

SAVUNMA SANAYİNDE, UÇAK VE HAVACILIK SEKTÖRÜNDE LASER KAYNAK YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*

Hüseyin Özden**

Doç. Dr.

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı
huseyin.ozden@ege.edu.tr

Atınc Eryavuz

Makina Mühendisleri Odası,
İzmir Şube, İzmir
atinc.eryavuz@mmo.org.tr

ÖZ

Laser Üretim Yöntemleri çok sayıdaki üstünlükleri nedeniyle savunma sanayinde konvansiyonel üretim yöntemlerinin yerine tercih edilmektedir. Kara, deniz, hava askeri silahların, makinaların, cihazların yapımlarında laser üretim yöntemleri, özellikle laser kaynağının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Teknik ve ekonomik açıdan daha elverişli askeri araç ve gereç tasarımlarının gerçekleştirilmesi, laser kaynak yöntemlerinin uygulanması ile günümüzde mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, savunma sanayinde, uçak ve havacılık sektöründe yaygın kullanılan kaynak yöntemlerinin uygulanabilirlik, enerji sarfiyatı, hız ve kalite açısından bir karşılaştırması yapılmaktadır. Savunma sanayinde, laser kaynak yöntemlerinin kaynak dikişlerin üstünlükleri tartışmaya sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Savunma sanayi, laser teknolojisi, laser üretim yöntemleri, laser kaynağı, değerlendirme

LASER WELDING APPLICATIONS FOR AIRCRAFT AND AVIATION SECTOR IN THE DEFENSE INDUSTRY

ABSTRACT

Rapid positive developments observed in laser technology increases usage of laser production methods in many work branches of defence industry. Today low weight and low cost military designs with energy and material saving are made ready for use without compromising rigidity, durability and security. In the paper compiled by taking advantage of obtained info and experiences laser technology applications will be mentioned in military structures of defence industry.

Keywords: Industry, laser technology, laser production methods, laser welding, application

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 27.01.2016

Kabul tarihi : 03.02.2016

* 20-21 Kasım 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Özden, H., Eryavuz, A. 2016. "Savunma Sanayinde, Uçak ve Havacılık Sektöründe Laser Kaynak Yöntemlerinin Değerlendirilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 673, s. 54-63.

1. GİRİŞ

Savunma sanayi, havacılık ve uzay sektöründe uçak, helikopter yapımları (Şekil 1) ile ilgili sorunların başında:

- Çok karmaşık yapıları ve çok sayıda ve farklı elemanların bulunması,
- Yüksek dayanımlı, alaşım alüminyum hafif metallerin ve CFK, GFK gibi kompozit ve hibrit malzemelerin kullanılması (birleştirme, bağlama sorunları),
- Ulusal ve uluslararası geçerli yasa ve yönetmeliklerin, katı kuralların, ciddi sertifikasyonların dikkate alınması,
- Düşük üretim, bakım ve onarım maliyetli, enerji tasarruflu, ağırlığın azaltılması gibi talepler,
- Yüksek emniyet ve güvenilirlik gelmektedir.

Bu gibi teknik ve ekonomik problemlerin üstesinden gelmek için günümüzde önerilen klasik, geleneksel çözüm yöntemleri, konvansiyonel üretim yöntemleri doğal olarak yetersiz kalmaktadırlar. Bunun da bir nedeni, zamanın mühendislik problemlerine çözüm arayışlarında, geleneksel çözüm yöntemlerinin tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır. "Her sanayi devrin, zamanın kendine has problemlerine; o devrin, o zamanın teknolojik imkânları ile en uygun çözümler bulunur" tespiti göz ardı edilmemelidir. Diğer önemli bir husus ise; serbest piyasada sürdürülebilirlik rekabet için yeni teknolojileri kullanımdan daha önemlisi, yeni teknolojileri AR-GE faaliyetlerine önem vererek bizzat geliştirip üretmek bu suretle dışa teknolojik bağımlılığı azaltmaktadır.

Havacılık ve uzay sektöründe karşılaşılan birçok teknik ve ekonomik sorunun üstesinden gelmek amacıyla günümüzün laser teknolojik imkânları değerlendirilmektedir. Savunma sanayinde kullanılan laserler hakkında ve laser üretim yöntemleri ile ilgili çok sayıda bilimsel yayın çalışmaları bulunmaktadır [1-24].

Proje çalışması; havacılık ve uzay sanayinde uçak ve helikopter yapımında çoğunlukla kullanılan alüminyum alaşım malzemelerin (AA2024-T3 ve AA7050-T7451) kendi içinde

ve birbirleri arasında birleştirilmelerinde laser kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliğinin ve T-kaynak ve laser bindirme kaynak bağlantılarının mekanik ve teknolojik özelliklerin incelenmesi üzerinedir. Proje ile ilgili olarak genel bir literatür değerlendirmesi, laser kaynağı uygulamalarında karşılaşılabilecek sorunlar ve olası çözüm önerileri çalışmada sunulmaktadır.

2. SAVUNMA SANAYİNDE LASER ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Laser teknolojisinin savunma sanayinde uygulamaları dört ayrı grupta ele alınmaktadır:

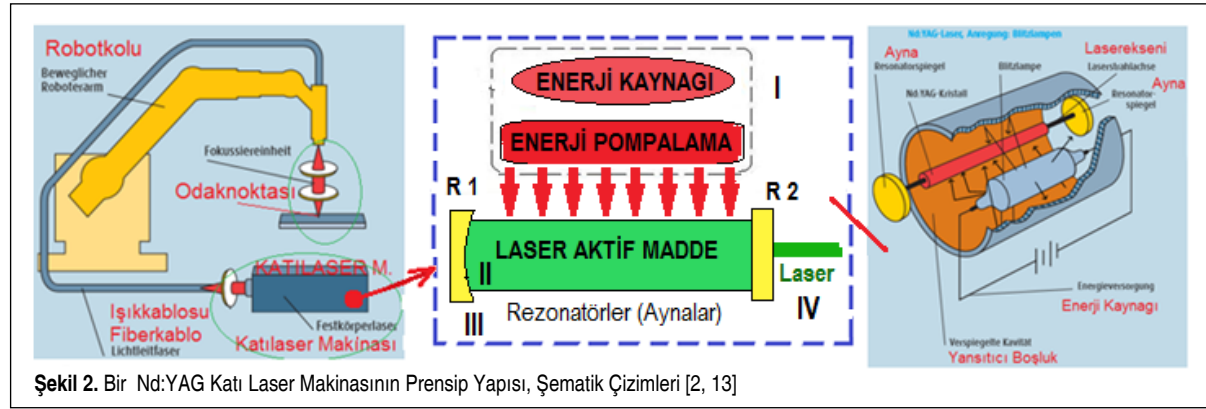
1. Laser takviyeli konvansiyonel kimyasal patlayıcı ateşli silahların geliştirilmesinde (Laser Cihazları)
2. Askeri kontrol, gözetleme, ölçme, analizlerin uygulanmasında (Laser Cihazları)
3. Dolaylı olarak askeri silahların, araç, gereçlerin üretim süreçlerinde (Laser Üretim Yöntemleri)
4. Doğrudan kalıcı ya da geçici imha edici laser silahların yapımlarında (Laser Silahı)

