

GALVANİZE ÇELİKLERİN NOKTA KAYNAĞINDA ELEKTRODLARIN DEFORMASYONU

Onur FİDANER^{*}, Memduh KURTULMUŞ^{}, A.İrfan YÜKLER^{***}**

^{*}onurf@marmara.edu.tr Marmara Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü-İstanbul

^{**}memduhk@marmara.edu.tr Marmara Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü-İstanbul

^{***}iyukler@marmara.edu.tr Marmara Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü-İstanbul

ÖZET

Elektrik direnç nokta kaynağı sacların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak sırasında elektrodların iş parçalarına temas eden yüzeyinde lokal yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Kaynak çevrimi boyunca elektrodlar iş parçalarına belli bir basınç uygularlar. Basınç ve sıcaklık elektrod yüzeyinde akma yaparak elektrod çapının büyümesi şeklinde deformasyon oluştururlar. Nokta kaynağı en fazla otomotiv sektöründe uygulanır. Bu sektörde galvanize sac tüketimi yüksek miktardadır. Galvaniz sacların kaynağında elektrodların uç sıcaklıkları çok yüksek değerlere çıktığından ve elektrod temas yüzeyinde pirinç alaşımları olduğundan elektrodlar hızla deforme olur.

Hazırlanan tebliğde galvanize sacların nokta kaynağı sırasında kaynak çekirdeğinin teşekkülü, elektrod deformasyonunda etkin olan mekanizmalar ve deformasyon hızının azaltılması için alınan tedbirler kısaca açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Nokta kaynağı, elektrod deformasyonu, elektrod ömrü

ABSTRACT

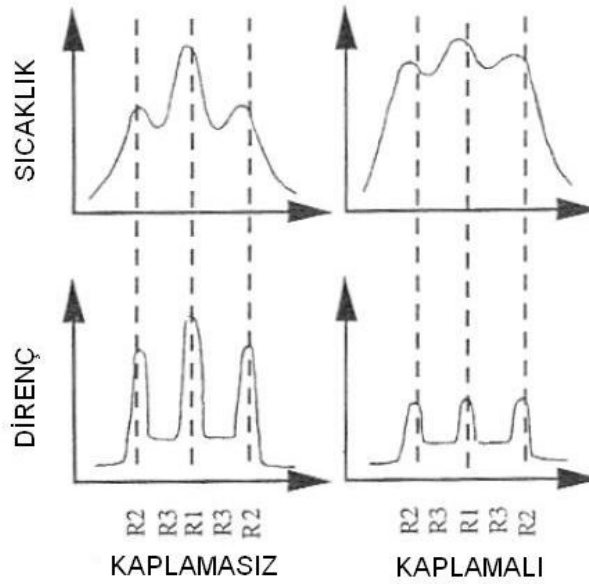
In the resistance spot welding process, copper based electrodes both conduct current and deliver force. The resultant heat and pressure of the welding process increase the diameter of the electrode face which decreases the useable life of the electrode. Electrodes used to weld galvanized sheets experience higher temperatures and pressures than uncoated steel sheets. So more deformations happen in those electrodes. In galvanized steel welding there is also a chemical attack from the zinc layer to the electrode face which forms different brass layers on the face. As a result in galvanized steels welding electrodes wear very quickly.

Today the majority of resistance spot welding takes place within the automotive industry. To produce corrosion-resistant vehicles automakers have made increasing use of galvanized steel sheets. The short electrode life of galvanized steels leads to variable weld quality and high maintenance cost. In this paper the electrode deformation mechanisms occurring in galvanized steel sheets spot welding and the methods which extend electrode life are explained.

