



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

## Nokta Direnç Kaynak Elektrotlarına TiC-Co Kaplamanın Etkisi

Batuhan BOZKURT <sup>a</sup>, Hayriye ERTEK EMRE <sup>b</sup>, Ramazan KAÇAR <sup>c,\*</sup>, Akın BOZKURT <sup>d</sup>

<sup>a-c</sup> İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Met. Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: rkacar@karabuk.edu.tr

### ÖZET

Nokta direnç kaynak yöntemi otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer kaynak yöntemlerine göre oldukça hızlı, ekonomik, güvenilir bir yöntemdir. Kaynak işlemi sırasında elektrotların iş parçalarına temas eden yüzeyinde lokal olarak yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır ve kaynak çevrimi boyunca da elektrotlar iş parçalarına belli bir basınç uygularlar. Basınç ve sıcaklık elektrot yüzeyinde deformasyon oluşturur. Nokta direnç kaynağında kullanılan Cu-Cr-Zr elektrotların ömürlerini uzatmak için kaplama işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada, elektrotların uç yüzeylerine TiC-Co malzeme elektrosark yöntemiyle farklı kaplama parametrelerinde kaplanmış, böylece kaplamanın DP600 çelik sac çifti birleştirmesi özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** TiC-Co elektrot kaplama, Nokta direnç kaynağı, DP600 çeliği, Birleştirme özellikleri

## Effect of TiC-Co Coating on the Resistance Spot Welding Electrodes

### ABSTRACT

Resistance spot welding method is widely used in the automotive industry. It is a fast, economical and reliable method as compared to other welding methods. During the welding process, locally high temperatures are exited at the surface of the electrodes that contact to the work piece, and the electrodes apply a certain pressure to the workpieces during the welding cycle. Pressure and temperature create deformation at the electrode surface. Coating is applied to extend the lifetime of the Cu-Cr-Zr electrodes which were used in the resistance spot welding. In this study, the TiC-Co material was coated on the end surfaces of the electrodes by electrosark method in different coating parameters, so the effect of the coating on DP600 steel sheet joining properties was investigated.

**Keywords:** TiC-Co electrode coating, Resistance spot welding, DP600 steel, Joining properties

## I. GİRİŞ

İleri seviye yüksek mukavemetli çeliklerin (AHSS, Advanced High Strength Steel), araçlarda ağırlık tasarrufunu ve çarpma anındaki dayanımlarını arttırdığı rapor edilmiştir [1-3]. Bu çelik sınıfından birisi de dual fazlı (DP) çeliklerdir. DP çelikleri otomobillerde yüksek enerji absorpsiyonu ve yüksek mukavemet yanında düşük ağırlık özelliği istenen tampon ve şasi parçalarında sıklıkla kullanılır [4]. DP çelikleri ferrit matris içerisindeki martenzit fazı ile şekillendirilebilirliği, çarpışma enerjisini sönümlenme ve yorulmaya karşı direnme özelliği kazanarak, otomotiv endüstrisi için arzu edilen hafif bir malzeme haline gelmiştir [5].

Nokta direnç kaynağı, otomotiv endüstrisinde kullanılan en yaygın birleştirme yöntemidir [6-8]. Düşük maliyeti, sağlamlığı ve yüksek verimliliği onun seri üretim için tercih edilmesinin sebeplerindedir [9,10]. Yüksek korozyon direncine bağlı olarak genişletilmiş ürün ömrü nedeniyle, özellikle otomotiv parçalarında çinko kaplı çelik sacların kullanımı son yıllarda artmıştır [11]. Bu sebeple otomotiv endüstrisinde kullanılan AHSS çelikler çinko kaplı servis edilirler. Bu çeliklerin nokta direnç kaynağı kaplamasızlara oranla daha fazla elektrot baskı kuvveti gerektirir. Bu sebeple daha fazla deforme olan ve aşınan elektrotlarının ömrü kaplamalı çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde azaldığı rapor edilmiştir [12]. Elektrotların ömrünü uzatmak ve deformasyon oranını azaltmak için iki yöntem önerilmiştir. Birincisi, alüminyum ile zenginleştirilmiş özel bakır alaşımından oluşan elektrotları kullanmaktır. Bu elektrotların üretimi pahalı olabilir ve elde etmek kolay değildir. Diğer yöntem geleneksel elektrotların elektrosark kaplama (ESD) ile yüzey modifikasyonudur. Etkili bir yöntem olan ESD düşük ısı girdisiyle metalürjik bağ oluşturma özelliğine sahiptir [13-18]. Uçları ESD yöntemiyle TiC ve çok katmanlı Ni/(TiCP/Ni)/Ni kaplanmış elektrotların ömürlerinde sırasıyla %70 ve %57 artış olduğu rapor edilmiştir [19-22].

Bu çalışmada direnç kaynağıyla birleştirilen DP600 çeliklerin kaynak kabiliyeti, birleştirmede kullanılan elektrotun iletkenliği ve ömrüne farklı gerilimlerde uygulanan TiC-Co kaplamanın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir grup DP600 çelik çifti temin edildiği şekliyle CuCrZr bakır alaşımlı elektrot ve diğer grup ise ESD yöntemiyle TiC-Co kaplanmış elektrot ile aynı kaynak parametreleriyle birleştirilmiştir. Birleştirmelerin mekanik özellikleri çekme-makaslama, çapraz çekme testi, sertlik ölçümü ile tayin edilirken, çekirdek geometrisi boyut ölçümü ile belirlenmiştir. Ayrıca birleştirme mikroyapısı metalografik olarak incelenmiştir.

