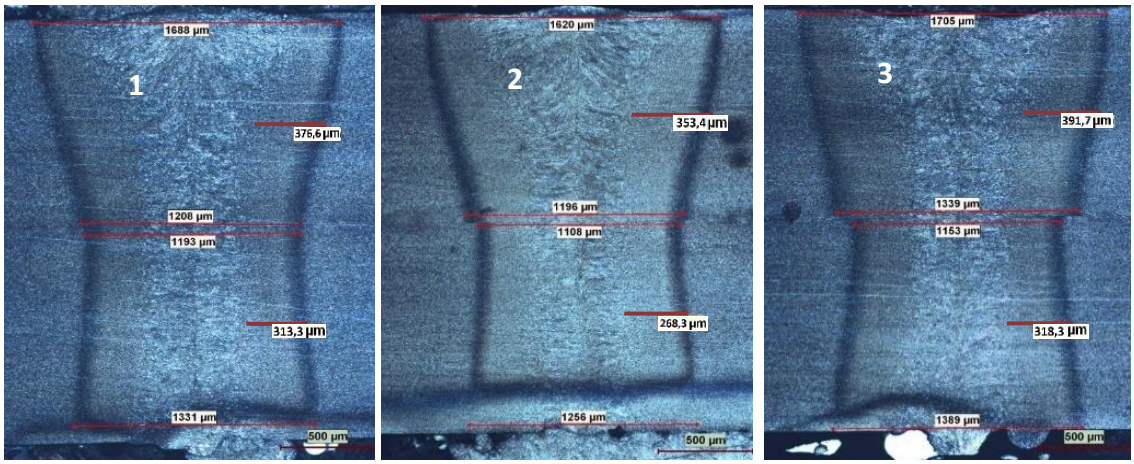
Numunelerin enine kesiti incelendiğinde, tüm numunelerde tam penetrasyon gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 8). Kaynak şekli ısı girdisine göre değişkenlik göstermektedir: ısı girdisi yeterli ise kum saati biçiminde, ısı girdisi az ise yetersiz penetrasyon nedeniyle koni biçimini almaktadır.

Kaynak bölgesinde mikro yapı erime bölgesi (EB), Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve temel malzeme (TM) bölgelerinden oluşmaktadır (Elitaş, 2021). Numunelerin optik mikroskopta çekilen genel mikro yapı görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Çift fazlı DP1200 çeliği ferrit ve martenzitten oluşmaktadır. EB sıcaklığı, malzemenin erime noktasını geçtiğinden füzyon bölgesinde iç yapı soğuma sırası katı hal dönüşümlerine göre değişkenlik göstermektedir. ITAB'da, tamamen erime gerçekleşmemesine rağmen oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşılır. ITAB mikro yapısı maksimum sıcaklığın etkisinde gerçekleşen faz dönüşümlerine bağlıdır. EB ve ITAB geometrik uzunlukları proses parametreleri değişimi ile farklılık göstermektedir. Deney numunelerinin maksimum ve minimum kaynak genişlikleri, ITAB genişlikleri üst ve alt plaka için ölçülmüştür, kaynak geometrileri Tablo 3'de verilmiştir.

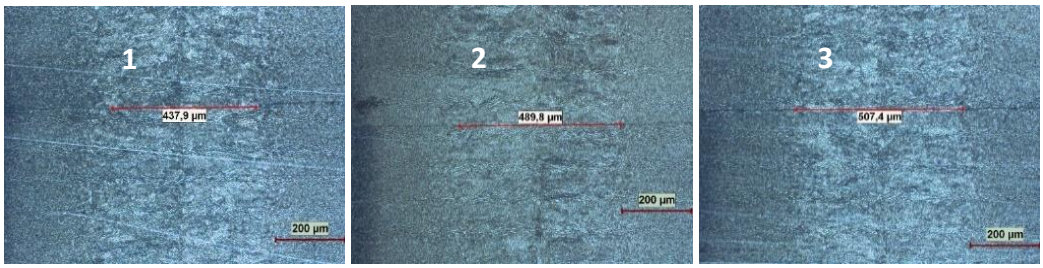


Şekil 8. Kaynak alanında oluşan mikro yapı bölgeleri

Kaynaklı bağlantıda EB'nde tam birleşmenin gerçekleşmediği, plakalar arasında boşluk bulunduğu tespit edilmiştir; kaynak sırasında üst ve alt plakalar arasında bir miktar boş mesafe kaldığı için bu durum gerçekleşmiştir. EB tam birleşme bölgelerinin görüntüleri Şekil 10'da, ölçülen kaynak geometrileri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 9. Numunelerin mikro yapı görüntüleri

