

PMMA ve ABS MALZEMELERİN LAZER İLETİM KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PROSES PARAMETRE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ayça KÜÇÜKOĞLU *^{ID}
Celalettin YÜCE **^{ID}
Fatih KARPAT †***^{ID}
Halil İbrahim OKAR *^{ID}
İbrahim Emrah SÖZER ****^{ID}
Niyazi KURT ****^{ID}

Alınma: 13.10.2020 ; düzeltme: 27.07.2021 ; kabul: 27.07.2021

Öz: Otomotiv endüstrisindeki araç aydınlatma sistemlerinde kullanılan termoplastik malzemelerin birleştirilmesinde lazer iletim kaynağı üstün özellikleri nedeni ile öne çıkmaktadır. Ancak, proses parametreleri kaynak kalitesini doğrudan etkilediği için etkilerinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada 2,7 mm kalınlığındaki Akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve şeffaf Polimetil metakrilat (PMMA) malzemeler LPKF Twinweld 3D 6000 lazer cihazı ile birleştirilmiştir. Lazer iletim kaynağındaki önemli parametreler olan lazer gücü, baskı kuvveti ve ilerleme hızının etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada lazer gücü 20-50 W aralığında, ilerleme hızı 30-150 mm/s aralığında ve baskı kuvveti 55-85 N aralığına çalışılmıştır. Farklı parametre kombinasyonlarında birleştirilen numuneler çekme testlerine tabi tutularak mekanik dayanımları incelenmiş ve parametreler ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda en yüksek ortalama mekanik dayanım ve ortalama kopma uzaması 30 W, 70 mm/s ve 70 N parametre kombinasyonunda elde edilmiştir. Diğer tüm parametrelerin sabit tutulduğu durumda mekanik dayanım üzerindeki en etkili parametrenin lazer gücü olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lazer İletim Kaynağı, ABS, PMMA, Mekanik Özellikler

Investigation of the Process Parameters on the Laser Transmission Welding of PMMA and ABS Materials

Abstract: In the automotive industry, the use of thermoplastic and laser transmission source in vehicle lighting systems stands out because of the superior properties, and it is widely used in production and joining processes. However, as the process parameters directly affect the welding quality, it is very important to determine their effects. In this study, 2,7 mm thick Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and transparent Polymethyl methacrylate (PMMA) materials are combined with LPKF Twinweld 3D 6000 laser device. The effects of laser power, pressure force and feed rate, which are important parameters in laser transmission welding, are investigated. Lab-joint welding is performed with ABS and

* Tofaş Türk Otomobil A.Ş. – İstanbul Cad. No:574, 16110, BURSA

** Bursa Teknik Üniversitesi – Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Yıldırım, 16039, BURSA

*** Bursa Uludağ Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampusu, 16059, BURSA

**** Odello Otomotiv Aydınlatma A.Ş. – Minarelicavuş Bursa OSB Mahallesi Sarı Cad. 2, Nilüfer, 16220, BURSA

İletişim Yazarı: Ayça Küçüköğlü (kucukogluayca@gmail.com)

PMMA materials at 20-50 W laser power, 30-150 mm /s laser speed and 55-85 N pressure force. Samples combined in different parameter combinations are subjected to tensile tests, their mechanical strengths are examined and correlate with the parameters. As a result of the tests, the highest average mechanical strength and average elongation at break are obtained in the combination of 30 W, 70 mm/s and 70 N parameters. When all other parameters are kept constant, it is seen that the most effective parameter on mechanical strength is laser power.

Keywords: Laser Transmission Welding, ABS, PMMA, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sektörü tüketime dayalı rekabet sebebi ile yeni teknolojilerin en hızlı uygulandığı sektörlerden biridir. Hem ürün tasarımında hem de üretimde kullanılan yeni teknolojiler otomotiv ana ve yan sanayisinde verim, kalite ve nitelikli büyümeye olanak sağlamaktadır. Lazer teknolojilerinin geleneksel birleştirme yöntemlerinin yerine yeni nesil birleştirme tekniklerinde kullanımı son yıllarda otomotiv sektöründe de artış göstermektedir. Yüksek işlem hızı, istenilen oranda nüfuziyet, kontrol edilebilir ısı girdisi, oldukça dar ısı etkisi altında kalan bölge oluşturması, kusursuz kaynak dikişi, yüksek yapısal dayanım, otomasyona uygunluk gibi birçok avantajları nedeniyle lazer kaynağının otomotiv sektöründeki kullanımı hızla artmaktadır (Wang ve diğ., 2016).

Taşıtlarda sürüş konfor ve güvenliğinin vazgeçilmez bir parçası olan ve aracın estetik görünümü tamamlayan dış aydınlatma sistemleri ilk taşıtın üretiminden beri sürekli gelişim göstermektedir. Aydınlatma sistemlerinin yüksek kalitede estetik bir tasarıma sahip olması istenirken aynı zamanda kusursuz bir optik özelliğe sahip olması da gerekmektedir. Araçların ön arka ve yanlarında olmak üzere ön far, arka stop, sinyal ve sis lambalarından oluşan dış aydınlatma sistemlerinde her bir parça uluslararası standartlara uygun olarak üretilmekte ve testlerden geçmektedir.

