

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI UYGULAMALARI*

Emre Doruk**

TOFAŞ AR-GE
emre.doruk@tofas.com.tr

Murat Pakdil

Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Bolu
muratpakdil@ibu.edu.tr

Gürel Çam

İskenderun Teknik Üniversitesi,
Makina Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
İskenderun-Hatay
gurelcam@gmail.com

İsmail Durgun

TOFAŞ AR-GE, Bursa
ismail.durgun@tofas.com.tr

Utku Can Kumru

TOFAŞ AR-GE, Bursa
utku.kumru@tofas.com.tr

ÖZ

Otomotiv sektöründe farklı ve aynı türdeki çelik sacların birleştirilmesinde sıklıkla kaynak işlemi kullanılmaktadır. Bu birleştirme işleminde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi ise elektrik direnç nokta (punta) kaynağıdır. Bir otomobilde ortalama 3000 ila 6000 arasında punta kaynağı bulunmaktadır. Punta kaynağının avantajları; nispeten temiz ve çevreci bir proses, otomasyona uygun ve kolay uygulanabilir bir yöntem olması, dolgu metaline ihtiyacın olmaması, kazalara ve yaralanmalara neden olabilecek açık alevin bulunmaması ve kaynak işleminin uzman operatör gerektirmemesi şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmada, araç gövdesi üzerinde manuel ve robotik otomasyonlarla gerçekleştirilen punta kaynak uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Punta kaynak işleminde kullanılan farklı elektrotlar, bunların soğutulması, bakımları ve ömürleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca, seri üretimde punta kaynak kalitesini arttırmak için yapılan kaynak parametrelerinin optimizasyonu da ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaynak teknolojileri, otomotiv sektörü, direnç nokta kaynağı, kaynak edilebilirlik

RESISTANCE SPOT WELDING APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

Welding process is often used in joining of similar and dissimilar steel sheets in the automotive industry. In these joining applications, resistance spot welding is the most commonly used welding method. There are on average around 3000 or 6000 spot welds in a car. The advantages of resistance spot welding are as follows: it is a relative clean and environmentally friendly process, suitable for automation and readily applicable, does not require filler metal, produce open flame that can cause accidents and injury, and require an expert operator. This study provides information about manual and robotic spot welding applications which are performed on the vehicle body. It focusses on different types of spot welding electrodes used, their cooling methods, maintenance and life-cycles. In addition, spot welding optimization which is used for increasing weld quality during mass production is mentioned.

Keywords: Welding technologies, automotive sector, resistance spot welding, weldability

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 30.01.2016

Kabul tarihi : 02.02.2016

* 20-21 Kasım 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Doruk, E., Pakdil, M., Çam, G., Durgun, İ., Kumru, U. C., 2016. "Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 673, s. 48-53.

1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv sektöründe güvenlik standartlarının iyileştirilmesi ve araç hafifletme çalışmaları, araştırmacıları farklı malzemelere, dolayısıyla farklı imalat yöntemlerine yöneltmiştir. Araç üretim evrelerinin en önemli basamaklarından biri olan gövde imalatında birleştirme yöntemleri sürekli değişmekte ve gelişmektedir. Araç imalatında yeni bir birleştirme yöntemi olmasa da hala en önemli birleştirme yöntemi elektrik direnç nokta kaynak (punta kaynağı) yöntemidir. Günümüzde üretilen sedan araç gövdelerinde ortalama 4.000 ile 6.000 arasında nokta kaynağı uygulanmaktadır. Tablo 1'de çeşitli markalara ait araçlardaki nokta kaynak sayıları gösterilmektedir [1, 2, 3]. Diğer kaynak yöntemlerine göre araç gövdesinin oluşturulmasında %85 oranında direnç nokta kaynağı kullanılır.

Günümüzde araç üretim bantlarında nokta kaynağı ağırlıklı olarak robotik uygulamalarla gerçekleştirilmektedir. Üretim

Tablo 1. Çeşitli Markalara ait Araçlardaki Nokta Kaynak Sayıları

Araç Modeli	Nokta Kaynak Adedi
Alfa Romeo Giulietta	3676
Volvo S60	3966
Citroen C4	3938
Saab 9-5 Sedan	4250
Honda CR-Z	4254
Opel Meriva	4533
Ford Grand C-MAX	5011
Fiat Linea	5031
Renault Latitude	5208
VW Sharan	5600
BMW 5 Series	5800

bantlarının bazı bölümlerinde de manuel nokta kaynak uygulamaları mevcuttur. Şekil 1'de robotik nokta kaynak uygulaması görülmektedir.