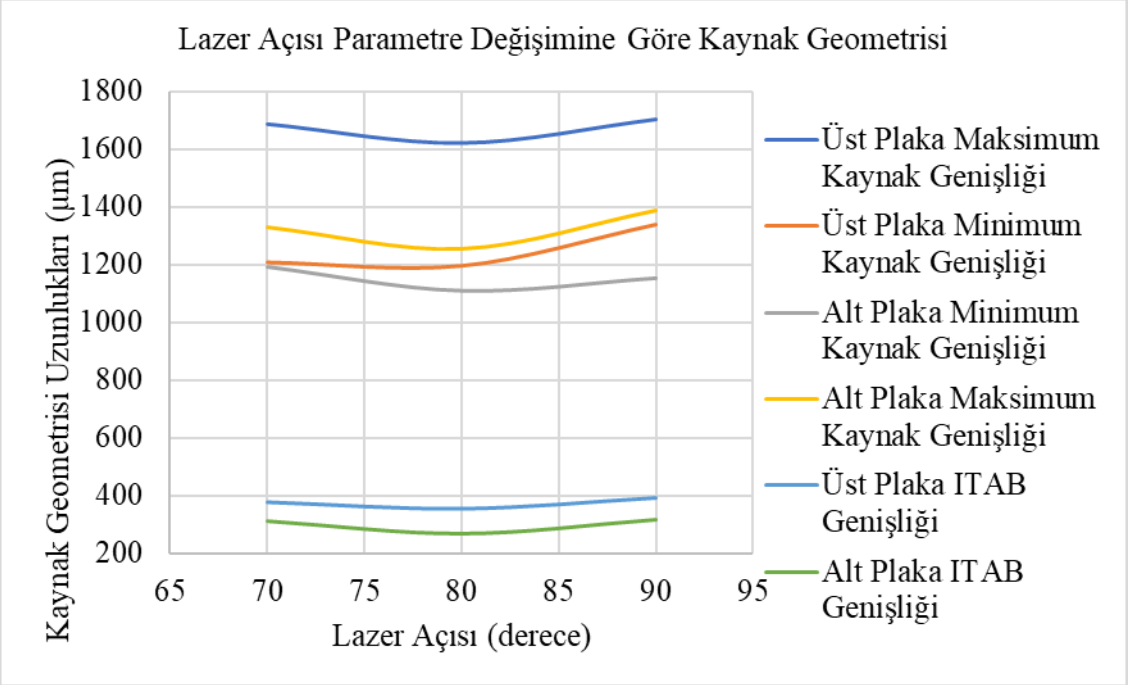


Şekil 10. Numunelerin EB tam birleşme mesafeleri

Tablo 3
Numunelerin ölçülen kaynak geometrileri

Deney No	Üst Plaka Maksimum Genişlik (µm)	Üst Plaka Minimum Genişlik (µm)	Alt Plaka Minimum Genişlik (µm)	Alt Plaka Maksimum Genişlik (µm)	Üst Plaka ITAB Genişliği (µm)	Alt Plaka ITAB Genişliği (µm)	Bonding Mesafesi (µm)
1	1688	1208	1193	1331	376.6	313.3	437.9
2	1620	1196	1108	1256	353.4	268.3	489.8
3	1705	1339	1153	1389	391.7	318.3	507.4

70° ve 80° lazer açısı parametresi ile kaynak işlemi gerçekleştirilen "1" ve "2" numaralı numuneler kıyaslandığında, "1" numaralı numunede daha yüksek geometrik uzunluk değerleri ölçülmüştür. 90° lazer açısına sahip "3" numaralı numunede elde edilen değerler ise, 70° lazer açısına sahip "1" numunesi ile yakın olmakla birlikte daha yüksektir. Lazer açısı parametresi değiştirildiğinde farklılaşan kaynak geometrisi Şekil 11'de gösterilmektedir, ısı girdisi 45.45 J/mm olarak sabittir. Parametre değerleri aynı ısı girdisi için incelendiğinde lazer açısının düşük ya da yüksek seviyede (70° ya da 90°) kullanılmasının kaynak geometrisi için iyi sonuçlar getireceği söylenebilir.



