

LAZER-ARK HİBRİT KAYNAK YÖNTEMİ

Hakan YAVUZ *, Gürel ÇAM **

Lazer kaynağı yüksek kaynak hızı, düşük distorsiyon ve otomasyona çok uygun olma özellikleri dolayısıyla yapı çeliklerinin kaynak işlemlerinde kullanım için büyük bir potansiyele sahiptir. Lazer kaynağının bu üstün özellikleri yanında, metal elektrot-gaz ark ve lazer kaynağının birlikte kullanıldığı hibrit kaynak uygulaması, daha geniş kaynak aralıklarının birleştirilmesi, kaynak ağızı ve tabanındaki geniş açıklıklar durumunda bile yüksek hızda kaynak yapabileceği gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Hem lazer kaynağı hem de ark kaynağı uzun yıllardır endüstriyel üretimde kullanılmış kaynak yöntemleridir. Her iki kaynak yönteminin de diğerine üstün olan tarafları vardır. Bu iki yöntemi bir arada kullanarak yapılan kaynak işlemine lazer-ark hibrit kaynağı adı verilmektedir. Bu uygulamada, her iki yöntemin avantajları bir araya getirilerek hem geniş aralık kaynağı yapmak hem de kaynak işlemini daha hızlı gerçekleştirmek mümkündür. Buna ilaveten, lazer kaynağındaki kaynak sonrası yüksek soğuma hızı ark sayesinde düşürülerek kaynak bölgesinde kırılğan fazların oluşumu problemi de ortadan kaldırılabilmektedir.

Anahtar sözcükler : Kaynak, yapı çelikleri, lazer kaynağı, ark kaynağı, hibrit kaynak yöntemi, gemi inşaatı

The laser beam welding offers a potential for welding structural steels owing to its advantages such as high welding speed, low distorsion and easy automation. In addition to the advantages of laser beam welding mentioned above, an increased gap bridging ability as well as a significant increase in welding speed can also be obtained when it is employed in combination with gas metal arc welding process (so-called hybrid welding).

Both the laser beam and the arc welding processes have long been employed for industrial production. Both the laser and the arc welding methods have advantages over each other. The welding procedure in which both laser and arc welding are used together is called laser-arc hybrid welding. The higher gap bridging, shorter fabrication times and higher productivity can be achieved by combining the advantages of both laser and arc welding processes in this new welding method. Furthermore, the high cooling rates leading to the formation of brittle phases in the weld region of laser beam welding process can be reduced in hybrid welding, thus eliminating this problem.

Keywords : Welding, structural steels, laser beam welding, arc welding, hybrid welding, ship building

* Yrd. Doç. Dr., Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi,

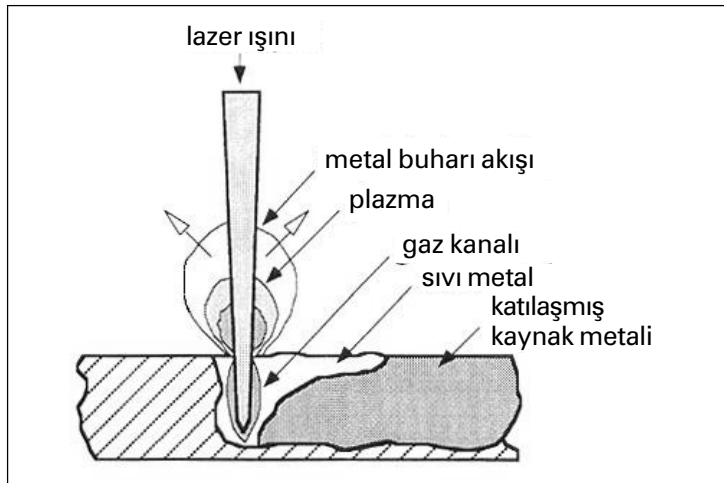
** Prof. Dr., Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi,

