

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 025902 (461-469)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 025902 (461-469)

DOI: 10.35414/akufemubid.549175

Araştırma Makalesi / Research Article

# Direnç Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Yeni Nesil Çeliklerde Kaynak Akımının Mekanik Özelliklere Etkisi

Rukiye Ertan<sup>1</sup>, Sedat Aras<sup>2</sup>, Hande Güler Özgül<sup>3</sup><sup>1,3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.<sup>2</sup>BSH Ev Aletleri San. ve Tic. A.Ş., Tekirdağ,e-posta: rukiye@uludag.edu.tr. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9631-4607>

Geliş Tarihi: 04.04.2019;

Kabul Tarihi: 17.07.2019

## Öz

### Anahtar kelimeler

DP 800; Usibor 1500; Ductibor 500P; Direnç nokta kaynağı; Çekme-makaslama testi; Vickers sertlik testi.

Bu çalışmada farklı kalınlıklardaki DP 800, Usibor 1500 ve Ductibor 500P olmak üzere üç farklı yüksek dayanımlı çelik sac malzeme farklı kaynak akımları kullanılarak direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Bağlantıların mekanik özellikleri sertlik ve çekme testleri ile değerlendirilmiştir. Aynı malzeme çiftleri için bindirme şeklindeki numunelere elektrik direnç nokta kaynağı uygulanarak çekme numuneleri hazırlanmıştır. Elde edilen sertlik ve çekme testi sonuçlarına göre kaynak akımı değişiminden DP 800 ve Ductibor 500P malzemeleri yüksek oranda etkilenirken, Usibor 1500'de önemli bir değişim görülmemiştir. Kaynak akımı artışıyla birlikte maksimum çekme kuvveti DP 800 birleştirilmelerinde düşerken Ductibor 500P'de ise artış sergilemiştir. Bunun yanında Ductibor 500P malzemenin kaynak sonrasında en yüksek dayanım ve sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

## The Effect of the Welding Current on the Mechanical Properties of the New Generation Steels Welded with Resistance Spot Welding

### Abstract

### Keywords

DP 800; Usibor 1500; Ductibor 500P; Resistance spot welding; Tensile-shear test; Vickers hardness test.

In this study, three different high strength steel sheet materials of different thicknesses DP 800, Usibor 1500 and Ductibor 500P were joined with resistance spot welding using different welding currents. The mechanical properties of the joints were evaluated by hardness and tensile-shear tests. Tensile test specimens were prepared by applying an electrical resistance spot weld to the samples in lap state for pairs of co-material. According to the hardness and tensile test results, DP 800 and Ductibor 500P materials were highly affected from the welding current, but in Usibor 1500 no significant change was observed. The maximum tensile force was decreased in DP 800 and increased in Ductibor 500P joints with welding current increasing. In addition, Ductibor 500P material has been found to have the highest strength and hardness values after welding.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Hava kirliliği başta insan sağlığı olmak üzere doğada birçok canlıya ve çevreye zarar veren önemli bir kirlenicidir. İçten yanmalı motorlara sahip taşıtların çevreye verdikleri emisyon gazlarının hava kirliliğindeki etkisi önemli bir yere sahiptir ve bu konudaki bilinçlenme gün geçtikçe artmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çevreyi korumak ve yaşam kalitesini arttırmak adına çeşitli standartlarla (EEC/ECE, EPA, JIS) egzoz

emisyonlarına denetimler ve cezai işlemler uygulanmaktadır. Eskiden içten yanmalı motorlarda tasarım değişikliği konularında yoğunlaşan çalışmalar, günümüzde yakıt tasarrufu ve hafifletme üzerinde yoğunlaşmıştır (Kelen 2014). Bu bakımdan hafiflik konusu günümüzde otomotiv sektörünün ana hedeflerinden biri haline gelmiştir ve modern binek otomobiller için çeşitli çözümler araştırılmıştır. Hafifliği etkileyen önemli etkenlerden biri olan taşıt komponent tasarımının üretim teknolojileri

açısından bazı kısıtlar içermesi sebebiyle araştırmacıları daha hafif malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi yönünde yoğunlaştırmıştır.

Son zamanlarda taşıtların hafifletilmesinde alüminyum, magnezyum, titanyum alaşımları ve yüksek mukavemetli çelikler gibi metal alaşımlar bu amaçla kullanılan malzemelerdendir (Uthaisangsuk vd. 2011, Güler vd. 2014, Bihanta vd. 2012, Sugimoto vd. 1996). Düşük maliyeti, özelliklerinin kontrol edilebilirliği ve işlenmesindeki kolaylığından dolayı çelik alaşımları yüksek özgül ağırlığına rağmen otomotiv sektörünün vazgeçilmez malzemesi olmuştur. Özellikle geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS), parça kalınlıklarının azaltılması ile ağırlık kazanımı, yüksek güvenlik ve yakıt verimliliği konularında otomotiv endüstrilerinde giderek daha fazla uygulanmaktadır (Wan et al. 2014, Zhang et al. 2009).

