

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLEN ÇİFT FAZLI ÇELİĞİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

T. Küçükömeroğlu¹, S.M. Aktarer², G.İpekoğlu³, G. Çam³

¹Makina Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

²Otomotiv Teknolojisi Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

³Makina Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

ÖZET

Çift fazlı (Dual Phase Steel) çelikler yüksek mukavemet ve iyi şekillendirilebilirliklerinden dolayı otomotiv endüstrisindeki kullanımı yaygınlaşarak artmaktadır. Bu tür çelikler otomotiv uygulamalarında genellikle direnç nokta kaynağı ve lazer kaynağı yöntemiyle birleştirilmektedirler. Son yıllarda birçok araştırmacı sürtünme karıştırma kaynak yöntemini çevreci oluşu, enerji verimliliği ve metalürjik faydaları nedeniyle çift fazlı çelikler gibi yüksek mukavemetli çeliklerin birleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmanın amacı sürtünme karıştırma kaynak yöntemini kullanarak çift fazlı 600 (DP600) çeliğinin birleştirilebilirliğini araştırmak ve birleşme sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemektir. 1.5 mm kalınlığındaki çift fazlı çelik saçlar tungsten karbür (WC) takım kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kullanılan takımın omuz çapı 14mm, pin çapı 5mm ve 30 o açılı konik ve 1.3mm uzunluğa sahiptir. Takım eğim açısı 2° ve takım baskı kuvveti 6kN dur. Takımın dönme hızı 1600 dev/dk ve ilerleme hızı 170 mm/dk dir. Ferrit taneleri ve martenzit adalarından oluşan çift fazlı çelik mikroyapısında SKK somrası karıştırma bölgesinde iğneli martenzit ve beynit, ısının etkisi altındaki bölgede temperlenmiş martenzit gözlemlenmiştir. Ortalama 210 HV0.2 olan ana malzeme sertliği karıştırma bölgesindeki ortalama 350HV0.2 ye yükselirken ısının tesiri altındaki bölgede yaklaşık 190HV0.2 ye kadar düşmüştür. Çekme numuneleri sürtünme karıştırma kaynak bölgesi dışından kopmuştur ve çekme mukavemeti ortalama 645MPa ile ana malzeme ile aynı değere sahipken toplam uzama %14 ile ana malzemenin yaklaşık yarısına eşittir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Çift Fazlı çelik, Mikroyapı, Mikrosertlik, Çekme özellikleri

1. GİRİŞ

Mikroyapısı ferrit ve martenzit fazlarından oluşan çift fazlı çelikler yüksek mukavemet ve iyi süneklik özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisindeki saç metal şekillendirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2]. Kapı panelleri, çatı ve A ve B sütunları gibi birçok otomotiv uygulamalarında çift fazlı çeliklerin kaynaklı birleştirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır [3]. Bununla birlikte, klasik kaynak yöntemleriyle birleştirilen çift fazlı çeliklerde ısı etkisi altındaki bölgede istenmeyen sertlik düşüşü meydana gelmektedir [4].