Keywords: Spot welding, Galvanized steel spot welding, Electrode life

1. NOKTA KAYNAĞINDA ÇEKİRDEK OLUŞUMU

Nokta kaynağının prensibi, elektrodların yaptığı basınç ile bir arada tutulan sacların geçen elektrik akımına karşı gösterdiği dirençten dolayı oluşan ısı ile sacların temas yüzeyinde ergime oluşması ve akım kesildikten sonra sıvı metalin katılaşarak parçaları birbirlerine birleştiren çekirdeğin elde edilmesidir [1]. Yapılan tariftten de anlaşıldığı gibi iş parçalarından geçen akımının şiddeti, iş parçalarının gösterdiği direnç ve elektrodların uyguladığı basınç şiddeti nokta kaynağının önemli parametreleridir. Akım geçiş sırasında iş parçalarında Joule kanununa (1) uygun olarak ısı oluşur. Oluşan ısıya bağlı olarak iş parçası ısınır. İş parçalarında oluşan sıcaklık homojen değildir. İş parçalarının birbirine temas ettiği noktada maksimum ısınma gerçekleşir ve ergime bu noktada meydana gelir.

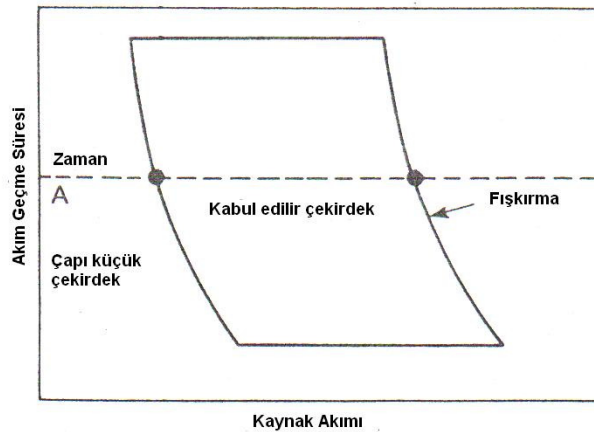


Şekil 1. Kaplamasız ve kaplamalı çeliklerde nokta kaynağı sırasında oluşan dirençler ve oluşan sıcaklık dereceleri [2]. R1: iş parçaları temas direnci, R2: iş parçaları direnci, R3: elektrod-iş parçası temas direnci.

Aynı kimyasal bileşimde ve eşit kalınlıkta olan kaplamasız ve galvanize olmuş alaşımsız çelik sacda akıma karşı gösterilen direnç ve nokta kaynağı yaparken iş parçalarında oluşan sıcaklığın dağılımı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir [2]. Çelik sacların birbirine ve elektrodla temas ettiği noktalarda direnç sacın kendisine nazaran daha yüksektir. Galvanize sacda dirençlerin kaplamasız sacdan daha düşük olduğu Şekil 1'de görülmektedir. Bu nedenle galvaniz saclarda akım şiddeti ve akım geçiş süresi uzun tutularak kaplamasız saclardaki kadar ısı oluşturulup yeteri miktar sıvı metal elde edilir [3]. Galvaniz saclarda akım geçişinin ilk 3 periyodunda yüzeydeki çinko tabakası ısınır ve deforme olur. Akımın 5'inci periyodunda elektrod ve iş parçalarının akım geçen temas yüzeyindeki çinko tabakaları da erir [3]. İş parçalarının temas yüzeyinde çekirdek oluşması için bu bölgede meydana gelen sıvı çinkonun bulunduğu bölgeden uzaklaştırılması gerekir. Çinkonun erimesi ve birleştirme bölgesinden uzaklaştırılması için akım geçiş süresi uzun tutulur. Sıvı çinkonun uzaklaştırılması için elektrod basıncı galvaniz saclarda kaplamasız saclara nazaran daha yüksek olur. Sıvı çinko uzaklaşınca çelik çeliğe temas eder. Bu temastan sonra çeliklerin ısınması ve erimesi gerçekleşir. Eriyen sıvı çelik sacları birleştirmeyi sağlayan çekirdeği oluşturur. Bu nedenle galvaniz sacların akım geçiş süresi kaplamasız saclardan daha uzun tutulur. Galvanize saclarda elektrod basıncının yüksek

olması çelik-çelik temas yüzeyindeki temas direncinin düşük olmasına yol açar [4]. Bu nedenle akım şiddeti yükseltilerek direnç azlığının menfi etkisi önlenir.