GİRİŞ

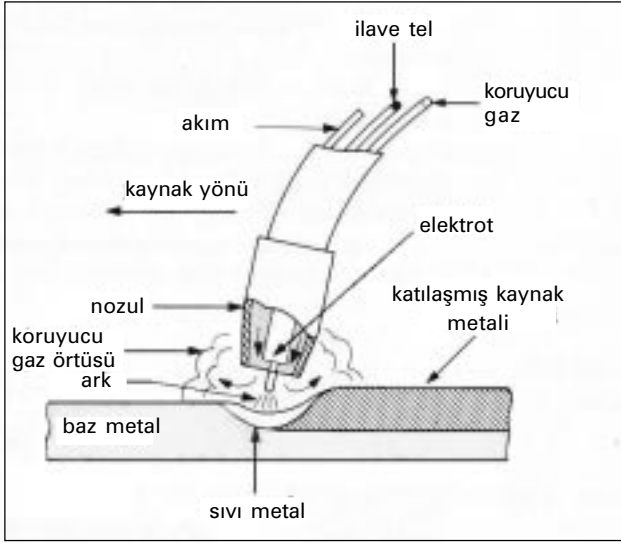
Lazer kaynağı ve ark kaynağı, kaynak yapılan malzemeye enerji aktarım şekli ve bu enerji aktarımının hızına bağlı kendilerine özel uygulama alanlarına sahiptir. Lazer kaynağında malzemeye enerji aktarımı, yüksek enerji yoğunluklu (10 kW/cm^2) lazer ışınının fiber optik kablolar ve aynalar kullanılarak iş parçasına odaklanması sureti ile gerçekleştirilir. İş parçasına odaklanan yüksek enerji yoğunluklu ışın demeti sıvı metal havuzu ile çevrelenmiş çok ince bir buhar kolonu üretir, lazer ilerledikçe sıvı metal kanal içine akarak kaynak işlemi gerçekleşir, Şekil 1 [1,2].

MIG kaynağı adı ile bilinen metal elektrot-gaz (MEG) ark kaynağında ise, kaynak için gerekli ısı, yüksek elektrik akımı kullanılarak harcanan elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark sayesinde elektrottan (katottan) yayılan elektronların iş parçasını (anodu) bombardımanı ile açığa çıkar. Bu yöntemin uygulaması şematik olarak Şekil 2'de verilmektedir [3].

Lazer ışını, oldukça dar kaynak genişliğine karşılık oldukça yüksek kaynak derinliği elde edilmesini sağlar. Ayrıca, lazer ışınının odak çapı küçüktür. Bu nedenle, lazer kaynağının kaynak açıklığı kapama özelliği kötüdür, ancak oldukça yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilir. Diğer taraftan, ark kaynağı daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olmasına karşın daha



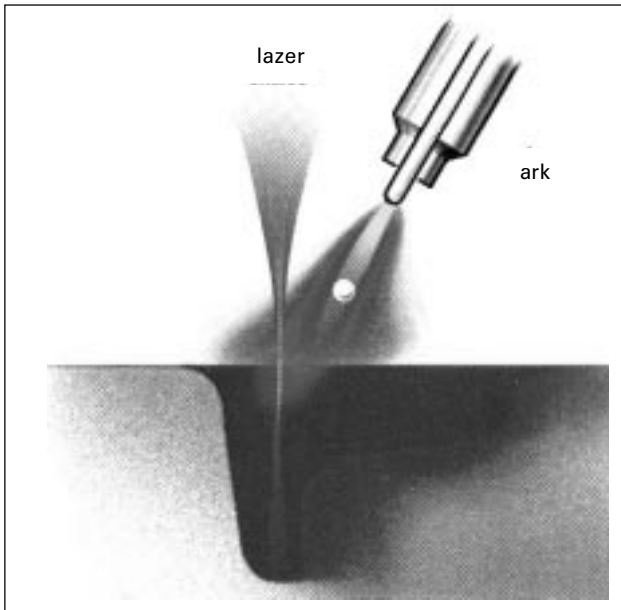
Şekil 1. Lazer Kaynağının Şematik Gösterimi [1,2].