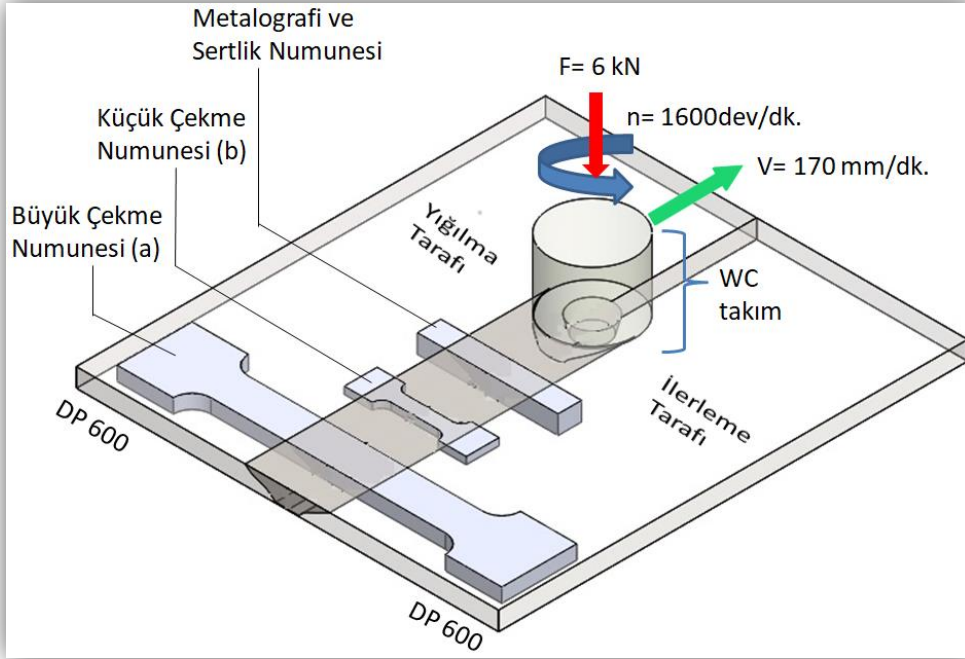
Yeni bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı farklı ve aynı tür malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [5–7]. Çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı esnasında mikroyapıda oluşan kalıntı gerilmeler ve çarpılma sınırlıdır ve düşük ısı girdisi sayesinde ısı etkisi altındaki bölgede tane büyümesi en düşük seviyede tutulmaktadır [7–9]. Son yıllarda bazı araştırmacılar sürtünme karıştırma kaynağının çevre dostu oluşu, enerji verimliliği ve metalürjik avantajlarından dolayı yüksek mukavemetli çeliklerin birleştirilebildiği üzerine çalışmalar yapmaktadır [10, 11].

Çift fazlı çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır ve bu çalışmaların çoğu sürtünme karıştırma spot kaynağı [12–18] ve çok az bir kısmı da alın kaynağı [19, 20] üzerine yapılmıştır. Bununla birlikte sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilen çift fazlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin sistematik olarak incelenmesine hala ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden, bu çalışmanın amacı sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilen çift fazlı 600 çeliğinin mikroyapı, mikro sertlik ve mekanik özelliklerini incelemektir.

2. DENEYSEL SÜREÇ

Bu çalışmada boyutları 200 mm x 50 mm x 1.5mm olan ticari DP600 çelik saç plakalar sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi kullanılarak alın altına birleştirilmişlerdir. SKK için kullanılan takımın boyutları, omuz çapı 14mm, pim çapı 5mm olup, 300 konik olarak pim boyu 1,3 mm'dir. SKK işlem parametreleri, takım dönme hızı 1600 dev/dk. ve ilerleme hızı 170mm/dk. olarak alınmıştır. Takım baskı kuvveti 6kN ve takım eğim açısı 20 olarak sabit tutulmuştur. SKK bölgesinin mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Çekme test numuneleri ve metalografik numuneler kaynak doğrultusuna dik yönde tel erozyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Çekme testleri için 1,4mm x 8mm x 35mm ve 1,4mm x 3mm x 10mm boyutlarında köpek kemiği şeklinde kaynak bölgesinden çıkarılarak hazırlanan çekme numuneleri kullanılmıştır (Şekil 1). Çekme testleri 2.8×10^{-4} s⁻¹ deformasyon hızında ve bir video tip ekstansometreli elektromekanik çekme cihazında (Instron-3382) gerçekleştirilmiştir. Metalografi numuneleri standart işlemler sonrası %2 Nital ayraç ile 20 sn. süreye dağlanmıştır. Vickers mikro sertlik ölçümleri 10sn süreyle 1.96N yük ile gerçekleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıkları ölçmek için kaynak yüzeyinin 0.7mm altından birincisi kaynak

bölgesinin merkezine ve ikincisi omuz hizasına karşılık gelecek şekilde termoelamlar yerleştirilmiştir.