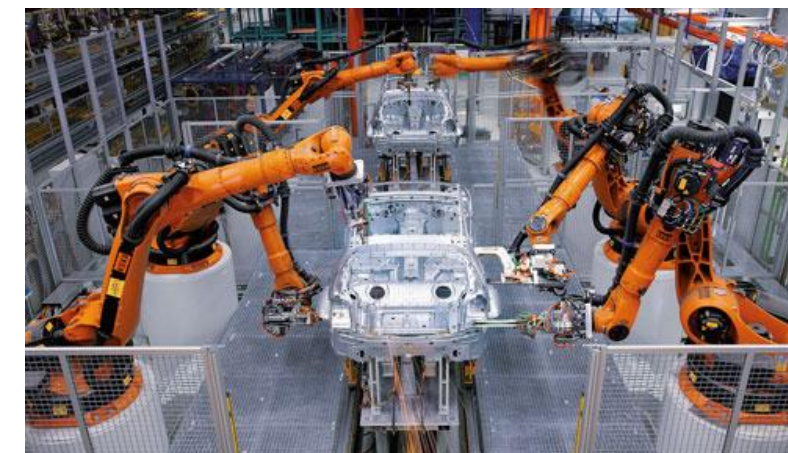
Araç üreticileri özellikle istenilen güvenlik kriterlerini sağlama için nokta kaynaklarının optimum sayısının tespiti ve uygulamadaki kontrolleri için çok sayıda faaliyet gerçekleştirirler. Oluşan bilgi birikimi yanında, sanal analiz sonuçları da nokta kaynak sayısının tespiti için önemli girdiler oluşturur. Her bir kaynak noktası ilave bir maliyet gerektirdiği için optimum nokta kaynak sayısının bulunması önemlidir.

Araç geliştirme çalışmaları ile birlikte nokta kaynak uygulama parametreleri de geliştirilmeye başlanır. Nokta kaynak sayısına ve istenilen üretim sayısına göre gerekli olan aparatlar ve atölye yerleşimi belirlenir. Her bir nokta kaynağının hangi saclar (malzeme, kaplama, kalınlık) arasında gerçekleşeceği bilgisine göre parametre değerleri belirlenir. Belirlenen bu parametre değerleri ile geliştirme sürecindeki prototip ve diğer test araçlarının üretimleri gerçekleştirilir. Araçlar ile gerçekleştirilen testler ile de parametrelerin doğrulanması sağlanmış olur. Seri üretime geçildiğinde de araç gövdesi üretim hatlarında nokta kaynak kalitesinin kontrolünde en yaygın olarak ultrasonik test yöntemi kullanılır. Özellikle güvenlikle ilgili bölgelerdeki nokta kaynakları her vardiya da kontrol edilir. Yine belirli periyodlarda tahribatlı testler ile nokta kaynak kontrolü de yapılır.

OTOMOBİL ÜRETİMİ VE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Otomotiv sektöründe araç imalat süreci incelendiğinde, temelde 3 ana aşama mevcuttur. Bunlar;

- **Gövde:** Metal parçaların birleştirilmesi ile ana gövdenin oluşturulması
- **Boya:** Metalik gövdenin boyanması
- **Montaj:** Plastik, metal, elektrik-elektronik donanım, motor, şanzıman vb. parçaların gövdeye montajı



Şekil 1. Robotik Nokta Kaynak Uygulaması [4-5]



Özellikle gövde imalatında kullanılan kaynak bağlantılarından beklenen özellikler kısaca şu şekilde açıklanabilir [6]:

- Yapısal karakteristikler
 - ✓ Mekanik dayanım
 - ✓ Yorulma dayanımı
 - ✓ Eğilme, burulma, rijitlik
- Korozyon Dayanımı
- Sızdırmazlık
- Estetik

2.1 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi

Şekil 2'de, TOFAŞ'ta direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak yapılabilir geometriler ve izin verilen kalınlık oranları gösterilmektedir. Özel durumlarda şekilde belirtilen kalınlık oranları düşürülebilmektedir. Üç sac parçalı birleştirmelerde, en ince sac ortada konumlandırılmalıdır. Birleştirmelerde tek bir sacın minimum kalınlığı 0,6 mm, maksimum toplam sac

kalınlığı ise 6 mm'dir. Ancak istisnai durumlarda toplam 10 mm kalınlığa çıkmak mümkündür. Parametreleri belirtilen standarda uygun olmayan saclar da kaynak yapılabilir; fakat daha uzun ve daha kompleks işlemlere ihtiyaç duyulur.

