

DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi

Bülent Aydemir^{*1}

Emel Aydemir²

Erdoğan Kaluç³

ÖZ

Otomotiv endüstrisinde çift fazlı (Dual Phase - DP) çelik alaşımlarının kullanımı sürekli artmaktadır. DP çelik sacların farklı türleri (örneğin DP600, DP760, DP1000) otomobil gövde parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Bu şekilde, otomobilde ağırlık azaltılabilmekte ve araç yakıt ekonomisi elde edilmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv gövde sacı olarak kullanılan DP1000 malzemeden hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Numuneler endüstriyel koşullarda, direnç nokta kaynağı (RSW) ve uzaktan lazer kaynağı (RLW) yöntemleri ile birleştirilmiş bağlantılarının çekme mukavemeti ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Çekme mukavemeti değişimlerinde kaynaklı parçaya göre kaynaklı parçalarda yaklaşık %30'luk bir mukavemet kaybı bulunmuştur. Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilerek oluşturulan bağlantıların aksel kuvvet altında Wöhler eğrileri oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, direnç nokta kaynaklı ve uzaktan lazer kaynaklı bağlantıların yaklaşık aynı yorulma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DP1000, direnç nokta kaynağı (RSW), uzaktan lazer kaynağı (RLW), yorulma

Investigation of Tensile and Fatigue Properties of DP1000 Steel Sheets Joints with Remote Laser (RLW) and Resistance Spot Welded (RSW)

ABSTRACT

The use of Dual Phase (DP) steel alloys in the automotive industry is consistently increasing. Various DP type steel sheets (DP600, DP760, DP1000 i.e.) are preferred in the production of parts such as automobile body material. In this way, automobile body weight can be reduced and vehicle fuel economy can be obtained.

In this study, DP1000 samples, which are used as automotive body sheet material, were used. Sample sheet couples were joined with resistance spot welding (RSW) method and remote laser welding (RLW) method in industrial conditions. Tensile strength and hardness change of them were investigated. In the tensile strength changes, a loss of strength of about 30% was found in the welded parts compared to the non-welded part. Also, Wohler curve, under the axial forces for samples joints of both welding method, were generated and evaluated. As a result, it was observed that resistance spot and remote laser welded DP1000 steel sheets were approximately observed similarly in fatigue strength properties.

Keywords: DP1000, resistance spot welding (RSW), remote laser welding (RLW), fatigue

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 09.02.2016

Kabul/Accepted : 13.04.2017

¹ Tübitak UME, Tübitak Gebze Yerleşkesi, Kocaeli - bulent.aydemir@tubitak.gov.tr

² Ford Otosan Ürün Geliştirme, Kocaeli - eaydemir@ford.com.tr

³ Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli - ekaluc@kocaeli.edu.tr



1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv endüstrisinde rekabet koşulları, üretim ve kullanımda enerji tasarrufu gibi kriterler için yeni tasarımları, yeni üretim tekniklerini ortaya koyma ve uygulama arayışlarına ivme kazandırmaktadır.

Otomobil üretiminde preslenmiş, kesilmiş ve talaş kaldırılarak işlenmiş parçalar, farklı bağlantılar (örneğin cıvata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma) ve en yaygın olarak da kaynak yardımıyla birbirlerine birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar; yaklaşık 3000 ile 5000 adet elektrik direnç nokta kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışın kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır. Dolayısıyla, araç gövde üretiminde kullanılan çelik sacların birleştirilmesinde, otomasyona uyumlu olmaları nedeniyle, sırasıyla, en çok elektrik ark, direnç nokta, gazaltı (MIG/MAG) kaynak yöntemleri tercih edilir ve kullanılır [1, 2]. Son yıllarda lazer kaynak yöntemi de karoseri üretiminde kullanılan birleştirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [3, 4].