Çift fazlı çelikler AHSS çelikleri arasında en yaygın kullanılan, yumuşak ferritik matriste % 5-20 sert martenzit fazı içeren ve çoğunlukla gövdedeki takviye parçalarında kullanılan çeliklerdendir (Ramazani et al. 2013). Orta boyuttaki bir taşıta 250 kg. kadar bulunması halinde ağırlıkta 50–80 kg kadar bir tasarruf sağlanabilmektedir (Çimenoglu ve Kayalı 1986).

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelik saclardan, endüstriyel alanda en yaygın kullanıma sahip olan bir diğer malzeme Al-Si kaplamalı 22MnB5'tir (Usibor 1500). Sıcak şekillendirilen borlu çelik olarak da isimlendirilen bu çelikler içerdikleri Mn ve B elementleri sayesinde şekillendirme sonrasında hızlı soğutmanın da etkisiyle yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine ulaşırlar (Rossini et al. 2015). Yüksek sıcaklık oksidasyonundan ve atmosferik korozyondan korumak amacıyla genellikle Al-Si kaplamalı olarak kullanılırlar. Usibor 1500 malzemenin çekme mukavemeti yaklaşık olarak 600 MPa ve mikro yapısı ferritik-perlitik iken, sıcak şekillendirme ve kritik soğuma hızının üzerindeki hızlarda soğuma işlemi ile martenzitik yapıya dönüşürler ve çekme dayanımları 1500 MPa'ın üzerine çıkar (Naderi 2007). Araç üzerinde kazalarda güvenlik açısından kritik öneme sahip olan kapı

barları tünel parçalarında Usibor 1500 malzeme sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda Usibor 1500 malzeme Ductibor 500P ile kaynak yöntemi kullanılarak sac haldeyken birleştirilir. Kaynak sonrası da sıcak şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Ductibor 500P malzemenin şekillendirme sonrası sergilediği kararlı yapı ve yüksek deformasyon yeteneği ile enerji absorpsiyonu gerektiren parçalarda uygun hale gelir. Ductibor 500P, HSLA grubu çelikler sınıfında yer alan ferritik – martenzitik yapıya sahip sünek özellikte bir çeliktir. Darbeye karşı yüksek dayanım sergileyen bu kaynaklı yapı Usibor 1500 ve Ductibor 500P çeliklerinin sinerjistik etkisiyle güvenlik açısından yüksek performans sergiler.

Otomotiv endüstrisinde elektrik direnç nokta kaynağı, çelik sacların birleştirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır ve tek bir araç için üç binden fazla nokta kaynağı uygulanmaktadır. Geleneksel çeliklerde yoğun olarak kullanılan bu birleştirme yöntemi yeni nesil çeliklere uygunluğunun araştırılması ve optimize edilmesi bilimsel ve teknolojik açıdan otomotiv endüstrisi için önemli bir konudur. Literatürde yapılan çalışmalar çoğunlukla direnç nokta kaynağının farklı sac kalınlıkları ve kaynak parametrelerinin (kaynak akımı, impuls sayısı, kaynak süresi ve elektrod basıncı) yeni nesil çeliklerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi konusunda yoğunluk kazanmıştır (Oikawa et al. 2006, Spena et al. 2015, Jong et al. 2011).

Bu çalışmada elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen yeni nesil çeliklerden DP 800, Usibor 1500 ve Ductibor 500P aynı malzeme çiftlerinin farklı kaynak akımlarında sertlik ve çekme testleri yapılarak mekanik açıdan karşılaştırılması ve değerlendirmesi yapılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

Çalışmada yüksek dayanımlı DP 800, Usibor 1500 ve Ductibor 500P olmak üzere üç farklı yeni nesil çelik sac şeklindeki malzeme kendi ile aynı malzeme ile direnç nokta kaynağı işlemine tabi tutulmuştur. Usibor 1500 ve Ductibor 500P sac malzemeler ArcelorMittal ürünüdür. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri Çizelge 1 ve

Çizelge 2’de verilmiştir. Soğuk haddelenmiş ve sıcak şekillendirme (hot stamping) işlemine tabi tutulmamış olan Usibor 1500 çelik sac malzemenin yüzeyinde %90 Al ve %10 Si içeren Al-Si kaplama

bulunmaktadır. Malzemelerin sac kalınlıkları birbirinden farklı olup DP 800 1 mm kalınlığında, Usibor 1500 1,6 mm kalınlığında ve Ductibor 500P 1,6 mm kalınlığındadır.