Yukarıdaki paragrafta anlatılanların ne kadar doğru olduğunu Şekil 2'deki nokta kaynak parametre diyagramında [2] görmekteyiz. Aynı kalınlık ve kimyasal bileşimdeki alaşımsız saclara sabit elektrod basıncı uygulanarak yapılan kaynaklardan Şekil 2'deki grafikler çizilmiştir. Her sac için optimum akım şiddetini ve akım geçiş süresini tayin etmek için bu diyagramlar hazırlanmıştır. Parametre diyagramlarında sabit elektrod basıncı ile kaynak yapılırken kaynak akım şiddeti ve akım geçiş süresine bağlı olarak oluşan kaynak çekirdek çapının değişimi görülmektedir. Düşük akım şiddeti veya kısa akım geçiş süresi ile kaynak yapılması halinde küçük çaplı çekirdek elde edilir. Akım ve süre çok uzun olursa bu sefer çekirdekte fişkırmaya olmaktadır. Küçük boyutlu çekirdeğin ve fişkıran çekirdeğin mukavemeti düşük olduğundan [5] bu çekirdekler istenmez. Optimum kaynak parametreleri bir dizi deneyden sonra tespit edilerek Şekil 2'deki grafikler hazırlanmıştır. Parametre diyagramlarında Şekil 2'de gösterildiği gibi optimum çekirdek çapını sağlayan akım şiddeti ve akım geçiş süre değerleri tespit edilmektedir. Galvaniz çelik kaplamasız sacdan daha yüksek akım şiddetinde ve akım geçiş süresinde kaynaklandığında optimum çekirdek boyutu elde edilmektedir.



Şekil 2. Tipik bir nokta kaynağında kabul edilebilir kaynak parametreleri[2]

Kaynak sırasında elektrodlar da ısınmaktadır. Elektrodlarda en büyük sıcaklık iş parçalarına temas eden yüzeyde oluşmakta ve yüzeyden itibaren sıcaklık düşmektedir. Galvaniz saclar daha yüksek akım şiddetinde ve daha uzun akım geçiş süresi ile kaynaklandığından iş parçasına temas eden elektrod yüzeyi daha fazla ısınmaktadır. Bu durum Şekil 1'de şematik olarak görülmektedir. Yapılan deneylerde kaplamasız sac kaynağında elektrod temas yüzey sıcaklığının 700 °C olurken galvaniz sac kaynağında ise sıcaklığın 800°C'nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir [6].

2. NOKTA KAYNAĞINDA KALİTE

Nokta kaynağında kalite tanımı oldukça kaba bir terimdir [7]. Bir kaynağın kalitesi terimi o kaynağın hiçbir hataya sahip olmamasını ve servis sırasında kendisinden beklenen özellikleri yerine getirebilmesine bağlıdır. Alaşımsız ve alaşımlı çelik sacların nokta kaynağının statik ve dinamik mukavemeti genellikle o kaynağın hizmet özelliklerini tamamen tanımlamaktadır. Alaşımsız ve kaplamasız çelik saclarda kalınlığa bağlı olarak

kaynak statik mukavemetini belirleyen standartlar mevcuttur [8]. Yüksek mukavemetli az alaşımlı ve galvanize saclar için benzeri standartlar mevcut değildir.

Çelik saclarda nokta kaynak statik mukavemetini belirleyen ana faktör çekirdek çapıdır [7]. Bu nedenle nokta kaynak kalitesi yaygın olarak çekirdek çapı ile tanımlanmaktadır [9]. Çelik saclarda çekirdek çapı(d) ve sac kalınlığı(t) arasında istenen ilişki aşağıdaki formülde gösterilmiştir [10].

$$d = C \sqrt{t} \quad (1)$$

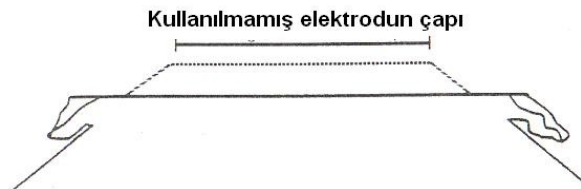
d = Çekirdek çapı, mm

t = Kaynak edilen çelik sac kalınlığı, mm

C = Katsayı

Formüldeki katsayı 4-6 arasında değişir. Optimum katsayı 5'tir. Katsayı 4'ün altına düşerse çekirdek çapı küçük olduğundan statik mukavemet düşük olur. Nokta kaynak çekirdeği temelde elektrodların temas çapına bağlıdır. Bu nedenle elektrodların saca temas eden yüzey çapları optimum çekirdek çapının biraz üzerindeki çaplarda üretilerek istenen çekirdek çapı elde edilir [1].