Şekil 11. Lazer açısı parametresinin ölçülen kaynak geometrik uzunluklarına etkisi

3.3. Mekanik Dayanım İncelemeleri

Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme testi uygulanmıştır: kesme kuvveti ve yüzde uzama değerleri alınmış; kaynaklı bağlantının bir birime (mm) karşılık gelen taşıyabileceği yük hesaplanmıştır (Tablo 4).

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda genel olarak yüksek kesme kuvveti ve yüzde uzama değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek kesme kuvveti 70° lazer açısına sahip numunede 5.8266 kN olarak elde edilmiştir, birim başına taşıyabileceği yük 46.6125 kg ve yüzde uzama miktarı %0.3891'dir. En düşük kesme kuvveti ise 80° lazer açısına sahip numunede 4.9672 olarak elde edilmiştir, birim başına taşıyabileceği yük 39.7375 kg ve yüzde uzama miktarı %0.3273'dır.

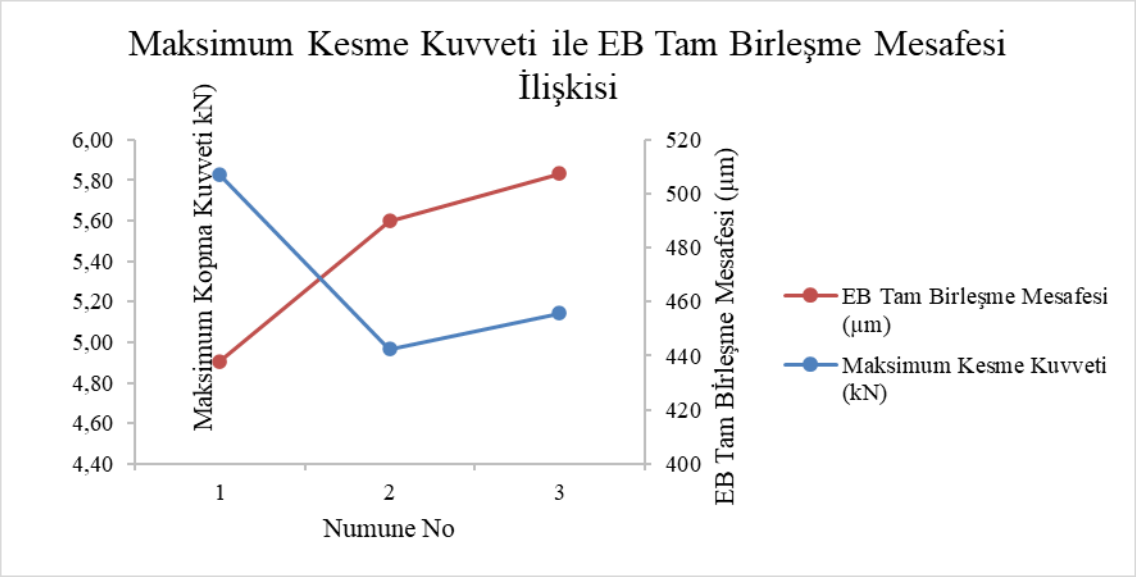
Lazer açısının düşük seviyede (70°) olması, maksimum kesme kuvveti ve uzama değerlerinin elde edilmesinde etkilidir. Yüksek seviye lazer açısı parametresinde (90°) de nispeten yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir,

en düşük mekanik özellikler ise lazer açısının 80° olduğu numunede elde edilmiştir. Mekanik özelliklerin üretim parametreleri ile doğrudan ilişkili olduğu yorumu yapılabilir. Kumar ve ark. AISI 304 paslanmaz çeliklerin Nd:YAG lazer kaynağında lazer açısı parametre değişimini 83°, 85.5° ve 89.7° değerleri için incelemişlerdir. Lazer açısı 85.5° için maksimum kesme mukavemeti 579.26 MPa olarak elde edilmiştir (Kumar,2017).