**Çizelge 1.** DP 800, Al-Si kaplamalı Usibor 1500 ve Ductibor 500P malzemelerin kimyasal kompozisyonu (%ağırlıkça).

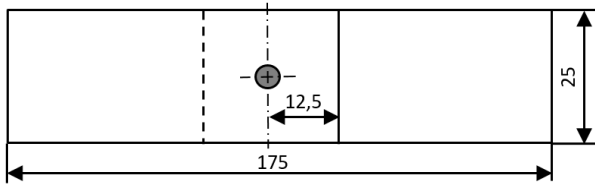
Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti	Al	B
Usibor 1500 (Güler 2013)	0,23	0,24	1,19	0,0006	0,0015	0,18	0,04	0,03	0,0023
Ductibor 500P (Múnera vd. 2009)	0,08	0,03	1,64	-	-	-	-	-	-
DP 800 (Fariás 2006)	0,14	0,207	1,83	0,002	0,013	-	0,002	0,029	-

**Çizelge 2.** DP 800, Al-Si kaplamalı Usibor 1500 ve Ductibor 500P malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Mukavemeti [MPa]	Çekme Mukavemeti [MPa]	% Uzama
Usibor 1500(Güler 2013)	350-550	500-700	≥ 10
Ductibor 500P (Múnera vd. 2009)	450-650	500-680	≥ 20
DP 800 (Fariás 2006)	670	870	≥ 15,5

Direnç nokta kaynağı işlemleri Baykal marka 70 kV gücünde projeksiyon punta kaynak makinasında yapılmıştır. Maksimum kaynak akımı 15,2 kA’dır. Elektrot baskısı minimum 245 kN, maksimum 850 kN’dır. Çalışmadaki kaynak işlemleri 2,5 bar sabit elektrot basıncında ve 9, 9.5 ve 9.9 kA olmak üzere üç farklı kaynak akımı ile yapılmıştır.

Sertlik ölçümleri Duroline-Metkon marka Vickers mikro sertlik ölçme cihazı ile 1 kg’lık yük ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri kaynaklı numunenin kesitinden kaynak noktası merkezinden ana malzemeye doğru 2 mm aralıklarla yapılmıştır ve her bir numuneden 3’er adet alınmıştır.



**Şekil 1.** Elektrik direnç nokta kaynağı uygulanmış çekme deneyi numunesi (ölçüler mm cinsindedir.)

Çekme deneyleri 25 ton’luk UTEST marka universal çekme cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında çene hızı 10

mm/dak olarak seçilmiş ve 250 kN’luk bir ön yük uygulanmıştır. Her bir malzeme grubu için 4 tane numune test edilip aritmetik ortalaması alınmıştır. Çekme numuneleri Şekil 1’de verilen boyutlarda hazırlanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1 Sertlik Testleri

Bu çalışmada DP 800-DP 800, Usibor 1500-Usibor 1500 ve Ductibor 500P-Ductibor 500P malzeme çiftlerinin 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında noktasal kaynağı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de farklı kaynak akımlarında kaynak edilen bu malzemelerin numune kesitinden alınan sertlik ölçümleri verilmiştir. Elektrik direnç nokta kaynağı esnasında malzemelere elektrotlar tarafından uygulanan basıncın etkisiyle özellikle kaynak merkezi bölgesinde yüksek bir sertlik elde edilmiştir. Kaynak bölgesindeki bu maksimum sertlik değeri kaynak edilen malzemeye ve akıma bağlı olarak değişim sergilemiştir. DP 800 malzeme yaklaşık 425 HV iken Ductibor 500P’de 475 HV civarında ve Usibor 1500’de 165 HV gibi düşük bir değer elde edilmiştir. Sertlik grafiklerinden görüldüğü üzere kaynak akımından en fazla etkilenen malzeme DP 800 çeliği ve en az etkilenen Ductibor 500P çeliğidir.

Şekil 2a'da DP 800 malzemenin 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımı ile birleştirilmesi sonucundaki sertlik dağılımı verilmiştir. Bu malzemenin ısı etkisi altında kalan bölgede (ITAB) belirgin sertlik düşüşleri meydana gelmiştir. Bu olay DP800 malzemenin elektrik direnç nokta kaynağı konusundaki birçok çalışmada araştırmacılar tarafından ITAB yumuşaması olarak adlandırılmıştır (Girvin et al. 2004, Sun et al. 2008). Özellikle kaynak bölgesine yakın kısımlarda, ITAB bölgesindeki bu sertlik düşüşünün artan martensit temperlenmesinden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Sertlik düşme miktarının ısı girdisi kadar malzemenin kimyasal yapısına ve termo mekanik işlem sürecine bağlı olduğu da vurgulanmıştır (Biro ve Lee 2005). DP 800 çeliğinin kaynak bölgesinde (KB) sertlik değeri ana malzemeye göre ortalama %18 artış sergilemiştir. Bunun yanında artan kaynak akımı ile birlikte maksimum sertlikte artış meydana gelmiştir.