## II. DENEY

Çalışmada ticari olarak temin edilen CuCrZr küresel başlı elektrotlar dört gruba ayrılmıştır. Üç grup Shengzao marka elektrosark kaynak makinesi ile sırasıyla 40V, 80V, 120V gerilim ile 13 lt/dk argon gazı altında TiC-Co ilave tellerle kaplanmıştır. Diğer bir grup elektrot ise temin edildiği şekliyle kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan CuCrZr ve TiC-Co kaplanmış elektrotların kimyasal bileşimi XRF cihazı ile belirlenmiş, sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Elektrotların kaplanma işlemi sonrasında elektrik akıma gösterdikleri direnç GWINSTEK GOM-802 marka ohm-metre ile 1 mikro-ohm hassasiyetle ölçülmüştür. Aralarındaki mesafesi 11,5 mm olan yaylı ve sabit bir baskı uygulayan 2 pinli aparat ölçüm için kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan DP600 çeliğin kimyasal analiz sonucu (% ağırlık) ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

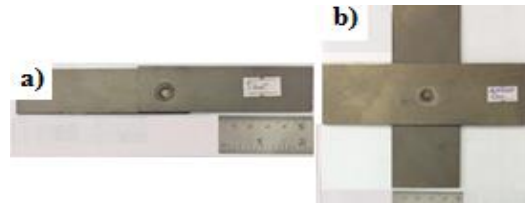
**Tablo 1.** Ticari ve TiC-Co kaplanmış elektrotların % kimyasal bileşimi (% ağırlık).

Element (% ağırlık)	C	Al	Si	Ti	Co	Cr	Zr	Cu
Ticari elektrot	-	-	-	-	-	0,66	0,05	99,28
TiC-Co kaplanmış elektrot	9,94	0,48	0,28	22,4	5,1	-	-	Kalan

**Tablo 2.** DP600 çeliğinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık) ve mekanik özellikleri

C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	Fe
0,13	0,35	1,426	0,637	0,013	0,053	Kalan
Akma Dayanımı (MPa)			Çekme Dayanımı (MPa)			
391			580			

1,5x30x100mm<sup>3</sup> ölçülerinde kesilen DP600 çelik sacın kaynak işlemi 60 kVA kapasiteli ve 50 Hz elektrik devreli pnömatik nokta direnç kaynak makinesiyle gerçekleştirilmiştir. Ön deneysel çalışma ve literatürden yola çıkılarak 7 kA akım şiddeti ve 20 çevrim kaynak zamanı sabit tutularak iki farklı 5 ve 6 kN elektrot baskı kuvveti kaynak parametresi olarak belirlenmiştir [23]. Kaplamanın etkisini incelemek için bir grup numune CuCrZr küresel başlı, diğer üç grup ise elektrosark yöntemiyle sırasıyla 40, 80, 120 V gerilim altında TiC-Co kaplanmış elektrotlarla birleştirilmiştir. Her bir kaynak parametresi için 6 adet numune hazırlanmıştır. Çekme makaslama testi için 4 adet numune kullanılmıştır (Şekil 1 a). Çapraz çekme deneyi için ise her parametre için 3'er adet numune hazırlanmıştır (Şekil 1 b). Deneyler SHIMADZU marka 50 kN kapasiteli test cihazında 10 mm/dak. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası birleştirmelerin kırılma davranışları da metalografik olarak incelenmiştir.



**Şekil 1.** (a) Çekme makaslama, (b) çapraz çekme numunesi

Sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesinde standart metalografik yöntemlerden yararlanılmıştır. İncelemeler Nikon Optical DIC marka optik mikroskopta yapılmıştır. Sertlik ölçümü ana malzemeden kaynak eksenine doğru SHIMADZU marka mikrosertlik cihazında 500g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırık yüzey incelemesi ve kaplama kalınlık ölçümünde Zeiss marka SEM mikroskobundan yararlanılmıştır. Elektrot içerikleri XRF ile belirlenmiştir.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

