

PAPER DETAILS

TITLE: Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikis Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi

AUTHORS: Mehmet ÇAKMAKKAYA,Fatih ÇOLAK,Riza KARA,Adnan KARAAGAÇLI

PAGES: 1-11

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1255695>

Araştırma Makalesi / Research Article

Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi

Mehmet ÇAKMAKKAYA^{1*}, Fatih ÇOLAK², Rıza KARA³, Adnan KARAAĞAÇLI⁴

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9031-3830>

²Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1161-9875>

³Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0820-2577>

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği ABD, Afyonkarahisar, Türkiye

Geliş/ Recieved: 07.03.2020;

Kabul / Accepted: 12.04.2020

ÖZET: Bu çalışmada, otomotiv sanayinde kullanılan ST 6222 ve DP600 saclarına lazer kaynağı uygulanmış ve farklı kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Temel parametreler esas alınarak yapılan lazer kaynağının malzemelerin kaynak dikişine, kaynak kesitine ve sertliğine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada 25x150 mm ebatlarında 2,0 mm kalınlığındaki parçalar kaynak yapıldıktan sonra mikrosertlik değerleri, 50 gr yük ile kaynak kesiti üzerinden esas metal, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ergime bölgelerinden üç ayrı nokta alınarak ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde kaynak ilerleme hızının artması birleşmenin sertlik dağılımında düzensizlikler ve hem kaynak dikiş genişliğinde hem de kaynak nüfuziyetinde bir azalma bulunmuştur. Ancak lazer gücünün artması ile kaynak dayanımında, kaynak dikişinin genişliğinde ve kaynak nüfuziyetinde bir artış gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lazer kaynağı, Farklı çelik türleri, Nüfuziyet, Mikroyapı, Mekanik özellikler.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: cakmakkaya@aku.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çakmakkaya, M., Çolak, F., Kara, R., Karaağaçlı, A. (2020). Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 1-11.

The Effect of Welding Parameters on Welding Seam Geometry and Penetration of Different Types of Steels Used in Automotive Industry Combined with Laser Welding Method

ABSTRACT: In this study, laser welding was applied to ST 6222 and DP600 sheets used in the automotive industry and the effects of different welding parameters on microstructure and mechanical properties were investigated. The effect of laser welding made on the basis of basic parameters on the welding seam, welding cross section and hardness of the materials was investigated. In this study, after welding 25x150 mm sized parts with a thickness of 2.0 mm, microhardness values were measured by 50 g load and three different points from the main metal, heat affected zone (HAZ) and melting regions over the welding section. When the results are examined, it has been found that the welding feed rate is increased, irregularities in the hardness distribution of the joint and a decrease in both the weld seam width and the weld penetration. However, with the increase of laser power, an increase in weld strength, width of the weld seam and weld penetration has been observed.

Keywords: Laser welding, Different types of steels, Penetration, Microstructure, Mechanical properties.

1. GİRİŞ

Lazer kaynağı, yüksek orandaki enerjiyi daha küçük alanlara odaklayabilen, otomotiv ve beyaz eşya sektörleri gibi benzer üretim yapılan birçok sektörde kullanılan yeni ve ileri bir kaynak yöntemidir (Püskülcü ve Koçlular, 2009). Lazer ışığını diğer kaynaklardan ayıran en büyük fark istenen noktaya kolaylıkla ulaştırılabilmesidir. Böylelikle bölgesel olarak, lazer kaynağı ile birleştirilecek olan bölgeye istenilen miktarda enerji gönderilebilmektedir (Jokinen, 2004). Lazer kaynak tekniği, lazer nokta konumlandırma için daha fazla esnekliğe, endüstrideki üretim gereksinimlerini karşılayabilecek yüksek bir hıza ve düşük işletme maliyetine sahiptir. Birleştirme süreçleri ve prosedürleri, yeni uygulamalara ve yeni malzemelerin geliştirilmesine ayak uydurmalıdır. (Farabi ve ark., 2010). Yüksek ve 50 kW'a kadar devamlı güç elde edilebilen bir CO₂ lazer sistemi diğer sistemlere göre verimi en yüksektir (Yaşkın ve ark., 2011; Köse ve Kaçar, 2016). Ancak CO₂ lazer kaynak yöntemi daha uzun dalga boyu ve daha zayıf ışık Emilimi olduğu için anahtar deliği kaynağı olarak kullanılabilir (Köse ve ark., 2016). Darbeli lazer kaynağında, maksimum darbe gücünün ve yüksek darbe sürelerinin seçilmesi kaynakta ideal kaynak dikişi ve doğru nüfuziyet derinliği için gerekli olduğu tespit edilmiştir (Aydın ve Karaağaç, 2018). Bilinen kaynak yöntemleriyle kaynak yapılamayan farklı malzemelerin lazer kaynağının ise son derece başarılı olduğu tespit edilmiştir. (Xu ve ark., 2012; Xu ve ark., 2013).