Lazer teknolojisinin otomotiv sektöründe uygulanmasıyla kısmen de olsa günümüzde görülmeye başlamıştır. İmalat endüstrisinde malzemelerin işlenmesinde lazerlerin kullanım payı 1994 yılında yaklaşık 1 milyar Euro iken, 2000 yılında 5 kat artarak yaklaşık 5 milyar dolara ulaşmıştır. 2005 yılında 15 milyar Euro'ya ulaşan bu rakam, 2015 yılında ise 40 milyar Euro'ya ulaşacağı beklenilmektedir. Örneğin Almanya'da tanınmış otomobil firmaları iç ve dış piyasa da rekabet şansını artırmak ve korumak için daha hafif, dayanıklı güvenilir enerji tasarruflu hibrit motorlu otomobil tasarımlarını AR-GE merkezlerinde geliştirilmektedir. Firmalar bünyelerinde kurdukları lazer araştırma merkezlerinde AR-GE çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürürken yeni teknikleri de geliştirmektedir. 2008 yılının sonlarında yaşanan dünya ekonomik krizinden etkilenen, hatta iflas eşiğine gelen dünyaca ünlü bazı otomobil firmaları, otomotiv sektöründe yeni teknolojileri geliştirerek, uygulayarak, daha hafif, (ultra ligh) yüksek dayanımlı, yakıt tasarruflu yeni modellerle ve yeni tasarımlarla krizi atlama arayışına girmiştir.

Otomobillerde kullanılan sac parçalardaki kalınlık azaltılmasının araç ağırlığına olan etkisinin yaklaşık %24 lük bir kazanım sağladığı literatürde verilmektedir [1]. Bu parçaların yeni nesil çelikler ile üretilmesi son zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda özellikle DP (Dual Phase) çift fazlı çelikler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaları sebebiyle otomotiv endüstrisindeki kullanımlarında çok hızlı bir artış olmuştur. Başlangıçta DP350, DP500, DP600 çelikleri kullanılırken, günümüzde DP760 ve DP1000 çeliklerinin kullanımı daha yaygınlaşmıştır. DP kısaltmasından sonra gelen rakam, MPa biriminde malzemenin çekme mukavemetini ifade ettiğinden, çekme mukavemeti giderek yüksek ve daha ince kesitli parçaların tercih edildiği görülmektedir. Yeni nesil



çeliklerin kullanımının artırılması için en uygun şekillendirme yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu alanda sanayisi gelişmiş ülkelerde, optik ve lazer teknolojisi hızlı bir şekilde ilerler ve lazer teknolojisi ile ilgili yeni iş alanları açılırken, Türkiye’de lazer imalat yöntemleri ile ilgili kullanım oranı oldukça düşük kalmıştır. Ancak, gelişen teknoloji ve hedeflenen stratejiler doğrultusunda lazer teknolojisinin her alanda kullanımının artacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, son yıllarda otomotiv endüstrisinde taşıt ağırlığını hafifletmek amacıyla yaygın olarak kullanılması teşvik edilen yüksek mukavemetli DP1000 çeliği-1.2 mm kalınlığında sacların uzaktan lazer (RLW) ve direnç nokta kaynak (RSW) yöntemleri ile birleştirilmiş bağlantılarının çekme mukavemeti ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilerek oluşturulan bindirme tipi bağlantıların eksenel kuvvet altında Wöhler eğrileri oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanımı giderek artan DP1000 çelik-1.2 mm kalınlığındaki sac malzeme kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinde birleştirme yöntemi olarak kullanılan yaygın direnç nokta (RSW) ve son yıllarda önemi artan uzaktan lazer kaynak (RLW) yöntemleri kullanılarak deney numuneleri elde edilmiştir.

Farklı deney numunelerine çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve eksenel kuvvet altında

Tablo 1. DP1000 Numunelerin Kimyasal Analiz Sonuçları

C	0.158
Si	0.200
Mn	1.890
P	0.022
S	0.001
Al	0.030
Nb	0.003
Cr	0.206
Mo	0.024
Ni	0.022
Cu	0.020
Ti	0.018
W	0.037
Pb	0.014

yorulma deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan DP1000 malzemenin öncelikle kimyasal analizleri incelenmiştir. Spektrometre kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kaynak işlemi uygulanmadan önce ve sonrasında çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) laboratuvarında bulunan Zwick/Roell marka Z250 model malzeme deney makinasında gerçekleştirilmiştir. Makina EN ISO 7500-1 standardına göre kalibre edilmiş olup, sınıfı 0.5 olan bir cihazdır (Şekil 1).