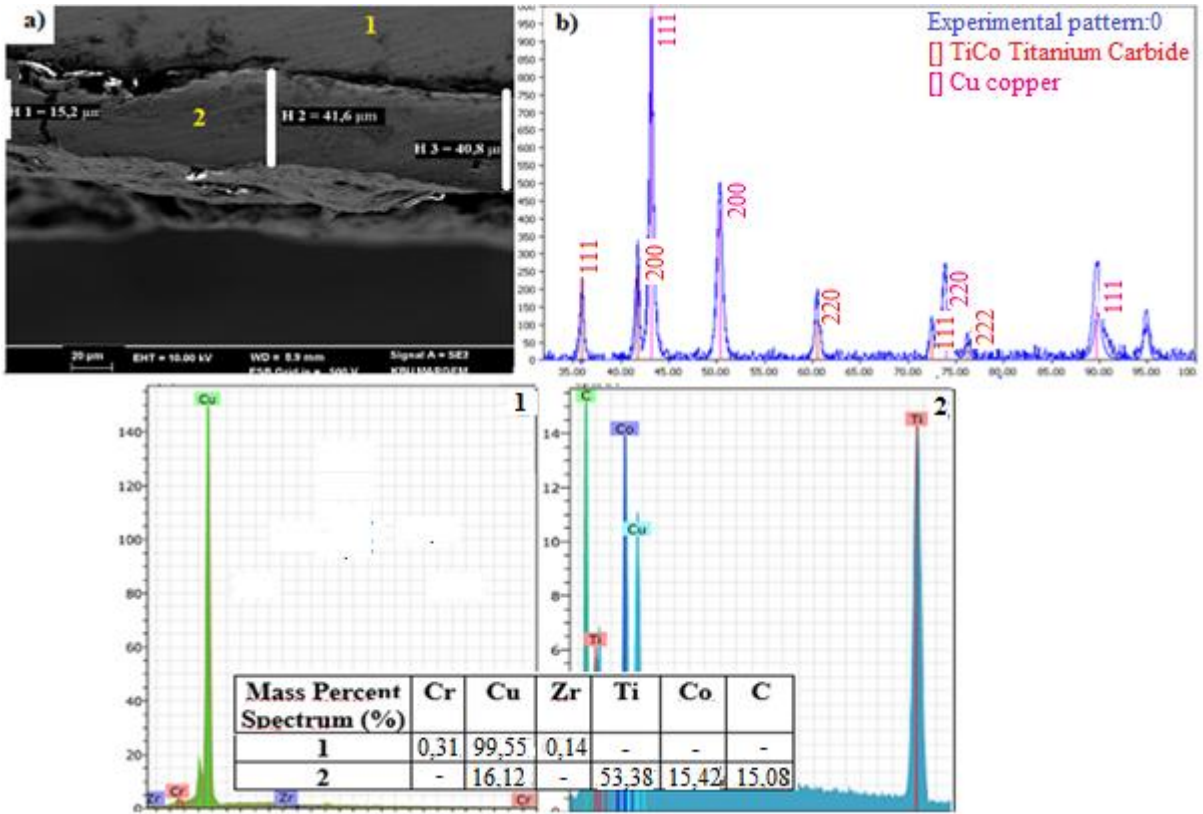
#### *A. ELEKTROTLARIN İNCELENMESİ*

Ticari olarak temin edilen küresel başlıklı elektrotlar elektrosark yöntemiyle TiC-Co ile kaplanmıştır. Elektrotların kimyasal bileşimini belirlemek için EDS analizi gerçekleştirilmiş ve kaplama kalınlığı

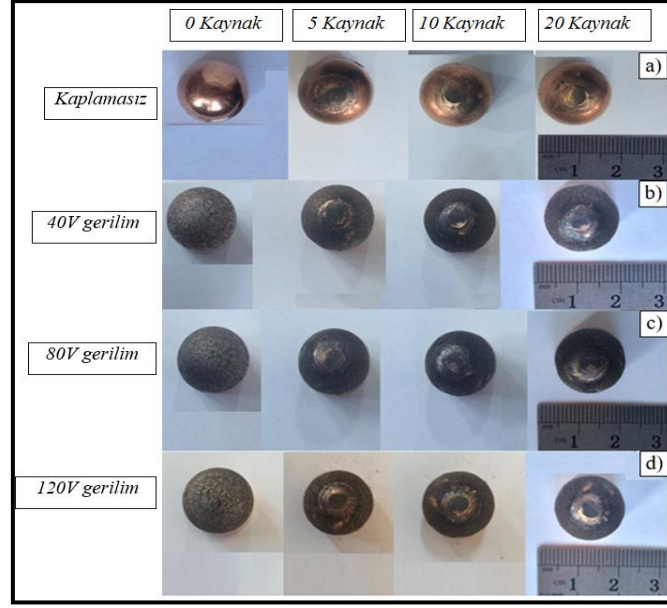
ölçümü için SEM mikroskobundan yararlanılmıştır (Şekil 2 a). CuCrZr F16 tip ticari ve TiC-Co kaplanmış elektrotlar XRF incelemesine tabi tutulmuştur (Şekil 2 b).

Şekil 2 a'da EDS analizi sonucu elektrotun Cu, Cr ve Zr elementlerinden oluştuğuna, kaplama yüzeyinde ise Ti, Co ve C elementlerine rastlanması TiC-Co ile başarıyla kaplandığına işaret etmektedir. Kapsama yaklaşık 15-42 µm arasında kalınlıktadır. Şekil 2 b'de XRF sonucu elektrotun TiC-Co ile kaplandığına işaret etmektedir.

Ticari ve TiC-Co kaplanmış elektrotların elektrik akımına gösterdikleri direnç ölçülmüştür. Ticari elektrotun gösterdiği direnç çok düşük bulunmuş ve sıfır kabul edilmiştir. 40V, 80 ve 120V gerilim altında TiC-Co kaplanmış elektrotun gösterdiği direnç ise sırasıyla 2.982 mΩ, 2.378 mΩ ve 3.885 mΩ olarak ölçülmüştür. Kapsamada kullanılan gerilimin artmasına bağlı olarak elektrot direncinin de arttığı belirlenmiştir. Elektrotların ömrünü ve uç geometrisindeki değişimi belirlemek için sırasıyla 0-5-10 ve 20 kaynaktan sonra uç makro görüntüleri alınmış ve görüntüler Şekil 3 a, b,c ve d'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Elektrot üzerinden gerçekleştirilen (a) EDS analiz sonucu, (b) XRF analiz sonucu

