

## LASER KÖR KAYNAK DİKİŞLİ YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMİ, DEĞERLENDİRME

Hüseyin ÖZDEN

Ege Üniversitesi, Müh. Fak., Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı  
huseyin.ozden@ege.edu.tr

### ÖZET

*Laser yüzey sertleştirme yöntemi, prensip olarak, malzeme yüzeylerine çekilen ek malzemesiz laser kaynak dikişlerinden ibarettir. Çalışmada, farklı laser kaynak parametreleriyle çelik malzemeler yüzeyine çekilen laser kör kaynak dikişlerinin makro mikro yapıları incelenmiştir, sertlik ölçümleri değerlendirilmiştir. Laser kör kaynak dikişlerinde ölçülen sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden yüksek olduğu ve parça yüzeylerinde çarpılma, çatlak oluşumu gibi herhangi bir bozulmanın ortaya çıkmadığı tespit edilmiştir. Konvansiyonel yüzey sertleştirme yöntemleri ile laser sertleştirme yöntemlerin bir karşılaştırması yapılmıştır. Yöntemin kolay, hızlı, ekonomik ve kaliteli uygulanabilirliği gibi çok sayıdaki üstünlükleri nedeniyle konvansiyonel sertleştirme yöntemlerinin yerine tercih edilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Laser, laser sertleştirme, yöntem, sertlik değerleri, araştırma

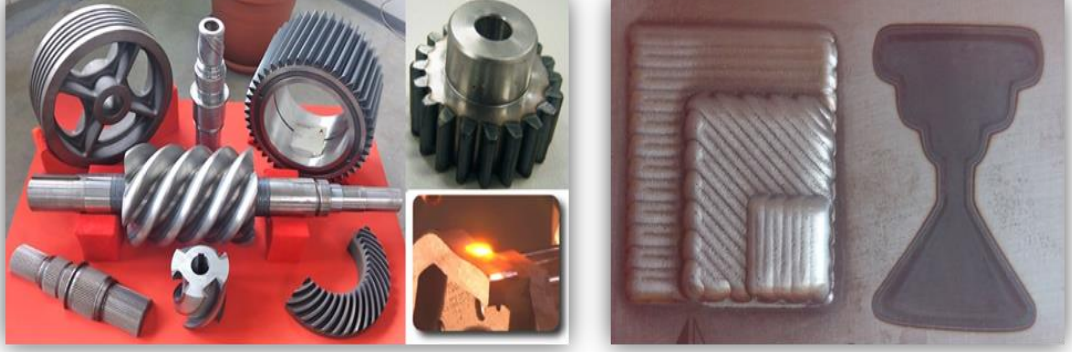
### ABSTRACT

*Laser surface hardening method is principally laser weld seams without additional material drawn on the material surfaces. In the study, macro microstructures of laser blind weld seams were investigated with various laser welding parameters and hardness measurements were evaluated. It has been determined that the hardness values measured in the laser blind welding seams are higher than the hardness values of the main material and that no distortion such as warping or cracking occurs on the surface of the parts. Conventional surface hardening methods and laser hardening methods have been compared. The method is preferred to conventional hardening methods due to its numerous advantages such as easy, fast, economical and high quality applicability.*