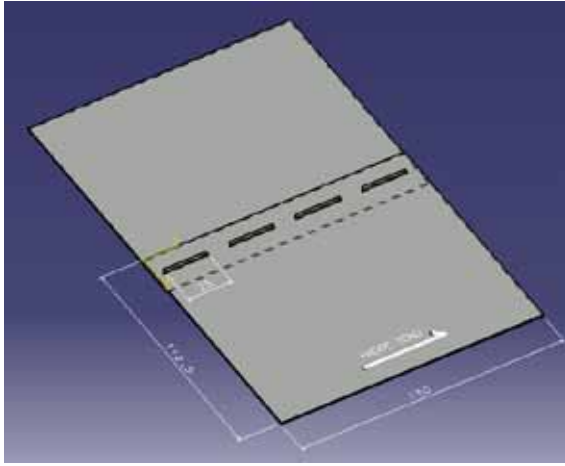


Şekil 1. Çekme Deneylerinin Gerçekleştirildiği Çekme Makinası

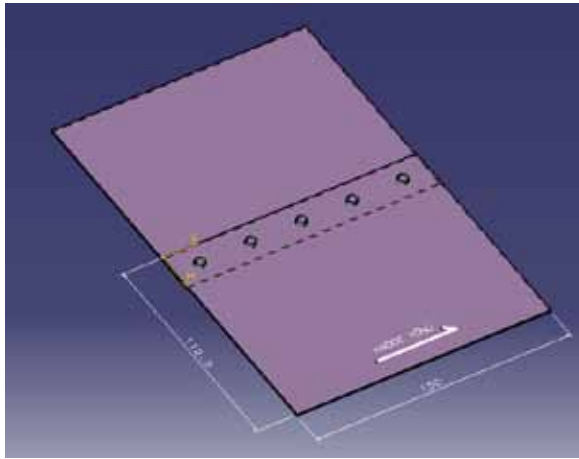
Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçlar çekme cihazını kontrol eden bilgisayardan okunmuştur. Üçer adet kaynak çifti çekme deneyine tabi tutulmuştur. Üç numunenin çekme deneyi sonucunun ortalama değerleri birleştirmenin çekme deney sonucu olarak verilmiştir.

Öncelikle, 112.5 mm x 150 mm boyutunda hazırlanmış levhaların, standarda uygun olacak şekilde bindirme mesafeleri ve kaynak noktaları işaretlenmiştir. Deney numuneleri birbirleri üzerine bindirilerek Şekil 2a ve Şekil 2b'de gösterildiği gibi, kaynak işlemi gerçekleştirmiştir. Numunelerin Ford Otosan fabrikasında bulunan Uzaktan Lazer Kaynak cihazı ve araçların üretim hattında kullanılan nokta kaynak cihazı kullanılarak kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin üretimde kullanılan parametreler ile aynı olmasına dikkat edilmiştir. Birleştirilmiş parçalar standartta belirtilen şekilde kesilerek standart deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney malzemelerinden çekme ve yorulma deneyinde kullanılmak amacıyla ISO 14273 standardına uygun olarak 45 mm x 105 mm ebatlarında parçalar kesilerek çıkartılmıştır [6]. Kaynak işleminden önce çapakları alınmıştır.

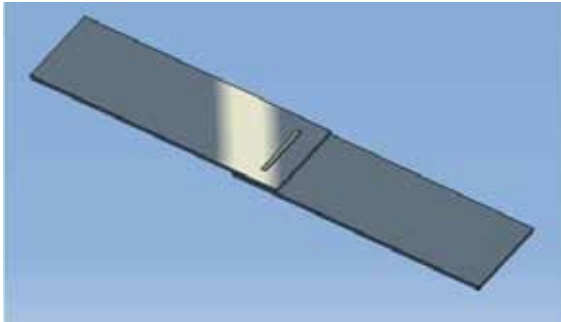
Elektrik direnç nokta kaynağının numunelere uygulanmasında, 1.2 mm sac kalınlığına uygun olarak temas yüzeyi çapı 5 mm olan konik uçlu silindirik Cu-Cr alaşımli elektrod kullanılmıştır. Elektrik direnç nokta kaynağı uygulamalarında hazırlanan