Tarihsel gelişim açısından önceden cam ve plastiklerin bir arada kullanıldığı aydınlatma sistemlerinde günümüzde araç ağırlığının hafifletilmesi, daha esnek tasarımlara imkân sağlaması ve çevre duyarlılığı nedeniyle termoplastik malzeme kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Artan müşteri istekleri ve rekabet koşullarından dolayı aydınlatma sistemlerinin tasarımları oldukça karmaşık bir hal almış ve üretim aşamalarında yeni tekniklerin kullanılmasını gerektirmiştir. Özellikle tasarımcıların daha özgür hareket etmesine imkân sağlayan bu malzeme türleri tercih edilmeye başlanmıştır.

Lazer kaynak yöntemi diğerkonvansiyonel kaynak yöntemlerine göre lazer ışınının kolaylıkla yönlendirilebilmesi ve yüksek miktarda enerjinin küçük noktalara odaklanabilmesi nedeniyle oldukça avantajlı bir birleştirme yöntemidir (BASF, 2003). Lazer ışını genel olarak bir maddenin dışarıdan verilen uyarıcı bir etki ile uyarılarak etrafa foton yayması ile elde edilir. Yayılan bu fotonların bir kısmı maddenin içinde bulunduğu kabın yüzeylerinden yansiyarak maddeyi oluşturan atomlara çarpar ve yeni fotonların yayılmasına neden olur. Bu şekilde zincirleme devam eden reaksiyon sonucunda ortamda eş fazlı ve monokromatik bir ışık oluşur. Çevreleyici kap üzerindeki optik geçirgen bir delikten geçerek oluşan ışının bir kısmı dışarı çıkartılarak istenilen doğrultuda yönlendirilir (Chang, 2005). Lazer ışınının oluşması için gerekli olan dış enerji genel olarak sisteme kimyasal, elektriksel veya optik olarak iletilir. Endüstride kullanılan en yaygın lazer türleri katı hal lazerleri, gaz lazerleri, yarı iletken diyot lazerleri ve sıvı lazerler olmak üzere 4 ana grup altında toplanmaktadır. Bu lazerlerde kullanılan uyarma yöntemleri ise CO₂ lazerlerde yüksek frekanslı elektrik akımı ve katı hal lazerlerde (Nd:YAG ve Fiber Lazerlerde) ise flaş lamba veya diyotlardır (Püskülcü ve Koçlular, 2009).

Termoplastik malzemelerin lazer kaynağı ile birleştirilmesi temel olarak absorpsiyon kuralına bağlıdır. Bu proseste, kaynak yapılacak iki malzemeden üstteki katmanın lazer ışığını absorbe ederek alt katmandaki malzemeye ulaştırması gereklidir. Bu sayede ısınan alt katman ile üst katmanın yüzeyleri ergiyerek birleşir katılma gerçekleştiğinde de sağlam bir bağlantı

elde edilmiş olur. Termoplastiklerin çoğu şeffaf olduğundan lazer ışınının alt katmana geçmesine izin verirler. Alt tabakada kullanılan malzemenin ışığı emme özelliğini sağlamak için özel katkı ilaveleri (karbon) kullanılır. Termoplastik malzemelerin lazer kaynağı ile birleştirilmesinde geleneksel kaynak yöntemlerine göre birçok avantaj ortaya çıkmaktadır. Isının belirli bir bölgede odaklanması sayesinde kalıplar ve parça üzerinde mekanik gerilmeler en aza indirilmiştir. Farklı mekanik özellikteki plastik parçaların birleştirilmesi bu kaynak yönteminde mümkün olmaktadır. Bunların yanı sıra birleşme için daha dar bir alana ihtiyaç duyulduğu için hammadde kullanımını da bu yöntemle azaltmak mümkün olmaktadır (BASF, 2013).

Literatürde lazer iletim kaynak türleri ile farklı türden termoplastiklerin birleştirildiği ve işlem parametrelerinin, malzeme türlerinin bağlantının içyapı ve mekanik özelliklerine olan etkisini inceleyen deneysel ve nümerik birçok çalışmaya bulunmaktadır (Barma ve diğ., 2012; Rudrapati ve diğ., 2019). Acherjee ve diğ. (2009) cevap yüzeyi metodu kullanarak akrilik malzemelerin lazer iletim kaynağındaki işlem parametrelerinden lazer gücü, hızı, ışın çapı ve tutma basıncının bağlantının mekanik özelliklerine ve kaynak dikişinin boyutlarına olan etkisini incelemiştirler. Artan lazer gücü ile kaynak dikişinin boyutu ve bağlantının mekanik dayanımının arttığını fakat artan işlem hızı ile bu iki değerin azaldığını belirtmişlerdir. Acherjee ve diğ. (2011) yapay sinir ağları kullanarak işlem parametrelerine bağlı olarak lazer iletim kaynağında bağlantının çekme dayanımını ve kaynak dikiş geometrisini incelemiştirler. Kullandıkları yöntemin çoklu regresyon analizine göre daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Acherjee (2017) cevap yüzeyi metodu kullanarak polikarbonat malzemelerin lazer iletim kaynağındaki işlem parametrelerinden lazer gücü ve hızının mekanik özelliklerine ve kaynak dikişinin boyutlarına olan etkisini incelemiştirler. Optimum kaynak koşulunun maksimum kaynak mukavemeti ve minimum kaynak genişliği ile elde edildiğini belirtmiştir.