**Key Words:** Laser, laser hardening, method, hardness values, research

### 1. GİRİŞ

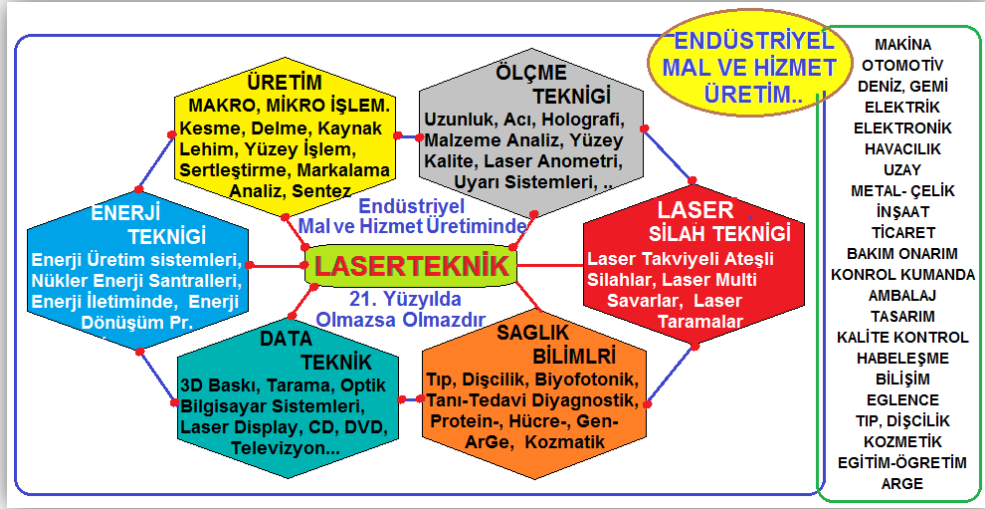
Laser teknolojisindeki olumlu gelişmeler ve yenilikler, laser üretim yöntemlerine farklı uygulamalarla yansımaktadır. Örneğin, laser yüzey işlemlerin sanayide, imalat sektöründe konvansiyonel yüzey işlemlerin yerine her geçen gün tercih edilmesi gibi. Şekil 1’de laser yüzey sertleştirme ve kaplama ile ilgili fotoğraf görüntüleri gösterilmektedir. Laser yüzey sertleştirme yöntemi büyük zorlamalara maruz kalan bütün makina yüzeyleri için, izafi hareket eden dişli çarklar gibi yüzeylerde, kesici takım uçlarında uygulanmaktadır. Sertliği istenilen makina elemanlarının yüzeylerine laser sertlik yöntemleri kolaylıkla uygulanabildiği şekildeki örneklerden de görülmektedir.



*Şekil 1. Laser Yüzey Sertleştirme ve Kaplama İşlemlerine Ait Görüntüler,  
/ALOTECH- Dresden, Almanya*

Laser sertleştirme yöntemi Laser makinelerinde laser kalitesinin ve verimin yükselmesi, makine ana boyutlarının ve ağırlıkların azaltılması, taşınabilir, mobil uygulamaların yani yerinde işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak vermektedir. Laser makine üreticilerinin artması, fiyatların her geçen yıl düşmesini sağlamıştır. Bu gibi olumlu gelişmeler, Almanya gibi sanayisi gelişmiş ülkelerde büyük firmalar yanında, orta ve küçük ölçekli, atölye tipi işletmeler için de laser üretim yöntemleri cazip hale gelerek, daha da yayılmaktadır. Ülkemizde ise maalesef, laser teknolojisi, laser üretim yöntemleri gereken ilgiyi, teşvikleri görmemektedir. TÜBİTAK gibi, Üniversitelerimiz, ARGE-Merkezleri, mühendis odaları ve sanayicilerimizin laser teknolojisinin günümüz ve gelecekteki öneminden ve dünyadaki teknolojik gelişmelerden pek haberdar olmadıkları (medyatik teknolojiler hariç) gözlenmektedir. Günümüzde çok konuşulan, örneğin, malzemelerin mikro boyutlarda (Mikroteknik), nano boyutlarda (Nanoteknik) işlenmeleri, laser silahları vb. laser teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gerçekleşebilmektedir. Aynı şekilde belli bir kesim tarafından son bir iki yıldır çok konuşulan, toplantılar düzenlenen, proje çalışmaları hazırlanan ve insansız, karanlık fabrikalar diye birileri tarafından tanımlanan Endüstri 4.0 da laser teknolojisindeki gelişmelerle aktüalite kazanmaktadır. Yani günümüz ve geleceğin endüstriyel mal ve hizmet üretimlerinde laser teknolojisi olmazsa olmazdır.