Yüksek kaynak akımında kaynak edilen numunenin sertliği istikrarsız bir değişim sergilemiştir. Kaynak merkezi dışındaki bölgelerde de çok yüksek ve çok düşük sertlikler gözlemlenmiştir. 9.5 kA kaynak akımında sertlik değişimi kaynak bölgesinden uzaklaştıkça daha düşük sapmalar sergilemiştir. Bu da iç yapının daha homojen olduğunu göstermektedir. Ductibor 500P malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımı ile kaynak edilmesi durumundaki sertlik değişimi Şekil 2b'de verilmiştir. Bu malzemede kaynaktan etkilenen ısı etkisi altında kalan bölge sertlik sonuçlarından görülmemiştir. Usibor 500P çeliğinin kaynak bölgesinde sertlik değeri ana malzemeye göre ortalama %60 artış sergilemiştir. Kaynak akımı 9.5 ve 9.9 kA olması durumunda kaynak bölgesinde daha geniş bir alanda maksimum sertlik değerleri elde edilmiştir. Sertliğin 500 HV değerlerine ulaşması bu bölgede martenzit oluşumuna işaret etmektedir. Bu bölgede ulaşılan yüksek sıcaklık ve hızlı soğumanın etkisiyle perlit-östenit-martenzit dönüşümün sonucu olabilir. Bununla birlikte kaynak bölgesindeki maksimum sertlik DP 800 çeliğine göre yaklaşık %14 daha yüksek bir değerdedir.

Usibor 1500 malzemenin kaynak sonrası sertlik değişimi Şekil 2c'de verilmiştir. Kaynak bölgesinde belirgin bir sertlik artışı olmamakla birlikte ortalama 150HV civarında bir sertlik elde edilmiştir. Usibor 1500 malzemenin yüzeyinde bulunan Al-Si kaplamanın kaynak nüfuziyetini azaltması nedeniyle kaynak sonucunda yüksek ısıdan etkilenen ve mekanik özelliklerin belirgin bir şekilde değiştiği bir bölge gözükmemektedir. Ancak akımın artmasıyla kaynak merkezinden uzaklık artsa bile sertlikte kararsız değişimler meydana gelmiştir. 9.5 kA kaynak akımında yapılan kaynak sonucunda elde edilen sertlik değişiminde kaynak merkezinde daha yüksek ve kaynak merkezinden uzaklaştıkça düşen ve kararlı gidişat sergileyen bir davranış görülmüştür. Kaynak merkezinde basmanın ve ısının etkisiyle meydana gelen sertlik artışı bu akım değerinde daha belirgindir. Ancak 9 kA akımda yapılan kaynak işleminde kaynak merkezinde herhangi bir sertlik artışı meydana gelmemiştir.