Tablo 4
Çekme testi sonucunda elde edilen değerler

Deney No	Maksimum Kesme Kuvveti (kN)	Birim (mm) başına taşınan yük (kg)	Uzama (%)
1	5.8266	46.6125	0.3891
2	4.9672	39.7375	0.3273
3	5.1443	41.1542	0.2820

Çekme testinde elde edilen maksimum kesme kuvveti, kaynak geometrisinde EB tam birleşme mesafesi değerleri ile ilişkilendirilmiştir. İngilizce "bonding" olarak adlandırılan bu geometrik uzunluğun kaynak kalitesinde etkinliği vardır (Kouadri-Henni, 2017). Maksimum kesme kuvveti ile "bonding" uzunlukları arasındaki ilişki Şekil 12'de gösterilmiştir; grafikler genel anlamda örtüşmektedir, artma ve azalma eğilimi doğru orantılıdır.



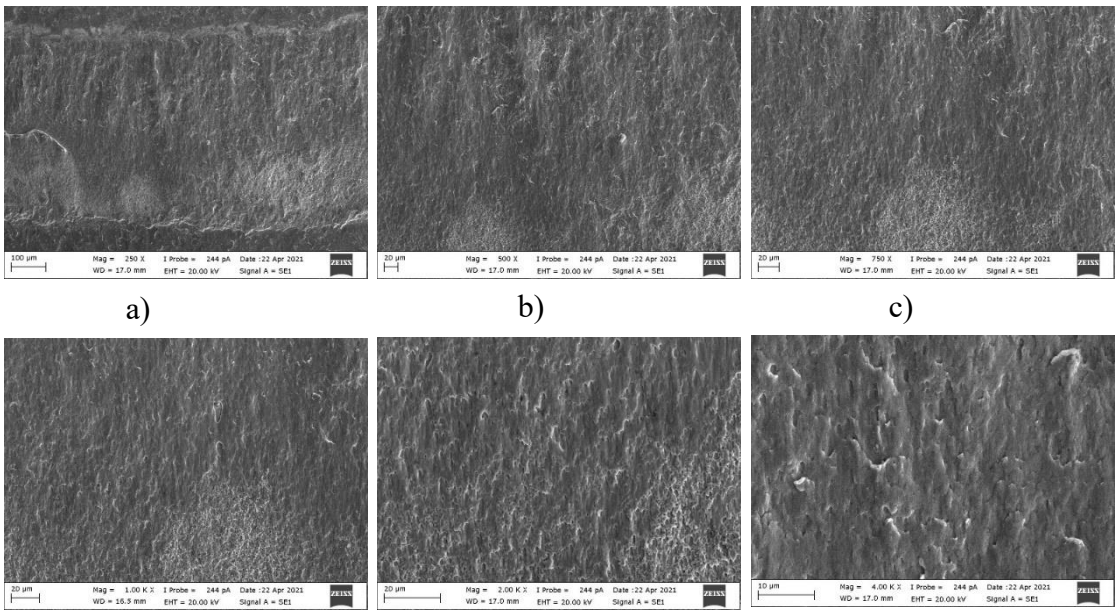
Şekil 12. Maksimum kesme kuvveti ile EB tam birleşme mesafesi değerlerinin ilişkisi

3.4. Kırılma Yüzeyi SEM İncelemeleri

Kırılma morfolojilerinde "dimples" olarak açıklanan büyük ve sığ çukurlar sünek kırılmayı işaret eder; gevrek bölgeler ise "klivaj" kavramıyla açıklanır, tokluğun zayıf olduğunun göstergesidir.

DP1200 çeliklerde sünek ve gevrek yapı birlikte bulunur: sünek özellikteki ferrit sayesinde plastik deformasyon oluşabilir, martenzit ise yüksek sertliğe sahip olduğundan deformasyon daha az oluşacaktır. İncelenen numunelerin kırılma yüzeyleri farklı büyütmeler altında (250, 500, 750, 1000, 2000, 4000) SEM cihazında alınmıştır.