Şekil 2. Gaz Metal Ark Kaynağının Şematik Gösterimi [3].

geniş bir alanda kaynak işleminin gerçekleşmesini sağlar, fakat kaynak hızı çok daha düşüktür.

Lazer kaynağı ve ark kaynağının yukarıda belirtildiği üzere birbirine karşı hem avantajları hem de dezavantajları bulunmaktadır. Bu iki kaynak işleminin bir arada kullanılması ile her iki kaynak metodunun üstün özellikleri bir araya getirilebilir. Bu suretle daha iyi ve daha ekonomik bir kaynak metodu elde edilmesinin yanı sıra,



Şekil 3. Lazer-Ark Hibrit Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi [4].

bu yeni metod üretim mühendisliği açısından da avantajlar sunmaktadır. Şekil 3'te lazer-ark hibrit kaynak yönteminin uygulaması şematik olarak verilmektedir [4]. Bu hibrit kaynak metodu, gemi inşaatı sektöründe ilginç ve bir o kadar da ekonomik ve avantajlı uygulama alanları sunmaktadır. Ayrıca, kaynaklanacak parçaların daha geniş toleranslarının kabul edilebilir olması, daha yüksek genişlik/derinlik oranlarında kaynak edilebilmesinin yanı sıra bu metotla çok daha iyi mekanik ve teknolojik özelliklere ulaşılabilmektedir. Tablo 1'de lazer yöntemi ile lazer-ark hibrit kaynak yöntemi mukayese edilmektedir.

Lazer-ark hibrit kaynak uygulaması 1970'lerden beri

Tablo 1. Lazer ve Lazer-Ark Hibrit Kaynak Yöntemlerinin Mukayesesi

Lazer kaynağının avantajları	Lazer-ark hibrit kaynağının avantajları
Yüksek kaynak derinliği	Yüksek proses stabilitesi
Yüksek kaynak hızı	Daha yüksek kaynak hızı
Düşük toplam ısı girdisi	Yüksek kaynak dikişi hacmi
Yüksek çekme dayanımı	İyi metalurjik özellikler

bilinmektedir. Ancak, daha sonraki yıllarda bu konuda çalışma yapılmamıştır. Yakın zaman öncesinde araştırmacılar dikkatlerini tekrar bu konuya çevirmiş olup, lazer ve ark kaynak metodlarının avantajlarını birleştirmek için çalışmaktadırlar. Her ne kadar lazerin dengeli üretimi ile ilgili konular ilk zamanlarda uygulamada sorunlara sebep olmuşsa da, son zamanlarda kaliteli lazer sistemleri üretim sistemlerinin standart bir parçası haline gelmiş bulunmaktadır.

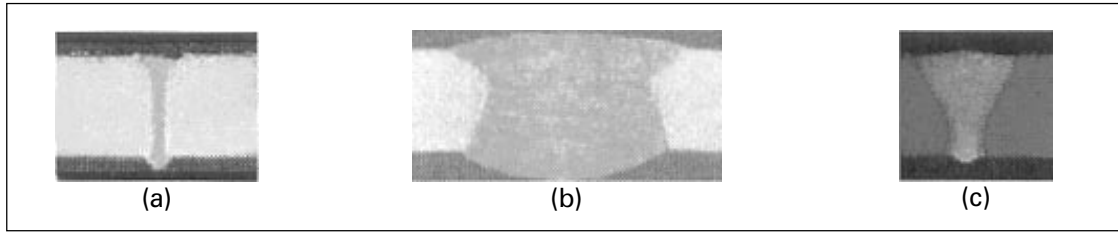
Lazer-ark hibrit kaynağı adı verilen ve lazer ile ark kaynağını birleştiren bu metod da, aynı kaynak bölgesinde aynı anda her iki yöntem de uygulanmakta ve sonuçta birbirlerini etkileyip desteklemeleri sağlanmaktadır.