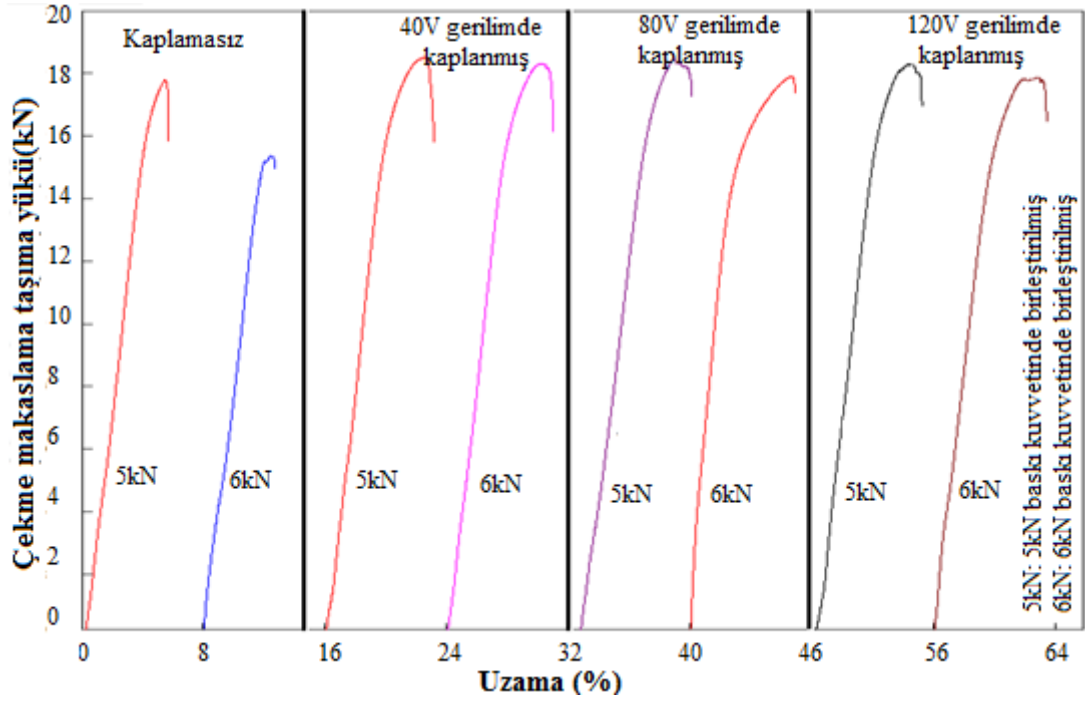


Şekil 3. 0-5-10-20 kaynak sonrası uç makro görüntüsü (a) Ticari elektrot , (b) TiC-Co kaplanmış elektrot

Ticari elektrotun ucundaki mantarlaşma sırasıyla 10 ve 20 kaynaktan sonra 3,96 mm ve 4,17 mm ölçülmüştür. Sırasıyla 40V gerilim altında TiC-Co kaplananın ise 10 ve 20 kaynaktan sonra 3,38 mm ve 3,94 mm tespit edilmiştir. 80V gerilimle kaplanan elektrotun sırasıyla 4,09 mm ve 4,88 mm, 120V gerilimle kaplananın ise 4,39 mm ve 5,01 mm ölçülmüştür. Bu durum kaplamasız elektrotlara kıyasla kaplamalı elektrotlarda kaynak sayısına ve kaplamada kullanılan gerilime bağlı mantarlaşmanın arttığına işaret etmektedir. Isı girdisi ( $Q = I^2Rt$ ) denklemine göre, Q, joule cinsinden ısı enerjisini, I, amper cinsinden akımı, R, ohm cinsinden toplam elektriksel direnci ve t saniye cinsinden zamanı ifade etmektedir [20,21]. Bu denkleme göre ısı girdisi genel olarak akım, zaman ve toplam elektriksel dirence bağlıdır. Elektriksel direnç kullanılan iş parçası ve elektrotlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Kaplamalı elektrotlar daha yüksek elektriksel dirence sahip olduklarından nokta direnç kaynağı sırasında daha yüksek ısı girdisine sebep olabilirler. Yüksek ısı girdisinin ise daha yüksek ergime bölgesine neden olabilmektedir ve kaynak çekirdek çapında genişlemeye yol açabilmektedir. Zou vd. [22] bir çalışmada, kaplamasız elektrotların nokta direnç kaynağında kaplamalı elektrotlara göre daha düşük elektriksel dirence sahip olması nedeniyle daha yumuşak ve düz bir yüzey oluşmasına ve dolayısı ile daha az mantarlaşmaya neden olduğunu vurgulamaktadır. Benzer şekilde çalışmamızda kaplamalı elektrotlarda mantarlaşmanın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada elektrotların deformasyon ve aşınma ömürlerine bakılmak üzere kaynak sayısına bağlı olarak ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan kaynak sayısının az olması nedeniyle elektrot ağırlık kaybı her iki kaplamalı ve kaplamasız elektrot için neredeyse eşit olarak hesaplanmış ve sifıra yakın belirlenmiştir. Literatüre göre daha yüksek kaynak sayısına bağlı olarak kaplamasız elektrotlara kıyasla kaplamalı elektrotların deformasyon ömürlerinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir [24-27]. Kaplamasız elektrotlarda yumuşama daha fazla olacağından deformasyon prosesi daha hızlı gelişecektir [28].