Laser imalat yöntemlerinin; kaliteli ve çok yüksek işlem hızları gibi çok sayıdaki olumlu özellikleri nedeniyle, laser teknolojisi savunma sanayinin birçok sektöründe kullanım alanı bulmaktadır [1-17]. Örneğin;

- Askeri konvansiyonel silahların, basit tabanca, tüfek... kompleks yapıdaki roket, kıtalar arası füzelerin yapımlarında,
- Askeri makinaların parçalarının, cihazlarının, sistemlerin imalatında,
- Askeri kara taşıtlarının, tankların, jiplerin, kamyonların vb. üretiminde,
- Askeri deniz gemilerinin, süratli botların, hücumbotların, çıkarma, mayın gemilerin inşaatında,
- Askeri havacılıkta; uçak, helikopter, insansız hava araçlarında, helikopterlerin, uzay araçlarının yapımında,



Şekil 1. Havacılık Sektöründe, Uçak ve Helikopter Görüntüleri ve Üretim Faaliyetleri [24]



Şekil 2. Bir Nd:YAG Katı Laser Makinasının Prensi Yapısı, Şematik Çizimleri [2, 13]

- Mikro teknikte, elektronik sanayinde laser bağlama yöntemlerinde, bilhassa laser lehim yöntemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Laser bağlama yöntemleri her türlü malzemelerin ve farklı özellikte malzemelerin birbirlerine birleştirilmelerinde kolaylıkla ve ekonomik olarak uygulanmaktadır.

2.1 Laser

Laser, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation'dan radyasyon sakınımlarıyla ışığın kuvvetlendirilmesi sözcüklerinin baş harfleri alınarak dilimize uyarlanmıştır. Laser bir ışın, aynı zamanda çıplak gözle fark edilebilen bir ışık kaynağıdır. Bir lamba ışığı her tarafa, farklı dalga boylarında düzensiz ışık yayarken; laser ışığı ışını, aynı frekans dalgalı, tek renkli ve aynı yönde, birbirine paralel bir demet halinde kayıpsız yayılmaktadır. Yaygın kullanılan laser enerji üretim sistemleri genelde dört temel bileşenden, kısmi, alt sistemlerden oluşmaktadır. Bir katı Nd:YAG laser makinasının prensip yapısı Şekil 2'de şematik olarak görülmektedir [2, 3, 13].

- Laser Aktif Madde:** laser ışınının ortaya çıkmasını sağlayan maddedir. Örneğin laser aktif maddeler; Er, Nd, Yt, Tm, Pr, vb. Bu maddeler katı kristal (Nd:YAG), gaz (CO₂) veya sıvı halde (renkli bir eriyik, boyalı sıvı laserleri) olabilmektedir.
- Enerji Kaynağı, Enerji Pompalama:** Laser aktif madde atomlarının, moleküllerinin tahrik edilmesi, alt enerji seviyelerinden üst enerji seviyelerine ulaşmaları için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Üst enerji seviyelerine ulaşan atomlar, moleküller kendiliklerinden spontan alt enerji seviyelerine düşerken ışık saçarlar. Laser aktif maddeye pompalanan enerji, devir daimi kaldığı sürece, ışık, ışın üretimi süreklilik kazanır. Elektrik enerjisi, doğru akım, ışık, ışın, ısı enerjileri, (Kripton Lambası, Flaş Lambası), atom enerjisi, kimyasal reaksiyon enerjisi, direkt güneş enerjisi, diyod laser enerjisi gibi enerjiler, laser üretiminde pompalama enerjisi olarak kullanılmaktadır.

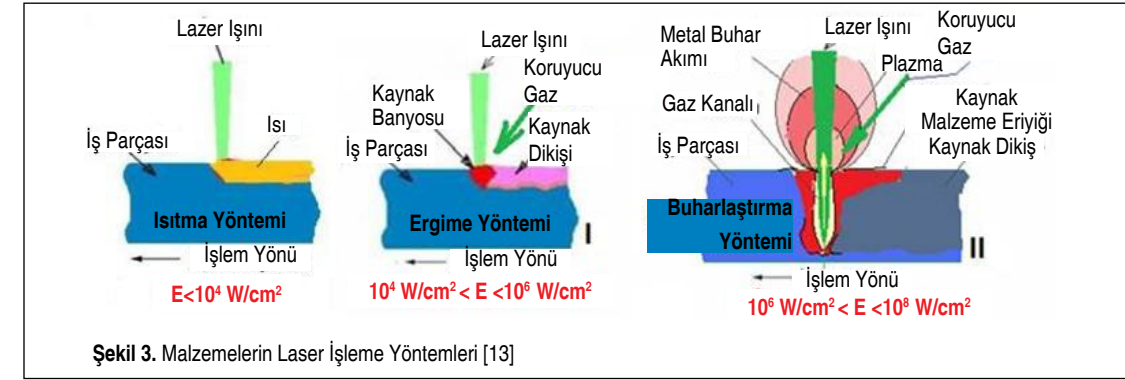
III. Resonatörler (Yansıtıcı Aynalar): İki farklı aynadan oluşan bir optik sistemdir. Laser aktif maddenin arkasında ışınları yansıtıcı bir ayna sistemi (R1) bulunmaktadır. Laser ışını güç ölçümleri için ışın, ışık geçirgenliği %0,5 ile %1 olan ayna kullanılmaktadır. Önde ise kısmi geçirgen (ışın, ışık geçirgenliği %15-50) olan bir ayna sistemi (R2) bulunmaktadır. Resonatör; laser ışınlarının bir kısmını laser aktif maddesine, aktif ortama geri yansıtarak devamlı yoğunlaştırılmış bir ışık demeti şeklinde ve yayılma eksenine paralel yayılmalarını sağlamaktadır. Foton sayısı, ışık şiddeti belli değerlere ulaştığında kısmi geçirgen aynadan dışarı çıkar.

IV. Laser Işın Demetinin İletilmesi: Ön resonatörden çıkan laser demeti laser tipine göre ayna, mercek sistemleri ile veya optik kablosu ya da laser kablosu (10 mm çaplı fiber optik kablo) yardımıyla kayıpsız operasyon noktasına, iş parçasına iletilmektedir. Laser ışınlarının optik kablosu ile iletimi laser ışınının dalga boyuna göre değişmektedir. Örneğin dalga boyu $\lambda=1060 \text{ nm}=1.06 \mu\text{m}$ olan Nd:YAG-laserin iletiminde optik kablosu kullanılırken; dalga boyu, $\lambda=10600 \text{ nm}=10.6 \mu\text{m}$ CO₂ laserin iletimi ayna sistemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Laserlerin tiplerine, dalga boylarına göre farklı laser kalite tanımları bulunmaktadır. Genelde üretilen ışının odaklanabilir ve netlik değerleri ile ifade edilmektedir. Laser odak noktasının keskin çapı ne kadar küçükse ve netse, laser ışını ışığı o nispette kalitelidir, enerji yoğunluğu o nispette yüksektir. Dalga boyu $\lambda=1070 \text{ nm}=1.06 \mu\text{m}$ olan maksimal çıkış gücü $P=21 \text{ kW}$ olan bir fiber laser makinasının laser ışın kalitesi, $BPP=11 \text{ mm} \times \text{mrad}$ olarak verilmektedir.