Kaynak yapıldıkça elektrodta deformasyonlar meydana gelir. Elektrodun boyu kısalmakta ve temas yüzey çapı büyüyerek elektrod deforme olmaktadır. Mantarlaşıma adı verilen bu deformasyon Şekil 3'te görülmektedir [11]. Mantarlaşıma sırasında elektrodun kenarlarında kanatlar oluştuğu Şekil 3'te görülmektedir. Kaplamasız ve galvanize yüksek mukavemetli çelik saclarda kaynak sayısına bağlı olarak elektrod temas çapının büyümesi Şekil 4'te görülmektedir [12]. Galvanize sacda çap büyümesi çok hızlı olarak büyümektedir. Bütün galvaniz saclarda çok hızlı mantarlaşıma gerçekleşmesi bu sacların en önemli nokta kaynak sorunudur [11,13].

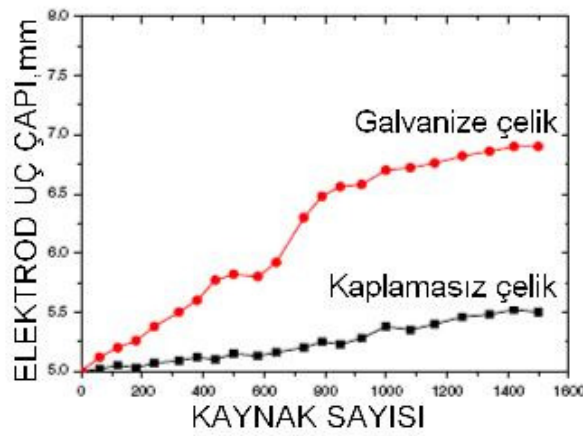


Şekil 3. Elektrod uçlarında mantarlaşıma ve kanat oluşumu [11].

Deforme olan elektrodlar ile sabit akım şiddetinde kaynak yapılırsa akım yoğunluğu düştüğünden elde edilen çekirdek çapı ve kaynak mukavemeti azalır. Eğer mantarlaşıma ile beraber akım şiddeti arttırılırsa istenilen boyutta çekirdek elde edilebilir. Ancak çekirdek çapının üst sınırı olduğu 1 numaralı formülde görülmektedir. Nokta kaynağında bir elektrodun ömrü verdiği kaliteli kaynak sayısı ile tanımlanır. Tablo 1'de bazı çelik saclarda elde edilen tipik nokta kaynak elektrod ömür değerleri görülmektedir [8]. Galvanize sacların kaynağında elektrodun mantarlaşması hızlı olduğundan elektrod ömürleri çok kısa olmaktadır. Deforme olan elektrodlar talaş kaldırma işlemi ile başlangıç yüzey çapına döndürülür [14]. Elektrod temas yüzeyi ile su dolanım boşluğu arasında kritik kalınlığa ulaşına kadar bu talaş kaldırma işlemi tekrarlanabilir.

Tablo1. Bazı çeliklerin tipik nokta kaynak elektrod ömrü(11).

Çelik Cinsi	Elektrod Ömrü (Kaynak Sayısı)
Kaplamasız alaşımsız	20000 – 50000
Kaplamasız HSLA	20000 – 35000
Sıcak daldırma veya elektrogalvaniz	1000 – 1600
Tavlı Galvaniz (Galvannealed)	2000 – 4600



Şekil 4. Kaplamasız ve galvanize yüksek mukavemetli çelik saclarda elektrod mantarlaşması [12].