Hubeatir (2020) şeffaf PMMA malzemenin lazer iletim kaynağında kaynak hızı, kaynak derinliği, kaynak genişliği ve malzeme kalınlığının en uygun değerini belirlemek için Taguchi yöntemini kullanmıştır. Saydam parça kalınlığının, lazer dalga boyu 808 nm'de yüksek iletim oranı nedeniyle kaynak mukavemeti üzerindeki en etkili parametre olduğunu belirtmiştir. Kumar ve diğ. (2014) Taguchi yöntemi kullanarak akrilik plastik numunelerinin lazer iletim kaynağındaki proses parametrelerin kaynak mukavemeti ve kaynak genişliği üzerindeki etkilerini incelemişler ve baskı kuvvetinin diğer parametrelere göre daha önemli oranda etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bhattacharya ve diğ. (2018) polikarbonat ve akrilik malzemelerin lazer iletim kaynağında lazer gücü, tarama hızı ve frekansın kaynak genişliği ve ısıdan etkilenen bölge (Heat Affected Zone-HAZ) üzerindeki etkisini cevap yüzeyi metodolojisi (Response Surface Methodology-CYM) ile incelemiştirler. Araştırmalarında lazer gücü ve tarama hızının kaynak genişliğinin kontrolünde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

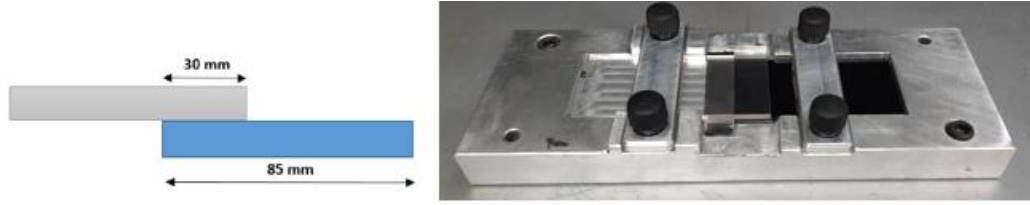
Wang ve diğ. (2012a) yapay sinir ağı kullanarak polikarbonat malzemelerin lazer iletim kaynağındaki lazer gücü, ilerleme hızı ve baskı kuvvetinin mukavemet ve kaynak dikiş genişliğine etkisini genetik algoritma kullanarak incelemiştirler. Optimizasyonun öngörülen sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmalarında da (Wang ve diğ., 2012b) cevap yüzeyi metoduyla yine aynı parametreler ile kaynak maliyeti arasındaki ilişkiyi kurmuşlardır. Varyans analizi kullanarak modeller test edilmiş, öngörülen hatalar hesaplanarak proses parametrelerinin etkileri ve optimum koşulları belirlemiştirler.

Wang ve diğ. (2014) cevap yüzeyi metodu kullanarak polietilen tereftalat ve polipropilen malzemelerin lazer iletim kaynağındaki proses parametrelerinin kaynak geometrisi (genişlik-derinlik) ve kayma mukavemeti arasındaki ilişkiyi sonlu elemanlar yöntemi, cevap yüzeyi metodu ve deneyler yoluyla sistematik olarak araştırmışlardır. Eriyik havuz genişlik/derinlik oranının kayma mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Wang ve diğ. (2016) polimetil metakrilat ve polibütlen tereftalat malzemelerin kaynak mukavemetini artırmak için polikarbonat filmi ara katman olarak çalışmışlardır. Kaynak mukavemetini tahmin etmek için cevap yüzeyi metodu kullanmışlardır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda lazer iletim kaynağındaki en etkili parametrelerin lazer gücü, ilerleme hızı ve baskı kuvveti olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, kaynaklı parçaların mekanik dayanımları üzerinde kaynak dikiş geometrisinin önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu proses parametrelerinin doğru seviyelerde seçilmesi ile kaynak kalitesinde artış görüldüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada lazer gücü, ilerleme hızı ve baskı kuvvetinin farklı seviyelerinde lazer iletim kaynakları gerçekleştirilmiş ve kaynaklı parçaların mekanik dayanımları incelenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada 2,7 mm kalınlığındaki ABS ve şeffaf PMMA malzemeler LPKF Twinweld 3D 6000 lazer cihazı ile birleştirilmiştir. Kullanılan lazerin maksimum gücü 100 W olup dalga boyu 980 μm 'dir. Kaynatılacak ABS ve PMMA numuneler 40x85 mm olarak lazer kesim tezgâhında hazırlanmış ve kaynak öncesinde numunelerin yüzeyleri arasında herhangi bir boşluk olmaması için köşelerindeki çapaklar temizlenmiştir. Birleştirilecek parçaların yüzeyleri alkol bazlı kimyasallar ile temizlenerek olası kalıntılardan arındırılmıştır. Numunelerin birleşme yüzeyleri 30 mm olacak şekilde fikstüre bağlanmıştır. Kaynaklar numune boyutlarına uygun olarak tasarlanmış özel bir kaynak fikstürü ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin aparat yerleşim görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Bindirme kaynak formatında birleştirilecek numuneler, eksenel yönde hareketine izin vermeyen bir fikstür yardımı ile lazer iletim kaynağı ile birleştirilmiştir.