2.2 Malzemelerin İşlenmesindeki Ana Prensi

Malzemenin işlem noktasında (odak noktasında) yoğunlaştırılan enerji miktarı $E_{\text{Laser}}=10^3 - 10^8 \text{ W/cm}^2$ arasında olabilmektedir. Ergitme kaynağında arkin enerji yoğunluğu yaklaşık, $E_{\text{Ark}}=2 \times 10^2 - 5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ arasında değişmektedir. Malzemenin, işlenen parçanın yüzeyi üzerinde pozisyonu önemli parametrelerden biridir. İşlenen parçanın üzerinde



Şekil 3. Malzemelerin Laser İşleme Yöntemleri [13]

birkaç milim üstünde ya da sanal olarak malzemenin içinde olacak şekilde ayarlanabilir. Enerjinin büyük kısmı malzeme tarafından emilir, bir kısmı da malzeme dışına yansıtılır, yayılır. Efektif olarak kullanılan laser enerji yoğunluk oranı, işlem parametrelerine, laser parametrelerine bağlı olarak değişir. [13]. Odaklanmış laser ışınının enerji miktarına göre malzemelerin işlenmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Şekil 3'te enerji yoğunluğuna göre malzemelerin laser işleme yöntemleri şematik şekilde gösterilmiştir.

I. Isıtma Yöntemi: Güç yoğunluğu ($E < 10^4 \text{ W/cm}^2$, ısıtma, ısı ve yüzey işlemler, şekillendirme...)

II. Ergitme (Sıvılaştırma) Yöntemi: Güç yoğunluğu ($10^4 \text{ W/cm}^2 < E < 10^6 \text{ W/cm}^2$, ergitme kaynağı, ısı ve yüzey işlemleri...)

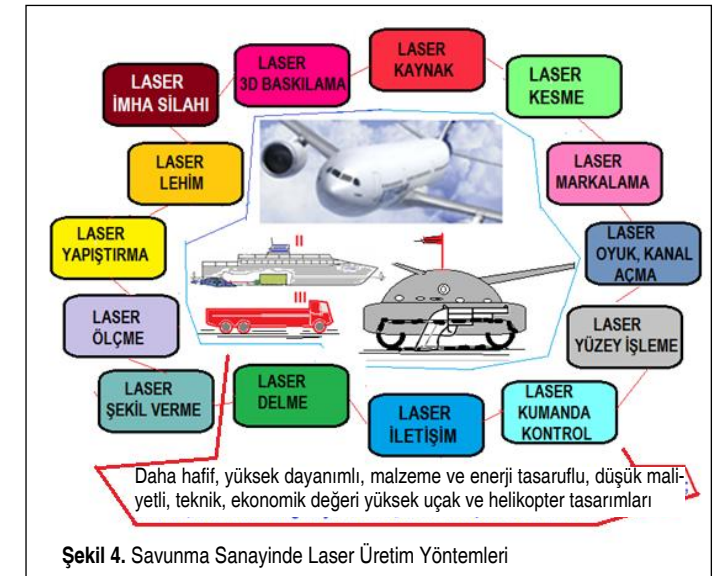
III. Buharlaştırma Yöntemi (Anahtar Deliği Yöntemi, Derin Nüfuziyet Yöntemi): Güç yoğunluğu ($10^6 \text{ W/cm}^2 < E < 10^8 \text{ W/cm}^2$, kaynak, kesme, delme, teknik yüzey işlemleri)

2.3 Savunma Sanayinde Laser Üretim Yöntemleri

Endüstride mal ve hizmet üretimlerinde laser, çok amaçlı, temassız bir takım, araç- gereç, silah olarak tanımlanmaktadır. Otomotiv sektöründe geçmişte laser kesme ile başlayan uygulama, günümüzde laser kesme, delme, kanal, oyuk açma, yüzey işlemleri ile geniş bir kullanım yelpazesine ulaşmıştır. Benzeri gelişme, savunma sanayinde, silah sanayinde, askeri araç gereçlerin, uçakların, gemilerin kara taşıtların yapımlarında, malzemelerin işlenmesinde gözlenmektedir. Savunma sanayinde laser üretim yöntemlerinin bir sınıflandırılması Şekil 4'te şematik olarak gösterilmektedir. Kesme ve delmede, kaynağa kullanılan laser demeti mercek ayna sistemi ile doğrudan imha laser silahlarının üretiminde kullanılmaktadır. İletişimde, bilgi veri depolama, analiz etme gibi üretim sistemlerinde laserlerin kullanımları bulunmaktadır. Laser üretim yöntemlerinin başlıkları, önem sırası dikkate alınmadan aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Laserli ayırma, kesme, delme, oyuk kanal, diş açma ve talaş kaldırma yöntemleri

- Laserle birleştirme yöntemleri (laser kaynağı, laser lehim, laser yapıştırma)
- Laser yüzey işlemleri, sertleştirme, kaplama, yüzey modifiye, temizleme
- Yüzey şekillendirme, renklendirme
- Markalama
- Malzeme buharlaştırma (malzeme tıraşlama, eksiltme)
- Laserle plastik şekil verme, laserli dökme
- Malzeme iç yapı özelliklerinin laserle değiştirilmesi
- Laser alaşımlama
- Laser taramalı sinterleme yöntemi, 3D Baskı yöntemleri



Şekil 4. Savunma Sanayinde Laser Üretim Yöntemleri

2.4 Sanayide Kullanılan Yeni Tip Yüksek Güçlü Laser Makinaları

Diyot Pompalı Nd:YAG Katı Laser Makinaları, CO₂ Gas Laser Makinaları, Fiber Laser Makinaları, Diyet Laser Makinaları endüstride kullanılan yüksek güçlü laser makinalarıdır. Yüksek verim (Elektrik prizinden alınan enerjinin %25'i faydalı işte kullanılırken, eski tip Nd:YAG katı laser makinalarında verim %3'ü geçmez.), kaliteli laser ışın ve mobilite nedeniyle fiber laser makinaları günümüzde önerilmektedir.

Diyot laser makinalarının verimi %60'a varmaktadır; boyutları diğer laser makinalarına göre çok küçüktür, kompakt ve robust, (sağlam ve rijit) bir yapıya sahiptir ve maliyetleri düşüktür. Diyet laser makinalarının önemli olumsuzluklarından biri, güç artıçta odak noktasının çapı artarak ışın kalitesinin, enerji yoğunluğunun düşmesidir. Diyet laser makinaları, cihazları geliştirme safhasının henüz başlangıcında sayılırlar. Diyet laser makinaları, geleceğin laser makinaları olarak değerlendirilmektedirler [18].