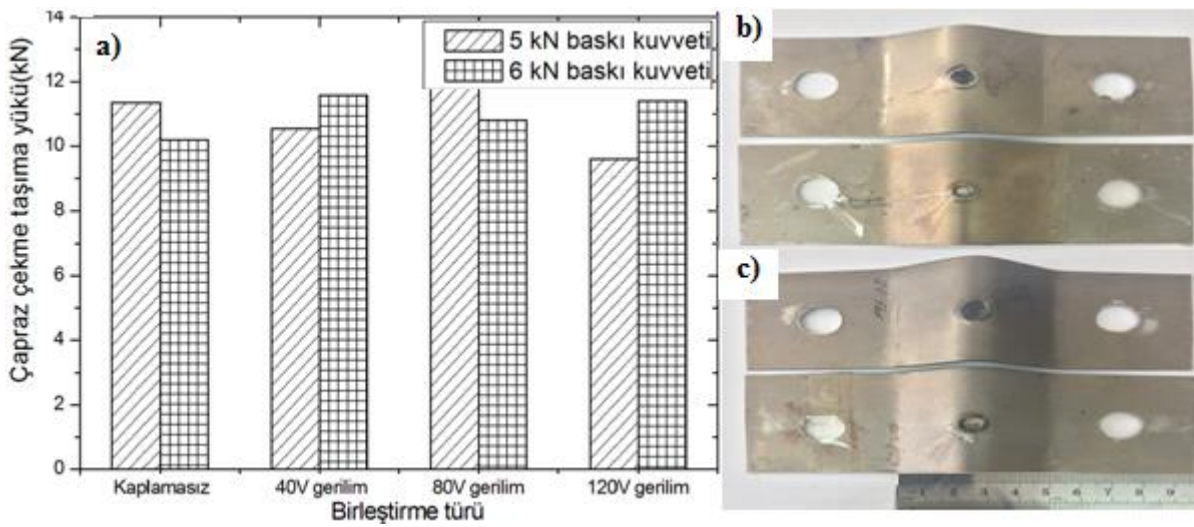
### B. ÇEKME-MAKASLAMA VE ÇAPRAZ ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Çalışmada 5 kN ve 6kN baskı kuvveti altında ticari ve TiC-Co kaplamalı elektrotlarla birleştirilen numunelerin ortalama çekme makaslama taşıma yükü-uzama eğrileri Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 5kN ve 6kN elektrot baskı kuvvetiyle birleştirilen numunelerin çekme makaslama diyagramı

Kaplamalı elektrotla birleştirilen numunelerin çekme makaslama dayanımları ticari elektrotla birleştirilenlere göre artış göstermiştir (Şekil 4). Daha önce de belirtildiği gibi kaplamalı elektrotların elektriksel dirençlerinin daha yüksek olması ısı girdisini arttırmaktadır. Artan ısı girdisine bağlı olarak ergiyik metal miktarı artış gösterecek ve dolayısı ile daha geniş kaynak çekirdeği oluşturacaktır. Kaynak çekirdek çapının artışına bağlı olarak kaynak çekme makaslama dayanımının arttığı bilinmektedir [27,29]. Kendi aralarında belirgin farklılık olmasa da en yüksek taşıma yükü 40 V gerilimle kaplanmış elektrotla 5kN baskı kuvvetinde birleştirilmiş numunede, 18,60kN, elde edilmiştir. Baskı kuvveti 5kN'dan 6kN'a çıktığında birleştirmelerin dayanımı azalmıştır. Bu azalma kaplamalı elektrotla birleştirilenlerde daha az bulunmuştur.



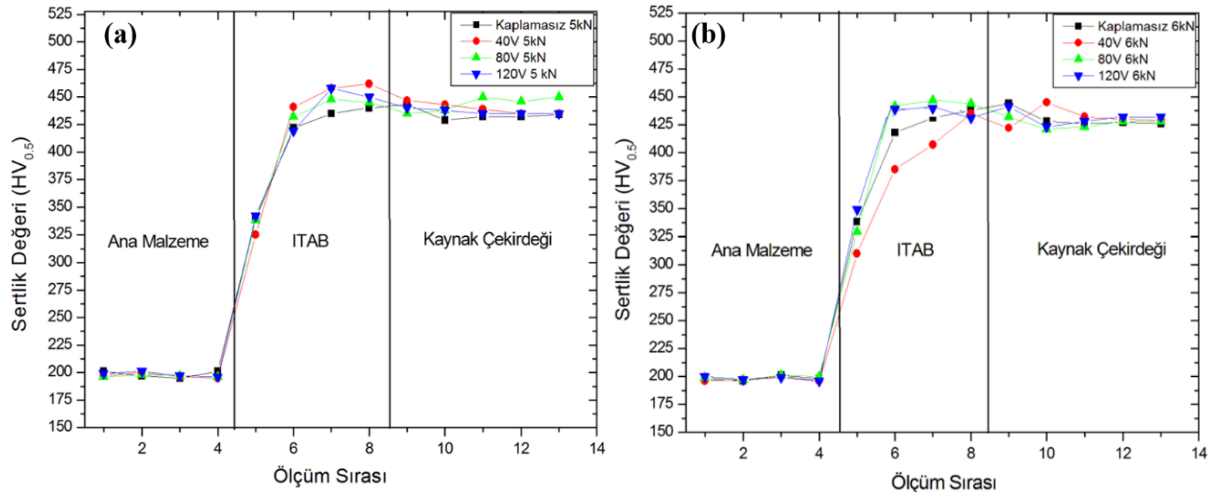
Şekil 5. (a) Çapraz çekme sonuçları, (b) Ticari elektrot ve (c) Kaplamalı elektrotla birleştirilmiş numunelerin ayrılma biçimleri



Ticari ve kaplamalı elektrotlarla iki farklı baskı kuvvetinde birleştirilen numunelerin test sonucunda tamamı istenilen düğmelenme biçiminde kırılma göstermiştir. Şekil 5 'de çekme makaslama, çapraz çekme test sonuçları ve kırılma görüntüleri gösterilmiştir. 5kN baskı kuvveti için en yüksek çapraz çekme dayanımı 11,83kN olarak 80V gerilimle kaplamalı elektrotla birleştirilen numunede elde edilmiştir (Şekil 5). 6kN baskı kuvveti için ise en yüksek dayanım 11,57kN olarak 40V gerilimle kaplananla birleştirilende elde edilmiştir.