Otomotiv endüstrisi, bir trafik kazası durumunda enerji Emilimi için gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanmaktadır. Otomobilde bulunan direkler ve tavan yayları gibi güvenlik bileşenleri için en umut verici alaşımlardan biri de çift fazlı (DP) çeliklerdir. Çift fazlı çelikler, belirli bir morfoloji ve boyutta, 1 GPa'ya yakın gerilme mukavemetleri elde edebilen martensit ve ferrit olmak üzere iki fazdan oluşur (Ferreira ve ark., 2020). Bundan dolayı yüksek dayanımlı çift fazlı sac malzemelerin kullanımı otomotiv endüstrisinde artmıştır (Şen ve ark., 2015). Otomobil gövde yapısının üretiminde kaynak yapılması kaçınılmazdır (Correard ve ark., 2016). Çift fazlı malzemelerin kaynağında çekme kopmasının nedeninin ITAB iç kısmında meydana gelmesinden ve

ayrıca çift fazlı DP600 çeliğinin esas metal ve kaynaklı parçada sünek kırılma olduğunu tespit etmişlerdir (Khan ve ark., 2012; Donk ve ark., 2015). DP600 yumuşak bir ferrit matrisinde yaklaşık%15 sert martensit içerir (Marya ve Gayden, 2005; Calcagnotto ve ark., 2011).

Bu çalışmada lazer kaynağın başta güç, hız ve ışıın boyu gibi temel parametreleri dikkate alınarak malzemelerin kaynak dikişine ve kesitine etkilerini araştırılmıştır. Bu parametrelerin ITAB ve ergime bölgelerinde sertlikleri ölçülmüştür. Farklı kaynak parametrelerinin ST 6222 çeliği ve DP600 çeliği üzerindeki dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Uygulanacak olan lazer kaynağı için ST 6222 çeliği ve DP600 çeliği seçilmiştir. Bu çelikler su jeti ile 25x150 mm kesilerek hazırlanmıştır. Seçilen malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1’de verilmiştir. Hazırlanan parçalar kendi içlerinde CO₂ lazer ünitesi kullanılarak kaynak yapılmıştır. Kaynak bölgesinde metalografik incelemeler yapılarak Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) Vickers sertlikleri ölçülmüştür.

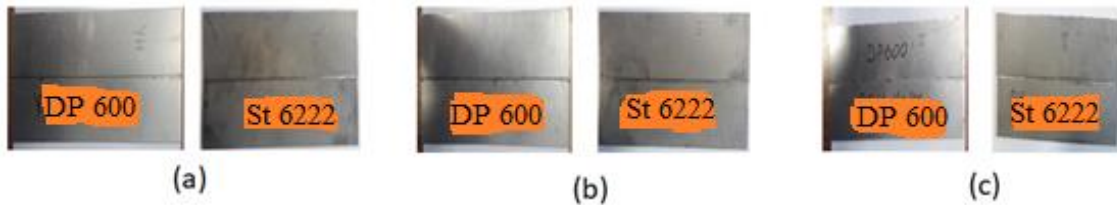
Çizelge 1. ST 6222 ve DP600 çeliklerinin kimyasal bileşimi.

% ağı.	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Al	Cu	Ni	Ti	Fe
ST 6222	0.057	-	0.195	0.085	0.031	0.016	0.012	-	0.203	0.057	-	99.298
DP 600	0.152	0.339	1.766	0.365	0.043	0.018	0.019	0.122	0.03	0.057	0.01	96.902

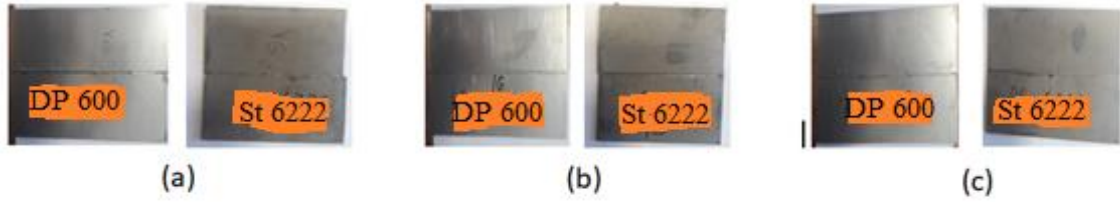
ST 6222 ve DP600 çeliklerinde uygulanacak olan lazer kaynağı seçilen dört parametre (Çizelge 2) dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 1-Şekil 2).

Çizelge 2. Kullanılan kaynak parametre değerleri.