2.5 Sanayide Kullanılan Yeni Tip Yüksek Güçlü Laser Makinalarının Ortak Özelliklerinin Sıralanması

- Yüksek güç (P=10 kW – P=50kW) imalat işlemlerinde 2-10 kW'lık çıkış gücündeki laser makinaları yeterli olmaktadır. (Güç artıçta, işlem hızı, kaynak malzeme nufuziyeti artmaktadır. Ayrıca, bir laser makinasından birden fazla fiber kablo ile paralel birçok işlem yapılabilir.)
- Yüksek odaksal enerji yoğunluğu ($10^6 \text{ W/cm}^2 < E < 10^{12} \text{ W/cm}^2$)
- Yüksek randıman ve iyi laser ışın kalitesi

- Bilgisayar destekli komutlara ve kontrole uygunluk
- Kompakt, yani yekpare yapı tarzı
- Mevcut makina sistemlerine, üretim tezgâhlarına, bantlarına ve robotlara entegre olabilirliği
- Mobilite özellikleri, uzun ömürlülük

Şekil 5'te laser kaynak dikişli numunelerin hazırlandığı Berlin Teknik Üniversitesi, Fraunhofer Enstitüsü Laser Kaynak laboratuvarı, laser kaynak makinası, bilgisayar destekli üç boyutlu hareketli kaynak tezgâhi ile görülmektedir.

2.6 Laser Parametreleri

Laser kaynak bağlantılarının kalitesini etkileyen çok sayıda faktör, parametre bulunmaktadır. İşlem, laser, parça ve malzeme parametreleri olarak dört gruba ayrılabilir. Laser parametrelerine ait önemli büyüklükler, sembol ve birimleri ile birlikte; laser maksimal çıkış gücü, P [kW]; nominal laser gücü, P [kW]; laser dalga boyu, λ [μm] veya [nm]; laser enerji yoğunluğu, E [W/cm^2] veya E [kW/mm^2], pulslu laserde ise puls tepe enerjisi, [Joule]; puls süresi [ms], puls frekansı, puls formu, ışın kalitesi BPP [mmxmrad] The Beam Parameter

Tablo 1. Laser Kaynak Parametreleri [13]

Grup	Laser Kaynak Parametreleri
Laser Parametreleri	Laser tipi (CW laser; pulslu (atımlı) laser, ————— maksimal laser gücü, nominal laser gücü, puls süresi, puls frekansı, puls enerjisi, maksimal enerji yoğunluğu, puls formu, laser dalga boyu, laser ışın kalitesi)
Makine Parametreleri	Laser demeti iletimi, (fiber kablo, ayna sistemi), odak noktası çapı ve uzunluğu, odak noktasının netliği, odak noktasının yozisyonu, işlem gazları (koruyucu gaz), işlem hızı (kaynak hızı) laser pençeri...
Parça Parametreleri	Birleştirme tipi (alın, köşe, bindirme...), parça boyutları (kalınlık), kaynak pozisyonu (ü, w, s, f... kaynağı), kaynak ağızı, parça yüzeyi durumu, kaplama tipi ve kalınlığı...
Malzeme Parametreleri	Malzemenin kimyasal yapısı (alaşım elementleri), kaynak kabileyeti, aynı özellikteki malzemelerin birbiri ile kaynağı, farklı özelliklere sahip malzemelerin karmalı kaynağı, malzemenin fiziksel özellikleri (ısı iletkenlik, absorpsiyon, yansıtma malzemenin yoğunluğu) iç yapı

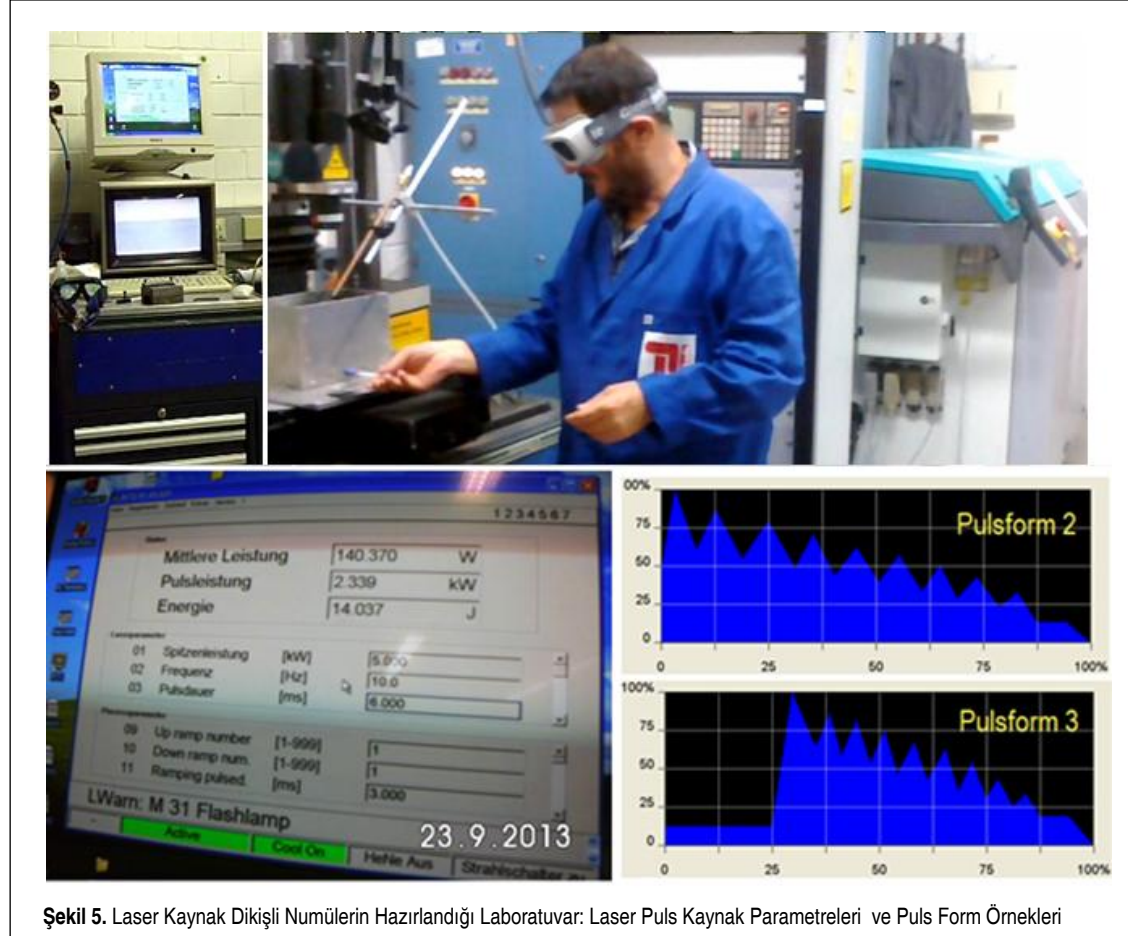
Product, BPP değeri ne kadar küçükse laser kalitesi o nispete kalitelidir. Odak noktasının parçadaki pozisyonu (üzerinde-altında-üstünde) ve ışın demetin eğimidir. Kaynak hızı v_k [m/dak] ve koruyucu gaz (Ar, He, Ar ve He, Ar ve CO_2 ... gibi) diğer önemli parametrelerdir. Tablo 1'de laser kaynak parametreleri gösterilmektedir [13].