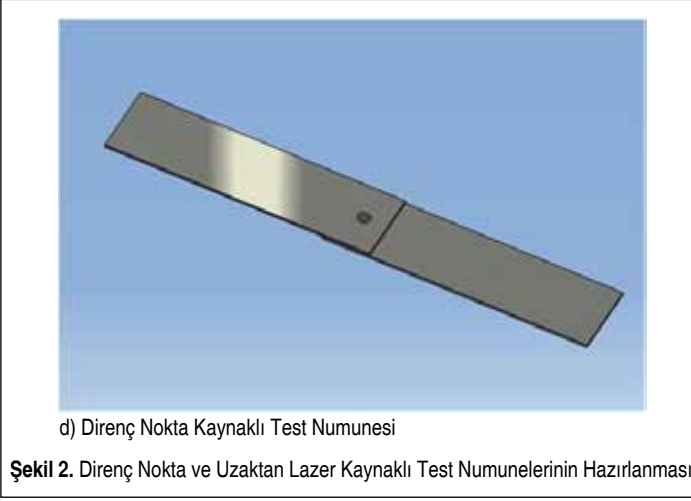
a) Uzaktan Lazer Kaynaklı Levhalar



b) Direnç Nokta Kaynaklı Levhalar



c) Uzaktan Lazer Kaynaklı Test Numunesi



numunelere 3 kN elektrod kuvveti, kaynak akımı makine maksimum akımının %18'i değerinde 9 kA, 5 periyotluk kaynak süresi, 10 periyotluk ön sıkma, 25 periyotluk sıkıştırma ve 7 periyotluk tutma süreleri uygulanarak kaynak gerçekleştirilmiştir.

Lazer kaynağı uygulamalarında da uzaktan kaynak yapabilen YAG lazeri kullanılmıştır.



Şekil 3. Numunelerin Yorulma Deney Makinesine Bağlanma Şekilleri



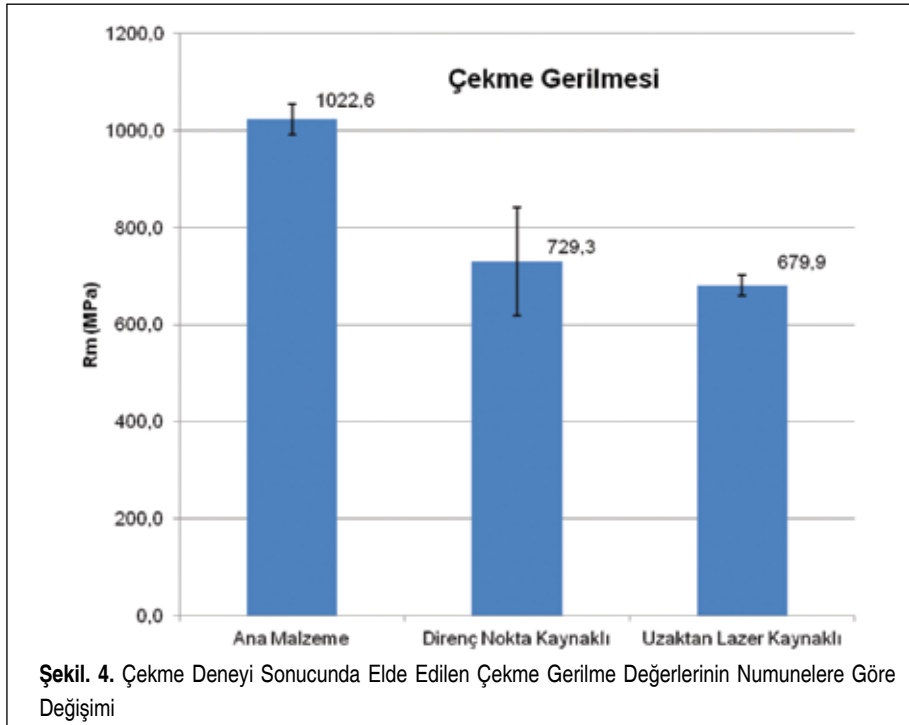
Kullanılan lazerin gücü 4 kW olup, kaynak hızı olarak da 2 m/s olarak uygulanmıştır. Ayrıca odak mesafesi 1 m ila 1.2 m olup, 106 W/cm² enerji seviyesinde kaynaklar gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin yorulma deneyleri Zwick Avrasya firması laboratuvarında bulunan ZP 100 model eksenel yorulma makinasında gerçekleştirilmiştir. Bu cihazda EN ISO 7500-1 standardına göre kalibre edilmiş ve doğruluğu bilinen bir makinedir [5]. Numunelerin makinaya bağlanma şekilleri Şekil 3'te verilmiştir.