	Kaynak Hızı (m/sn)	Lazer gücü (kW)	İşın Güç Yoğunluğu (kW/mm ²)	Odaklanma Uzaklığı (mm)
Yüksek Hız(YH)	4	47	5.6	50
İdeal Hız(İH)	3	47		
Düşük Hız(DH)	2	47		
Yüksek Güç(YG)	3	56		
İdeal Güç(İG)	3	47		
Düşük Güç(DG)	3	38		



Şekil 1. Sırasıyla; yüksek hız(a), ideal hız(b) ve düşük hız(c) parametreleriyle birleştirilmiş iki farklı malzeme



Şekil 2. Sırasıyla; yüksek güç(a), ideal güç(b) ve düşük güç(c) parametreleriyle birleştirilmiş iki farklı malzeme

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaynak yapılan numunelerin mikroyapıları için kaynak dikişlerinin üstünden ve dikişin genişliğini ifade eden dört tane değer seçilmiştir. Seçilen bu dört değerın ortalaması alınarak L_{ort} bulunmuştur. Numunelerin kaynak kesitinden ise kaynak nüfuziyeti ölçülmüştür ve bu ölçülen değer $L_{nüfuziyet}$ olarak ifade edilmiştir.

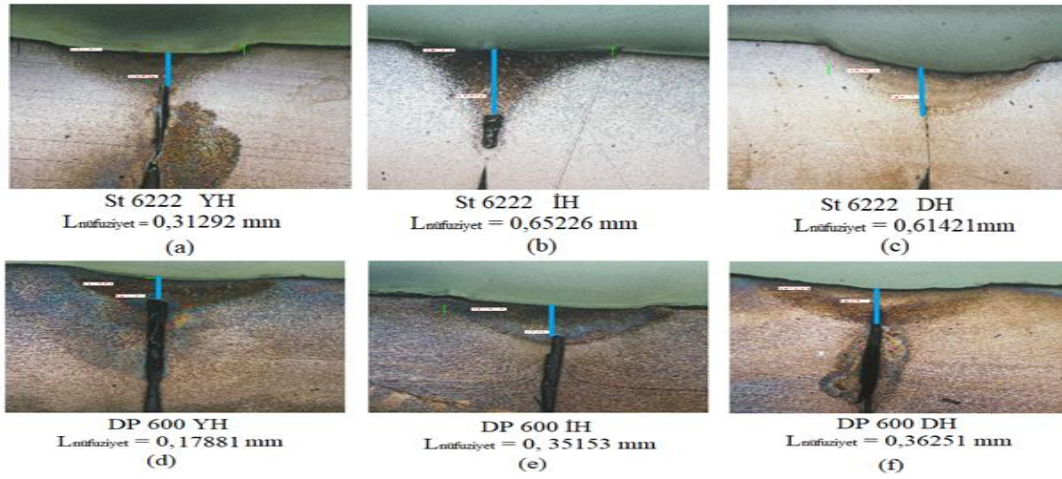
3.1 Kaynak İlerleme Hızının Etkisi

Kaynak ilerleme hızının, numuneler üzerindeki kaynak dikişine etkisi Şekil 3' te verilmiştir. Her iki malzemede de kaynak ilerleme hızının yüksekte düşük hıza doğru azalmasının kaynak dikişinin genişliğinde bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu durumda oluşan ısı girdisindeki azalmayla ergiyen metalin miktarının azalmasından dolayı yüksek hızın kaynak dikişini azalttığı görülmektedir. Ayrıca kaynak aralık sıklığının yüksekte düşük hıza doğru bariz bir şekilde arttığı da görülmektedir.

Şekil 4' te ise uygulanan kaynak ilerleme hızının nüfuziyete olan etkisinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Her iki malzemede de kaynak ilerleme hızının yüksek bir değerde seçilmesi, kaynak dikişinde ve kaynak kesitinde bir azalmaya neden olacaktır. Bundan dolayı yapılan kaynağın kalitesi istenilen seviyelerde olamayacaktır.



Şekil 3. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi (200X)