### C. SERTLİK SONUÇLARI

Birleştirmelerin sertlik sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. DP600 çelik sertliği ortalama 198HV<sub>0,5</sub> ölçülmüştür. Kaynak çekirdek sertlikleri yaklaşık 425-450 HV<sub>0,5</sub> arası ölçülmüştür. Çalışmada 40V gerilimle kaplanan elektrotla yapılan birleştirmelerin, 6kN elektrot baskı kuvveti haricinde, ticari elektrotla elde edilenlerin ITAB sertliklerinden daha yüksek bulunmuştur. ITAB sertliği kaplamalı elektrotla yapılan birleştirmelerde ortalama 18,5 HV<sub>0,5</sub>, daha yüksek bulunmuştur. Çekirdek sertliğinde çok az bir değişim (yaklaşık 1 HV<sub>0,5</sub>) görülmektedir.

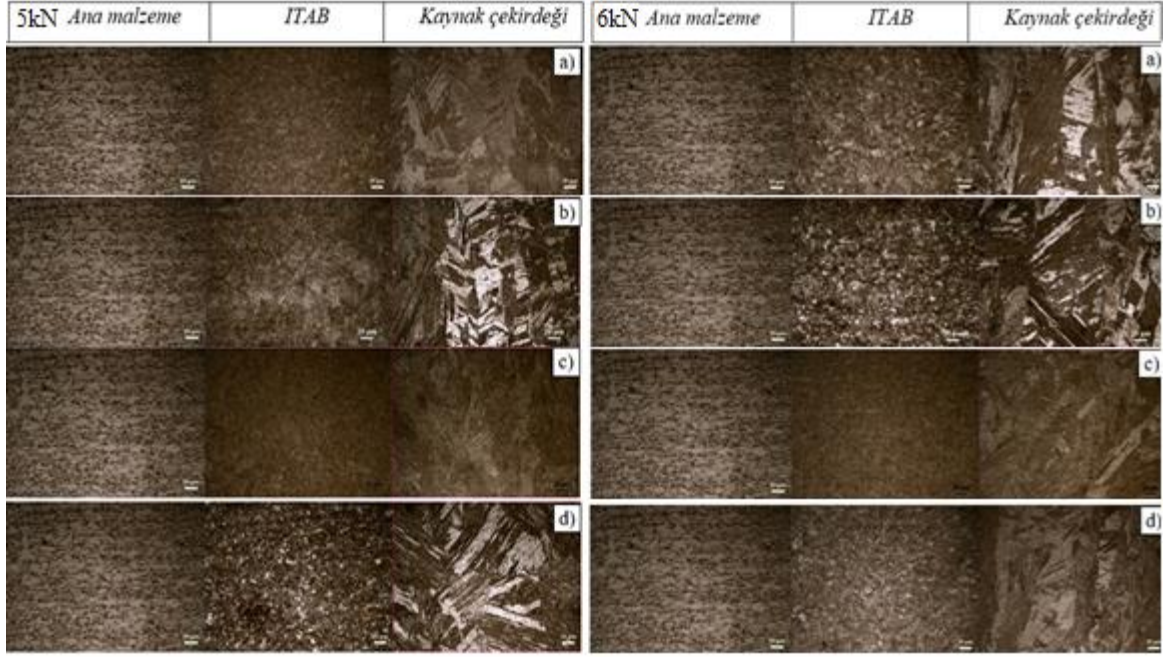


Şekil 6. (a) 5kN, (b) 6kN baskı kuvveti altında birleştirilen numunelerin sertlik sonuçları

Şekil 6 a ve b incelendiğinde kaynak çekirdeği ve ITAB'da yüksek sertlik göze çarpmaktadır. Kaynak termal çevrimine bağlı olarak bu bölgelerde Ac<sub>3</sub> sıcaklığının üzerine çıkılması ile çift fazlı çelik sacın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak tamamen östenitik dönüşümün tamamlandığını, Ac<sub>1</sub> sıcaklığının üzerine çıkılması ile östenitik dönüşümün kısmen tamamlandığını ve ardından hızlı soğumayla martenzitik dönüşümün gerçekleştiğine işaret etmektedir [30-32]. Sonuçlar ana metalden ITAB'a geçişte kısmi martenzitik dönüşümden dolayı sertlikte çok az, kaynak çekirdeğine doğru martenzitik dönüşümle ilişkili olduğu düşünülen belirgin artış bulunmuştur. Çapraz çekme ve çekme makaslama numunelerinde düğmelenme şeklinde oluşan ayrılmanın buradan oluşması bu tezi desteklemektedir.

### D. MİKROYAPI SONUÇLARI

Sırasıyla 5kN ve 6 kN baskı kuvvetiyle ticari ve kaplamalı elektrotlarla yapılan birleştirmelerden elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 7 'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Birleştirmelerin mikroyapı görüntüleri, (a) Ticari ve (b) 40V, (c) 80V, (d) 120V gerilim altında TiC-Co kaplanmış elektrot ile elde edilen numuneler.