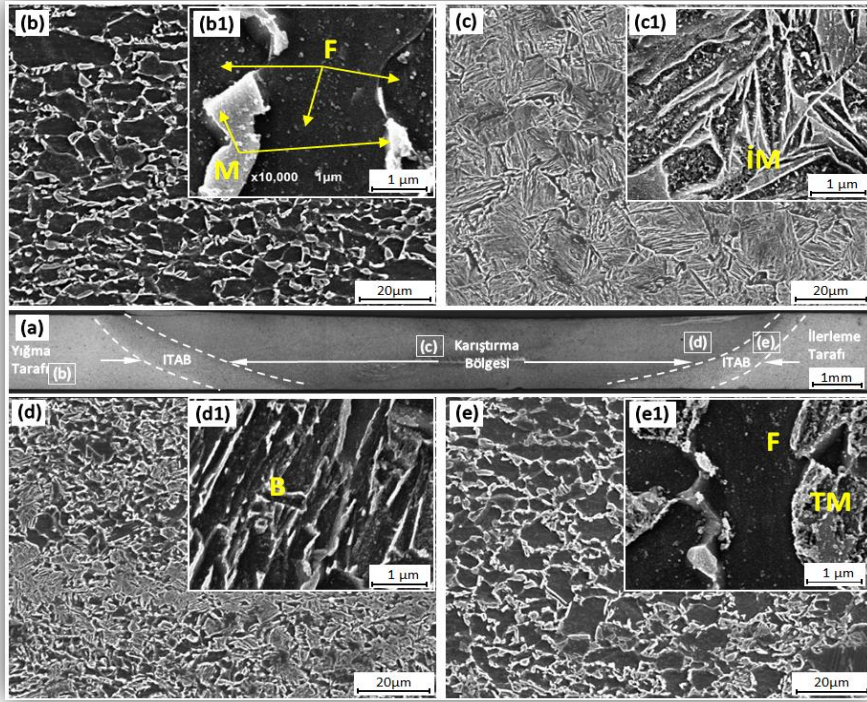
Şekil 1. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Şematik Gösterimi ve Deney Numunelerinin Kaynak Bölgesindeki Geometrik Konumları.

3. DEĞERLENDİRME

3.1 Mikroyapı

Sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilen DP600 çelik sacların birleşme bölgesinin enine kesit makro görüntüsü ve mikroyapısal değişimi Şekil 2 (a)-(e)'den görülmektedir. Şekil 2. (a)'dan açıkça görüldüğü gibi kaynak bölgesinde yarık oluşumu veya mikro boşluk gibi herhangi bir kusur görülmemektedir. Martenzit adası ve ferrit fazlarından oluşan DP600 çeliğinin mikroyapısı (Şekil 2.(b)) sürtünme karıştırma kaynağı sonrası önemli ölçüde değişerek karıştırma bölgesinde iğneli martenzit (Şekil 2(c)) ve beynit (Şekil 2(d)), ısının etkisi altındaki bölgede ise temperlenmiş martenzit (Şekil 2(e)) olarak gözlemlenmiştir. DP 600 çeliğinin ferrit ortalama tane boyutu 14 μm ve martenzit oranı % 25 olarak ölçülmüştür (Şekil 2.(b)). SKK sonrası sıcaklığı 772°C'a erişilen karıştırma bölgesi merkezinde oluşan mikroyapının neredeyse tamamının iğneli martenzit yapıya dönüştüğü belirlenmiştir. Karıştırma bölgesi dönen takımın etkisiyle hem aşırı plastik deformasyona hem de sürtünme ısısına maruz kalmaktadır. Bu yüzden, KB'de oluşan mikroyapı beklenenden farklı olarak ortaya çıkabilmektedir. Ohashi ve ark. [15] DP590 çeliğinin sürtünme karıştırma spot kaynağı sonrasında KB'de oluşan mikroyapının tamamen martenzitten oluştuğunu

bildirmişlerdir. Şekil 2. (d) ITAB'a yakın KB'de oluşan beynit mikroyapısının SEM görüntüsüdür. ITAB'a yakın karıştırma bölgesindeki bu değişim kaynak merkezinden uzaklaştıkça deformasyon ve sıcaklık etkisinin azalmasından kaynaklanmış olabilir. Karıştırma bölgesi merkezinde ölçülen sıcaklık 772 °C iken ITAB'da bu sıcaklık 411 °C olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla soğuma hızına bağlı olarak ostenit iğneli yapılardan martenzit veya beynite dönüşebildiği belirtilmiştir [21]. ITAB'daki mikroyapı temperlenmiş martenzitten meydana gelmiştir ve bu mikroyapı Şekil 2. (e)'den görülmektedir.