3. SAVUNMA SANAYİNDE, HAVACILIK VE UZAY SEKTÖRÜNDE LASER KAYNAK YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

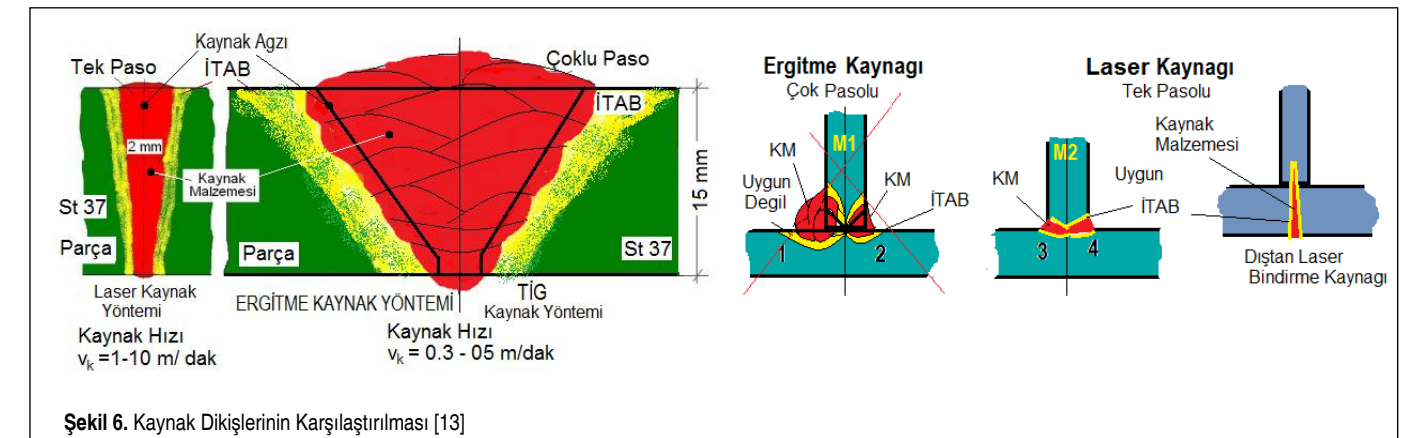
Laser kaynak dikişlerinin yüksek kalitesi yanında çok yüksek işlem hızları, problemsiz erişebilirlik, otomasyona ve mevcut üretim portallarına, robotlara uygunluğu gibi birçok üstünlükleri bulunmaktadır. Her şeyden evvel geçmişte konvansiyonel ergitme yöntemlerle teknik ve/veya maliyet açısından mümkün olmayan ya da çok zaman alıcı külfetli tasarımlar günümüzde laser kaynak yöntemleri ile kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.

Laser kaynak yöntemlerinin ergitme kaynak yöntemlerine kıyasla başlıca üstünlükleri şunlardır:

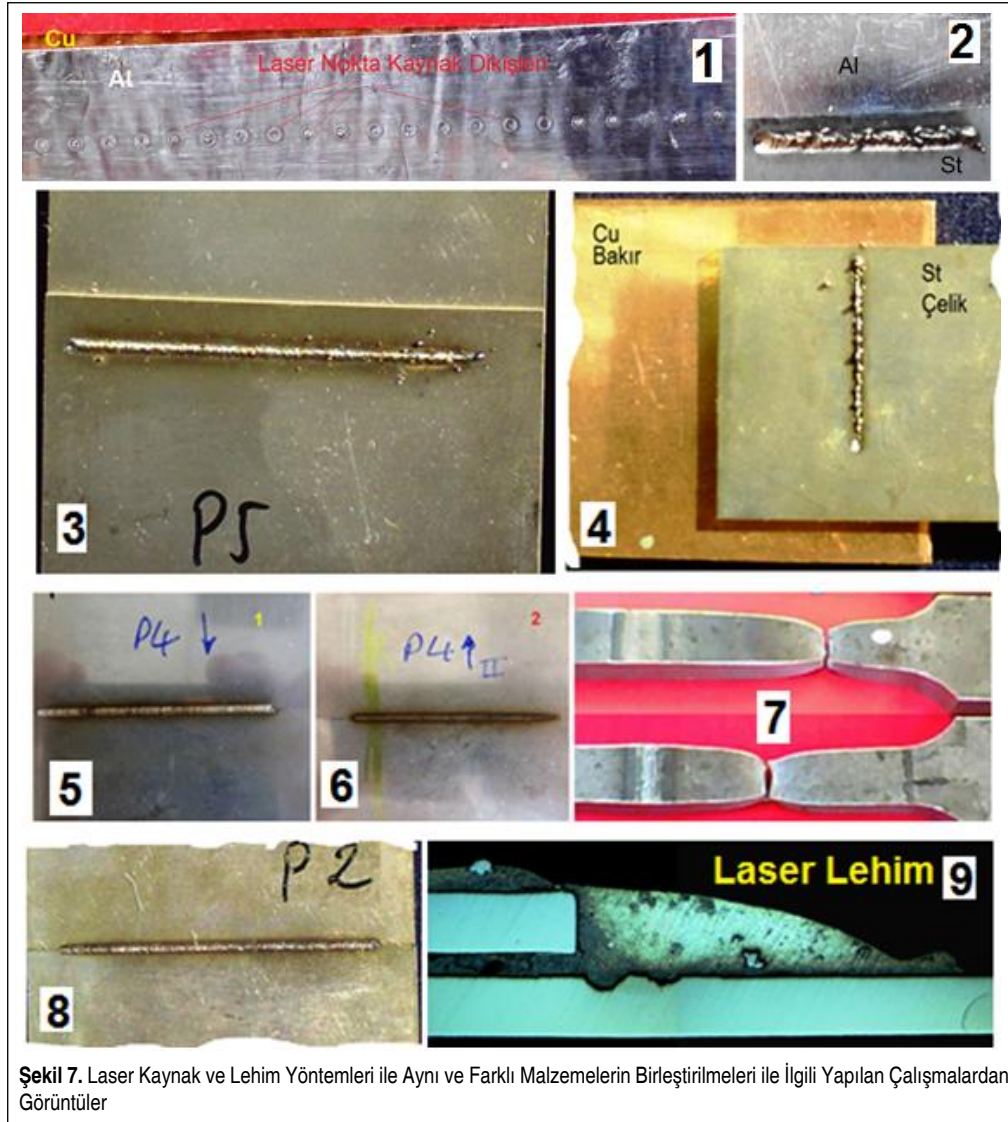
- Laser kaynak yöntemleri ile bir pasoda yüksek işlem hızları ile 20 mm kalınlığına kadar çelik parçalar kaynak ağızı açılmadan birleştirilmektedir (Şekil 6). MIG/MAG, WIG (TIG) gibi ergitme kaynak yöntemleri ile aynı kalınlıktaki parçanın alın kaynağı için kaynak ağızının açılması, daha sonra kök kaynağı ile başlanarak çok sayıda kaynak pasoları ile tamamlanması gerekmektedir (Şekil 6).
- Ergitme kaynak yöntemlerinde her paso için uygulanan farklı kaynak hızları, tek pasoda tamamlanan laser hızına nazaran çok düşüktür.
- Laser kaynak dikişlerinde İTAB bölgesi yok denecek kadar azdır, dolayısıyla artık gerilmeler yoktur.
- Laser kaynağının önemli üstünlüklerinden biri de kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve ısıl işlemlere çoğu kez gerek duyulmamasıdır.
- Test sonuçlarıyla, laser kaynak bağlantılarının daha mukavim olduğu teyit edilmiştir.
- Laser kaynak yöntemleri çok amaçlı kullanılır. Aynı laser pençeri (laser kafası) ile delme, kesme, kaynak lehim, yapıştırma, markalama, yüzey işlemleri bilgisayar destekli uygulanabilmektedir.