3. DENEYİN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

3.1 Çekme Deneyi Sonuçları ve İrdelenmesi

Deneysel çalışmada kullanılan DP1000 numunelere, kaynak işlemi uygulanmadan önce (kaynaksız) ve kaynak uygulandıktan sonra (kaynaklı) çekme deneyi yapılmıştır. Kaynaksız DP1000 çeliği numuneleri (5 adet) ile Bölüm 2'de belirtilen kaynak parametrelerine göre hazırlanmış direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin (3'er adet) çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Çekme deney sonuçlarında numuneler arasındaki saçılmalar standart sapma değeri olarak hesaplanmış ve grafikte hata çubuğu olarak gösterilmiştir.

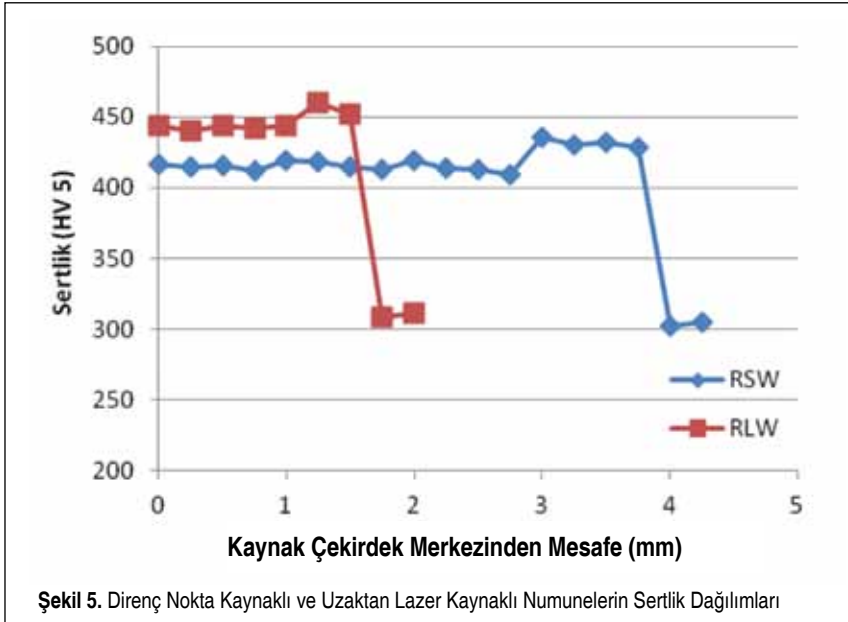


Kaynaklı numunelerin çekme deneyinde gösterdikleri en yüksek dayanım değeri olan çekme makaslama gerilmesi değerleri, kaynaklı numunelerin çekme deneyinde gösterdikleri en yüksek dayanım değerleri, yani çekme gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmışlardır. Kaynaklı, direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı çelik sacların çekme deney sonuçları toplu halde incelendiğinde, kaynaklı malzemenin mukavemeti kaynak uygulanması ile düşmektedir. Çekme gerilmesindeki değişimler incelendiğinde, kaynaklı malzemeye göre direnç nokta kaynaklı numunelerde % 29; lazer kaynaklılarda %33'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu sonuç, direnç nokta kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmalar ile uyumlu bir sonuçtur [3].

3.2 Sertlik Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

DP1000 çeliği parçalardan, Bölüm 2'de verilen kaynak parametreleri ile hazırlanan direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin kaynak kesitleri üzerinden sertlik taraması yapılmıştır. Vickers sertlik yöntemi tercih edilmiş ve 5 kg deney yükünde HV 5 yöntemi ile esas metal, IEB ve kaynak metali bölgelerinde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynak bağlantılarının sertlik dağılımları Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesindeki mikroyapı fotoğrafları da Şekil 6a ve 6b'de görülmektedir.

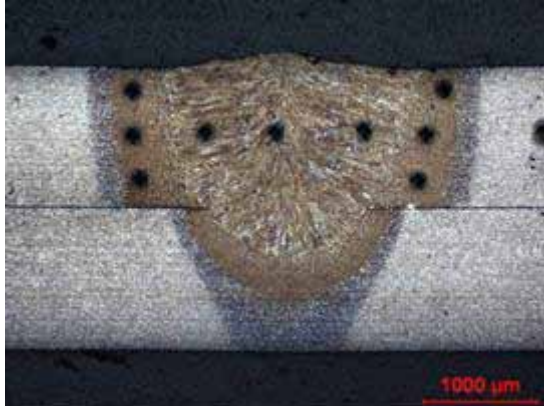
Xu ve diğerleri (2008), Torkamany ve diğerleri (2012), Daneshpour ve diğerleri (2007) ve Xia ve diğerlerinin (2007) yaptığı çalışmalara benzer şekilde elde edilen