DP600 çeliği ferrit matriks içerisinde dağılmış martenzit adacıklarından oluşmuştur. Dual fazlı çeliklerin interkritik bölge diye adlandırılan Andrew formülü [33] ile belirlenen çift fazlı bölgeden hızla soğutulması neticesinde ötektoid öncesi ferrit fazı durumunu muhafaza eder. Yapıdaki östenit fazının martenzite dönüşmesinden dolayı ferrit matriks içerisinde kimyasal bileşim ve soğuma hızına bağlı olarak %5-20 hacim oranında martenzit fazı oluşur. ITAB'ın kaynak çekirdeğine yakın bölgesinde ince taneli martenzit fazı oluşmuştur. Kaynak termal çevrimiyle ilişkili ısı yoğunluğu dengesiz soğumayla ferrit faz oranının azalmasına martenzitin artışına sebep olmuştur. Ana malzemeye doğru ise martenzit oranı düşerek ferrit fazı artışına bağlı olarak sertlik azalmıştır. ITAB'daki bu dönüşüm sertlik sonuçlarıyla da desteklenmektedir. 6kN baskı kuvveti altında birleştirilen numunede ITAB'ın daha kaba taneli olması artan baskı kuvveti ile daha yüksek ısı girdisi oluşumu ile açıklanabilir. Kaynak çekirdeğinde kontrolsüz ısınma ve soğumaya bağlı olarak iğnesel kaba martenzit yapısının olduğu gözlenmiştir. Kaplamalı elektrotla birleştirilen numunelerin ITAB ve kaynak çekirdeği sertliğindeki bir miktar artış martenzit hacim oranındaki farklılıkla veya martenzitin morfolojiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

#### IV. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- Nokta direnç kaynak elektrotları elektrospark kaplama yöntemiyle TiC-Co ile başarıyla kaplanmıştır.
- TiC-Co kaplama gerilimi arttıkça elektrot ucunda mantarlaşmanın arttığı gözlemlenmiştir. Kaplamasız elektrotlara kıyasla kaplamalı elektrotlarda mantarlaşmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir.



- En yüksek çekme makaslama ve çapraz çekme dayanımı TiC-Co ile sırasıyla 40 ve 80V gerilimle kaplanan elektrotla 5kN baskı kuvvetinde birleştirilen numunelerde tespit edilmiştir. Ayrılma biçimi düğmelenme şeklinde oluşmuştur. Kaplama birleştirmelerin ısı yoğunluğunu lokal olarak artırarak dayanımda belirgin artış sağlamıştır.
- Kaplamalı elektrotla birleştirilmiş numunelerde ITAB ve kaynak çekirdeği sertliği ticari elektrotla yapılan birleştirmeye göre azda olsa daha yüksek bulunmuştur.
- Birleştirmelerin kaynak çekirdeği kaba martenzit fazından, ITAB ise kaynak çekirdeğine yakın bölgede ince taneli martenzitten oluşmuştur. Ana malzemeye doğru martenzit oranı düşerek ferrit miktarı artmıştır. DP600 çeliği ferrit matristeki martenzit fazı adacıklarından oluşmuştur.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: KBUBAP-17-YL-418).

## V. KAYNAKLAR

- [1] X. Yuan, C. Li, J. Chen, X. Li, X. Liang, X. Pan, “Resistance Spot Welding of Dissimilar DP600 And DC54D Steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 239, pp. 31-41, 2017.
- [2] X. Wan, Y. Wang, P. Zhang, “Modelling The Effect Of Welding Current On Resistance Spot Welding Of DP600 Steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, pp. 2723-2729, 2014.
- [3] X. Zhang, G. Chen, Y. Zhang, X. Lai, “Improvement of Resistance Spot Weldability For Dual-Phase (DP600) Steels Using Servo Gun,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 2671-2675, 2009.
- [4] A. Arumugam, M. Nor, Spot, “Spot Welding Parameter Optimization to Improve Weld Characteristics for Dissimilar Metals,” *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 4 no. 1, pp. 75-80, 2015.
- [5] Z. Xiaoyun, C. Guanlong, Z. Yansong, L. Xinmin, “Improvement of Resistance Spot Weldability For Dual-Phase (DP600) Steels Using Servo Gun,” *Journal of materials processing technology*, vol. 209, pp. 2671-2675, 2009.
- [6] E. Bayraktar, D. Kaplan, C. Buirette, M. Grumbach, “Application of Impact Tensile Testing to Welded Thin Sheets,” *Journal of Material Processing Technology*, vol. 145, no. 1, pp. 27-39, 2004.
- [7] H. K. Zeytin, H. Ertek Emre, R.Kaçar, “The Role Of Lamination Conditions on Electro Chemical and Mechanical Performance of Ceramic Electrolytes for Solid Oxide Fuel Cells,” *Metals*, vol. 7, no. 14, pp. 1-13, 2017.
- [8] T. Satoh, H. Abe, T. Nakaoka, Y. Hayata, “Peel And Shear Strength of Spot-Welded And Weld-Bonded Dissimilar Thickness Joints”, *Welding in the World*, vol. 37, no. L, pp. 12-15, 1996.