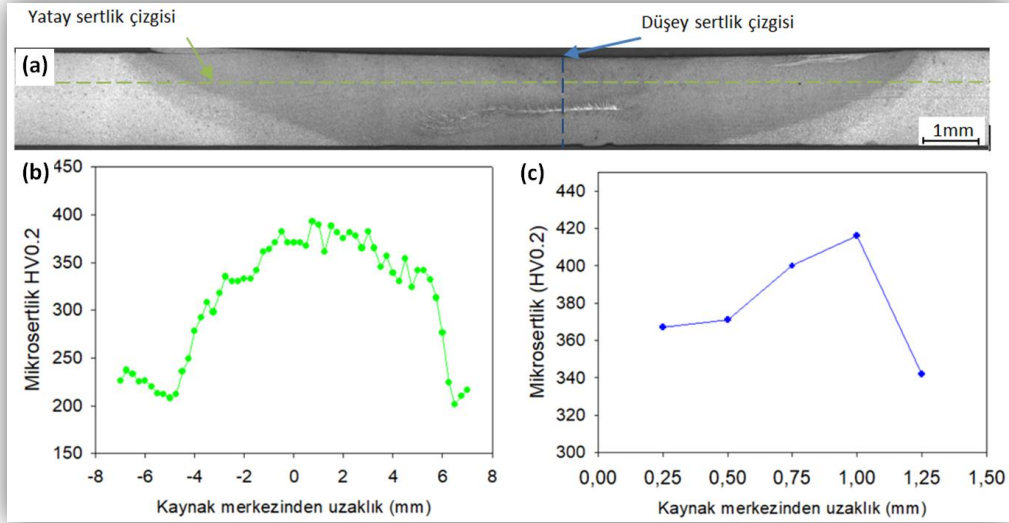


Şekil 2. (a) SKK ile Birleştirilen DP600 Çelik Plakaların Enine Kesit Optik Makro Yapı Görüntüsü, (b) ve (b1) DP 600 Çeliğinin SEM Mikro Yapı Görüntüsü, (c) ve (c1) SKK Sonrası Karıştırma Bölgesinin SEM Mikro Yapı Görüntüsü, (d) ve (d1) ITAB'a Yakın KB'sinin SEM Görüntüsü, (e) ve (e1) ITAB'ın SEM Mikroyapı Görüntüsü.

3.2 Mikrosertlik

Sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilen DP600 çeliğinin enine kesitin yatay ve dikey mikrosertlik profili Şekil 3. (a)-(c)'den görülmektedir. Martenzit ve ferrit fazlarından oluşan DP600 çeliğinin mikrosertliği 210HV0.2 değerindedir. SKK ile birleştirilmiş olan numunelerde ölçülen en yüksek mikrosertlik değeri 400HV0.2 değerindedir ve bu mikroyapı iğneli martenzit bölgesinde ölçülmüştür. Karıştırma bölgesindeki mikrosertlik değeri ITAB'a doğru yaklaştıkça düşmektedir. ITAB'a yakın karıştırma bölgesindeki mikrosertlik yaklaşık 300HV0.2 değerindedir. Temperlenmiş martenzit mikroyapısı ITAB'da gözlemlenmiştir ve bu bölge ana malzemeye kıyasla mikrosertlik değerinde % 10'luk bir düşüşle 190HV0.2

değere sahiptir. ITAB bölgesindeki bu sertlik düşüşü ergitme ve lazer kaynağıyla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür [21-23]. Karıştırma bölgesindeki sertlik artışının nedeni başlangıç mikroyapısında bulunan düşük sertlik değerine sahip ferrit faz oranının azalması ve yapının neredeyse tamamının iğneli martenzite dönüşmesi olarak görülebilir.