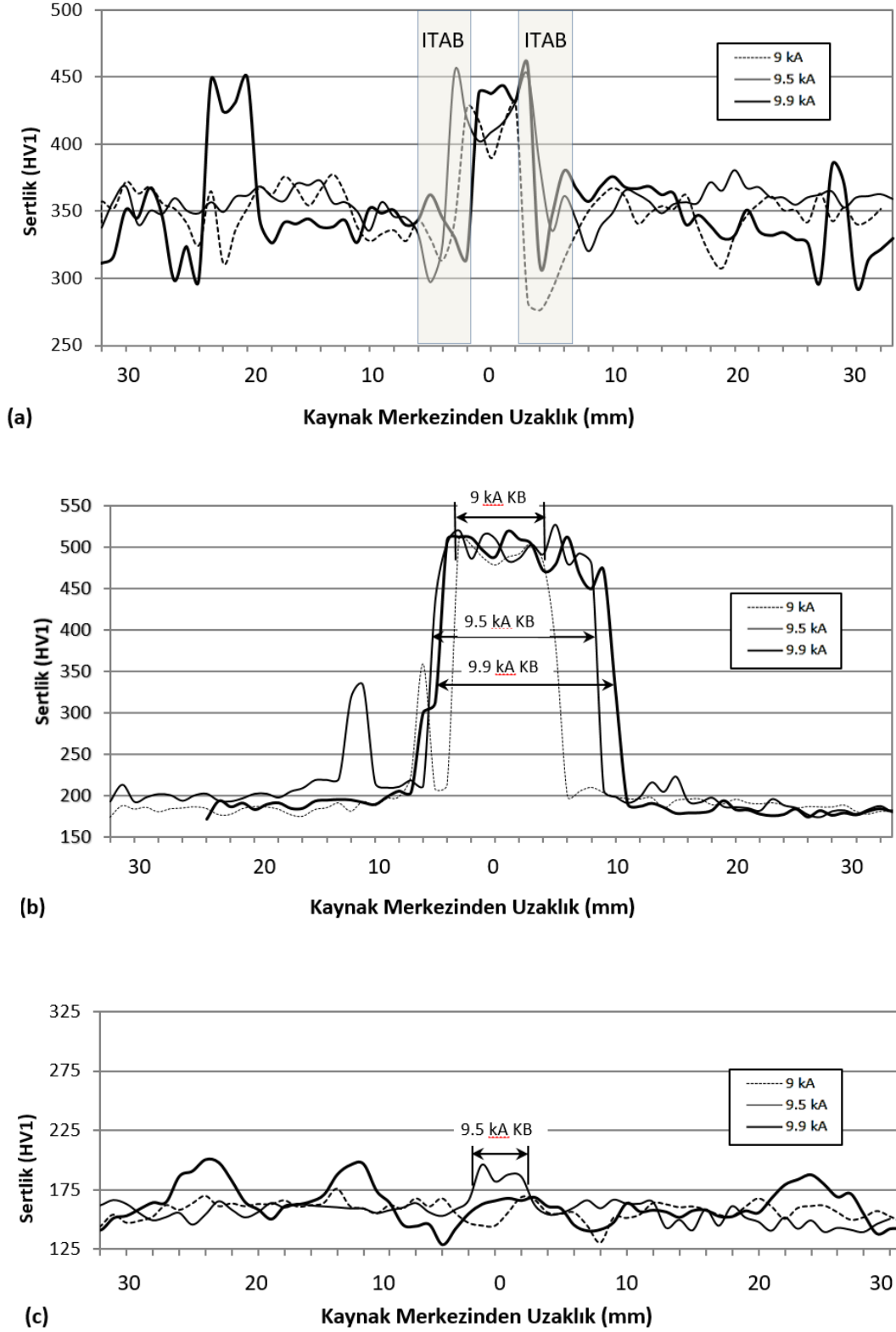
### **3.2 Çekme Testleri**

Elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen DP 800, Ductibor 500P ve Usibor 1500 malzemelerin çekme deneyi sonuçları Şekil 3-5'de verilmiştir. Her üç malzemede kaynak akımına bağlı olarak elde edilen çekme kuvveti ve uzama miktarları büyük oranda değişiklik sergilemiştir. En yüksek çekme kuvveti Ductibor 500P malzemenin 9.9 kA akım değerinde kaynak edilmesi durumunda elde edilmiştir. En düşük ise yine Ductibor 500P malzemede 9 kA kaynak akımında elde edilmiştir.

Şekil 3'te DP 800 çeliğe ait çekme kuvveti-uzama diyagramında düşük akım değerlerinde (9 kA) birleştirmelerin daha yüksek çekme kuvvetlerine karşı dayanabildiği görülmektedir. Akımın 9.5 kA arttırılması ile çekme kuvveti yaklaşık % 7 oranında, 9.9 kA arttırılması durumunda da çekme kuvveti yaklaşık % 30 düşmüştür. Çift fazlı çeliklerde kaynak akımı artışıyla birlikte çekme kuvvetinde optimum akım değerinden sonra meydana gelen düşüş literatürdeki çalışmalarla da uyumludur. Aktaş ve ark. tarafından yapılan çalışmada DP 600 çeliklerin 4, 5, 6, 7 ve 8 kA'lık akımlardaki 1 mm'lik saclarının noktasal kaynağında sabit kaynak sürelerinde genel olarak kaynak akımı artışıyla birlikte çekme

kuvvetinde de düşüş gözlemlenmiştir (Aktas vd. 2012). Demir vd. (2017) DP 800 çeliklerinin diğer parametreler sabit tutularak 5, 7 ve 9 kA kaynak akımlarındaki elektrik direnç nokta kaynağı ile

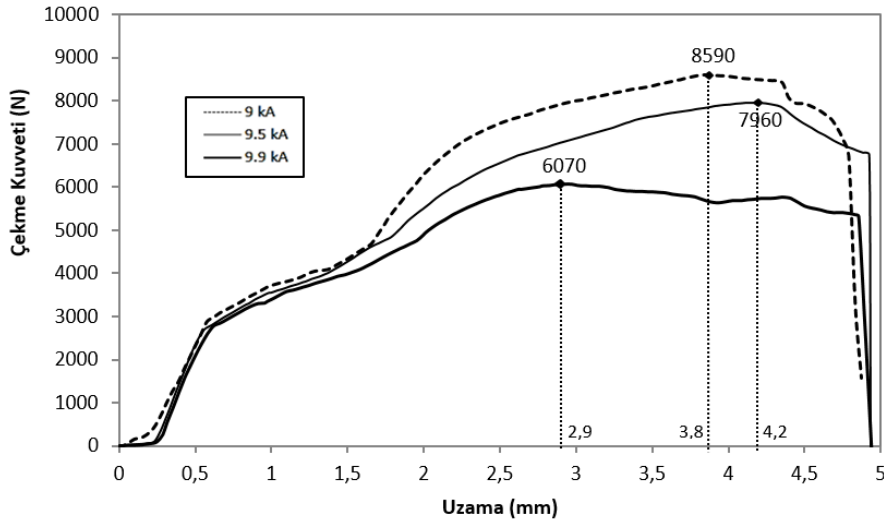
birleştirilmeleri durumunda en yüksek çekme kuvvetinin 7 kA kaynak akımında sağlandığını tespit etmişlerdir.