LAZER KAYNAĞI VE ARK KAYNAĞININ KARŞILAŞTIRILMASI

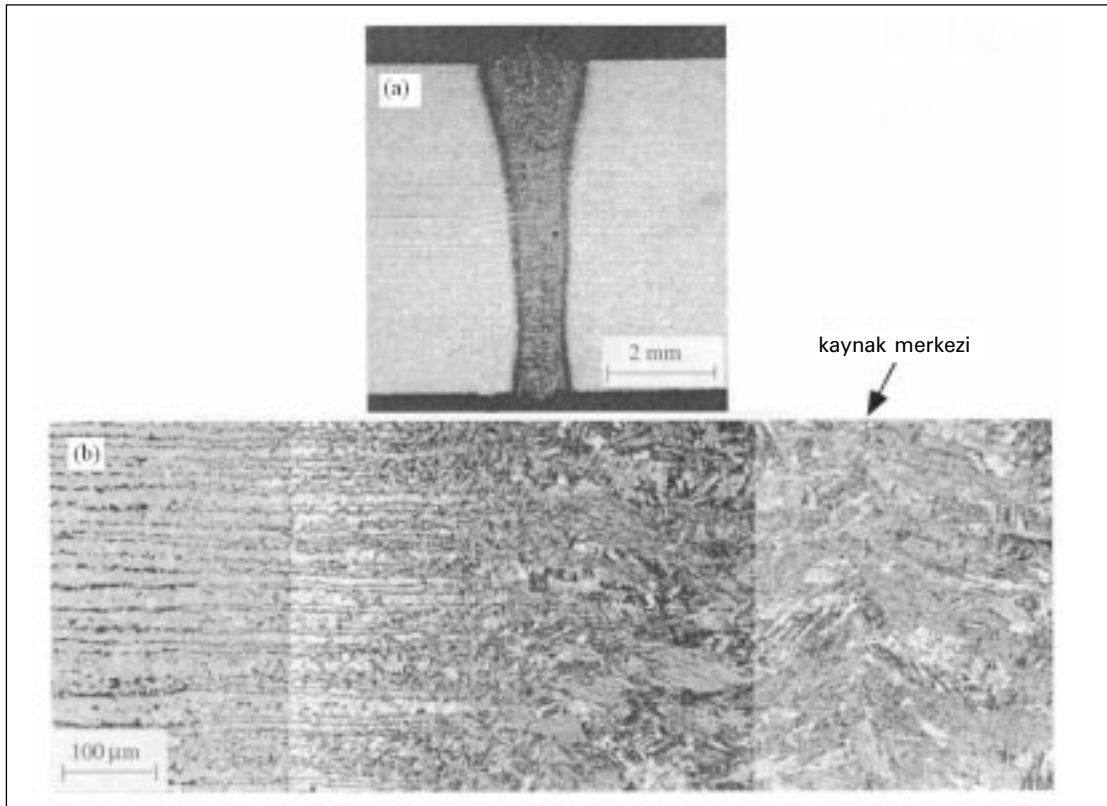
Lazer kaynağında tek pasoda büyük kaynak derinliği elde etmek için hem yüksek güç hem de kaliteli ışın gerekir. Lazer kaynağı uygulamalarında ya küçük

odaklama alanı ya da uzun odaklama mesafesi elde etmek amaçlanmaktadır. Ayrıca, birim uzunluğa lazer ışınları ile etki, küçük ısıl etkileşim bölgesinden dolayı düşük olduğundan, diğer bir deyişle malzemeye aktarılan toplam ısı girdisi düşük olduğundan, ısıl etkisi ile malzemedeki şekil değiştirme ve seviyeleme sorunları ark kaynağından çok daha düşüktür. Buna ilaveten, çok dar bir kaynak dikişi elde edilebilmekte ve içyapıda, dolayısıyla mekanik özelliklerde, değişim dar bir alan ile sınırlı kalmaktadır, Şekil 4a [4]. Yapı çeliklerinin, özellikle karbon