Şekil 1:

Bindirme kaynak formatındaki numunelerin şematik boyutları ve fikstür yerleşim görüntüsü

Yapılan çalışma kapsamında lazer iletim kaynağının en önemli parametreleri olan lazer gücü, ilerleme hızının kaynaklı parçaların mekanik dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin yanı sıra birleştirilecek iki parça arasında belirli bir boşluk olması durumlarında parçaları bir arada tutmak için uygulanan baskı kuvvetinin etkisi de incelenmiştir. Çalışma kapsamında lazer gücünün etkisini incelemek için diğer parametreler sabit tutularak 20, 30, 40 ve 50 W olmak üzere dört farklı lazer gücünde kaynaklar yapılmıştır. İlerleme hızının etkisini incelemek için ise diğer parametreler sabit tutularak 30, 70, 110 ve 150 mm/s ilerleme hızlarında kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Son olarak baskı kuvvetinin etkisini incelemek adına birleştirilecek parçalar arasında sabit 0,05 mm boşluk olacak şekilde, diğer parametreler sabit tutularak 55, 70 ve 85 N'luk baskı kuvvetleri ile kaynaklar gerçekleştirilmiş ve bağlantının mekanik dayanımı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Seçilen bu değerler yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir (Tablo 1).

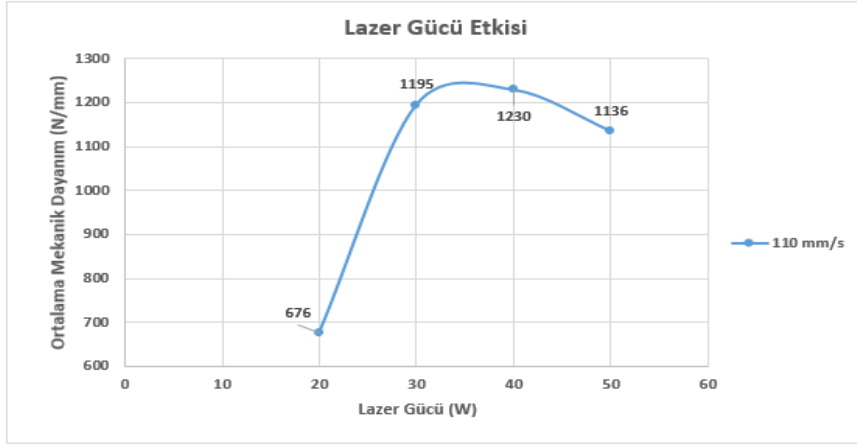
Tablo 1. Testlerde kullanılan parametre seviyeleri

Numune No	Proses Parametresi			
	Lazer Gücü (W)	İlerleme Hızı (mm/s)	Baskı Kuvveti	Ara Boşluk (mm)
1	20	110	70	0
2	30			
3	40			
4	50			
5	30	30	70	0
6		70		
7		110		
8		150		
9	50	110	55	0,05
10			70	
11			85	

Kaynaklı numunelerin dayanımlarını incelemek için çekme testleri Zwick Roell Z010 marka çekme-basma test cihazı ile yapılmıştır. Her bir kaynak parametresinden en az üç numune çekme testlerine tabi tutulmuş ve bu üç numunenin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Kaynaklı parçaların dayanımlarının tespitinde literatürde genel değerlendirme kriteri olarak kabul edilen mekanik dayanım değeri göz önüne alınmıştır. Mekanik dayanım, çekme deneylerinde elde edilen çekme kuvvetinin (N) kaynaklı numune üzerindeki kaynak dikişinin uzunluğuna (mm) bölünmesi ile elde edilmektedir (N/mm) (Yuce ve diğ., 2019).