Kaynak ile birleştirilecek parçalar fonksiyonel bir sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Bu sınıflandırma, kaynak bölgesine gelen yük dağılımına ve kullanım ve/veya görünüm açısına göre yapılmaktadır. TOFAŞ'ta kullanılan sac kalınlığı ve çekirdek çapı oranları ise Tablo 2'de gösterilmektedir.

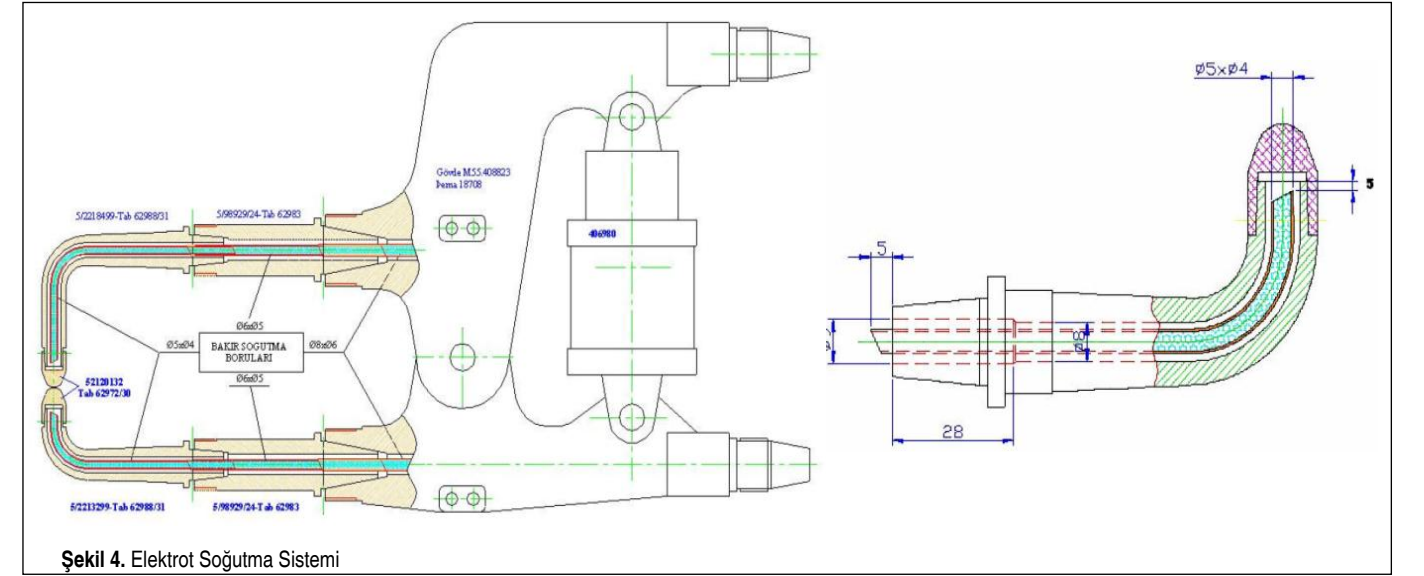
Punta kaynak kalitesi açısından her operasyonun ilgili pense-sinde uygun elektrot kullanılmalıdır. Tablo 3'te elektrot ucu seçimi ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 3. Elektrot Ucu Seçim Tablosu

Sac Kalınlığı	Elektrot Çeşidi
1.5 mm'ye kadar	Z-trode
0.6 mm ve altındaki saclar	N-trode
1.5 mm ve üzerindeki saclar	N-trode



Şekil 3. Elektrot Tipleri: a) Z-Trode (Φ6 mm), b) N-Trode (Φ8 mm)



Şekil 4. Elektrot Soğutma Sistemi

1	2	3	4	5
A = B = C	A < B < C	B < A < C	C < A < B	A = B < C
A/C ≥ 1/2	A/C ≥ 1/2	A/C ≥ 1/2	C/B ≥ 1/2	A/C ≥ 1/2
6	7	8	9	10
A < B = C	A = C < B	B < A = C	A = B	A < B
A/C ≥ 1/2	A/B ≥ 1/2			A/B ≥ 1/3.2