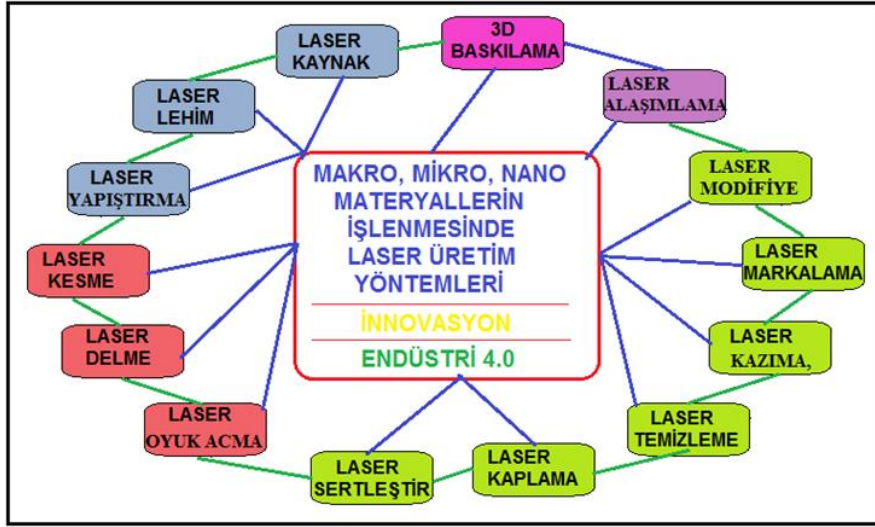
Bildirinin laser yüzey sertleştirme yöntemi hakkında bilgi paylaşımı yanında, diğer bir amacı; laser teknolojiye, laser üretim yöntemlerine dikkatleri çekmektir. Laser teknolojisinin uygulama alanları Şekil 2’de bir şema dahilinde gösterilmektedir. Endüstriyel mal ve hizmet üretimlerinde sanayinin her bir iş kolundan başlayarak; tıp, sağlık, kozmetik, savunma, haberleşme, enerji sektörlerine kadar her alanda kullanımı bulunmaktadır. Laser teknolojisi gelişmekte olan yeni bir teknolojidir. Bilindiği gibi yeni teknolojiler yeni imkânların, yeni tekniklerin, yeni tedavilerin, yeni yöntemlerin, yeni pazarların, yeni istihdamların ortaya çıkmasına da vesile olmaktadır.



Şekil 2. Endüstriyel Mal ve Hizmet Üretimlerinde Laser Teknoloji Uygulamaları

Sanayide imalat sektöründe kullanım alanları hızlı bir şekilde artan laser üretim yöntemleri Şekil 3'te şematik olarak gösterilmeye çalışılmıştır. Laser kesme ve laser kaynak, laser lehim ve laser delme, laser markalama yöntemlerinin uzun zamandan beri otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanım alanı bulunmaktadır. Günümüzde gemi, uçak ve havacılık sektöründe laser kaynak, laser kesme, laser delme, laser kanal, oyuk açma gibi yöntemler artarak uygulanmaktadır. Laser Yüzey işlemlerinden laser temizleme, laser sertleştirme, laser yüzey kaplama laser kazıma, laser modifiye yöntemlerinin sanayinin farklı iş kollarında kullanımları yaygınlaşmaktadır. Endüstri 4,0 için de önem arz eden Laser 3 Boyutlu baskılama, (3B eklenik üretim) yöntemi ile ilgili olarak son 3 yıldır yoğun temel araştırmalar yürütülmektedir. Yakıt tasarruflu kara, hava deniz taşıtlarının tasarımları için laser üretim yöntemleri olmazsa olmaz öneme sahiptirler. Laser yüzey sertleştirme yöntemi 10 yıldır gelişerek uygulanmaktadır. Mobil laser yüzey sertleştirme yönteminin devreye sokulması ile üretimde kazanılan esneklik ve yerinde uygulama imkanları ile konvansiyonel sertleştirme yöntemlerinin önemi azalmıştır.