4. GALVANİZE SACLARDA ELEKTROD DEFORMASYONU

Galvaniz sacların mantarlaşmasında etkin olan mekanizmalar üç tanedir [11] ve bunlar aşağıda açıklanmıştır:

1. Elektrod yüzeyinin yumuşaması.
2. Elektrod yüzeyinde alaşımların oluşması.
3. Elektrod yüzeyinde çukurlaşmalar.

4.1. Elektrod Yüzeyinin Yumuşaması

Nokta kaynak elektrodları yüksek ısı ve elektrik iletim özelliklerine sahip bakır alaşımlarından üretilir. Galvaniz saclarda yüksek akım şiddetinde ve uzun akım süresi ile kaynak yapıldığından elektrod temas yüzey çapının sıcaklığı çok yükselmektedir. Isınan yüzeyin akma mukavemeti düşmekte ve elektrod basıncının tesiri ile mikro seviyede plastik deformasyon meydana gelir. Yüzeyin ucuna doğru malzeme hareketi olur [11]. Bu deformasyon ile elektrodun boyu kısılırken çapı artar (Bkz. Şekil 3). Galvaniz saclarda elektrod sıcaklığı daha yüksek olduğundan bu deformasyon daha hızlı meydana gelir.

4.2. Elektrod Yüzeyinde Alaşımın Oluşması

Bu tip deformasyon sadece kaplamalı çelik saclarda görülür. Galvaniz sacların nokta kaynağı sırasında sac elektrod temas yüzeyindeki çinko erir. Bu sıvı çinko ile elektrod yüzeyi temas halinde olduğu için elektrod yüzeyinde CuZn alaşımları oluşur [2]. Bu alaşımlar CuZn denge diyagramına bağlı olarak oluşur. Difüzyona bağlı olarak elektrod yüzeyinde bakır oranı azalan farklı pirinç tabakaları oluşur. İlk önce elektrod yüzeyinde bakırca zengin ince α pirinç tabakası oluşur. Daha sonra β ve γ tabakaları oluşur. En son yüzeyde maksimum % 30 Cu içeren çinko oranı yüksek bir tabaka oluşur. Elektrod yüzeyinde oluşan alaşımlar Şekil 5'te şematik olarak gösterilmiştir [11]. Bu tabakada sacdan yayılan demir ve alüminyum atomları ile elektroddan yayılan krom atomları da bulunur. Bu katmanların kalınlığı 20–70 μm arasında değişir. Bu alaşım katmanları ilk 10 kaynak sırasında oluşur. Kaynak yaptıkça bu tabaka yavaş yavaş elektrod ucunun kenarına basınç tesiri ile artarken yeni katmanlar oluşur. Yani alaşımlama her kaynak işleminde gerçekleşir. Galvaniz sacların nokta kaynağı sırasında elektrod yüzeyinde oluşan alaşımlar mantarlaşmanın ve kanat oluşumunun en hakim mekanizmasını oluşturmaktadır.

DİĞER ÇİNKO ALAŞIMLARI
γ PİRİNÇ
β PİRİNÇ
α PİRİNÇ
ELEKTROD

Şekil 5. Elektrod temas ucunda teşekkül eden alaşımlar [11].

4.3. Elektrod Yüzeyinde Çukurlaşmalar

Galvaniz sac yüzeyindeki çinko tabakası kaynak sırasında erimekte ve kaynak soğutulurken katılaşmaktadır. Eriyen çinko soğuma sırasında elektrodun sac yüzeyine yapışmasına sebep olmaktadır. Soğuma bitince elektrod sac yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır. Yapıştırma tabakası bu sırada kırılmaktadır. Elektrod yüzeyindeki bir miktar pirinç tabakası kopmakta ve sac yüzeyine yapışmaktadır. Elektrod yüzeyinden kopan malzemenin elektrod yüzeyinde çukurlaşmalara sebep olduğu Şekil 6'da görülmektedir [15]. Elektrod yüzeyindeki çukurlar kaynak çekirdeğinin oluşumunu etkilediğinden çekirdekte kesit tam dolu olmayıp bazı boşluklar içerebilmektedir [12]. Bu durum kaynak mukavemetinde düşmelere yol açmaktadır.



Şekil 6. Elektrod temas yüzeyinde oluşan çukurlaşmalar [15].