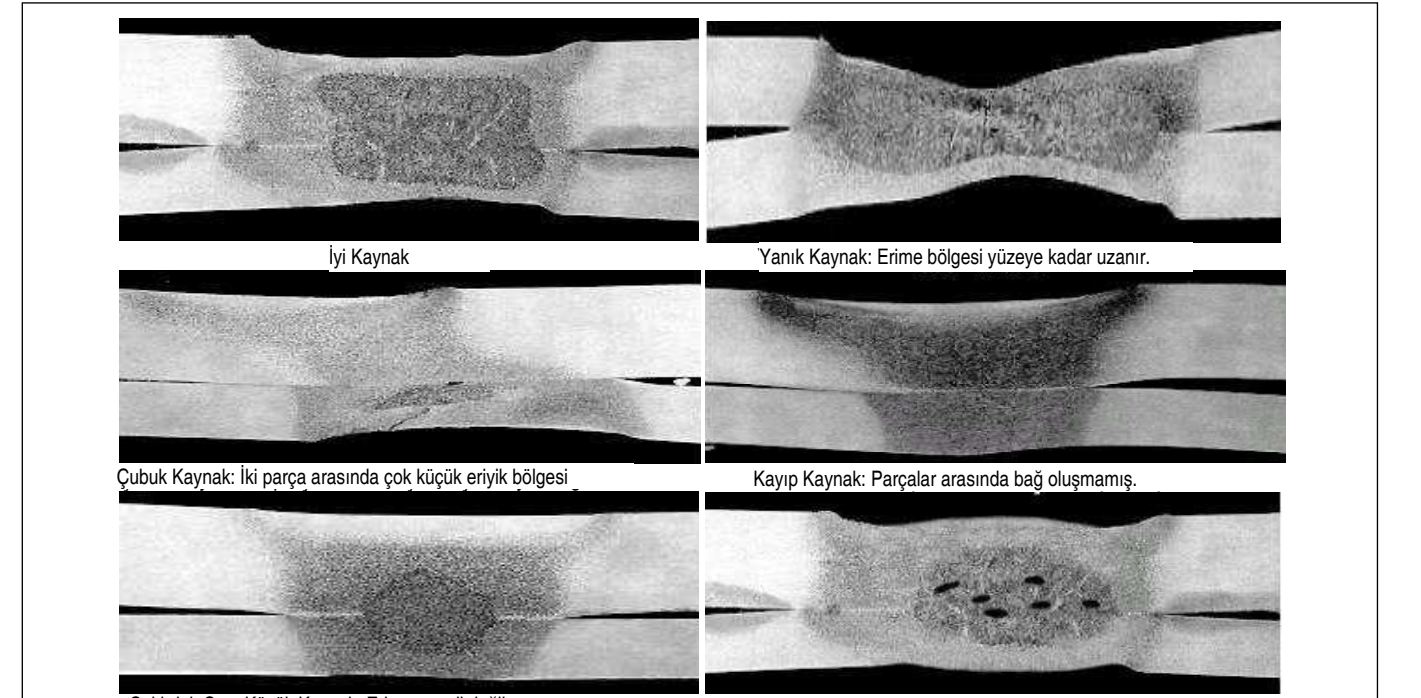
Şekil 2. Direnç Nokta Kaynağı Standart Kalınlık Oranları

Tablo 2. Sac Kalınlığı ve Çekirdek Çapı

Sac Kalınlığı (mm)	Minimum Çekirdek Çapı (mm)	Optimum Çekirdek Çapı (mm)
0.7	3.5	4.6
0.8	3.8	4.9
0.9	4	5.2
1	4.2	5.5
1.2	4.6	6
1.5	5.2	6.7
1.8	5.7	7.4

Gövde imalatında %95 oranında Z-trode (Φ6 mm) ve N-trode (Φ8 mm) elektrotlar kullanılmaktadır. Z-trode tipi elektrotlar görünüm itibariyle daha sivri tiptedir, N-trode ise uç kısmı Z-trode elektroda göre daha düzdür. Şekil 3'te Z-trode ve N-trode elektrot uçları görülmektedir.

Günümüzde kullanılan bu elektrotlara çeşitli kaplamalar, ısı işlemleri ve kroyojenik işlemler uygulanarak aşınma ömürlerinin artırılması sağlanmaktadır. Bu çalışmalar rekabetin çok fazla olduğu otomotiv sektöründe çok önemlidir. Ortalama bir araçta 4000-6000 arasında punta kaynak olduğu düşünülürse, bu uçların ömürlerinin artırılması ciddi maliyet indirimleri sağlamaktadır.