eşdeğeri yüksek olan türlerin, lazer kaynağında yüksek soğuma hızından dolayı kaynak dikişi ve ITAB'de martenzit ve beyrit gibi kırılgen fazlar oluşmakta ve oluşan bu kırılgen fazların miktarı artan karbon eşdeğeri ile artmaktadır, Şekil 5 [5,6]. Oluşan bu sert ve kırılgen fazlar nedeniyle kaynak bölgesinde sertlik ve dolayısıyla mukavemet baz malzeme değerlerinin çok üzerine çıkmaktadır, Şekil 6 [5,6]. Bu sorun, kaynak sonrası soğuma hızı daha düşük olan ark kaynağında genellikle karşımıza çıkmamaktadır. Yüksek güç gereksinimi ile



Şekil 4. Değişik Kaynak Uygulamalarında Elde Edilen Kaynakların Kesit Görüntüleri: a) Lazer, b) Ark, c) Lazer-Ark Hibrit Prosesi [4].



Şekil 5. Lazer Kaynağı Yapılmış St52 Çeliğinin Kaynak Bölgesindeki İçyapı Değişimleri: a) Genel Görünüm ve b) Detay Görünüm [5,6].

ilintili olarak, günümüzde ticari olarak geliştirilmiş 20 kW'lık bir CO₂ gaz lazer sistemi ile tek pasoda 6 mm'lik kalınlıklara kadar çelik levhalarda tek pasoda kaynak işleminin gerçekleştirilebildiği söylenebilir. Lazer sisteminin gücü artırılarak tek pasoda kaynak yapılabilecek levha kalınlığını daha da artırmak mümkündür. Fakat, özellikle kalın levhalarda kaynak hızı seri üretim uygulamalarında endüstrinin beklentilerinin hala çok altındadır. Ayrıca, ileri ark kaynağı uygulamalarında olduğu gibi lazer kaynağında da off-line programlama, kaynak çizgisi takibi, adaptif kaynak kontrol teknikleri, özellikle büyük boyutlu parçaların kaynaklanması işlemlerinde, gereklidir.

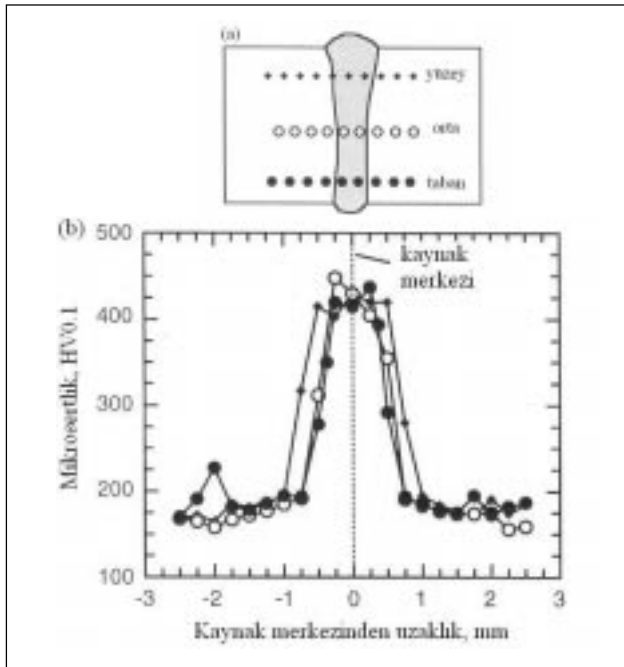
Lazer kaynağının ticari olarak yaygın bir şekilde endüstride kullanımını engelleyen bir başka husus, kaynak esnasında birleştirilecek parçalar arasındaki aralığın düşük tutulması gerekliliğidir. Bu sorun, kaynak işlemi öncesi işlemleri artırmakta ve dolayısıyla üretim maliyetine olumsuz etki etmektedir. Lazer kaynağında birleştirilecek