Şekil 2. Elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında birleştirilen (a) DP 800, (b) Ductibor 500P ve (c) Usibor 1500 malzemelerin sertlik değişimleri.

Şekil 3'te görüldüğü gibi uzama miktarları, akma noktaları ve elastik bölgedeki değişimlerin her üç akım değeri için birbirine çok yakın olduğu maksimum çekme kuvvetleri ise büyük oranda değişmiştir. Şekil 2a'da verilen sertlik değişimlerinde de 9.9 kA akım değerinde yapının heterojenliğinden kaynaklandığı düşünülen geniş bir aralıkta yüksek ve düşük sertlik değerleri ile kararsız bir gidişat görülmüştür. Yüksek ısı girdisi ve hızlı soğumanın etkisiyle ferritik martenzitik yapıya sahip olan çift fazlı çeliğin bölgesel sertlik artışlarına sebebiyet

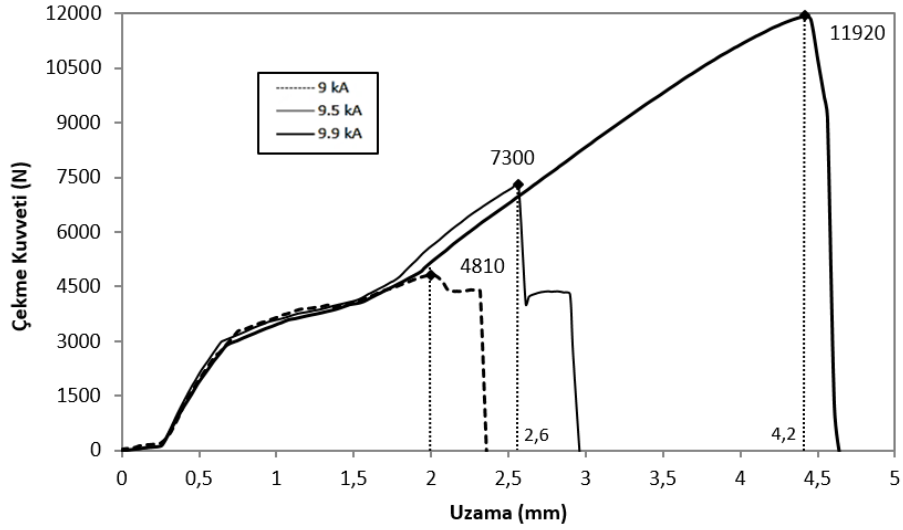
vermiştir. Çekme deneyi sonucunda da sert bölgelerin varlığı ve iç gerilmelerin etkisiyle yüksek kaynak akımında daha düşük bir dayanım elde edilmiştir. Maksimum çekme kuvvetinde meydana gelen uzama miktarları da yüksek kaynak akımında kaynak edilen DP 800 çeliğinin çok uzamadan (2,9 mm) hasara uğramaya başladığını göstermektedir. Bu özellik 9.5 kA ve 9 kA akım değerleri için daha büyük olmakla birlikte 9.5 kA kaynak akımında daha sünek bir davranış gözlenmiştir.



Şekil 3. Elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında birleştirilen DP 800 malzemelerin çekme deneyi sonuçları.

Ductibor 500P malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında birleştirilmesi sonucunda yapılan çekme testleri sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. DP 800 çelik sacların kaynak edilmesi sonucunda kaynak akımına bağlı çekme kuvveti değişiminin (Şekil 3) tam tersi bir durumla karşılaşılmıştır. Ductibor 500P malzemede kaynak akımı artışıyla birlikte çekme dayanımının da arttığı görülmektedir. 9 kA kaynak akımında 4810 N'luk maksimum çekme kuvvetine sahip olan malzeme 9.5 kA'de %51, 9.9 kA'de ise %148 artmıştır. Sertlik sonuçları ile kıyaslandığında kaynak akımının Ductibor 500P malzemenin sertliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını, sadece kaynak bölgesindeki maksimum sertlik alanının