Şekil 5. Uygulama Parametreleri Değişimine Bağlı Olarak Farklı Kalitede Gerçekleşen Nokta Kaynak Çeşitleri [7]

2.2 Elektrot Soğutma Sistemleri

Elektrotların soğutulması işlemi, kaynaklama esnasında elektrot üzerinde oluşan yüksek sıcaklığın malzeme iç yapısını bozmasını, elektrodun kullanım ömrünü uzatması ve kaynak kalitesini arttırması için yapılmaktadır. Etkili bir soğutma için soğutma suyunun debisi, debisinin minimum 3 lt/dak olması istenmektedir. Soğutma borusunun elektroda mesafesi ise 5 mm olmalıdır. Şekil 4'te elektrot soğutma sistemi geometrik ölçüleri gösterilmektedir [6].

2.3 Kaynak Kalitesinin İzlenmesi

Şekil 5'te görüldüğü gibi, uygulama sırasında proseste meydana gelen değişiklikler nokta kaynağından beklenen performansın elde edilmesini engellemektedir. Bu nedenle, proses parametrelerinin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Araç üreticileri belirledikleri periyotlar ile bu kontrol işlemlerini gerçekleştirirler. Fakat istenilen sonucun elde edilmediğinden emin olmak için de nokta kaynaklarının istenilen özelliklerde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini kontrol altında tutmak istemektedirler.

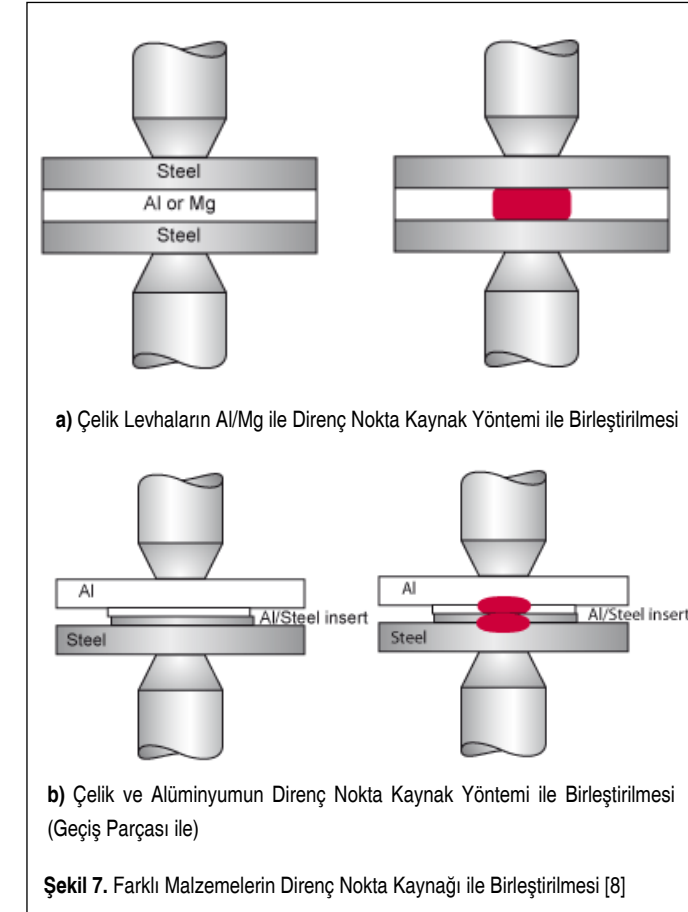
Şekil 6'da gösterildiği gibi, nokta kaynak kalitesini ölçme yöntemlerinden birisi de tahribatlı kontroldür. Tahribatlı kontrol sonucunda, nokta kaynağının gerçekleştiği kaynak çekirdek çapı ve iki parçanın kopma şekli bize kaynak kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Eğer uygun parametreler kullanılmış ve uygun bir işçilik yapılmış ise başarılı bir nokta kaynağı elde edilebilir. Fakat elektrotlar sac parçalara dik tutulmamış ise deformasyonlu nokta kaynağı, elektrotlar arasında istenilenden fazla bir kuvvet uygulanmış ise kuv-