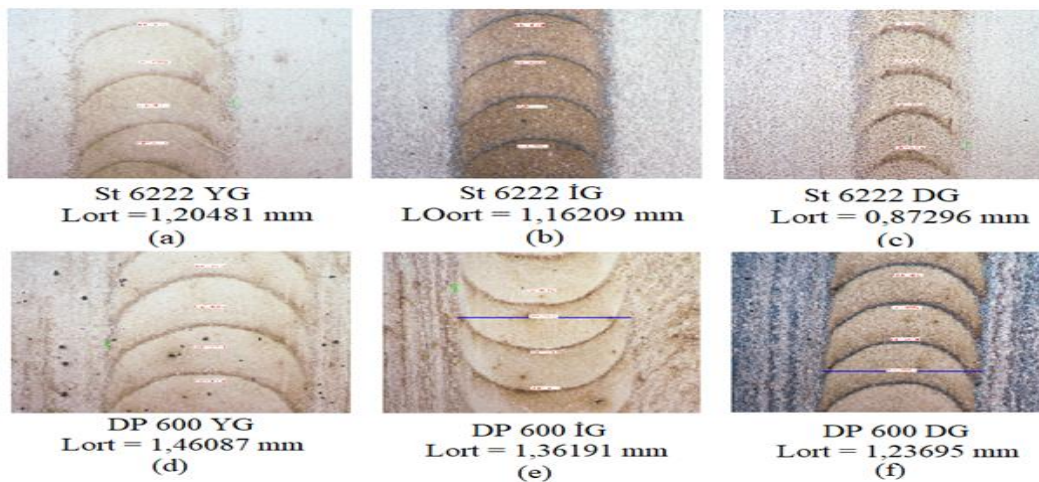


Şekil 4. Kaynak hızının kaynak kesitine etkisi (200X)

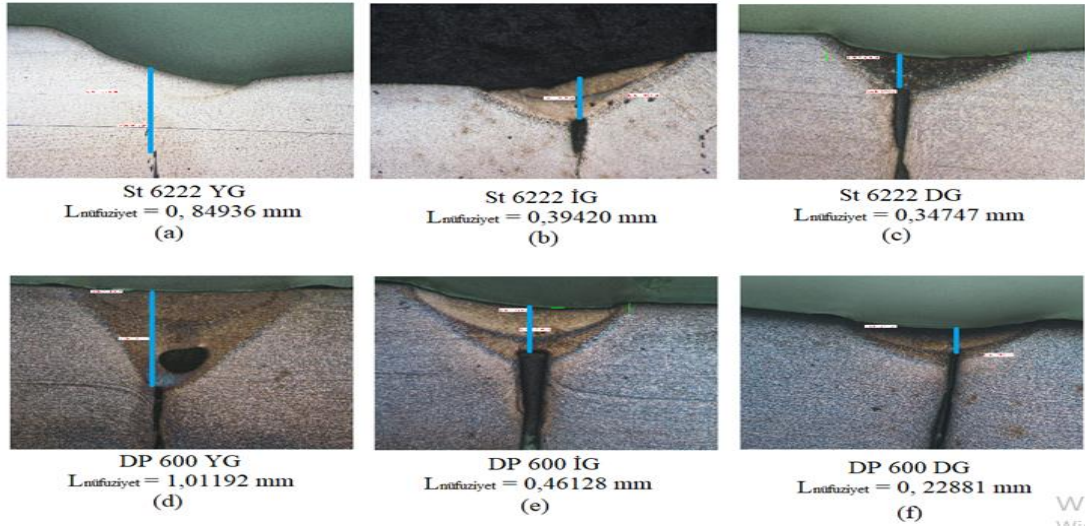
3.2 Lazer Gücünün Etkisi

Artan lazer gücü, kaynak dikişinin genişliğinde de artmasına neden olmuştur. Lazer gücünün yüksekten düşük doğru azalması ile kaynak dikişinin genişliğinin azaldığı Şekil 5’ te görülmektedir. DP600 çeliğindeki kaynak dikişlerinin ST 6222 çeliğindeki dikişlerden daha geniş olmasına kimyasal bileşimin etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kaynak ilerleme hızındaki gibi kaynak dikişlerinin sıklığında bir değişme yaşanmamaktadır.

Şekil 6’ da ise kaynak yapılan numunelerin nüfuziyetine lazer gücü parametresinin etkisinin doğru orantılı görülmektedir. Lazer güç parametresinin ise nüfuziyet derinliğine lazer hız parametresine göre daha belirleyici olduğu saptanmıştır. Böylelikle Şekil 5 ve Şekil 6’ da seçilen numuneler, lazer gücü ile ilerleme hızına bağlı olarak nüfuziyet derinliği, etkin ve belirleyici kriterler içinde lazer gücü de olduğu ortaya konulmuştur. Örneğin, DP 600 çeliğinde; 0,36251 mm değerinde olan maksimum nüfuziyete düşük hız parametresinde ulaşılabilirken, yüksek lazer gücü parametresinde ulaşılan maksimum nüfuziyet değeri 1,01192 mm’ye kadar çıkabilmektedir. ST 6222 çeliğinde de aynı paralellik söz konusudur. Lazer gücü kaynak yapılacak malzemenin nüfuziyetin de dikkate alınması gereken temel parametre olarak görülmelidir.