5. Elektrod Ömrünü Arttırma Yöntemleri

Galvaniz sac kaynağında kısa olan elektrod ömrünü arttırmak için alınan tedbirler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

5.1. Uygun Galvaniz Tabakası

Galvaniz sacın tabaka kalınlığı arttıkça kaynak akım şiddetinin artırılması gerekmektedir [2]. Akım şiddeti artınca elektrod ucundaki maksimum sıcaklık yükselmekte ve deformasyon artmaktadır [16]. Bu nedenle aşırı kalın galvaniz tabakasından kaçınılmalıdır.

Galvaniz tabakasının kimyasal bileşimi de önemlidir. Tabaka ne kadar saf çinkoya yakın olursa elektrod yüzeyinde pirinç alaşımı o kadar kolay olur. Bu nedenle sıcak daldırma galvaniz ve elektrogalvaniz sacların elektrod ömrü çok kısa olur (Bkz. Tablo 1). Galvaniz tabakasinda demir ve nikel varsa bunlar galvaniz tabakası eriyince sıvı çinkoya geçerler. Bu çinkonun elektrod yüzeyinde pirinç alaşımını engelleyerek [17,2] elektrod ömrünü uzatırlar. ZnNi tabakalı galvaniz sacların ve tavllanmış galvanize sacların nokta kaynağında elektrod ömrü sıcak daldırma sac kaynağına nazaran % 100 uzun olur (Bkz.Tablo1).

5.2. Uygun Elektrod Dizayını

Farklı elektrod tipleri nokta kaynak deneyleri yapıldıktan sonra en uzun elektrod ömrünün 90°-120° açısı olan ve tepesi kesik koni elektrod geometrisi olduğu tespit edilmiştir [18]. Bu elektrodlarda yüzey ile su soğutma kanalı arasındaki mesafenin önemli olduğu tespit edilmiştir [19]. Standart elektrodlarda bu mesafe 10 mm'dir. Bu mesafe 30 mm'ye çıkarıldığında elektrodun soğuma hızı artmaktadır. Elektrod daha hızlı soğuduğundan yüzeyde oluşan maksimum sıcaklık klasik elektrodla nazaran 100°C daha düşük olduğu için elektrod ömrü uzamaktadır [19].

5.3. Elektrod Yüzeyini Kaplama

Elektrod yüzeyi çok ince bir tabaka ile kaplanırsa elektrodun bakırı ile sıvı çinkonun teması kesilir. Böylece yüzeyde pirinç alaşımı oluşumu engellenerek elektrod ömrü

uzatılmaktadır. Elektrodların yüzeyinde PVD yöntemi ile krom [20] ve elektrokıvılcım yığıma yöntemi ile TiC kaplama [21] çalışmaları yapılarak elektrod ömrü uzatılmıştır.

5.4. Elektrod Yüzeyini Kaplama

Otomotiv firmaları galvaniz sac kaynağında farklı politikalar gütmektedir [22]. Bazı firmalar belli mantarlaştırmadan sonra elektrod değiştirmektedir. Bazı firmalar ise ilk önce $4\sqrt{t}$ çekirdek çapı veren elektrod yüzey çapı ile kaynağa başlamaktadır. Elektrod mantarlaştıkça akım şiddetini kademeli arttırarak elektrod ömrünü uzatmaktadırlar. Elektrod temas çapı $6\sqrt{t}$ olunca elektrodu değiştirmektedirler.

5.5. Uygun Elektrod Seçimi

Kademeli akım şiddeti arttırılarak kaynak yapılması halinde Cu-Cr-Zr ve Cu-Al₂O₃ bileşimli elektrodlar kullanılmaktadır [21]. Bu kaynaklarda elektrod yüzey maksimum sıcaklığı yüksek olduğundan belirtilen elektrodlar uygun sonuç vermemektedir. Akım şiddeti arttırmayan iş yerleri Cu-Cr elektrodlarını kullanmaktadır [21]. Düşük maksimum sıcaklıklarda bu elektrodlar daha uzun ömür vermektedir.