"1" numaralı numunenin kırılma yüzeyi incelendiğinde klivaj kırılmalarının yoğun olduğu gözlenmektedir, klivaj kırılmalar gevrek bir yapının göstergesidir, sünekliği ifade eden boşluk ve çukurlar bulunmamaktadır (Şekil 13). Kırılma bölgesinde düz bir yüzey oluşmuştur ve bölünme sırtları bulunmaktadır. Düşük lazer açısı parametre kullanımı ile, gerçekleşen klivaj kırılmaları yüksek gevreklik ve yüksek sertlik ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca düşük lazer açısı (70°) parametresi ile üretim sonucunda numunede kırılma, erime bölgesinden meydana gelmiştir.

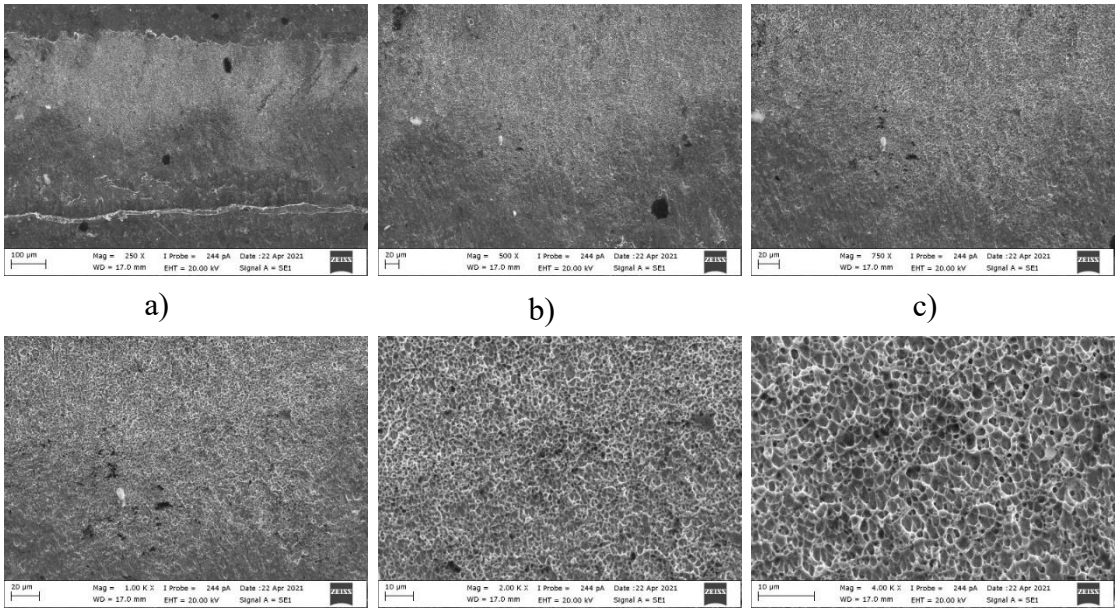


a) b) c)

d) e) f)

Şekil 13. "1" numaralı numune kırılma yüzeyi incelemeleri

Numune "2" kırılma yüzeyindeki çukurlar sünekliğin göstergesidir, oluşan çukur boyutları küçülmüştür (Şekil 14). Büyük çukur oluşumlarındansa, ince ve küçük boyutlu çukur oluşumları tokluğun daha fazla olduğunun kanıtıdır. Kırılma, ITAB bölgesi içerisinden gerçekleşmiştir; çukurların çok küçük boyutlu olması ile sünekliğin yüksek ve kırılmanın intergranüler olduğu söylenebilir. Şekil 14.a-b'deki elips şeklinde siyah renkli oluşumların gözenek olduğu yorumu yapılabilir.