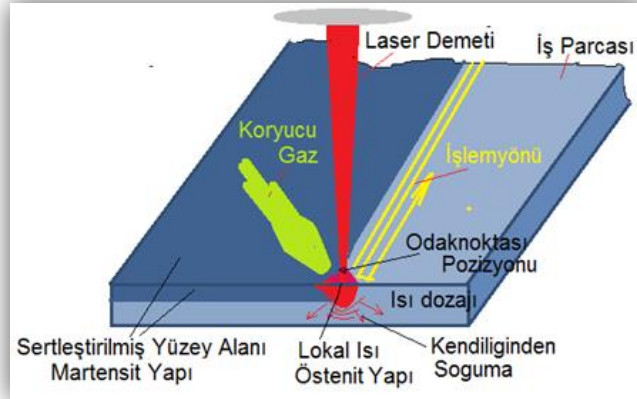
Laser yüzey işlemleri ve laser yüzey sertleştirme yöntemleri konulu çok sayıda çalışmalar, bilimsel yayınlar, makaleler ve kitaplar İngilizce Almanca sözlü literatürde bulunmaktadır /1-6/. Türkçe sözlü uygulama ağırlıklı laser yüzey işlemleri ve laser yüzey sertleştirme konulu yayınlar yok denecek kadardır!. Konu ile ilgili olarak internet ortamında da laser yüzey sertleştirme ile ilgili bilgi edinmek için çok sayıda yazılara, tablolara, şekillere ulaşılmaktadır, örnek olarak laser sertleştirme ile ilgili internette indirilen firma web sayfaları /5,6/. Laser yüzey sertleştirme yöntemlerinin olumlu özelliklerinin tanıtma amaçlı yer aldığı görülmektedir. Bildiri çalışması, çelik malzeme yüzeylerine farklı parametrelerle çekilen laser kör kaynak dikişleri ve sertlik değerlerinin dağılımı ve yöntemin üstünlükleri ile sınırlı kalmaktadır.



Şekil 3. Makro, Mikro ve Nano Materyallerin İşlenmesinde Kullanılan Laser Üretim Yöntemleri

## 2. LASER YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMİ,

Laser sertleştirme yöntemi prensip olarak, iş parçaları malzemelerin yüzeyine ek malzemesiz olarak çekilen laser kaynak kör dikişleri şeklinde gerçekleştirilir. Yöntemin prensip bir şeması Şekil 4’de yer almaktadır. Dışarıdan soğutma, düzeltme gibi ek işlemlere gerek olmamaktadır. Laser odak noktasından malzeme yüzeyine verilen enerji dozajı lokal olarak östenit sıcaklığına (yaklaşık 900 o C ile 1400 o C ve bekleme etki süresi 3 ile 10 saniye arasında değişmektedir<sup>2</sup>) kadar malzemenin ısınmasına ve östenit oluşumuna neden olmaktadır. Odak noktasının hareketi ile ısının iç kısımlara hızlı yayılması sonucu kendiliğinden hızlı soğuyan malzemede martensit yapı ile sertleştirme gerçekleşir. Yani odaklanmış enerji dozajı ile lokal ısının malzeme tarafından yüksek hızla soğumasıyla kendiliğinden martensit oluşumu gerçekleşmektedir.

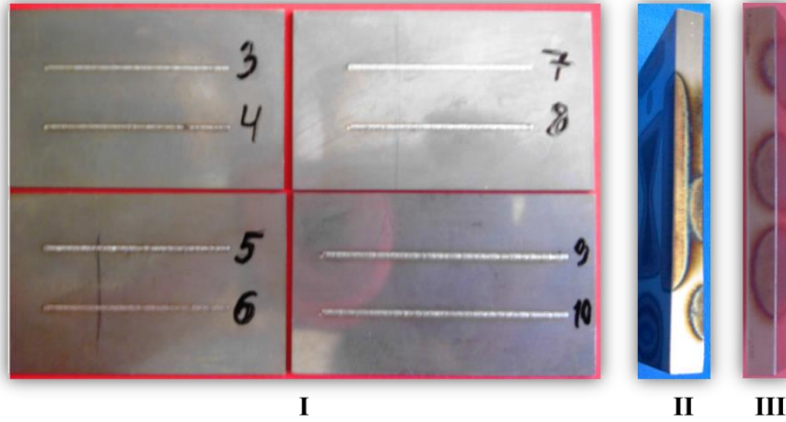


Şekil 4. Geniş Alanlı Laser Yüzey Sertleştirme Yöntemin Prensip Şeması

Laser yüzey sertleştirme işlemlerinde genelde sanayide kullanılan yüksek güçlü laser makinaları, (CO<sub>2</sub>-Gaz laserler, Nd:YAG gibi katı laserler, Fiber Laserler ve Diyot-Laserler) tercih edilmektedir. Son yıllarda diyot laserlerdeki güç, verim ve kalite artışları ve küçük ebatları düşük ağırlıkları ve uygun fiyatları laser yüzey işleme yöntemlerinde, laser yüzey sertleştirme ve kaplama yöntemlerinde yaygın kullanımları bulunmaktadır. % 60'a varan verimlilikleri, küçük ebatları ve uygun fiyatları ile diyot laserler genel olarak çok amaçlı kullanımlı geleceğin laser makinaları olarak öngörülmektedirler. Diyot laser makinalarında güç artıka odak noktasının çapı artmaktadır ve enerji yoğunluğunun dağılımında farklıklar, yani birden fazla modlar ortaya çıkmaktadır. Bu oluşum laser kesme, laser delme, laser kaynak işlemleri için sorun yaratırken, yüzey işlem uygulamalarında olumlu bulunmaktadır.