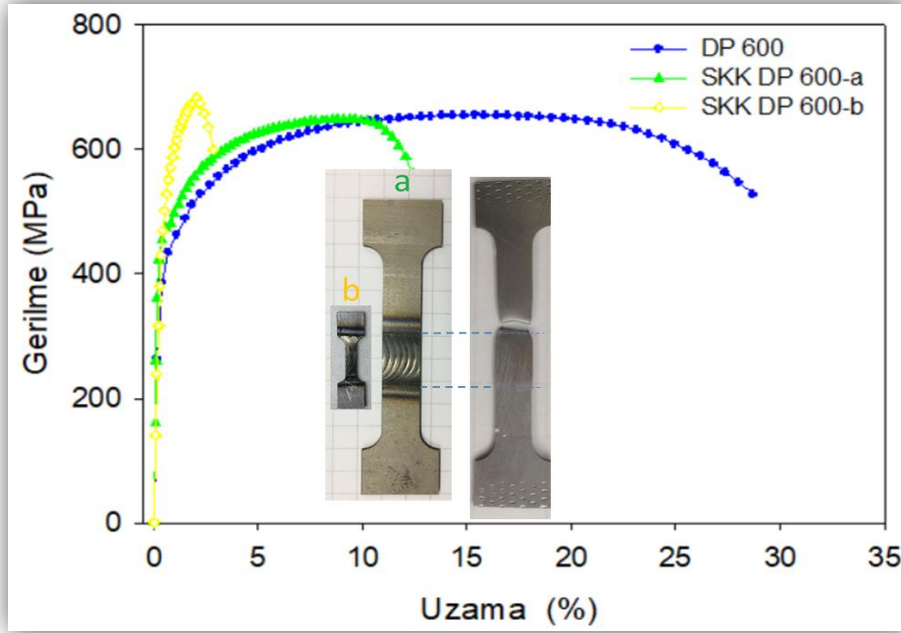


Şekil 3. (a) SKK Bölgesinin Optik Makro Yapı Görüntüsü ve Mikrosertlik Ölçüm Çizgileri, (B) Yatay ve (C) Düsey Olarak Ölçülen Mikrosertlik Profili.

3.3 Çekme özellikleri

DP600 ana malzemenin ve SKK sonrası kaynaklı çekme numunelerden elde edilen gerilme uzama eğrileri Şekil 4’de verilmiştir ve bu eğrilerden elde edilen mukavemet ve süneklik değerleri Tablo 1’de verilmiştir. DP600 ana malzeme geniş bir deformasyon sertleşme bölgesiyle yüksek uzama göstererek tipik bir çift fazlı çelik gerilme uzama eğrisine sahiptir (Şekil 4). Şekil 4’deki çekme testi sonrası çekme numunelerinden görüldüğü gibi a tipi (büyük boyutlu) çekme numunesi kaynak bölgesinin dışından ITAB bölgesi ile ana malzeme bölgesinden hasara uğradığı görülmektedir. DP600 çeliğinin akma mukavemeti 440MPa ve çekme mukavemeti 650MPa’dır. b tipi (küçük boyutlu) çekme numunesinden elde edilen gerilme uzama eğrisi, sürtünme karıştırma kaynak bölgesinin akma mukavemetinin 538MPa ve çekme mukavemetinin 684 MPa olduğunu göstermiştir. Büyük çekme numunesi (a tipi)’dan elde edilen gerilme uzama eğrileri karakteristik olarak ana malzemeye benzemektedir ve akma mukavemeti 445MPa ve çekme mukavemeti 645MPa’dır. Bu mukavemet değerleri tolerans sınırları içerisinde ana malzemeye yaklaşık aynı değere sahiptir. Ancak kaynaklı çekme numunesi (a tipi) % 14 toplam uzama sergileyerek, ana malzemeye kıyasla toplam uzamanın % 50 oranında azaldığı görülmektedir. Bunun nedenlerinden biri, çekme testi esnasında 538MPa akma gerilmesine sahip SKK bölgesinin bu gerilme değerine kadar toplam uzamaya katkı sağlamamasından kaynaklandığı