3. BULGULAR ve SONUÇLAR

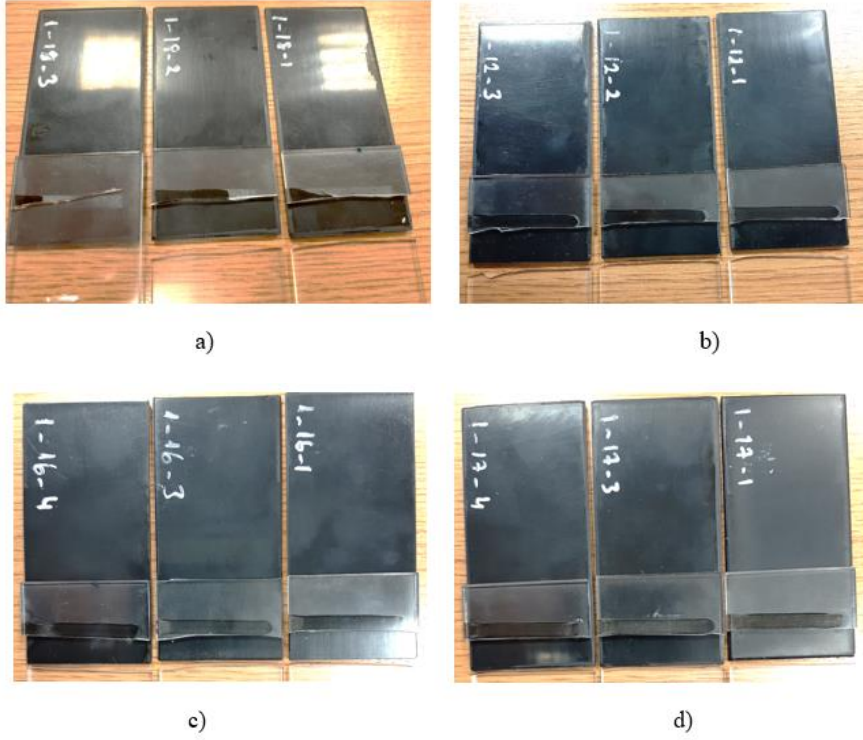
Bu çalışmada öncelikle sabit ilerleme hızı ve baskı kuvvetinde lazer gücünün etkisi incelenmiştir. ABS ve şeffaf PMMA malzemeler bindirme kaynak formatında 110 mm/s sabit ilerleme hızı ve 70 N baskı kuvvetinde 20, 30, 40 ve 50 W lazer güçlerinde birleştirilmişlerdir. Kaynaklı numunelerin ortalama mekanik dayanımları Şekil 2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde lazer gücünün belirli bir değere kadar artması sonucunda kaynak dikişinin genişleyip penetrasyonun artması neticesinde mekanik dayanımın arttığı görülmüştür. 110 mm/s ilerleme hızında, 70 N baskı kuvvetinde en yüksek mekanik dayanım 1230 N olarak 40 W lazer gücü ile birleştirilen 3 numaralı numunede gözlenmiştir. Bu numunenin ortalama kopma uzaması da %2,49 olarak maksimum değerde elde edilmiştir. Ancak, lazer gücünün belirli bir seviyenin üzerine çıkması ile artan ısı girdisi bağlantının mekanik dayanımını olumsuz etkilemiştir. Kaynaklı numunelerin ortalama kopma uzamaları incelendiğinde mekanik dayanım ile benzer bir davranış sergilediği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile de uyum göstermektedir (Rodríguez-Vidal ve diğ., 2014).



Şekil 2:

Sabit ilerleme hızında farklı lazer güçlerinin mekanik dayanım üzerindeki etkisi

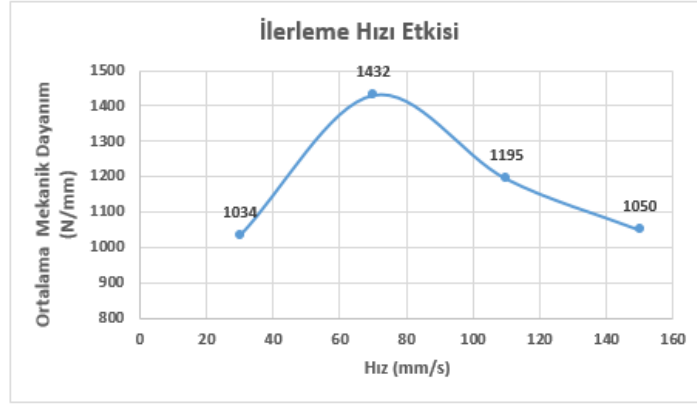
110 mm/s ilerleme hızı ve 70 N baskı kuvveti altında 20, 30, 40 ve 50 W lazer güçlerinde birleştirilen numunelerin çekme testi sonrasında kırılma davranışları da incelenmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği gibi sadece 20 W lazer gücünde birleştirilen numunede çekme testi sonucunda çatlak oluşumu ile kırılmanın yaşandığı, diğer numunelerde sıyrılma türünde bir hasar oluştuğu görülmüştür. Bu durum ortalama kopma dayanımı ve ortalama kopma uzaması değerleri ile uyum göstermektedir. Bu numunenin (Numune 1) en düşük mekanik dayanım olan 676 N ve en düşük ortalama kopma uzaması olan %1,37 değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Sıyrılma türünde hasar oluşan numunelerde bu değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, düşük lazer gücünde yeterli penetrasyonun sağlanamamasıdır.



Şekil 3:

Çekme testi sonucunda farklı lazer güçlerinde gözlenen kopma görüntüleri a)20W, b)30W, c)40W, d)50W

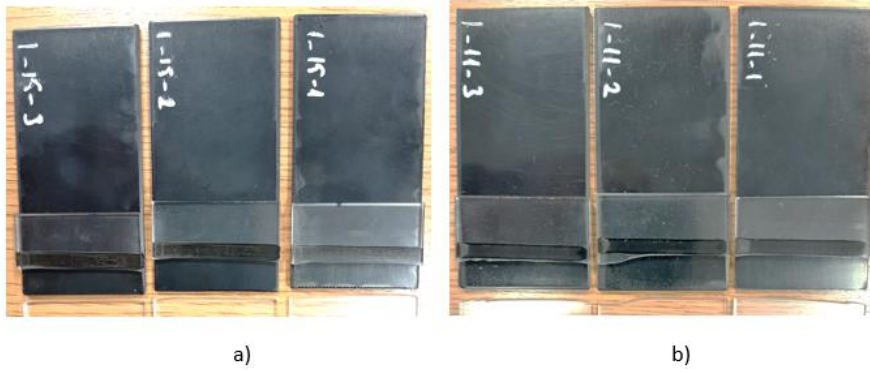
İlerleme hızının kaynaklı bağlantıların mekanik dayanımı üzerindeki etkisini incelemek için sabit 30 W lazer gücünde, sabit 70 N baskı kuvvetinde 30, 70, 110 ve 150 mm/s ilerleme hızlarında kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen ortalama mekanik dayanım değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi ilerleme hızının belirli bir değere çıkarılması (70 mm/s) sonucunda dayanımın arttığı ancak bu değerden sonra artan ilerleme hızlarında mekanik dayanımın düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum dayanım 1432 N/mm olarak 6 numaralı numunede gözlenmiştir. İlerleme hızının belirli bir seviyenin üzerine çıkması ile dayanımın düşmesi ısı girdisinin azalması ile açıklanmaktadır. Azalan ısı girdisi penetrasyon ve kaynak dikiş genişliğini azaltarak dayanımı düşürmektedir (Chen ve diğ., 2018).