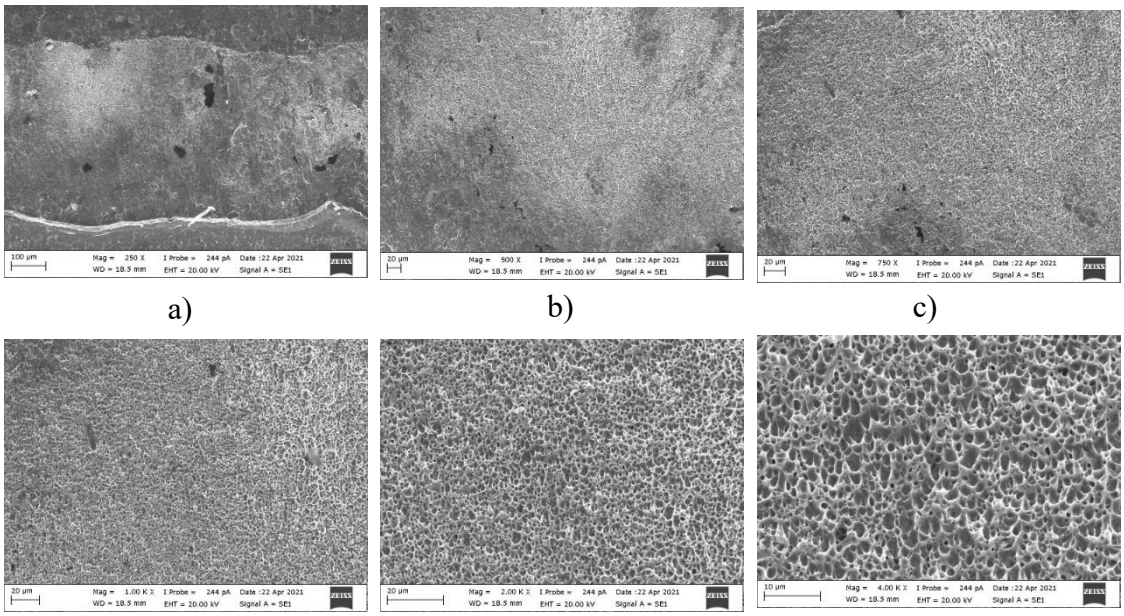
a) b) c)

d) e) f)

Şekil 14. "2" numaralı numune kırılma yüzeyi incelemeleri

Numune "3" için incelenen kırılma yüzeyi görüntüleri Şekil 15'dedir. Kırılma yüzeyinde gözlemlenen ufak yapılı dimple oluşumları sünek morfolojinin göstergesidir. Tane sınırlarında gerçekleşen gerilme yığılmaları düşük uzama elde edilmesinde etkili olmuştur. Mikro yapı ince taneli olduğu için kırılmanın ITAB bölgesinden gerçekleştiği söylenebilir. Lazer açısının yüksek seviye (90^{o}) kullanılması ile kırılma, erime bölgesinden ITAB

bölgesine kaymıştır. Lazer açısı parametresinin düşük olması ise gevrekliği artırarak kırılmanın EB'den gerçekleşmesini sağlamıştır. Şekil 15.a'da gözlemlenen siyah renkli nokta benzeri yapıların ise gözenek olduğu yorumu yapılabilir.



a) b) c)

d) e) f)