söylenbilir. Dolayısıyla toplam uzamaya katkı sağlayan kaynaklı numunedeki ana malzemedir ve bu kısmın boyutu ölçü uzunluğunun yaklaşık üçte ikisine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, ITAB bölgesindeki % 10'luk sertlik düşüşü erken boyun vermeye neden olarak toplam uzamanın azalmasına neden olmuş olabilir. Ancak ITAB bölgesi gerçekte çok dar bir bölgeye (yaklaşık 250 μ m) karşılık geldiğinden mukavemet değerlerinde kayda değer bir değişim sergilememiştir.



Şekil 4. Ana Malzeme ve Kaynak Bölgesinden Çıkarılan Çekme Numunelerinden Elde Edilen Gerilme Uzama Eğrileri

Tablo 1. DP600 Çeliğinin ve SKK Kaynaklı DP600 Çeliğinin Çekme Testinden Elde Edilen Mekanik Özellikler

Numune	Akma Gerilmesi σ_Y (MPa)	Çekme Gerilmesi σ_{UTS} (MPa)	Toplam Uzama Ef (%)
DP 600	440 \pm 5	650 \pm 8	28 \pm 2
SKK (a)	445 \pm 3	645 \pm 5	14 \pm 2
SKK (b)	538 \pm 5	684 \pm 5	4 \pm 2

4. SONUÇLAR

DP 600 çeliğinin 1600 dev/dk dönme hızında, 170 mm/dk ilerleme hızında, 6kN takım baskı kuvveti ve 2° eğim açısında sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- DP600 çeliği SKK yöntemiyle herhangi bir kusur olmaksızın başarılı bir şekilde birleştirilebilir.
- DP600 çeliği mikroyapısı martenzit adaları ve ferrit fazından oluşan ana malzemede SKK sonrası karıştırma bölgesinde iğneli martenzit ve beyrit yapı oluşur.
- ITAB bölgesinde temperlenmiş martenzit oluşumu malzemenin sertlik değerinde yaklaşık %10 oranında düşüşe neden olurken, karıştırma bölgesindeki iğneli martenzit yapının etkisiyle yaklaşık % 95 oranında sertlik artışına neden olur.
- Ana malzeme ve kaynaklı bölgeyi kapsayan büyük boyutlu çekme numunesinde kopma ana malzeme kısmında gerçekleşir.

5. KAYNAKÇA

- [1] M.S. Rashid, Dual Phase Steels, (1981) 245–267.
- [2] C.C. Tasan, M. Diehl, D. Yan, M. Bechtold, F. Roters, L. Schemmann, C. Zheng, N. Peranio, D. Ponge, M. Koyama, K. Tsuzaki, D. Raabe, An Overview of Dual-Phase Steels : Advances in Processing and Micromechanically Guided Design, (n.d.).
- [3] W.D. Antunes, M. Sergio, F. De Lima, Experimental Development of Dual Phase Steel Laser-arc Hybrid Welding and its Comparison to Laser and Gas Metal Arc Welding, 21 (2016) 379–386.
- [4] M. Ghosh, R.K. Gupta, M.M. Husain, Friction stir welding of stainless steel to al alloy: Effect of thermal condition on weld nugget microstructure, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci. 45 (2014) 854–863.
- [5] R.S. Mishra, M.W. Mahoney, Friction Stir Welding and Processing, ASM Int. (2007) 368.
- [6] R.S. Mishra, Z.Y. Ma, Friction stir welding and processing, Mater. Sci. Eng. R Reports. 50 (2005) 1–78.
- [7] G. Cam, S. Mistikoglu, Recent developments in friction stir welding of al-Alloys, J. Mater. Eng. Perform. 23 (2014) 1936–1953.
- [8] H. Fujii, R. Ueji, Y. Takada, H. Kitahara, N. Tsuji, K. Nakata, K. Nogi, Friction Stir Welding of Ultrafine Grained Interstitial Free Steels, Mater. Trans. 47 (2006) 239–242.
- [9] G. Cam, Friction stir welded structural materials: Beyond Al-alloys, Int. Mater. Rev. 56 (2011)
- [10] T.W. Nelson, L. Wei, M. Abassi, Quantifying post-weld microstructures in FSW HSLA-65, in: Mater. Soc. Annu. Meet., 2009: pp. 103–111.