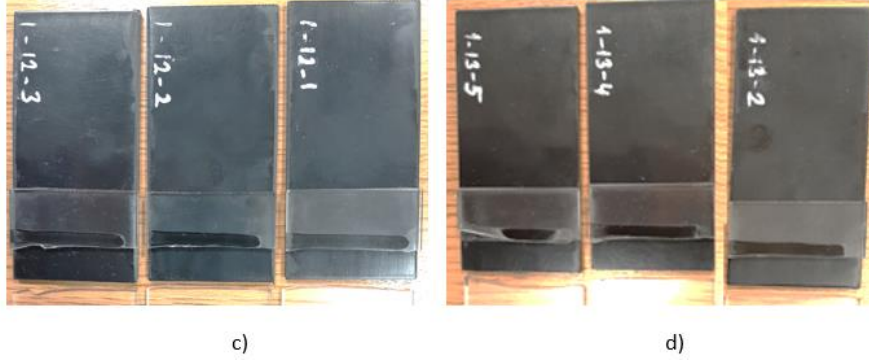


Şekil 4:

Sabit lazer gücünde farklı ilerleme hızının mekanik dayanım üzerindeki etkisi

30 W sabit lazer gücünde ve 70 N baskı kuvveti altında; 30 mm/s, 70 mm/s, 110 mm/s, 150 mm/s ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerde yine benzer şekilde en düşük dayanıma sahip olan numunenin çekme testi sonucunda çatlak oluşturarak hasara uğradığı görülmüştür (Şekil 5). Bu numunenin ortalama kopma uzaması da %1,96 olarak düşük bir değere sahiptir.



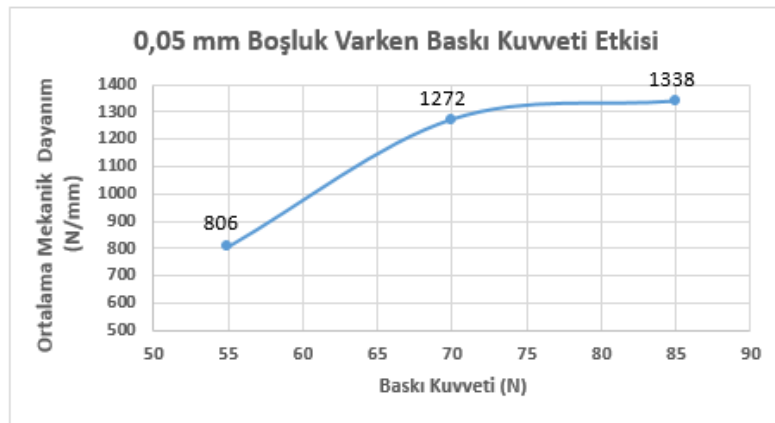


Şekil 5:

*Çekme testi sonucunda farklı lazer hızlarında gözlenen kopma görüntüleri
a) 30 mm/s, b) 70 mm/s, c) 110 mm/s, d) 150 mm/s*