parçalar arasındaki mesafe en fazla 0.1 - 0.2 mm olduğu durumlarda ilave tel kullanılmaksızın başarılı bir kaynak işlemi uygulanabilmektedir. Daha geniş aralıklarda lazer kaynağı yapmak mümkündür, ancak dolgu malzemesi gerekmektedir. Bu da yine üretim maliyetini artırmaktadır. Örneğin, 0.4 mm'ye kadar aralık için gemi inşasında kaynak bağlantı özelliklerini geliştirmek için ilave tel kullanılır. Bu tipik endüstriyel uygulamada yaygın olarak 12 kW'lık CO₂ lazer sistemi kullanılmaktadır.

Diğer taraftan, ark kaynağında birleştirilecek levhalar arasında daha geniş aralık bırakılabilir. Zaten ark kaynağının doğası gereği, kaynak ağzı açmak ve ilave malzeme kullanmak gerekmektedir. Dolayısıyla, levhalar arası mesafe bir sorun olmamaktadır. Fakat, kaynak ağzı açmak hem üretim hızını düşürmekte hem de üretim maliyetini artırmaktadır. Ark kaynağında, kaynak hızı lazer kaynağından daha düşüktür. Ayrıca, bu yöntemde daha geniş bir alanın ertilmesi gereğinden dolayı malzemeye aktarılan toplam ısı yüksek olduğu için hem distorsiyon yüksek olmakta hem de malzemenin daha geniş bir bölgesinde iç yapıda değişim dolayısıyla mekanik özelliklerde değişim (mekanik uyumsuzluk) olmaktadır, Şekil 4b [4]. Bunlara ilaveten, ark kaynağında lazer kaynağına oranla daha düşük enerji yoğunluğundan dolayı tek pasoda kaynak edilebilecek levha kalınlığı çok daha düşüktür. Daha kalın levhalar ark kaynağı ile çok paso kullanılarak gerçekleştirilebilir. Fakat, bu gerek işlem süresini gerekse maliyeti artırdığından ticari olarak cazip değildir. Ancak, yüksek soğuma nedeniyle lazer kaynağında karşılaşılan kırılğan faz oluşumu bu yöntemde söz konusu değildir veya minimum düzeydedir.

LAZER-ARK HİBRİT YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Metalik parçaların kaynak işlemlerinde genellikle 10⁶ W/cm² gibi yüksek güç kapasiteli lazer sistemleri kullanılır.



Şekil 6. Lazer Kaynağı Yapılmış St52 Çeliğinin Kaynak Bölgesindeki Sertlik Değerleri: a) Sertlik Ölçüm Noktaları, b) Sertlik Profilleri [5,6].

Lazer ışını yüksek enerji yoğunluğundan dolayı metal yüzeyine etki eder etmez temas ettiği metal yüzeyini buharlaşma sıcaklığına ulaştırır. Ardından da buharlaşan metal nedeni ile metal yüzeyinde buharlaşma boşluğu (kanalı) oluşur. Lazer-metal etkileşiminde yüksek enerji aktarımından dolayı lazer ışını büyük derinliklere nüfuz eder ve dolayısı ile de yüksek kaynak derinliği/eni oranlarına (1/4 gibi) ulaşır. Ark kaynağında ise, enerji akış yoğunluğu 10^4 W/cm^2 civarında olup daha düşüktür.