Şekil 5. Direnç Nokta Kaynaklı ve Uzaktan Lazer Kaynaklı Numunelerin Sertlik Dağılımları



Şekil 6a) Direnç Nokta Kaynaklı Numunenin Mikroyapısı



Şekil 6b) Uzaktan Lazer Kaynaklı Numunenin Mikroyapısı

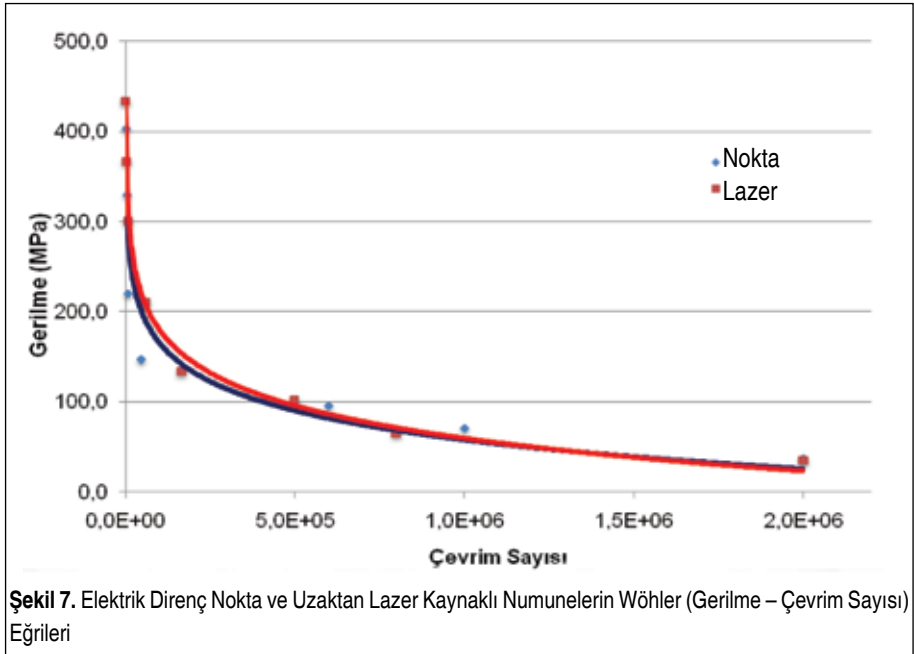
sertlik değerleri ana malzemede düşük iken, kaynak metalinde oluşan martenzitik yapıdan dolayı daha yüksek olarak elde edilmiştir [3, 7-10]. DP1000 çeliği üzerinde çalışma yapan Xia ve diğerleri (2008) ile Xu ve diğerlerinin (2013) çalışmasındaki sertlik değerlerine benzer sertlik değerleri ölçülmüştür [10,12]. Mikroyapı resimlerinden ve sertlik dağılım grafiğinden kaynak bölgesinin genişliği incelendiğinde, kaynak çekirdeğinden esas metale kadar olan mesafe uzaktan lazer kaynaklı numunede 1,5 mm'dir. Aynı mesafe direnç nokta kaynaklı numunede ise yaklaşık 4 mm'dir. Bu mesafenin az olması kaynaktan etkilenen bölgenin küçük olduğunu göstermektedir.

3.3 Yorulma Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Yukarıda verilmiş olan kaynak parametrelerinde, direnç nokta ve uzaktan lazer kay-

nak yöntemi uygulanarak oluşturulmuş DP1000 çeliğinden numunelere aksel kuvvet altında yorulma deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda, numunelerin uygulanan gerilmeye karşılık kopmanın gerçekleştiği çevrim sayısı elde edilmiş ve Wöhler eğrileri oluşturulmuştur. Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma deney sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Maksimum çevrim sayısı olarak $2E+6$ çevrim alınmıştır. Bu çevrim sayısı literatürde kaynaklı numuneler için belirtilen yaygın bir değerdir [11].

Yorulma deney sonuçlarına göre, elektrik direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma eğrileri birbirine oldukça yakın elde edilmiştir. Bununla birlikte, lazer kaynaklı numune eğrisinin çok az üstte olduğu da belirtilebilir.



4. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı çelik sacların çekme deney sonuçlarında çekme gerilmelerinin değişimleri incelendiğinde, esas metal mukavemetine göre direnç nokta kaynaklı numunelerde %29, uzaktan lazer kaynaklı numunelerde %33 mukavemet kaybı olduğu tespit edilmiştir.
- Sertlik deney sonuçları incelendiğinde, esas malzemede sertlik değeri düşük iken,



kaynak metalinde ve IEB hızlı soğumalar sonucu oluşan yapılardan dolayı esas metalden daha yüksek ancak tehlike göstermeyen sertlik değerleri elde edilmiştir.

- Yorulma deney sonuçlarına göre, direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma eğrilerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve benzer yorulma davranışı gösterdiği saptanmıştır. Zira direnç nokta ve lazer kaynaklı bağlantılarda mukavemete esas dikiş kesit alanları birbirine yakın kesit alanına sahiptirler.

Bu sonuçlara göre kaynaklı parçaların mukavemet değerlerindeki düşme yaklaşık %30 seviyesinde olduğu ve yorulma ömürlerinin yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Otomotiv sektöründe tasarım aşamasında bu bağlantıların hangisinin tercih edilebilirliği açısından bu sonuçlar dikkate alınabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı ve uzaktan lazer kaynağı çalışmalarının yapılmasına izin veren ve katkı sağlayan Ford Otosan Sanayi A.Ş. yetkililerine; mekanik deneylerin yapılmasında Tübitak-UME yetkili ve çalışanlarına, yorulma deneylerinin yapılmasında yardım ve katkı sağlayan Zwick-Avrasya Malzeme Test Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şirketi yetkililerine ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. **Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E.** 2009. "Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi," TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 50, sayı 596, s. 44-49.
2. World Steel Association. 2008. www.worldsteel.org/?action=storypages&id=275, son erişim tarihi: 05.01.2013
3. **Aydemir, E.** 2012. "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan DP 1000 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RLW) ve Uzaktan Lazer Kaynağı (RLW) Yöntemleri ile Oluşturulmuş Bağlantıların Yorulma Davranışlarının İncelenmesi," Bitirme Projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi.
4. **Vasilash, G. S.** 2002. "Remote Laser Welding: A Few Things to Know - Produce - Effects on Retooling," Automotive Design & Production, October 1.
5. EN ISO 7500-1, 2004: Metallic Materials -- Verification of Static Uniaxial Testing Machines -- Part 1: Tension/Compression Testing Machines -- Verification and Calibration of the Force-Measuring System.
6. ISO 14273, 2000: Specimen Dimensions and Procedure for Shear Testing Resistance Spot, Seam and Embossed Projection Welds.
7. **Xu, J., Zhang, Y. S., Xinmin, L., Chen, G. L.** 2008. "Experimental Investigation of



Fatigue Performance of Spot Welded Dual Phase Sheet Steels,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 13, no. 8, p. 726-731.

8. **Torkamany, M. J., Sabbaghzadeh, J., Hamed, M. J.** 2012. “Effect of Laser Welding Mode on the Microstructure and Mechanical Performance of Dissimilar Laser Spot Welds Between Low Carbon and Austenitic Stainless Steels,” *Materials and Design*, vol. 34, p. 666–672.
9. **Daneshpour, S., Riekehr, S., Koçak, M., Ventzke, V., Koruk, A. I.** 2007. “Failure Behaviour of Laser Spot Welds of TRIP800 Steel Sheets under Coach–Peel Loading,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12, no. 6, p. 508-515.
10. **Xia, M. S., Kuntz, M. L., Tian, Z. L., Zhou, Y.** 2008. “Failure Study on Laser Welds of Dual Phase Steel in Formability Testing,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 13, no. 4, p. 378-387.
11. **Aydemir, B.** 1996. “Ön Kaplı Çelik Sacların Yorulma Davranışının İncelenmesi,” Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi.
12. **Xu, W., Westerbaan, D., Nayak, S. S., Chen, D. L., Goodwin, F., Zhou, Y.** 2013 “Tensile and Fatigue Properties of Fiber Laser Welded High Strength Low Alloy and DP980 Dual-Phase Steel Joints,” *Materials and Design*, vol. 43, p. 373–383.