- [11] M. Mahoney, R. Steel, T. Nelson, S. Packer, C. Sorensen, Friction stir welding of “T” joints in HSLA-65 steel, in: Mater. Soc. Annu. Meet., 2009: pp. 93–102.
- [12] M. Santella, Y. Hovanski, A. Frederick, G. Grant, M. Dahl, Friction stir spot welding of DP780 carbon steel, Sci. Technol. Weld. Join. 15 (2010) 271–278.
- [13] N. Saunders, M. Miles, T. Hartman, Y. Hovanski, S.-T. Hong, R. Steel, Joint strength in high speed friction stir spot welded DP 980 steel, Int. J. Precis. Eng. Manuf. 15 (2014) 841–848.
- [14] M.I. Khan, M.L. Kuntz, P. Su, a. Gerlich, T. North, Y. Zhou, Resistance and friction stir spot welding of DP600: a comparative study, Sci. Technol. Weld. Join. 12 (2007) 175–182.
- [15] R. Ohashi, M. Fujimoto, S. Mironov, Y.S. Sato, H. Kokawa, Effect of contamination on microstructure in friction stir spot welded DP590 steel, Sci. Technol. Weld. Join. 14 (2009) 221–227.
- [16] G.M. Xie, H.B. Cui, Z.A. Luo, W. Yu, J. Ma, G.D. Wang, Effect of Rotation Rate on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded DP780 Steel, J. Mater. Sci. Technol. 32 (2015) 326–332.
- [17] Z. Feng, M.L. Santella, S. a. David, R.J. Steel, S.M. Packer, T.-Y. Pan, M. Kuo, R.S. Bhatnagar, Friction Stir Spot Welding of Advanced High-Strength Steels - A Feasibility Study, (2005).
- [18] N.D. Saunders, High Speed Friction Stir Spot Welding on DP 980 Steel: Joint Properties and Tool Wear, (2012).
- [19] M.P. Miles, J. Pew, T.W. Nelson, M. Li, Comparison of formability of friction stir welded and laser welded dual phase 590 steel sheets, Sci. Technol. Weld. Join. 11 (2006) 384–388.
- [20] Y.G. Kim, J.S. Kim, I.J. Kim, Effect of process parameters on optimum welding condition of DP590 steel by friction stir welding †, 28 (2014) 5143–5148.
- [21] A.M.A. Pazooki, M.J.M. Hermans, I.M. Richardson, A.M.A. Pazooki, M.J.M. Hermans, I.M. Richardson, Finite element simulation and experimental investigation of thermal tensioning during welding of DP600 steel Finite element simulation and experimental investigation of thermal tensioning during welding of DP600 steel, 1718 (2016).
- [22] W. Xu, D. Westerbaan, S.S. Nayak, D.L. Chen, F. Goodwin, E. Biro, Y. Zhou, Microstructure and fatigue performance of single and multiple linear fiber laser welded DP980 dual-phase steel, 553 (2012) 51–58.
- [23] D.C. Saha, D. Westerbaan, S.S. Nayak, E. Biro, A.P. Gerlich, Y. Zhou, Microstructure-properties correlation in fiber laser welding of dual-phase and HSLA steels, Mater. Sci. Eng. A. 607 (2014) 445–453.

X. KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ
BİLDİRİLER KİTABI

Teşekkür

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından FBA-2016-5509 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Deney malzemelerinin tedarik edilmesi konusunda yardımcı olan Dr. Cemil Günhan ERHUY'a ve ERMETAL Otomotiv ve Eşya Sanayi Tic. A.Ş. 'ye teşekkür ederiz.