vet yükselmeli nokta kaynağı ve kaynak sırasında elektrotun iletken bir yüzeye teması söz konusu ise şasele nokta kaynağı elde edilir. İstenilmeyen bu kaynaklarda nokta kaynağının çekirdek çapı küçük olduğundan kaynak kopabilir. Bu yöntem, genellikle parametreler belirlendikten sonra parametrelerin başarılarından emin olmak için kullanılmaktadır. Ayrıca, araç üreticileri belirli periyotlar ile üretim hattından aldıkları komple bir araç gövdesine tahribatlı kontrol uygulayarak nokta kaynak kontrol işlemlerini gerçekleştirirler. Fakat takdir edilmelidir ki bu yöntem, hem pahalı hem de zaman alıcı bir yöntemdir. Dolayısıyla, günde binden fazla araç üretimi gerçekleştiren firmalarda hem ucuz hem de kolay uygulanabilmesi nedeni ile tahribatsız bir yöntem olan ultrasonik kontrol yöntemi uygulanmaktadır. Böylece bir uygunsuzluk yakalandığında, geriye dönüp önlem almak ve çok az sayıda hatalı üretimi yakalayarak müşteriye gitmeden düzeltmek mümkün olmaktadır.

Nokta kaynağının kalitesi hakkında bir tahminde bulunabilmek için bilinmesi gereken en önemli şey kaynak çekirdeğinin üç boyutlu ölçüleridir [3]. Ultrasonik kontrol yönteminde kaynak çekirdeğinin bu ölçüleri, kaynak çekirdeği içerisinde ana metale dik ilerleyen ultrasonik dalgalara ait yankıların ses mesafesi ve zayıflama özellikleri ölçülerek belirlenebilir. Tipik bir ultrasonik nokta kaynağı test sistemi iki ana elemandan oluşur; bir normal prop ve bir ultrasonik test cihazı. Bununla birlikte, hem prop hem de ultrasonik test cihazı standart ultrasonik testler için gerekli olmayan bazı ek özelliklere sahip olmalıdır. Örneğin kullanılan prop, test edilecek malzeme kalınlığına uygun frekans ve kristal çapına; ultrasonik test cihazı ise yüksek çözünürlüklü bir ekrana sahip olmalıdır.

3. FARKLI MALZEMELERİN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Otomotiv sektöründe, farklı malzemelerden ve kalınlıklardan oluşan karışım kombinasyonlarının birleştirilmesi gerekebilmektedir. Buna örnek olarak, derin çekme çelikleri ile krom-nikel-çelikleri veya kaplamalı çelik saclar ve alüminyum/