- [9] A. Chabok, A. E. Van der, J. T. M. De Hossonc, Y. T. Pei, “Mechanical Behavior and Failure Mechanism of Resistance Spot Welded DP1000 Dual Phase Steel,” *Materials and Design*, vol. 124, pp. 171–182, 2017.
- [10] P. Podržaj, B. Jerman, S. Simončič, “Poor Fit-Up Condition in Resistance Spot Welding,” *Journal of materials processing technology*, vol. 230, pp. 21-25, 2016.
- [11] H. Kusano, “Sheet Metal Welding Code,” XIV.AWS Detroit Sections Steel Metal Welding Conference, Linovia, 2010, pp. 29-32.
- [12] J. D. Parker, N. T. Williams, R. J. Holliday, “Mechanisms of Electrode Degradation When Spot Welding Coated Steels,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 3, pp. 65–74, 1998.
- [13] R. N. Johnson, G. L. Sheldon, “Advances in the Electrospark Deposition Coating Process,” *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 14, 2740-2746, 1986.
- [14] J. L. Reynolds, R. L. Holdren, L. E. Brown, “Electro-Spark Deposition,” *Advanced Materials and Processes*, vol. 161, pp. 35-37, 2003.
- [15] W. Gao, Z. Li, Y. He, “High Temperature Oxidation Resistant Coatings Produced By Electro-Spark Deposition,” *Material Science Forum*, 2001 369–372.
- [16] Y.D. He, H. Pang, H.B. Qi, D.R. Wang, Z.W. Li, W. Gao, “Micro-Crystalline Fe–Cr–Ni–Al–Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ODS Alloy Coatings Produced By High Frequency Electric-Spark Deposition,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 334, pp. 179-186, 2002.
- [17] D. Liu, W. Gao, Z. Li, H. Zhang, Z. Hu, “Electro-Spark Deposition of Fe-Based Amorphous Alloy Coatings,” *Materials Letters*, vol. 61, pp. 165-167, 2007.
- [18] J. Gould, “Application of Electro-Spark Deposition as a Joining Technology,” *Welding Journal*, vol. 90, pp. 191-197, 2011.
- [19] S.J. Dong, Y. Zhou, “Effects of TiC Composite Coating on Electrode Degradation in Microresistance Welding of Nickel-Plated Steel,” *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science A*, vol. 34A, pp. 1501-1511, 2003.
- [20] Z. Chen, Y. Zhou, “Surface Modification of Resistance Welding Electrodes By Electro-Spark Deposited Composite Coatings: Part II. Metallurgical Behavior During Welding,” *Surface Coating Technology*, vol. 201, pp. 2419-2430, 2006.
- [21] Z. Chen, Y. Zhou, “Surface Modification of Resistance Welding Electrode By Electro-Spark Deposited Composite Coatings: Part I. Coating Characterization,” *Surface Coating Technology*, vol. 201, pp. 1503-1510, 2006.
- [22] J. Zou, Q. Zhao, Z. Chen, “Surface Modified Long-Life Electrode for Resistance Spot Welding of Zn-Coated Steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 4141-4146, 2009.

- [23] B. Bozkurt, H. Ertek Emre, Ş. Talaş, R. Kacar, “Nokta Direnç Kaynak Elektrotuna TiC-Co Kaplamanın Etkisi,” 2<sup>nd</sup> *International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, Cluj Napoca Technical University, Romania, 2017.
- [24] S.J. Dong, N. Zhou, C. Cheng Y.W. Shi, B. Chang, “Single-Step Fabrication of High-Throughput Surface-Enhanced Raman Scattering Substrates,” *Trans. Non. Ferrous Met. Soc*, vol. 15, no. 6, pp. 1219-1225, 2005.
- [25] S.J. Dong, Y. Zhou, Y. W. Shi, “Formation of a  $TiB_2$ -Reinforced Copper-Based Composite By Mechanical Alloying and Hot Pressing,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 33, no. 4, pp. 1275-1280, 2002.
- [26] C. Biselli, D.G. Morris, N. Randall, “Mechanical Alloying of High-Strength Copper Alloys Containing  $TiB_2$  and  $Al_2O_3$  Dispersoid Particles,” *Scripta Metallurgica et Materials*, vol. 30, no. 10, pp. 1327-1332, 1994.
- [27] W.H. Kearns, “Welding Handbook: Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes,” AWS 7th Edition, vol. 3., 1982.
- [28] S.S. Babu, M.L. Santella, W. Peterson, “Modeling Resistance Spot Welding Electrode Life,” Oak Ridge National Laboratory, 2000.
- [29] H. Ertek Emre, R. Kaçar, “Development of Weld Lobe for Resistance Spot-Welded TRIP800 Steel and Evaluation of Fracture Mode of its Weldment,” *Int. J. Adv. Manufacturing. Technology*, vol. 83, pp. 1737-1747, 2016.
- [30] B.V. Hernandez, M. Kuntz, M. Khan, Y. Zhou, “Influence of Microstructure and Weld Size on The Mechanical Behaviour of Dissimilar AHSS Resistance Spot Welds,” *Sci Technol Weld Joint*, vol. 13, pp. 769–776, 2008.
- [31] S.T. Wei, D. Lv, R.D. L. Liu, L. Lin, R.J. Xu, J.Y. Guo, K.Q. Wang, “Similar and Dissimilar Resistance Spot Welding of Advanced High Strength Steels: Welding and Heat Treatment Procedures, Structure and Mechanical Properties,” *Science Technology Weld Join*, vol. 19, pp. 427-435, 2014.
- [32] M. Pouranvari, S.P.H. Marashi, “Key Factors Influencing Mechanical Performance of Dual Phase Steel Resistance Spot Welds,” *Science Technology Weld. Join*, vol. 15, pp. 149-155, 2015.
- [33] K.W. Andrew, “Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperatures,” *Journal of the Iron and Steel Institute*, vol. 203, pp. 721-727, 1965.