Şekil 5. Laser Kaynak Dikişli Numunelerin Hazırlanmış Laboratuvar: Laser Puls Kaynak Parametreleri ve Puls Form Örnekleri



Şekil 6. Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırılması [13]



Şekil 7. Laser Kaynak ve Lehim Yöntemleri ile Aynı ve Farklı Malzemelerin Birleştirilmeleri ile İlgili Yapılan Çalışmalardan Görüntüler

Şekil 7'de, laser kaynak ve laser lehim bağlantılı numuneler gösterilmektedir. Aynı ve farklı özellikteki malzemeler alın ve bindirme yöntemleri ile farklı parametre araştırmaları için birleştirilmişlerdir. İnce levhaların birleştirilmelerinde, özellikle kayma gerilmelerin ön plana çıktığı bağlantılarında lehim ve nokta kaynak bağlantıları tercih edilmektedir.

4. HAVACILIK VE UZAY YAPILARINDA KULLANILAN HAFİF MALZEMELER

Havacılık ve uzay sektöründe çoğunlukla yüksek dayanımlı hafif malzemeler (alaşımli alüminyum metalleri plastikler, CFK, GFK gibi kompozitler) kullanılmaktadır. Uçak ve helikopter konstrüksiyonlarında 2XXX, 7XXX, 8XXX serisi ısıl işleme tabi tutulmuş, sertleştirilmiş, çöktürülmüş, yaşlandırılmış, yüksek dayanımlı alaşımli alüminyum metaller kullanılmaktadır. AA2024-T3 (AlCuMg) "duralüminyum" olarak

da bilinen Al-metalin ana alaşım malzemesi Cu'dur. Cu alaşım elementi metalin kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir. Uçakların, hava araçların dış gövdesinde kullanılmaktadır. 7074-T7451, 7475-T7351 serisi alüminyum-çinko alaşımli hafif metalin içerisinde Cu, Mg, Cr, Zr bulunmaktadır. Yüksek dayanımın söz konusu olduğu uçak, helikopter parçalarının tasarımında tercih edilmektedir. T sembolleri alaşımli malzemelerin ısıl işleme tabi tutulduğunu ifade etmektedir. [1, 3, 4, 6, 20-23]. Bu malzemelerin dışında, laser kaynak kabiliyeti iyileştirilmiş yüksek dayanımlı alüminyum alaşımli malzemeler örneğin, Alüminyum ve Litium AA2198, AA2196, Al-Mg-Si-Cu (6010-6013) kullanılmaktadır. 6010 serisinin 2024 serisine kıyasla %3 daha hafifi, akma sınırı %12 daha fazla, ve daha ucuz ve bunun yanında kaynak kabiliyeti daha iyidir. Uçaklarda dış gövdenin kaplanmasında tercih edilmektedir. Al-Li alaşımli 2198 serisi dış gövde ve stringer, yani enine boyuna kuşaklarda takviye elemanların-

da kullanılmaktadır. 2196 serisi daha çok stringer malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde laser kabiliyeti yüksek alüminyum alaşımli yüksek dayanımlı malzemelerin geliştirilmesi için çalışılmaktadır.

Alaşımli alüminyum hafif metaller yanında, özellikle yaklaşık on yıldır, Karbon Elyafı (Faser) Kompozit malzemelerin, (CFK) havacılık ve uzay sektöründe gelişerek yaygınlaşan bir kullanım alanı bulunmaktadır.

Platik malzemelerin ve CFK, GFK malzemelerin işlenmesinde laser üretim yöntemleri ile iyi sonuçlar alınmaktadır. Genel olarak bu malzemelerin kaynak kabiliyetleri düşüktür, problemlidir. Ergitme kaynak yöntemleri ve eski tip laser kaynak makineleri ile elde edilen kaynak bağlantılarında çatlak, gözenek oluşumları, alaşım elementlerinin yanması, orijinal mekanik teknolojik özelliklerin aşırı değişmesi gibi hatalar çıkmaktadır. [20, 22, 23]. Bu nedenle günümüzde halen havacılık sektöründe mekanik bağlama yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat mekanik bağlayıcılar; daha hafif, yakıt tasarruflu, düşük maliyetli uçak tasarımlarının geliştirilmesini engellemektedir. Gelişme potansiyelini tamamlamış ve uçak helikopter yapılarında sorunlu olan mekanik bağlayıcılara alternatif olarak laser kaynağı değerlendirilmektedir.

5. UÇAK VE HAVACILIK SEKTÖRÜNDE MEKANİK BAĞLAMA YÖNTEMLERİ İLE LASER KAYNAK YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Savunma sanayinde uzay ve havacılık sektöründe, halen uygulanan perçin civata gibi şekil bağına dayalı mekanik bağlama yöntemleri, günümüzün teknik ve ekonomik taleplerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Mekanik bağlama yöntemlerinin; zaman alıcı olmaları, ek takviye elemanların kullanılması, yapısal ağırlığı artırması, açılan deliklerin işletme dayanımına olumsuz etkisi ve sızdırmazlık, yalıtkan elemanlarının kullanılması, otomasyona uygun olmaması, gelişme potansiyellerinin bulunmaması gibi çok sayıda olumsuzlukları bulunmaktadır. Alüminyum alaşımli levhalar ve CFK'dan üretilen uçak yapılarında kullanılan yeni karmalı malzemelerin işlenmesi, perçin deliklerinin açılma-