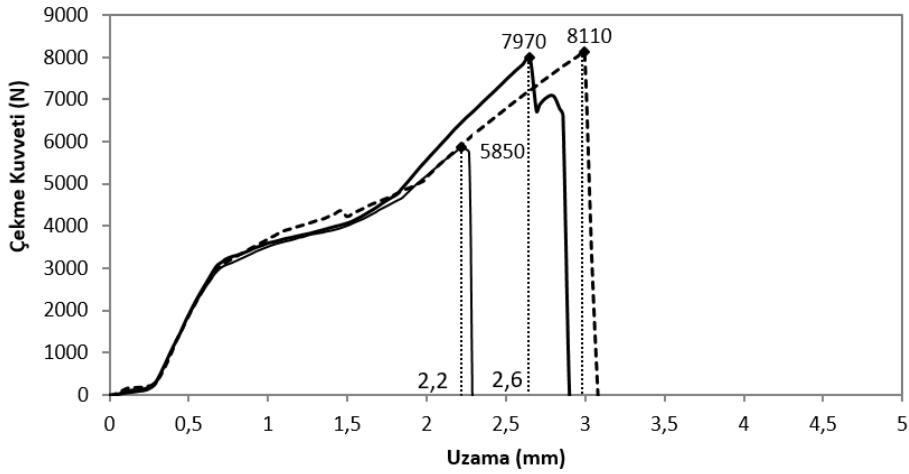
akımın artmasıyla arttığı görülmüştür (Şekil 2b). Bu sonuçlar yüksek kaynak akımlarında daha yüksek ısı girdisi ve daha geniş alanda difüzyonla birlikte kaynak nüfuziyetinde artış ve dayanımda artış meydana geldiğini göstermektedir. Maksimum çekme kuvvetinde ölçülen uzama miktarları da kaynak akımı arttıkça artmıştır. Akma noktaları ve elastik bölgedeki eğimlerin her üç akım değeri için birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. DP 800 çeliğinden farklı olarak Ductibor 500P'de maksimum çekme kuvvetine ulaştıktan sonra malzemede ani bir kopma meydana gelirken, DP 800'de hasar ve kopma daha yavaş ve yırtılma şeklinde gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.** Elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında birleştirilen Ductibor 500P malzemelerin çekme deneyi sonuçları.

Şekil 5'te Usibor 1500 malzemenin elektrik direnç nokta kaynağı ile farklı kaynak akımlarında birleştirildikten sonraki çekme testi sonuçları verilmiştir. 9.5 kA kaynak akımında elde edilen maksimum çekme kuvveti 9 ve 9.9 kA kaynak akımlarına göre daha düşük bir değerde elde edilmiştir. Ductibor 500P malzemedeki kadar kaynak akımına bağlı büyük bir değişim meydana

gelmemiştir. Usibor 1500 çeliğinin Al-Si kaplamaya sahip olması kaynak nüfuziyetini ve dolayısıyla kaynak dayanımını düşürmüştür. En yüksek çekme kuvveti 9 kA kaynak akımında 3 mm'lik bir uzamada 8110 N olarak elde edilmiştir. Akma noktaları ve elastik bölgedeki eğimlerin her üç akım değeri için birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.



**Şekil 5.** Elektrik direnç nokta kaynağı ile 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımlarında birleştirilen Usibor 1500 malzemelerin çekme deneyi sonuçları.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada elektrik direnç nokta kaynağının yeni nesil çeliklerin birleştirilmesinde kullanılması durumunda farklı kaynak akımlarında sertlik ve çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. Yeni nesil çeliklerden DP 800, Ductibor 500P ve Usibor 1500

sac malzemelerin kendileriyle 9, 9.5 ve 9.9 kA kaynak akımında birleştirilmesi durumunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Sertlik ve çekme testi sonuçlarına göre kaynak akımı değişiminden DP 800 ve Ductibor 500P yüksek oranda etkilenirken,

Usibor 1500'de önemli bir değişim görülmemiştir.

- Kaynak bölgesindeki maksimum sertlik değeri yaklaşık 165 HV civarında en düşük Usibor 1500'de, DP 800 malzemede yaklaşık %157,5 daha yüksek ve %187,8'lik bir farkla en yüksek Ductibor 500P'de elde edilmiştir.
- DP 800 malzemenin ısı etkisi altında kalan bölgede belirgin sertlik düşüşleri meydana gelmiştir. Ductibor 500P ve Usibor 1500'de böyle bir düşüş tespit edilmemiştir.
- Kaynak akımına bağlı çekme kuvveti değişiminin DP 800'de akım arttıkça azalmış, Ductibor 500P'de ise akım arttıkça artmıştır.
- DP 800 çeliğinin 9 kA kaynak akımında, Ductibor 500P çeliğinin 9.9 kA kaynak akımında ve Usibor 1500 çeliğinin 9 kA kaynak akımında elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilmesi durumunda en yüksek dayanıma sahip olacağı görülmüştür.