6. SONUÇ

Hazırlanan tebliğde galvanize sacların elektyrik direnç nokta kaynağı sırasında kaynak çekirdeğinin oluşumu ve bu oluşum sırasında kaynak elektrodlarında oluşan aşınma mekanizmaları açıklanmıştır. Kaynak sırasında ısınan bakır elektrodların yüzeyinde farklı bileşimlerde pirinç alaşımları oluşmaktadır. Bu pirinç tabakası elektrodların hızla aşınmasına sebep olmaktadır. Galvaniz sacların elektrik direnç nokta kaynak kalitesini azaltan bu elektrod aşınmasının yavaşlatılması için alınan muhtelif tedbirler kısaca tanıtılmıştır.

7. KAYNAKÇA

[1] **Metals Handbook, Welding, Brazing and Soldering**, 9th Edition, ASM, Metals Park, 469-493, (1983).

[2] CHAN, K.R., Weldability and Degradation Study of Coated Electrodes for Resistance Spot Welding, MSc. Thesis, University of Waterloo, (2005).

[3] GALLAGHER, M., Electrode Wear in the Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, M.Sc Thesis, Windsor, Canada, (2003).

[4] GUGEL, M. D., Electrode Wear Mechanisms During the Resistance Spot Welding of Hot-dipped Galvanized Steel, Ph.D. Thesis, Michigan Technological University, (1995).

[5] DICKINSON, W., et. al., Characterization of Spot Welding Behavior by Dynamic Electrical Parameter Monitoring, **Welding Journal**, 59, 170-176, (1980).

[6] ALCINI, W. V., Experimental Measurement of Liquid Nugget Heat Convection in Spot Welding, **Welding Journal**, 69, 177-180, (1990).

- [7] ZHOU, M., et. al., Relationships Between Quality and Attributes of Spot Welds, **Welding Journal**, 82,72-77, (2003).
- [8] Resistance Welding, ANSI/AWS D87, American Welding Society, (2003).
- [9] LIN, P. C., Failure Mode Fracture and Fatigue Analysis of Resistance Spot Welds and Spot Friction Welds, PhD. Thesis, The University of Michigan, (2006).
- [10] <http://www.huysindustries.com>, Article 5, Erişim Tarihi 15.08 (2008)
- [11] WILLIAMS, N. T., Parker,J.D., Rewiev of Resistance Spot Welding of Steel Sheets, Part 2, **International Materials Reviews**, 49, 77-108, (2004).
- [12] ZHANG, X. Q., et. al., Characteristics of Electrode Wear in Resistance Spot Welding Dual Phase Steels, **Materials and Design**, (2006).
- [13] WILLIAMS, N. T., Parker,J.D., Rewiev of Resistance Spot Welding of Steel Sheets, Part 1, **International Materials Reviews**, 49, 47-75, (2004).
- [14] Handbook for Resistance Spot Welding, Miller Electric Company, Appleton, (2005).
- [15] <http://www.geschmidt.com/weldhelp/causes/elecwear>, (Erişim Tarihi: 18.09.2008)
- [16] MÜFTÜOĞLU, F., KESKİNEL, T., Effect of Coating Thickness on Electrode Life in the Spot Welding of Galvanized Steels, **Turkish Journal of Engineering and Environmental Science**, 31,183-187, (2007).
- [17] HOWE, P., Resistance Spot Weldability and Electrode Wear Mechanisms of ZnNi Sheet Steel, SAE Technical Paper Series, 910912, (1991).
- [18] HOLLIDAY, R., et al, Electrode Deformation When Spot Welding Coated Steels, **Welding in the World**, 35,160-164, (1995).
- [19] CHATTERJEE, K. L., Extending Electrode Life Tip Design and Dressing,**Welding and Metal Fabrication**, 68, 12-14, (2000).
- [20] FINLAY, R., et al, PVD Coating of Resistance Spot Welding Electrodes, **Australian Welding Journal**, 42,18-23, (1997).
- [21] <http://www.huysindustries.com>, Article 3, (Erişim Tarihi 15.08.2008).
- [22] ATHWAL, B. K. S., Characterization of Electrode Wear Morphology Via Sequential Life Testing, MSc. Thesis, University of Windsor, (2005).