Şekil 5. Lazer gücünün kaynak dikişine etkisi (200X)



Şekil 6. Lazer gücünün kaynak kesitine etkisi (200X)

Kaynak ilerleme hızının değiştirilmesiyle kaynak dikiş genişliği ve kaynak nüfuziyetine etki değerlerinin ortalamaları Çizelge 3’ te verilmiştir.

Çizelge 3. Kaynak ilerleme hızının değişmesiyle L_{ort} ile $L_{nüfuziyet}$ değerleri

		ST 6222	DP 600
L_{ort}	Yüksek Hız (YH)	1.27083	1.48475
	İdeal Hız (İH)	1.51307	1.53089
	Düşük Hız (DH)	1.54167	1.53562
$L_{nüfuziyet}$	Yüksek Hız (YH)	0.31292	0.17881
	İdeal Hız (İH)	0.65226	0.35153
	Düşük Hız (DH)	0.61421	0.36251

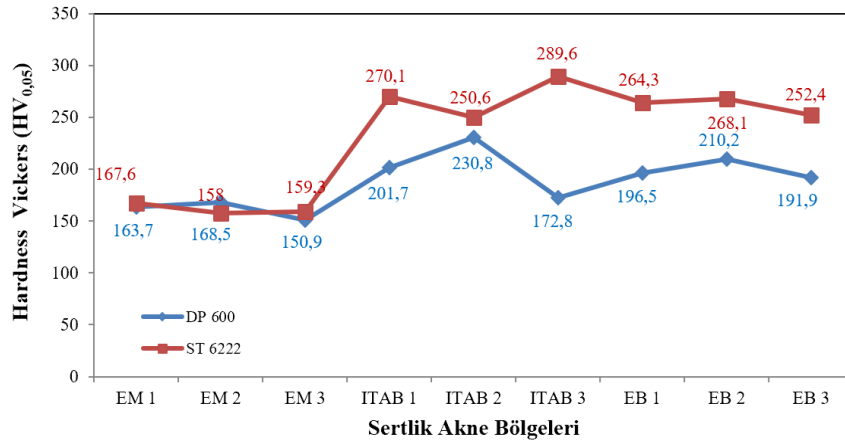
Lazer gücünün değiştirilmesiyle kaynak dikiş genişliği ve kaynak nüfuziyetine etki değerlerinin ortalamalarında Çizelge 4’ te verilmiştir.

Çizelge 4. Lazer gücünün değişmesiyle L_{ort} ile $L_{nüfuziyet}$ değerleri

		ST 6222	DP 600
L_{ort}	Yüksek Güç (YG)	1.20481	1.46087
	İdeal Güç (İG)	1.16209	1.36191
	Düşük Güç (DG)	0.87296	1.23695
$L_{nüfuziyet}$	Yüksek Güç (YG)	0.84936	1.01192
	İdeal Güç (İG)	0.39420	0.46128
	Düşük Güç (DG)	0.34747	0.22881

3.3 Tartışma

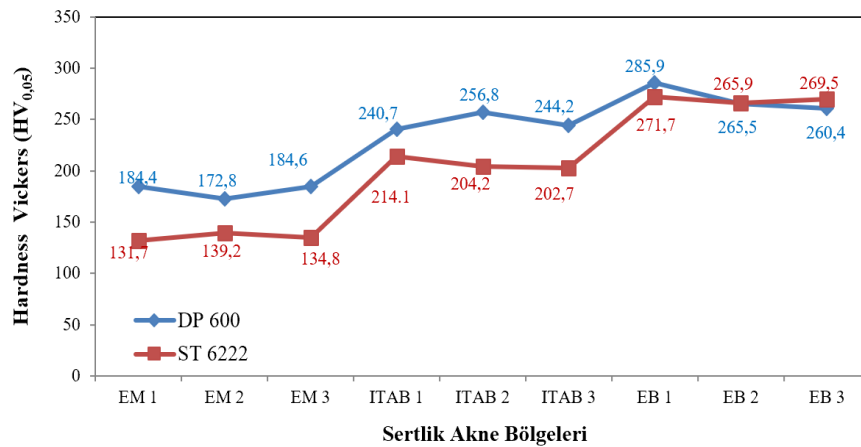
Mikrosertlik testi 50 gr yük ile esas metal kesitinden, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) kesitinden ve ergime bölgesi kesitinden üç farklı nokta alınarak yapılmıştır. Yüksek hız parametresinin esas alındığı iki farklı numunenin 3 ayrı bölgeden alınmış sertlik değerleri Şekil 7’ de gösterilmiştir.