Şekil 15. "3" numaralı numune kırılma yüzeyi incelemeleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada DP 1200 çift fazlı çelik malzeme, fiber lazer kaynak metodu ile bindirme formunda birleştirilmiştir. Lazer gücü ve ilerleme hızı sabit tutularak lazer açısı parametresinin değişiminin kaynaklı bağlantıların kaynak dikiş yüzeyi, kaynak geometrisi, kırılma yüzeyleri ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Lazer kaynaklı numunelerin arka kaynak dikiş yüzeylerinde, ön yüzeylerine göre sıçrama etkileri daha fazladır: Ergiyen metal, geri tepme basıncı ve yer çekimi etkisi ile ilerleme yönünün tersinde aşağıya doğru hareket etmektedir. Lazer kaynak sonrası tüm numunelerde tam penetrasyon elde edilmiştir. Kaynak geometrileri proses parametreleri ile değişkenlik göstermektedir. Eşit ısı girdisi için inceleme yapıldığında lazer açısının, düşük (70^o) ya da yüksek seviyede (90^o) kullanılmasının kaynak geometrisi açısından optimum sonuçlar vereceği söylenebilir. Çekme testinde yüksek kuvvet ve uzama değerleri elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti 70^o lazer açısına sahip numunede 5.8266 kN olarak elde edilmiştir, birim başına taşıyabileceği yük 46.6125 kg ve yüzde uzama miktarı %0.3891'dir. Maksimum kesme kuvveti ve uzama değerlerinin elde edilmesinde lazer açısının düşük seviyede (70^o) kullanılması etkili olmuştur. Kesme kuvvetinin, tam birleşme mesafesi (bonding) ile bağlantılı olduğu ortaya konulmuştur. Düşük lazer açısı numunelerinde yüksek gevrekliğin göstergesi klivaj kırılmalar elde edilmiştir, kırılma kaynak merkezinden (EB) gerçekleşmiştir. Yüksek lazer açısı ile üretilen numunelerde ise kırılma yüzeyleri sünektir ve oluşan çukurlar küçük boyutludur. Lazer açısı parametresinin yüksek olması (90^o) kırılmanın ITAB içerisinde kalmasını sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenen OUAP (MH)-2019-6 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, fiber lazer kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesinde sağladığı imkanlar dolayısıyla LASER ISSE firmasına teşekkür eder.

Yazar Katkıları

Meryem Altay: Verilerin toplanması, analizi ve makale yazımı konularında katkıda bulunmuştur.

Hakan Aydın: Çalışmanın tasarlanması, verilerin analizi ve yorumlanması konularında katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

Altay, M. (2021). *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Yüksek Mukavemetli DP1200 Çeliğinde Lazer Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu* (Yüksek Lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTez-Merkezi

Alves, P. H. O. M., Lima, M. S. F., Raabe, D., & Sandim, H. R. Z. (2018). Laser beam welding of dual-phase DP1000 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, *252*, 498–510. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.10.008

Elitaş, M. (2021). Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel. *Materials Testing for Welding and Additive Manufacturing Applications, 63 (2), 124-130.* https://doi.org/10.1515/mt-2020-0019

Indhu, S., Saundarapandian, S. ve Vijayaraghavan, L. (2018). Yb: YAG laser welding of dual phase steel to aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 262, 411-421. 10.1016/j.jmatprotec.2018.05.022

Kim, D. Y., & Park, Y. W. (2012). Weldability evaluation and tensile strength estimation model for aluminum alloy lap joint welding using hybrid system with laser and scanner head. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *22*(3), 596–604. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(12)61771-3

Kouadri-Henni, A. (2017). Effect of welding laser process on macrostructures and the mechanical properties of coating steel DP600: Influence of vaporization zinc. *Journal of Manufacturing Processes*, *30*, 83–96. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.025

Kumar, N., Mukherjee, M., Bandyopadhyay, A. (2017). Study on laser welding of austenitic stainless steel by varying incident angle of pulsed laser beam. *Optics and Laser Technology*, 94, 296-309. http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.04.008

Li, Y., Zhu, Z., Tang, X., Han, S., Zhang, R. Cui, H. (2022). Improvement of welding stability and mechanical properties of galvanized DP800 steel lap joint by high-speed tandem beam laser. *Optics and Laser Technology, 150*(107958). https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.107958

Liu, G., Gao, X. D., Peng, C., Liu, X. H., Huang, Y. J., Zhang, Y. ve You, D. Y. (2020). Tensile resistance, microstructures of intermetallic compounds, and fracture modes of welded steel/aluminum joints produced using laser lap welding. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *30*(10), 2639–2649. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65408-5

Özgültekin, A. G., Başer, T., Tekelioğlu, O., Tamer, E., Aydın, B., Alpay, B. (2022). Effects of different laser welding parameters on the microstructural and mechanical properties of an advance dual phase steel grade. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37* (1), 455-468. 10.17341/gazimmfd.846628

Zhang, M. J., Chen, G. Y., Zhou, Y., Li, S. C. ve Deng, H. (2013). Observation of spatter formation mechanisms in high-power fiber laser welding of thick plate. *Applied Surface Science*, *280*, 868–875. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.05.081