Şekil 3, lazer-ark hibrit kaynak metodunun basit şeklini, özellikle de ilave tel kullanımını göstermektedir. Şekilde ayrıca, lazerden ve ark kaynağından kaynak bölgesine ısı transferinin aynı anda gerçekleştiği gösterilmektedir. Bu hibrit kaynak uygulamasında, birbirini takip eden iki işlemin aksine, her iki kaynak işlemi birlikte gerçekleşir. Bu şekilde, iki farklı kaynak yönteminin yukarıda ifade edilen üstünlüklerinin bir araya getirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu hibrit kaynak işlemi ile, iki kaynak metodunun aynı anda uygulanması sonucu, her bir kaynak işleminde tek başına elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında hem kaynak derinliğinde hem de kaynak hızında artış elde edildiği görülmektedir, Tablo 2. Lazerden dolayı buharlaşma ve sonucunda oluşan buharlaşma boşluğu ark kaynağı ile doldurulur, hatta lazer ile işlem sırasında oluşan ve işlemin verimini etkileyen plazma oluşumu da azaltılır ve lazerin plazma tarafından emilme oranı da dikkate alınmayacak kadar düşük değerlere çekilir. Ayrıca, her iki metottan hangisinden ne oranda güç girdisi seçilmiş olduğuna bağlı olarak hibrit prosesin karakteristik özellikleri o metoda doğru çekilerek ayarlama yapılabilir. Bu yöntemin çeliklerin kaynak işleminde bir başka getirisi de, lazer kaynağında karşılaştığımız kaynak bölgesinde kırılğan faz oluşumunun elimine edilmesidir.

Lazer ışınının metal yüzeyi tarafından absorbe edilmesi metal yüzeyinin sıcaklığından büyük oranda etkilenir. Buharlaşma sıcaklığına ulaşılması ile buharlaşma kanalı

oluşur, bu durumda lazer ışın enerjisinin tamamı iş parçası tarafından absorbe edilir. Bu durumda, bu iş için ihtiyaç duyulan enerji, sıcaklığa bağlı enerji emilmesi ve kaynak bölgesini gerekli sıcaklıkta tutmak için iletimle kaybedilen enerjinin aktarımı gibi esaslara bağlıdır. Hibrit kaynak metodunda ise, sadece kaynak bölgesinde değil ilave telde de buharlaşma gerçekleşir. Bu durumda, sadece lazer ile kaynak yapma durumunda söz konusu olan buharlaşma ile plazma oluşumunun ve plazmanın lazerle etkileşiminin kesik kesik olması yerine, sürekli bir enerji aktarımı ve plazma oluşumu gerçekleştiğinden malzemeye enerji aktarımında aksama meydana gelmez.

Bu hibrit kaynak yönteminin gemi inşaatında kullanımını sağlayan bir üstünlüğü de bu metodun kaynak boşluğu doldurabilme özelliğidir. Değişken kaynak aralığının söz konusu olduğu uygulamalarda ve büyük kaynak boşluğu doldurma işlemlerinde, diğer proses parametrelerinin yanı sıra, lazer enerji girdisinin ayarlanması gerekmektedir. Ayrıca, kaynak ağız açısı ve kaynak derinliği ve boşluğu ilave tel besleme hızının belirlenmesinde ve ayarlanmasında dikkat edilmesi gereken faktörlerdir.

Aşağıdaki çizelgeden de görüleceği üzere lazer-ark hibrit kaynak metodunda kendini oluşturan her iki kaynak yönetiminde elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlara ulaşılabilmektedir. Ark kaynağı ile yapılan kaynaktan daha kalın malzemelerin kaynak işlemi lazer kaynağından daha geniş toleranslarda ve her iki kaynak metodundan daha yüksek kaynak hızında gerçekleştirilebilmektedir.

Tablo 2. Kaynak Metodlarının Performanslarının Karşılaştırılması [4].

Kaynak tipi	Kaynak boşluğu (mm)	Kalınlık (mm)	Kaynak hızı (m/dak)
Ark kaynağı	2 – 5	12	1
Lazer hibrit kaynağı	1	15	3
Lazer kaynağı	0.4	15	2

Bu hibrit kaynak metodu ile Meyer tersanesinde (Papenburg, Almanya) [7], gemilerin güverte sacları tam otomatik makinalarda 20x20 m ebatlarında tek yönlü olarak sacları çevirmeye gerek kalmadan tek pasoda kaynak edilebilmektedir. Bu uygulamada, kaynak işleminden önce kaynak edilecek levhaların yüzeyleri frezede hassas olarak işlenmektedir.