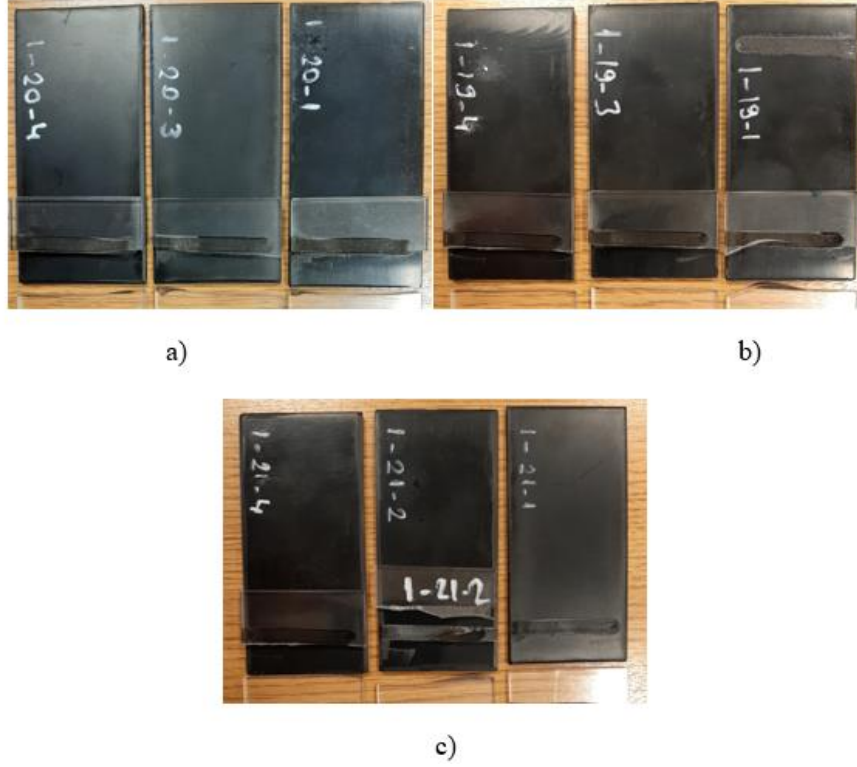
Çalışma kapsamında ayrıca baskı kuvvetinin de etkisi incelenmiştir. Baskı kuvvetinin etkisini daha net görebilmek adına birleştirilen numunelerin arasında 0,05 mm boşluk bırakacak şekilde shimler yerleştirilmiştir. Sabit 110 mm/s ilerleme hızında ve sabit 50 W lazer gücünde 55, 70 ve 85 N baskı kuvvetlerinde kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek ortalama mekanik dayanımın 85 N baskı kuvvetinde 1338 N/mm olarak elde edildiği, en düşük ortalama mekanik dayanımın ise 55 N baskı kuvvetinde birleştirilen numunede 806 N/mm olarak elde edilmiştir. Baskı kuvvetinin artması ile mekanik dayanımın artması beklenen bir sonuçtur. Bunun nedeni baskı kuvvetinin artması ile iki plaka arasındaki boşluk azalarak lazer ışınının alt parçaya girmesi kolaylaşmış ve kaynak geometrisi genişlemiştir.

Sabit 50 W lazer gücünde ve sabit 110 mm/s ilerleme hızında aralarında 0,05 mm boşluk olacak şekilde birleştirilen numunelerin çekme testi sonucu kırılma davranışları incelenmiştir (Şekil 7). Diğer durumların aksine çatlak oluşumu en yüksek mekanik dayanımına sahip numunede gözlenmiştir. Bu durumun seçilmiş olan yüksek baskı kuvvetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu numunelerde her ne kadar çatlak oluşumu gözlene de ortalama kopma uzaması değerlerinin çok düşük olmadığı ve %2,39 seviyesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6:

Sabit lazer gücü ve ilerleme hızında baskı kuvvetinin mekanik dayanıma etkisi



Şekil 7:

Çekme testi sonucunda farklı baskı kuvvetlerinde gözlemlenen kopma görüntüleri
a) 55 N, b) 70 N, c) 85N

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında 2,7 mm kalınlığındaki ABS ve şeffaf PMMA malzemeler lazer iletim kaynağıyla birleştirilmiştir. Lazer gücünün etkisini incelemek için diğer parametreler sabit tutularak 20W, 30W, 40W ve 50 W olmak üzere dört farklı lazer gücünde kaynaklar yapılmıştır. En yüksek ortalama mekanik dayanımın 40 W lazer gücünde birleştirilen numunede, en düşük ortalama mekanik dayanımın ise 20 W lazer gücünde birleştirilen numunede elde edilmiştir. Sabit ilerleme hızında lazer gücü artırılmasıyla ısı girdisi arttığından penetrasyon arttığı belirli değerin üzerine çıktığında aşırı ısı girdisinin dayanımı düşürdüğü görülmüştür.

İlerleme hızının etkisini incelemek için ise diğer parametreler sabit tutularak 30, 70, 110 ve 150 mm/s ilerleme hızlarında kaynaklar gerçekleştirilmiştir. En yüksek ortalama mekanik dayanımın 70 mm/s ilerleme hızı ile birleştirilen numunede, en düşük ortalama mekanik dayanımın ise 150mm/s ilerleme hızında birleştirilen numunede elde edilmiştir. Lazer gücü 30 W ve en düşük ilerleme hızı olan 30 mm/s'de dayanım düşük, ilerleme hızı 40 mm/s'lik artışlarla kademeli artırıldığında 70 mm/s'de optimum değer elde edildikten sonra ısı artışıyla mekanik dayanım azalarak penetrasyon zayıfladığı görülmüştür.

Baskı kuvvetinin etkisini incelemek adına birleştirilecek parçalar arasında sabit 0,05 mm boşluk olacak şekilde, diğer parametreler sabit tutularak 55, 70 ve 85 N'luk baskı kuvvetleri ile kaynaklar gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızı 110 mm/s, lazer gücü 50 W olup baskı kuvveti kademeli olarak artırıldığında en yüksek ortalama mekanik dayanımın 85N baskı kuvvetinde, en düşük ortalama mekanik dayanımın ise 55 N baskı kuvvetinde birleştirilen numunede elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda lazer iletim kaynağındaki proses parametrelerinin kaynak dikiş geometrisi ve buna bağlı olarak mekanik dayanım üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu kapsamda parametre seviyelerinin optimize edilmesi kaynak kalitesini önemli ölçüde arttıracaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma esnasında sağlanan destek ve yardımlar için Odelo Otomotiv Aydınlatma A.Ş. ve Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. firmalarına teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Ayça Küçüköğlü, Celalettin Yüce ve Fatih Kapat; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama ve veri analizi, makale taslağının oluşturulması, fikrîsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarında, Halil İbrahim Okar veri toplama, fikrîsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarında, İbrahim Emrah Sözer ve Niyazi Kurt veri toplama, fikrîsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarında katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