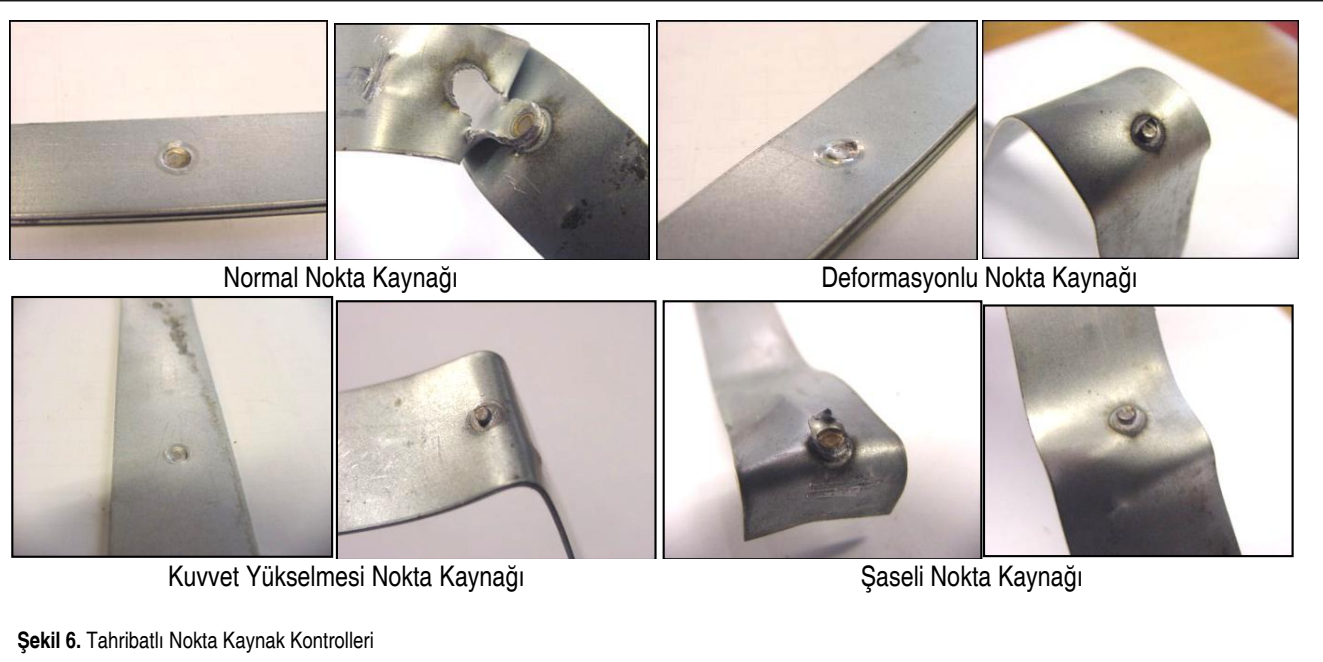
alüminyum alaşımları gösterilebilir. Bunun yanı sıra, yüksek alaşımlı çelik ve magnezyum birleştirmeleri üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Çeliği alüminyum veya magnezyuma kaynatmak, konvansiyonel direnç nokta kaynağı ekipmanları ile gerçekleştirilebilmektedir. Nitrojen bakımından zenginleştirilmiş tabaka, çelik ile Al/Mg arasında oluşacak intermetalik fazları engelleyerek birleştirmeyi (kaynak edilebilirliği) mümkün kılar. Kaynak bölgesi mukavemeti alüminyum/alüminyum birleştirmelerinkine kadar sağlamdır. Farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise birleştirilecek çelik-alüminyum arasına bir geçiş parçası koymaktır. Şekil 7'de farklı malzemelerin direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleri gösterilmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv sektöründeki araç gövde imalatında en önemli birleştirme yöntemi olarak kullanılan direnç nokta kaynağı tartışılmıştır. Araç başına 4000 ila 6000 adet arasında nokta kaynağının bulunduğu düşünüldüğünde bu yöntemin önemi daha da artmaktadır. Araştırmacılar nokta kaynak optimizasyonu ile modal analiz yapmak suretiyle, burulmaya direnç, güvenlik ve yorulma gibi kaynak performans kriterlerini kontrol altında tutarak araçta uygulanan nokta kaynak adedini düşürmek istemektedirler. Ayrıca, direnç nokta kaynağı farklı malzemelerin birleştirilmesinde de bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmada, punta kaynak işleminde kullanılan farklı elektrotlar, bunların soğutulması, ömürleri, seri üretimde punta kaynak kalitesini tespit etmek ve arttırmak için TOFAŞ özelinde yapılan işlemler de ele alınmıştır.

KAYNAKÇA

1. Donders, S., Brughmans, M., Hermans, L., Tzannetakakis, N. 2005. "The Effect of Spot Weld Failure on Dynamic Vehicle Performance," IMAC-XXIII, the 23rd International Modal Analysis Conference, 31 January-3 February 2005, Orlando.
2. Geißler, G., Hahn, T. 2011. "Process Development for Multi-Disciplinary Spot Weld Optimization With CAX-LOCO, LS-OPT and ANSA," 8th European Users Conference, 23-24 May 2011, Strasbourg, France.
3. Sonat, M., Doyum, A. B. 1999. "Direnç Punto Kaynaklarının Ultrasonik Muayenesi," Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, TMMOB MMO, 11-14 Kasım 1999, Ankara, s. 97-106.
4. <https://www.robots.com/articles/viewing/flexible-spot-welding-with-the-motoman-vs50-robot>, son erişim tarihi: 11.10.2015.
5. <https://www.oelcheck.de/en/knowledge-from-a-z/lubricants-on-duty/industrie/kuka-all-that-moves-in-automation.html>, son erişim tarihi: 11.10.2015.
6. Ünlükal, E. 2007. "Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Arttırılması," Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Buckley, J., Servent, R. 2008. "Improvements in Ultrasonic Inspection of Resistance Spot Welds," The 2nd International Conference on Technical Inspection and NDT, 21-22 October 2008, Tehran, Iran.
8. European Aluminium Association. 2015. EAA Aluminium Automotive Manual-Joining, Version 2015, Joining Dissimilar Materials.



Şekil 6. Tahribatlı Nokta Kaynak Kontrolleri