Karbondioksit (CO₂) gaz lazer sisteminde dalga boyu ve plazma oluşumu ile ilgili sıkıntılarının yanı sıra, lazer ışınının aynalar ve merceklerle aktarımı sorunları bu lazerin mobil veya robotik uygulamalarını imkansız hale getirmektedir. Bu nedenle, mobil veya robotik kaynak uygulamalarında Nd:YAG (Neodimium:Yttrium-Aluminum-Garnet) katı hal lazer sistemleri ve yüksek güçlü fiber lazerlerinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Ancak, özellikle Nd:YAG katı hal lazerlerinin düşük güçlerine karşılık yüksek fiyatları uygulama alanlarını ekonomik olmadıkları için daraltmaktadır.

Lazerin kaynak işlemi için üretimi, kaynak bölgesine taşınması, kaynak çizgisinin takibi, ve kaynak işlemi için kaynak çizgisine ve odak mesafesine odaklanması gibi teknik sorunlar, robotik uygulamaları bakım-onarım ve yapısal değişiklikler gibi uygulamalar ile sınırlarken, mobil kaynak ünitelerinin bu tür işlemler için daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu mobil kaynak ünitelerine hibrit kaynak sistemleri eklendiğinde pratik uygulamalar açısından önemli avantajlar sağlayan kaynak sistemleri ortaya çıkmaktadır.

SONUÇ

Lazer-ark hibrit kaynak yöntemi, yeni ve kendisini oluşturan her bir kaynak metodundan daha iyi sonuçlar veren bir kaynak metodudur. Bu kaynak yöntemi, daha geniş toleranslarda daha kaliteli ve hızlı kaynak yapılabilmesine olanak verebilmesi açısından önemlidir. Hatta, bu kaynak metodu ile, diğer şekillerde ekonomik

ve/veya pratik olmayan kaynak işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen yüksek imalat hızından dolayı azalan maliyet beraberinde hızlı üretimin yanı sıra artan rekabet gücü ve daha da önemlisi artan üretim ile özellikle gemi inşaatı gibi alanlarda büyük avantajlar sağlamıştır. Özellikle, bu hibrit kaynak işleminde lazer kullanılarak ısının derinlere ulaşması sağlandığından kaynak bölgesine aktarılan ısıdan etkilenen bölgenin daraltılması da sağlanmaktadır ve bu nedenle kaynak kalitesinde artış elde edilmektedir. Bu hibrit kaynak metodu ile 1 mm kaynak boşluğu ve 15 mm malzeme kalınlığı için lazer kaynağında gerçekleştirilebilen hız %50 artırılmıştır. Lazer kaynağının en hızlı kaynak metodu olduğu gerçeği göz önüne alındığında bu hibrit kaynak işleminin avantajı açık şekilde görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. **G. Çam ve M. Koçak**, 'Progress in Joining of Advanced Materials', International Materials Reviews, 43 (1), 1998, S. 1-44
2. **G. Çam ve M. Koçak**, 'Progress in Joining of Advanced Materials: Part I - Solid State Joining, Fusion Joining and Joining of Intermetallics', Science and Technology of Welding and Joining', 3 (3), 1998, S. 105-126
3. **S. Kalpakjian**, 'Manufacturing Engineering and Technology', Addison-Wesley Pub. Co., New York, 1989, S. 823
4. **S. Herbert**, 'Laser-Hybrid Welding of Ships', Welding Journal, 83 (6), 2004, pp. 39-43
5. **G. Çam, S. Erim, Ç. Yeni ve M. Koçak**, Welding Journal, 78 (6), 1999, S. 193s-201s
6. **G. Çam, Ç. Yeni, S. Erim, V. Ventzke ve M. Koçak**, Science and Technology of Welding and Joining', 3 (4), 1998, S. 177-189
7. **F. Roland ve H. Lembeck**, 'Laser Beam Welding in Shipbuilding - Experience and Perspectives at Meyer Shipyard', 7th International Aachen Welding Conference, 2001