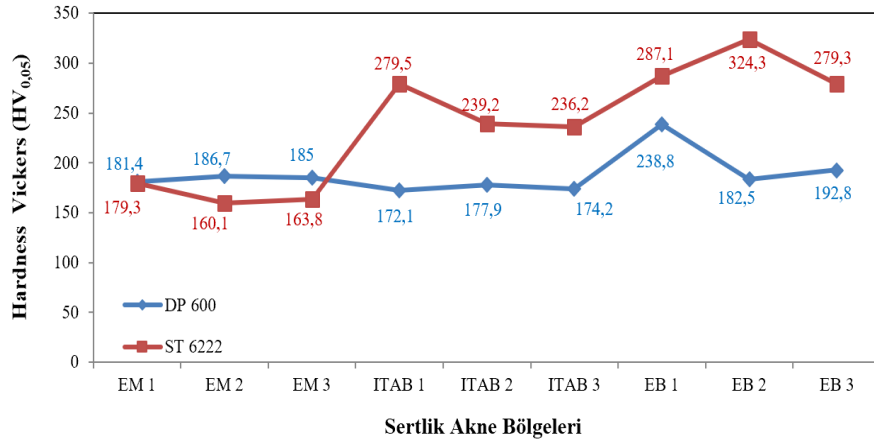
Şekil 7. Yüksek Hız'ın Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi

Sertlik değerleri EM' den ITAB'a doğru aşırı bir şekilde arttığı görülmüştür. Ancak ITAB bölgesinden EB' ne doğru artış olmamıştır. ITAB ve EB'de düzensiz olan sertlik değerlerinin, ITAB' nden düşük olduğu görülmektedir. Kullanılan yüksek hızın, kaynak yapılan parçalardaki ITAB ve EB' nin sertliğini olumsuz etkilediği söylenebilir. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak metaline ısı girdisi azalmaktadır. Kaynak metalinde, azalan ısı girdisi sonucu soğuma hızı da artar. Katılaşacak olan kaynak metalinde bu yüzden sert ve kırılgan faz oluşumları azalır.

İdeal hız parametresin de ise sertlik değerlerinin düzenli bir şekilde EM bölgesinden ITAB ve EB'ne doğru arttığı görülmektedir. Her bölgeden sonra seviyeli bir artıştan sonra yeni bölgede sertlik değerlerinin kararlılık gösterdiği görülmektedir(Şekil 8). Bu da seçilen hız değerinin numunelerin kaynağı için uygun olduğu söylenebilir.



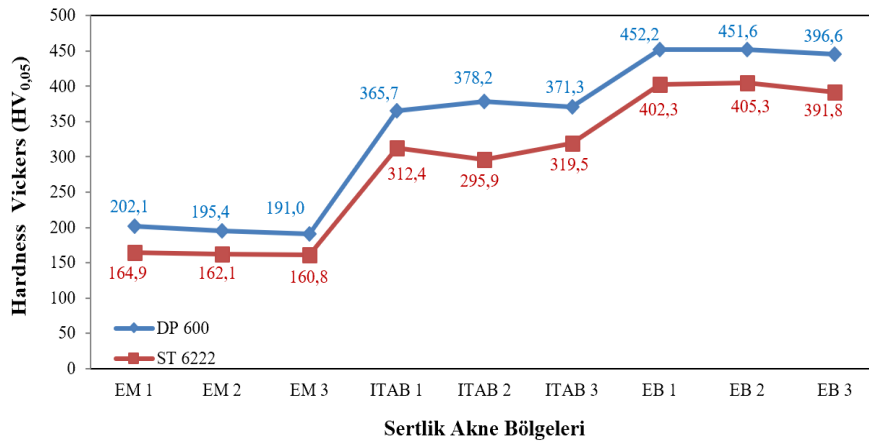
Şekil 8. İdeal Hız'ın Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi



Şekil 9. Düşük Hız'ın Esas Metal (EM) ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi

Düşük hız da kaynak edilen numunelerde EM bölgesinden ITAB' ne geçişte yüksek hız ve ideal hız değerlerine göre çok ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Bu da seçilen parametrenin bu malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini olumsuz etki verdiği düşünülmektedir. Ayrıca hem ITAB hem de EB' nde sertlik değerlerinin düzensiz olduğu görülmektedir (Şekil 9).