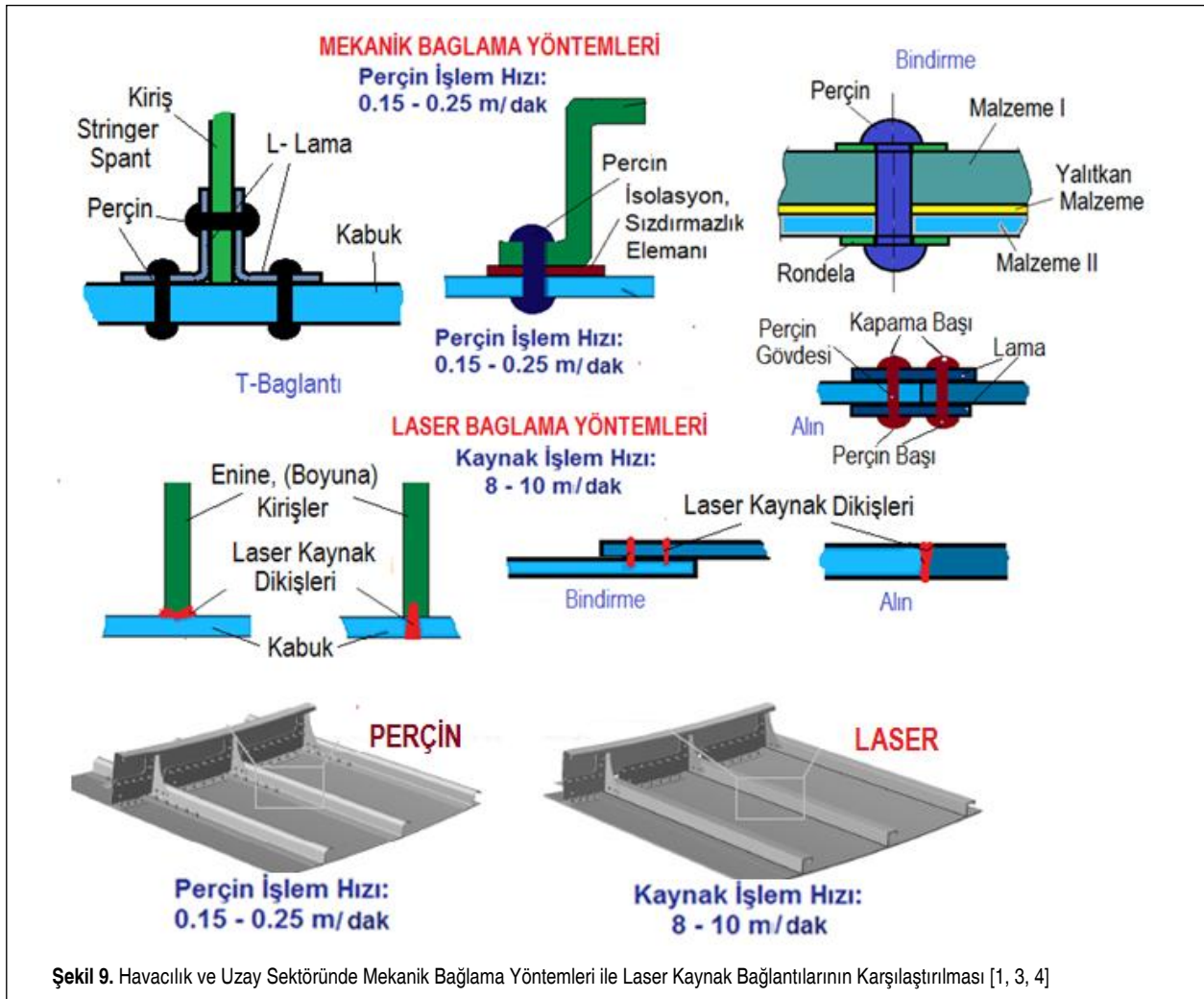
sında problemlidir. Laser üretim yöntemlerinin kullanımı ile uzay ve havacılık sektöründe bu gibi teknik ve ekonomik sorunların aşılmasına çalışılmaktadır. Laser kaynak yöntemleri; çok sayıda artıları nedeniyle uçak, helikopter imalatında aynı ve farklı kimyasal özelliklere sahip yüksek dayanımlı hafif malzemelerin birleştirilmelerinde geleneksel mekanik bağlama yöntemlerine alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Laser kaynak bağlantıları ile ilgili bilimsel araştırmalar, eskiye nazaran daha yoğun bir şekilde sürdürülüyor. Yürütülen bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen bilgi, tecrübeler dayalı olarak uçak ve helikopter yapılarında kullanılan laser kaynak dikişli parçaların sayısında, laser kaynak dikişlerinin uzunluğunda büyük artışlar olmaktadır (Şekil 8) [1].

Havacılık ve uzay sektöründe, uçak ve helikopter yapılarında perçin, civata gibi mekanik bağlayıcılar yerine laser kaynak dikişlerinin tercih edilmesi ile % 20'lere varan ağırlıktan, bir o kadar da işçilikten ve yakıttan tasarruf edilmektedir. Savunma sanayinde, havacılık sektöründe mekanik bağlayıcılarla laser kaynak bağlantılarının şekilsel bir karşılaştırılması Şekil 9'da şematik olarak gösterilmektedir. Dış örtüsünün geleneksel perçin, mekanik bağlayıcılar ile bağlanması ile uçak gövdesinin dış yüzeyinin hava sürtünmesini artırarak yakıt harcamalarını artırmaktadır. Laser kaynak bağlantılı gövde tasarımı ile sürtünme giderilerek hava aracının performansı artacaktır. Şekil bağına, sürtünme kuvveti bağına dayalı mekanik bağlama yöntemleri, tasarımların ağırlığını artırdığı gibi, birleştirilen parçaların işletme dayanımını düşürmekte, işletme ömrünü azaltmaktadır. Bunun yanında, mekanik bağlama yöntemlerinde ihmal edilmemesi gereken çok sayıda işleme süreçleri bulunmaktadır (örneğin delik açma, delik yüzeyin pürüzlüğünü gidermek, tolerans değerlerini aşmamak, gövdenin yerine göre yalıtkan ve sızdırmazlık elemanlarının takılması, kapama başının ya da somunun takılması gibi). Bu işlem adımlarının otomasyonu imkânsızlaşmaktadır. Daha hafif, işletme dayanımı yüksek, daha güvenli ve düşük maliyetli tasarımlar için ve benzeri sorunların üstesinden gelmek için laser üretim yöntemlerinin havacılık ve uzay sektöründe uygulanması gerekmektedir.



Şekil 8. Uçaklarda Kullanılan Laser Kaynak Bağlantılı Panel Sayısı ve Kaynak Dikişlerinin Uzunluğu [1]



Şekil 9. Havacılık ve Uzay Sektöründe Mekanik Bağlama Yöntemleri ile Laser Kaynak Bağlantılarının Karşılaştırılması [1, 3, 4]

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Havacılık ve uzay sanayinde, uçak ve helikopter tasarımlarında yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlı malzemelerin laser kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri konulu yeterli çalışmalara literatürde rastlanılmamaktadır. Daha evvel eski tip laser makinaları ile denenmiş çalışmalarda beklenen kaliteli kaynak dikişlerin elde edilemediği, çatlak oluşumları ve gaz boşluklarının ortaya çıktığı görülmektedir.
- Yeni tip laser kaynak makinaları ile iyi sonuçlara ulaşılabacağı öngörülmektedir. Pulsu laser kaynağının kullanımıyla, kontrollü enerji dozajı sayesinde çatlak ve gaz boşlukları oluşumun girdirilmesine çalışılmaktadır. Proje çalışması, bu alandaki bilimsel çalışmalara katkı sağlayacak orijinal bir çalışmadır. Aynı zamanda laser kaynak yöntemlerinin Türkiye'ye kazandırılmasına ve teknolojileri uygulayacak, geliştirecek uzman personellerin yetiştirilmesine yöneliktir.