1. Acherjee, B., Misra, D., Bose, D. ve Venkadeshwaran, K. (2009) Prediction of weld strength and seam width for laser transmission welding of thermoplastic using response surface methodolog, *Optic&Laser Technology*, 41, 956-967. doi:10.1016/j.optlastec.2009.04.007
2. Acherjee, B., Mondal, S., Tudu, B. ve Misra, D. (2011) Application of artificial neural network for predicting weld quality in laser transmission welding of thermoplastics, *Applied Soft Computing*, 11, 2548–2555. doi:10.1016/j.asoc.2010.10.005
3. Acherjee, B. (2017) Selection of optimal parameters for laser transmission welding of polycarbonate using desirability function analysis, *Materialstoday:Proceedings*, 4(8), 7161-7170. doi:10.1016/j.matpr.2017.07.042
4. Barma, J. D., Bandyopadhyay, A. ve Pal, P. K. (2013) Parametric optimization of transmission laser welding process applying taguchi method, *Advanced Materials Research*, 622/623, 294-298. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.622-623.294
5. BASF. (2013). *Laser Welding of Engineering Plastics – Technical Information*. Erişim Adresi: <http://www.plasticsportal.net> (Erişim Tarihi: 03.10.2020)
6. BASF. (2003) Laser transmission welding of semi-crystalline thermoplastics - part 1: optical characterization of nylon-based plastics, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 21(12), 1101-1122. doi:10.1106/073168402024286
7. Bhattacharya, R., Kumar, N., Kumar, N. ve Bandyopadhyay, A. (2018) A study on the effect of process parameters on weld width and heat affected zone of pulsed laser welding of dissimilar transparent thermoplastics without filler materials in lap joint configuration, *Materialstoday: Proceedings*, 4, 3674-3681. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.618

8. Chang, W.S.C. (2005) *Principles of Lasers and Optics*, Cambridge University Press, Cambridge UK. ISBN-13 978-0-511-08061-6
9. Chen, Z., Huang, Y., Han, F. ve Tang, D. (2018) Numerical and experimental investigation on laser transmission welding of fiberglass-doped PP and ABS, *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 1–8. doi: 10.1016/j.jmapro.2017.10.013
10. Hubeatir, K.A. (2020) Laser transmission welding of PMMA using IR semiconductor laser complemented by the Taguchi method and grey relational analysis, *Materialstoday: Proceedings*, 20(4), 466-473. doi:10.1016/j.matpr.2019.09.167
11. Kumar, N., Rudrapati, R. ve Pal, P.K. (2014) Multi-objective optimization in through laser transmission welding of thermoplastics using grey-based taguchi method, *Procedia Materials Science*, 5, 2178–2187. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.423
12. Püskülcü, G. ve Koçlular, F. (2009) Lazer kaynak yöntemi ve uygulamaları”, *Mühendis ve Makine*, 50(599), 8-17.
13. Rodríguez-Vidal, E., Quintana, I. ve Gadea, C. (2014) Laser transmission welding of ABS: Effect of CNTs concentration and process parameters on material integrity and weld formation, *Optics & Laser Technology*, 57,194–201. doi: 10.1016/j.optlastec.2013.10.020
14. Rudrapati, R., Kumar, N. ve Pal, P. K. (2019) Application of taguchi method for parametric optimization of through transmission laser welding of acrylic plastics, *AIP Conference Proceedings*, 2057, 02001. doi.org/10.1063/1.5085584
15. Wang, X., Zhang, C., Li, P., Wang, K., Hu, Y., Zhang, P. ve Liu, H. (2012a) Modelling and optimization of joint quality for laser transmission joint of thermoplastic using an artificial neural network and a genetic algorithm, *Optics and Lasers in Engineering*, 50(11), 1522-1532. doi:10.1016/j.optlaseng.2012.06.008
16. Wang, X., Zhang, C., Wang, K., Li, P., Hu, Y., Wang, Kai. ve Liu, H. (2012b) Multi-objective optimization of laser transmission joining of thermoplastics, *Optics & Laser Technology*, 44(8), 2393-2402. doi:10.1016/j.optlastec.2012.04.009
17. Wang, X., Chen, H. ve Liu, H. (2014) Investigation of the relationships of process parameters, molten pool geometry and shear strength in laser transmission welding of polyethylene terephthalate and polypropylene, *Materials and Design*, 55, 343-352. doi:10.1016/j.matdes.2013.09.052
18. Wang, X., Zhang, X., Liu, W., Liu, B. ve Liu, H. (2016) Investigation on enhancement of weld strength between PMMA and PBT in laser transmission welding-using intermediate material, *Journal of Applied Polymer Science*, 133/44. doi.org/10.1002/app.44167
19. Wang, D., Wang, H., Cui, H. ve He, G. (2016) Enhancement of the laser welded AA6061-carbon steel joints by using Al5Si intermediate layer, *Journal of Materials Processing Technology*, 237, 277–285. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.06.017
20. Yuçe, C., Karpat, F. ve Yavuz, N. (2019) Investigations on the microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar galvanized steel–aluminum joints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104, 2693-2704. doi:10.1007/s00170-019-04154-7