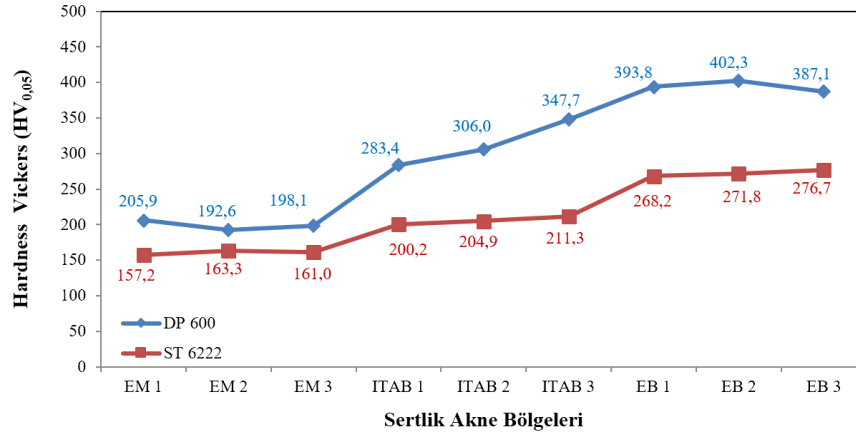
Kullanılan lazer gücünün seçiminde yüksek güçte tercih edildiğinde bulunan sertlik değerlerinin yüksek bir artışla EM bölgesinden sonra ITAB' ne ve EB' ne geçtiği görülmektedir (Şekil 10). Bu durum ise, oluşan yüksek ısı girdisi ile ısı iletkenliği düşük olan malzemelerde soğuma hızının daha yavaş olacağından özellikle paslanmaz çeliklerde görülen sertliği yüksek fazların ortaya çıkmasıyla açıklanabilir.



Şekil 10. Yüksek Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

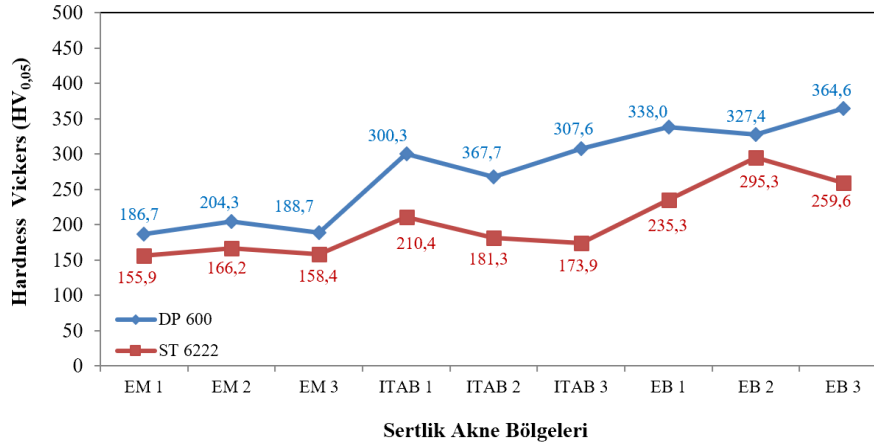
Her iki malzemenin yüksek güç parametresi ile ITAB ve EB' deki sertliklerinin EM bölgesindeki sertliğine göre yaklaşık üç katı gibi değerlere ulaştığı görülmektedir. ITAB ve EB' de ki noktaların birbirine yakın olması buradaki kararlılığı göstermektedir.

Şekil 11' de verilen sertlik değerlerinin ise ideal güç parametresi kullanılarak yapılan kaynak sonrası ITAB ve EB' ne doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 11. İdeal Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

Numunelerin sertlik değerlerinde ciddi değişimler olduğu düşük güç parametresinde görülmektedir. Düşük güç parametresi seçilerek yapılan kaynak sonrası ITAB ve EB' ndeki ölçülen sertlik değerleri diğer iki parametreye göre azalmıştır. Bahsedilen bu durum, ITAB' sinin değerlerinde de görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Düşük Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