### 3. UYGULAMALAR, YÜZEY SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Çelik malzeme yüzeylerine farklı laser parametreler ile çekilen laser kör kaynak dikişlerine, laser sertleştirme yüzeylerine örnekler Şekil 5-I'de yer almaktadırlar. Laser kör kaynak dikişlerinin yana yana çekilerek elde edilen geniş alanlı ve derin nüfuziyetli örnek numuneler Şekil 5-II ve III nolu görüntülerde yer almaktadır. Yüzeylerde gözlenen oksidasyon malzeme yüzeylerindeki toz ve benzeri katmanlardan oluşmaktadır. Bu nedenle sertleştirmeden önce yüzeylerin silinmesi, toz, yağ, kir, nem gibi katmanlardan arındırılması gerekmektedir. Laser kör kaynak dikişleri sırasında yüzeyde oksidasyonu önlemek amacıyla koruyucu gaz argon kullanılmıştır. Numunelerin bilgisayar destekli hazırlandığı Berlin Teknik Üniversitesi Laser laboratuvarından görüntüler ise Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Laser Yüzey Sertleştirme Kör Kaynak Dikişli Numuneler (I) ve Geniş Alanlı Yüzey Sertleştirme Numuneler II, III

Malzeme yüzeyinde oluşturulan sertlik değerleri, sertleştirmenin geometrisi, genişliği ve derinliği malzeme yüzeyine, laser odak noktası ile aktarılan enerji dozajının miktarına, uygulama süresine ve malzemenin yapı özelliklerine, kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Laser sertlik değerleri yaklaşık olarak, laser kör dikişleri çekilmemiş malzemenin sertlik değerlerinin 2 katına eriştiği tespit edilmiştir. Çelik malzemelerde çekilen kör kaynak

dikişlerinde oluşan sertlik değerleri genelde 55 ile 65 HRC arasında değişmektedir. Yüksek sayılan bu değerler gerekli ısı dozajın yerel olarak ani sayılacak bir hızda verilmesi ve akabinde ısının malzemeye dağılarak hızlı soğuması ile açıklanabilir. Laser yüzey sertleştirilme genişliğinin genelde 0,7 mm ile 5 mm ve sertlik derinliğinin 0,3 mm ile 2 mm arasında değiştikleri tespit edilmiştir. Sertlik değerlerinin, enerji dozajının verilmiş şekline, süresine, malzeme tipine, kalınlığına ve uygulama süresine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Laser yüzey sertleştirme derinliği kullanım alanına, yani malzeme tipi ve işlem hızına göre değişebilmektedir. Laser kör kaynak dikişlerin düzgün, çatlaksız ve pürüzsüz oluştukları görülmektedir. İnce parçalarda ısı nedeniyle herhangi bir çarpılma, deformasyon kazıma gibi bozulmalara rastlanılmamıştır. Bunun da nedeni enerji, ısı dozajının lokal olarak hızlı bir şekilde verilmesi ve soğuması ile ısıdan etkilenen İTAB gibi bir bölgenin, artık gerilmelerin oluşmaması ile açıklanmaktadır.

Laser yüzey sertleştirmede büyük alanlar yan yana çekilen laser kör kaynak dikişleri ile sertleştirilmektedir. Laser ışın demetinin çizgisel olarak malzeme yüzeyine aktaran laser pencereleri ile büyük alanların taranarak sertleştirilmesi de mümkündür. Laser sertleştirmede kullanılan laser makinasına göre odak noktası dairesel ve farklı çaplarda olabilmektedir. Seçilen büyük çaplı odak noktalarında; laser enerji yoğunluğu dağılımının mümkün olduğu kadar eşit olmasına dikkat edilmelidir. Bu husus kaliteli laser yüzey için de önem arz etmektedir.