## 5. Kaynaklar

Aktaş, S., Özsera, U. and Aslanlar, S., 2012. Effect of Spot Welding Parameters on Tensile Properties of DP 600 Steel Sheet Joints. *Materials and Manufacturing Processes*, **27**, 756–764.

Bihanta, R., Bui, Q.H., Guillot, M., D'Amours, G., Rahem, A. and Fafard, M., 2012. Application of a new procedure for the optimization of variable thickness drawing of aluminium tubes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, **5**(2), 142-150.

Biro, E. and Lee, A., 2005. HAZ properties of various DP600 Chemistries. *Canadian Weld Associat J*, (Spring) 17-21.

Çimenoglu, H. and Kayali, E.S., 1986. Ticari Çift Fazlı Çelik Üretimi. 4. Ulusal Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, Ankara, 13-15.

Demir, B., İncekar, E., Dincel, Ö. and Elitaş, M. 2017., İleri Dayanımlı Çeliklerde Nokta Direnç Kaynağı Etkilerinin İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, **4**(1), 92-100.

Fariás, D., 2006. Bake Hardening Response of DP800 and the Influence on the 'In Service Performance. Master Thesis, Technische Universiteit Eindhoven,

Department of Mechanical Engineering Division of Computational and Experimental Mechanics, Netherlands.

Girvin, B., Peterson, W. and Gould, J., 2004. Development of appropriate spot welding practice for advanced high-strength steels. American Iron and Steel Institute, Pittsburgh.

Güler, H., 2013. Investigation of Usibor 1500 Formability in a Hot Forming Operation. *Materials Science*, **19** (2), 144-146.

Güler, H., Ertan, R. and Özcan, R., 2014. Investigation of the hot ductility of a high-strength boron steel. *Materials Science and Engineering: A*, **608**(1), 90-94.

Jong, Y.S., Lee, Y.K., Kim, D.C., Kang, M.J., Hwang, I.S. and Lee, W.B., 2011. Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Ultra High Strength Steel Containing Boron. *Materials Transactions*, **52**(6), 1330-1333.

Kelen, F., 2014. Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **19**(1-2), 80-87.

Múnera, D., Pic, A., Abou-Khalil, D., Shmit, F. and Pinart, F., 2009. Innovative Press Hardened Steel Based Laser Welded Blanks Solutions for Weight Savings and Crash Safety Improvements. *SAE Int. J. Mater. Manf.*, **1**(1), 472-479, 2009.

Naderi, M., 2007. Hot stamping of ultra high strength steels. Doctoral Theses, RWTH Aachen University, Aachen, Germany.

Oikawa, H., Murayama, G., Sakiyama, T., Takahashi, Y. and Ishikawa, T., 2006. Resistance spot weldability of high strength steel (HSS) sheets for Automobile. *Nippon Steel Technical Report No. 95*, **385**, 39-45.

Ramazani, A., Mukherjee, K., Abdurakhmanov, A., Prah, U., Schleser, M., Reisgen, U. and Bleck, W., 2013. Micro-macro-characterisation and modelling of mechanical properties of gas metal arc welded (GMAW) DP600 steel. *Materials Science and Engineering: A*, **589**, 1–14.

Rossini, M., Russo Spena, P., Cortese, L., Matteis, P. and Firrao, D., (2015) Investigation on dissimilar laser welding of advanced high strength steel sheets for the



- automotive industry. *Materials Science and Engineering: A*, **628**, 288-296.
- Spena, P.R., Maddis, M.D. and Lombardi, F., 2015. Mechanical Strength and Fracture of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels. *Procedia Engineering*, **109**, 450-456.
- Sugimoto, Y., Oda, N., Higuchi, T. and Mineshita, K., 1996. Development of aluminium metal matrix composites disc brake rotor : (Mazda Motor Corporation). *JSAE Review*, **17**(4), 440-443.
- Sun, X., Stephens, E.V. and Khaleel, M.A., 2008. Effects of fusion zone size and failure mode on peak load and energy absorption of advanced high strength steel spot welds under lap shear loading conditions. *Engineering Failure Analysis*, **15**(4), 356-367.
- Uthaisangsuk, V., Prah, U. and Bleck, W., 2011. Modelling of damage and failure in multiphase high strength DP and TRIP steels. *Engineering Fracture Mechanics*, **78**(3), 469-486.
- Wan, X., Wang, Y. and Zhang, P., 2014. Modelling the effect of welding current on resistance spot welding of DP600. *Journal of Materials Processing Technology*, **214**(11), 2723–2729.
- Zhang, X., Chen, G., Zhang, Y. and Lai, X., 2009. Improvement of resistance spot weldability for dual-phase (DP600) steels using servo gun. *Journal of Materials Processing Technology*, **209**(5), 2671–2675.