Seçilen güç değerlerinin bu malzemelerin sertliğinde olumsuz etkiler yarattığı ITAB ve EB'nde meydana gelen bu iniş ve çıkışlar ile açıklanabilir. Düşük güç parametresinin ise numunelerin sertlik değerlerinde ciddi değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Genel olarak ITAB ve EB' ndeki değerlerin seçilen diğer iki parametreye göre azaldığı görülmektedir. Örneğin, DP 600 için EB' nde; yüksek güç maksimum değeri 452,2 HV ve ideal güç maksimum değeri 402,3 HV iken, düşük güçte bu değer 364,6' ya düşmektedir. Bu durum ITAB' sinin değerlerinde de bariz olarak Şekil 12 'de görülmektedir. ITAB ve EB' nde ani iniş ve çıkışların olması seçilen güç değerinin bu malzemenin sertliğinde olumsuz etkiler yarattığı görülmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan ST 6222 ve DP600 saclarına lazer kaynağı uygulanmıştır. Uygulanan kaynak işlemi ile mikroyapı ve mekanik özelliklere, farklı lazer kaynak parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kaynak ilerleme hızının yüksekten düşük hıza doğru gitmesiyle kaynak dikişinin genişliğinde bir artış görülmüştür. Aynı zamanda düşük hızdan yüksek hıza doğru kaynak aralık sıklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak ilerleme hızı arttıkça numune ile temasın süresi azaldığından dolayı nüfuziyet azalmıştır.
- Uygulanacak hızın yüksek seçilmesi kaynak dikişinde ve kaynak kesitinde bir azalmaya neden olabilir. Böylelikle kaynak özellikleri olumsuz etkilenebilir. Farabi ve ark.,(2010) yaptıkları çalışmada kaynak sırasında hızlı soğuma nedeniyle ergime bölgesinde oluşan büyük miktarda martensitik yapının, sertlikte önemli bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden bu çalışmada seçilen yüksek hız parametresi kaynak edilmiş malzemenin sertliğinde farklılıklara, yavaş hız ise malzemenin sertliğinde düşüşe neden olmuştur.
- Lazer gücünün artması ile kaynak dikiş genişliğinde ve nüfuziyetinde ciddi artış gözlemlenmiştir. Seçilen yüksek güç, numunelerin sertliğinde bir artışa sebep olmuştur. Ancak bu artışın ITAB ve EB' inin her birinin kendi içinde de anlamlı olduğu görülmüştür.
- Düşük güç seçildiğinde sertlik değerlerinin diğer güç parametrelerine göre azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda ITAB ve EB' ne geçişte farklılıklara neden olduğu anlaşılmıştır. Lazer gücünün artmasıyla dayanım artmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Aydın K., Karaağaç İ., Lazer kaynağı ve lazer kaynağının başlıca uygulamaları. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5 (2), 693-705, 2018.
- Calcagnotto M., Adachi Y., Ponge D., Raabe D., Deformation and fracture mechanisms in fine- and ultrafine-grained ferrite/martensite dual-phase steels and the effect of aging. Acta Materialia, 59, 2, 2011.
- Correard G.C.C., Miranda G.P., Lima M.S.F., Development of laser beam welding of advanced high-strength steels. Int J Adv Manuf Technol 83, 1967–1977, 2016.
- Dong D., Liu Y., Yang Y., Li J., Ma M., Jiang T., Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding. Materials Science and Engineering: A, 594, 17-25, 2013.
- Farabi N., Chen D.L., Li J., Zhou Y., Dong S.J., Microstructure and mechanical properties of laser welded DP600 steel joints. Materials Science and Engineering: A, 527, 4–5, 2010
- Ferreira C. C., Braga V., Siqueira R. H., Carvalho S. M., Lima Milton S. F., Laser beam welding of DP980 dual phase steel at high temperatures. Optics and Laser Technology, 124, 2020.
- Jokinen T., Novel ways of using Nd: YAG laser for welding thick section austenitic stainless steel. PhD Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2004.
- Khan A.S., Baig M., Choi S.H., Yang H.S., Sun X., Quasi-static and dynamic responses of advanced high strength steels: experiments and modeling. International Journal of Plasticity, 30–31, 1–17, 2012.
- Köse C., Kaçar R., Lazer kaynağı ile birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi. Technological Applied Sciences, 11 (4), 98-109, 2016.

- Köse C., Kaçar R., Zorba A.P., Bağirova M., Allahverdiyev A.M., The effect of CO₂ laser beam welded AISI 316L austenitic stainless steel on the viability of fibroblast cells, in vitro. *Materials Science and Engineering: C*, 60, 211-218, 2016.
- Marya, M., Gayden X., Development of requirements for resistance spot welding dual-phase (dp600) steels part 1-the causes of interfacial fracture. *Weld Journal*, 84 (11), 172-182, 2005
- Püskülcü G., Koçlular F., Lazer kaynak yöntemi ve uygulaması. *Mühendis ve Makine*, 599(50), 2009.
- Şen M., Yıldırım E., Çebi H., Özdemir C., Çift fazlı çeliklerden üretilen otomotiv sac parçalarının dizaynında geri esnemeyi optimize edebilmek için sac kalınlığına bağlı olarak büküm radyüslerinin belirlenmesi. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 12(2), 75-95, 2015.
- Taşkın M., Çalığülü U., Turkmen M., X-Ray tests of AISI 430 and 304 stainless steels and AISI 1010 low carbon steel welded by CO₂ laser beam welding. *MP-Materials Testing Materials and Components Technology and Application*, 53, 741-747, 2011.
- Xu W., Westerbaan D., Nayak S.S., Chen D.L., Goodwin F., Biro E., Zhou Y., Microstructure and fatigue performance of single and multiple linear fiber laser welded DP980 dual-phase steel. *Materials Science and Engineering: A*, 553, Pages 51-58, 2012.
- Xu W., Westerbaan D., Nayak S.S., Chen D.L., Goodwin F., Biro E., Zhou Y., Tensile and fatigue properties of fiber laser welded high strength low alloy and DP980 dual-phase steel joints *Materials & Design*, 43, 373-383, 2013.