*Şekil 6. Numunelerin Hazırlandığı Berlin Teknik Üniversitesi Laser ARGE-Laboratuvarı,*

#### **4. DEĞERLENDİRMELER, LASER YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMİN ÜSTÜNLÜKLERİ**

Laser yüzey sertleştirme yöntemleri, konvansiyonel sertleştirme yöntemlerine kıyasla çok daha basit , işlev öncesi ve sonrası daha az işlem süreçlerine sahip ekonomik bir yöntemdir. İzafi hareket eden, darbeli çalışan yüzeyler arasında adhesiv özellikle abrazyon aşınmasına karşı yapılan konvansiyonel yüzey sertleştirme işlevleri sırasında hatalar kaçınılmaz olmaktadır. Örneğin, dişli çarklarında dişlerin sertleştirilmesi sırasında sertleştirme

derinliğinin kontrol edilememesi, tüm dışın sertleştirilmesi nedeniyle kırılma hızına artması gibi hatalar. Laser sertleştirme yöntemi bu gibi hataların ortaya çıkma olasılığı imkânsızlaşmaktadır. Laser yüzey sertleştirme yönteminde dişliler gibi aşınmaya karşın yüksek direnç istenirken, içyapının darbeleri sönmek için esnek olması, yani malzemede belirli bir tokluk istenmektedir. Bu gibi parçaların yüzey sertleştirilmesinde laser yöntemi en iyi sonucu vermektedir. Kısaca parçaların yorulma dayanımları, çalışma ömürleri artırılmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerin uygulanması ile sertleştirme sonrasında da bozulan yüzeyin temizlenip düzeltilmesi için zaman alıcı külfetli ek işlemlere gerek duyulmamaktadır. Fakat laser sertleştirme yöntemlerinde bu gibi ek işlemler devre dışı kalmaktadır.

Laser yüzey sertleştirme yöntemlerin konvansiyonel yüzey sertleştirme yöntemlerine, (Islah etme su verme, nitrürleme, sementasyon, indüksiyon..) kıyasla belli başlı üstünlükleri, önem sırası dikkate alınmadan sıralanması:

- Laser yüzey sertleştirme yöntemlerin uygulamasının basit olması,
- Laser kör kaynak dikişlerin yan yana hızlı bir şekilde çekilerek büyük ve 3 boyutlu karmaşık alanlı yüzeylerin sertleştirilmesi kolaylıkla gerçekleşmektedir,
- 3 boyutlu karmaşık parçaların, kenarların bilgisayar destekli, otomasyona uygun bir şekilde sertleştirilmesi,
- Büyük makinaların içinde bulunan parçaların sökülmeden yerinde sertleştirilmeleri,
- Fırın vb. ısıtıcılara ve soğutuculara, su, yağ, gaz, kömür ortamlarına gerek duyulmaması,
- Sertleştirilme işlevlerinin önce ve sonrasında zaman alıcı ve maliyetli ek işlemlere gerek duyulmaması,
- Çok kalın ya da çok ince demeden her parça için kolaylıkla sertleştirilmenin gerçekleştirilmesi, özellikle ince parçalarda artık gerilmelerin, çarpılmaların meydana gelmemesi,
- Parça yüzeylerinde istenilen sertlik derinliğinde kontrollü bir şekilde ve tekrarlanabilir kalitede sertleştirilmenin gerçekleştirilmesi,
- Parça yüzeylerinde istenilen sertlik değerlerinin tekrarlanabilir şekilde sertleştirilmenin uygulanabilir olması,
- Sertleştirilmiş parçaların şekillendirme kabiliyeti, tokluk gibi özellikleri kaybetmemeleri,
- Sertleştirme sonrası parçalarda çarpılma, kazıma, çatlak oluşumları gibi bozulmaların görülmemesi,
- Parçalarda bulunan deliklerin, kanalların, olukların yüzeylerinin sertleştirilmelerinde uygulanması,
- Mobil laser yüzey sertleştirme yöntemi ile mekan dışında ve farklı parçaların sertleştirilmesinde kullanılması,
- Laser yüzey sertleştirme yönteminin ekonomik olması nedeniyle üretimde maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır.