- Teknik-ekonomik değeri daha yüksek uçak ve helikopter tasarımları için laser üretim yöntemlerinin, özellikle laser kaynak, laser delme, laser kesme gibi yöntemlerin uygulanması olmazsa olmazdır.
- Laser gibi yeni teknolojilerin Türkiye'de savunma sanayinde, farklı iş kollarında uygulanması ve geliştirilmesi ülkemiz çıkarınıdır. Her sanayi devrin, zamanın kendine has problemlerine; o devrin, o zamanın teknolojik imkânları ile en uygun çözümler bulunur.
- Dışarıya olan teknolojik ve ekonomik bağımlılığı azaltmak için, yeni teknolojilerin bizzat geliştirip üretilmesi ülkemizde öncelikli hedef olmalıdır. Bunun için de üniversiteler bünyesinde sanayicilerle, devlet kurumlarıyla işbirliğine gidilerek katma değeri yüksek endüstriyel mal ve hizmet ürünlerine yönelik projeler ciddi şekilde yürütülmelidir. Türkiye, laser konulu AR-GE projelerini ve üniversitelerimizde laser merkezlerin, laser laboratuvarların kurulmasını öncelikli olarak desteklenmelidir.

KAYNAKÇA

- Kocik, R., Vugrin, T., Seefeld, T. 2006. "Laserstrahlschweißen im Flugzeugbau: Stand und Künftige Anwendungen," Laserstrahlfügen: Prozesse, Systeme, Anwendungen, Trends Beiträge zum 5. Laser-Anwender Forum, 13-14 September 2006, Bremen.
- Özden, H. 2015. "Savunma Sanayinde Laser Teknolojisi Uygulamaları," 1. Savunma Sanayi Sempozyumu, Kırıkkale Üniversitesi, 9-10 Nisan 2015, Kırıkkale.
- Özden, H. 2015. "Uzay ve Havacılık Sektöründe Laser Üretim Yöntemleri, Laser Silahları," EÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, Yayınlanmamış Makale.
- Özden, H. 2013. "Mechanical Fastening, Laser Welding," Eğitim Semineri, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, TUSAŞ, Kazan -Ankara.
- Rötzer, İ. 2004. "Laserschweissen Macht Flugzeuge Leichter," Lasertechnik, Fraunhofer Magzien, vol. 4.
- G. Sepold, Seefeld, T. (Ed). 2002. In Laserstrahlfügen: Prozesse, Systeme, Anwendungen, Trends, Strahltechnik, Band 19, BIAS, Bremen, p. 247-256.
- Vollertsen, F., Schumacher, J., Schneider, K., Seefeld, T. 2004. "Innovative Welding Strategies for the Manufacture of Large Aircraft," Proc. IIW Intl. Conference on Technical Trends and Future Perspectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space, 15-16 July 2004, Osaka, Japan, p. 231-247.
- Kocik, R., Kaschel, S., Kreimeyer, M., Schumacher, J., Vollertsen, F. 2004. "Development of a New Joining Technology for Hybrid Metal Aircraft Structures," Proc. ICALEO, LIA Congress Proceedings CD-ROM 597, LIA, 4-7 October 2004, Orlando FL.
- Schumacher, J. 2005. "Laserstrahlschweissen im Flugzeugbau," Neueste Entwicklung der Industriellen Lasertechnik, Airbus, Kongress, 20 Oktober 2005, Bremen.
- Seefeld, T., Kreimeyer, M., Wagner, F., Vollertsen, F. 2004. "Fügen von Mischverbindungen – von der Prozeßentwicklung zur Anwendung," Proc. VDI-Wissensforum Schweißen von Leichtmetallen, 14-15 Dezember 2004, Aachen.
- Özden, H. 2008. "Laser Teknolojisindeki Gelişmeler, Endüstride Kullanım Alanları," Çukurova Üniversitesi 30. Yıl Sempozyum, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, 16-17 Ekim 2008, Adana.
- Özden, H. 2015. "Laser Kaynağı," Yayınlanmamış Doktora Dersi Slaytları, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özden, H. 2009. "Otomotiv Sektöründe Lazerli Multi Üretim Yöntemleri, Lazerli İmalat, Ölçme ve Kalite Kontrol," Mühendis ve Makine, cilt 50, sayı 596, s. 38-43.
- Özden, H., Dorn, L., Shrestha, S. 2004. "Laserstrahlschweißen im Schiffbau und Meerestechnischen Anlagen," Pamukkale Üniversitesi, International Malzeme Sempozyumu, 14-16 Nisan 2004, Denizli.
- Cavusoglu, N., Özden, H. 2011. "Otomobil Karoseri İmalatında Alüminyum ve Çelik Malzemelerin Laser Bindirme Kaynağı," Kaynak Teknolojisi VIII. Ulusal Kongresi ve Sergisi, MMO Ankara Şube, 18-19 Kasım 2011, Ankara.
- Öncag, Ç., Özden, H. 2013. "Mechanical and Technological Properties of Laser Welded Steel Wheel Rims," Welding Journal, vol. 92 (2), p. 38-43.
- Özden, H. 2007. "Investigating Fiber Lasers for Ship Building and Marine Construction," Welding Journal, vol. 86 (5), p. 26-28.
- Özden, H. 2008. "Sanayide Kullanılan Yüksek Güçlü Lazer Makineleri ve Lazer İmalat Yöntemleri," Makine Tek. sayı 124, s.152-160.
- IPG Photonics. "Products, Application, High Power Welding With Fiberlasers," <http://www.ipgphotonics.com/>, son erişim tarihi: 8.04.2015.
- Akkurt, A., Şık, A., Ovalı, İ. 2012. "AA2024 Alüminyum Alaşımlarının Laser Kaynağında Kaynak Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi," PÜ, Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 18, sayı 1, s. 37-45.
- Tober, G., Heinrich, R. 2001. "ZFP an der Laserstrahlschweisser Flugzeugrumpfschalen aus Aluminium," DGZFP Jahrestagung.
- Enz, J. 2012. Laserstrahlschweissen von Hochfesten Aluminium Lithium -Legierungen, HZG Report 2012-2, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Hamburg.
- Gruss, H. 2008. "Schweissgerechte Struktur- und Prozesstrategie im Flugzeugbau," Doktoringenieur Dissertation, Universität Magdeburg, Dresden.
- <https://www.google.de/search?q=flugzeugbau&safe=strict&biw=1572&bih=835&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKewiPYDytNnKAhVGkCwKHcGrC0gQsAQIJQ&dpr=0.75>, son erişim tarihi: 8.09.2015.