Laser yüzey sertleştirme sistemlerinin, tezgâhların, ilgili programların ekipmanların halen günümüzde pahalı olmaları, dışarıdan temin edilerek monte edilmeleri, dışa bağımlı teknoloji gibi önemli olumsuzluklardan biri sayılmaktadır. 1 kW laser makinası ile 5 eksen tezgahlı bir laser sertleştirme makine sistemin komple fiyatı 200.000 Euro civarındadır. Bunun dışında, parlak yüzeyli parçaların sertleştirmesinde kullanılan laser tipine göre laserin kontrol dışı yansıması iş güvenliği açısından tehlikeli olarak görülmektedir. Bu nedenle laser yüzey sertleştirme işlemleri kapalı kabinler içerisinde dışarıdan kontrol ve kumanda edilerek gerçekleştirilmektedir Şekil 7.



*Şekil 7. Laser Yüzey Sertleştirme Yöntemlerinin Gerçekleştirdiği Kabinin Dıştan Bir Görüntüsü, Kumanda Kontrol Panosu.*

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Laser yüzey sertleştirme yöntemi ile ilgili olarak çelik malzeme yüzeylerine farklı parametrelerle laser kör kaynak dikişleri çekilerek dikişlerin sertlik oluşumları; sertlik değerleri, sertlik derinlikleri, sertlik genişlikleri incelenmiştir. Laser kör kaynak dikişli yüzeyi sertleştirilmiş çelik malzemeli numunelerde herhangi bir bozulma (çarpılma, çatlak, düzensizlik) saptanmamıştır. Yüzey sertlik değerlerinin ana malzemenin sertlik değerlerinden yaklaşık iki kat kadar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sertlik derinliğinin 0,3 mm ile 2 mm arasında değiştiği ve sertlik genişliğinin de (laser kör kaynak dikişlerinin genişliği) ortalama 2 mm kadar olduğu tespit edilmiştir. Sertleştirme form ve boyutları genelde laser odak noktasının formuna, enerji ısı dozajına ve verilmiş şekline, malzeme yapısına göre değişmektedir.

Laser yüzey sertleştirme yöntemi ile konvansiyonel sertleştirme yöntemlerinin bir karşılaştırması yapılarak, laser sertleştirme yönteminin olumlu yönleri tespit edilmiştir. Laser yüzey sertleştirme yönteminin basit ve ekonomik uygulanabilirliği, işlev süreçlerin az olması kaliteli çıktılarını nedeniyle yurt dışında sanayide kullanımı cazip hale gelmektedir.



Türkiye’de laser yüzey sertleştirme yöntemlerini uygulayan firmaların sayısının yok denecek kadar az olmasının önemli nedenlerinden biri, makine sistemlerinin Türkiye koşullarında çok pahalı olmasıdır. Laser teknolojinin Türkiye’de geliştirilip kazanılması ile maliyetlerin ve dışa bağımlılığın büyük ölçüde azalacağı şüphesizdir. Bu nedenle üniversite - sanayi işbirlikleri ve devlet destekleri ile laser teknolojinin Türkiye’ye kazandırılmasına çalışılmalıdır.

### 3. KAYNAKÇA

- [1] 1. Özden H., “Laser Üretim Yöntemleri” Yük Lis. ders notları, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017
- [2] Karaslan M., “Laser İle Malzeme İşlemler”, Kitap, Literatür Yayıncılık, 2009
- [3] Lawrence, R. J., “Advances in Laser Materials Processing”, Technology, Research and Application, Part IV Laser transformation hardening of steel, A volume in Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies, 2010
- [4] Meier M., “Laserstrahlformung zur Oberflächenbehandlung” Taschenbuch, 2011
- [5] Trumpf., “Laserhärten” [https://www.trumpf.com/de\\_INT/anwendungen/oberflaechenbearbeiten/laserhaerten/](https://www.trumpf.com/de_INT/anwendungen/oberflaechenbearbeiten/laserhaerten/), erişim tarihi 25.10.2107
- [6] Alotech Dresden, “Technologie – Laserhärten, Liste der erreichbaren Härte - Bau- & Vergütungsstahl” <http://www.alotec.de/de/technologie/laserstrahlhaerten> , erişim tarihi 17.10.2017