

Çinko Kaplı Çeliklerin Kaynağı İçin Çözümler

Badri K. Narayanan¹, Judah Henry¹, Yen-Chih Liao¹, Daniel Galihher²

¹ Lincoln Electric Company, Cleveland, OH; ² Tower International, Livonia, MI.

ÖZET

Bu broşürde, otomotiv uygulamalarında çok sık kullanılan galvanizli çeliklerin birleştirilmesi ile ilgili farklı çözümleri inceleyen ve hem ark kaynağı hem de lazer kaynağı yöntemlerini içeren detaylı bir analiz yapılmıştır. Otomotiv şasisine ait bileşenlerde korozyon direncini artırmak için sıcak daldırma yöntemiyle üretilen galvanizli çeliklerin her geçen gün daha sık kullanılması ve yakıt verimliliği konusunda artan talepleri karşılamak için yüksek dayanıma sahip daha ince çeliklerin tercih edilmeye başlanması, yüzeyi kaplanmış malzemeler için uygun olan yeni kaynak çözümlerinin geliştirilmesini daha da önemli bir konu haline getirmiştir. Bununla birlikte, yüzeyi kaplı çeliklerin geleneksel prosesler ve sarf malzemeleri ile kaynak edilmesi her zaman kritik bir konu olmuştur. Çinko kaplı çeliklerin kaynağında; (1) yüksek sıçrama miktarı, (2) kalitesiz dikiş görüntüsü ve (3) yoğun oranda iç gözenek oluşumu gibi üç ana sorunla karşılaşılır. Ayrıca kaynak sonrasında plaka yüzeyinde biriken kalıntılar kaplama tabakası ile reaksiyona girerek korozyon direncini olumsuz yönde etkileyebilir. Çinko kaplı çeliklerin kaynağı sırasında sıçramayı, gözenek oluşumunu ve üretim verimliliğini kontrol eden ana mekanizmalar ve değişkenler tartışılmaktadır. Kaplanmış çeliklerin kaynağı ile ilgili iki yeni yaklaşım ortaya atılmıştır. Boru şeklindeki bir telin çinko oluşum süresini etkilemek için merkez hattı boyunca bilinçli olarak alaşımlandırılması ve kaynak işleminde AC dalga formu kullanarak kararlı damlacık aktarımı sağlayan gelişmiş güç ünitesinin kullanılması, kritik kaynak özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden yüksek ilerleme hızlarında özlü tel kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca, kaynak sonrasında uygulanan elektro-kaplama işlemlerinden kaynaklanan kalıntıların kaynak yüzeyi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Bu yöntem, otomotiv uygulamalarında kullanılan çinko kaplı malzemeler üzerinde kaynak yapmanın avantajlarını ve duyulan endişeleri belirtmek amacıyla kullanılan diğer çözümlerle karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Otomotiv şasisine ait bileşenlerde korozyon direncini artırmak için sıcak daldırma yöntemiyle üretilen galvanizli çeliklerin her geçen gün daha sık kullanılması ve yakıt verimliliği konusunda artan taleplerini karşılamak için yüksek dayanıma sahip daha ince çeliklerin tercih edilmeye başlanması, kaplanmış malzemeler için uygun olan yeni kaynak çözümlerinin geliştirilmesini daha da önemli bir konu haline getirmiştir. Şasiyi oluşturan bileşenlerin kaynağında en sık kullanılan standart işlem MIG kaynağı yöntemidir. Bu kaynak yöntemi yüzeyi kaplı parçalarda çok tutarsız sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, çinko 906°C gibi düşük bir kaynama sıcaklığına sahiptir ve bu nedenle yüzeyi çinko kaplı çeliklerin geleneksel yöntemler ve sarf malzemeleri ile kaynak edilmesi her zaman ciddi bir konu olmuştur. Buharlaştıran çinko, katılma aşamasında kaynak dikişinin içerisinde hapsolarak hem iç hem de dış gözeneklerin oluşmasına neden olur. Ayrıca çinko buharı nedeniyle şiddetlenen ark türbülansı sıçramayı anormal derecede artırır ve ark yönünde sapmaya neden olarak kaynak dikişinin profilini etkiler. Kaynak dikişindeki görsel ve iç kusurlar, kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini önemli ölçüde azaltır ve ana yapıyı oluşturan bileşenlerde erken arızalanmaya neden olabilir^[1]. Ayrıca kaynak sonrasında plaka yüzeyinde biriken kalıntılar kaplama tabakası ile reaksiyona girerek korozyon direncini olumsuz yönde etkileyebilir.

Galvaniz kaplı malzemelerde kullanılan kaynak yöntemleri değerlendirilirken verimlilik, mekanik özellikler, elektro-kaplama kabiliyeti ve ana malzeme özellikleri gibi çeşitli kriterler üreticiler açısından ön plana çıkmaktadır. Genel algı, onarılması gereken kaynak dikişlerinde çinkonun iç ve dış gözeneklerin oluşmasına neden olduğu ve dolayısıyla çinko kaplama tabakasının üretim verimini düşürdüğü yönündedir. Genellikle kaynak hızının düşürülmesiyle gözenek oluşumu azaltılır. Ancak bu durumda üretim veriminin de düşeceği göz ardı edilmemelidir. Geçmiş çalışmalar, iç gözeneklerin

kapladığı alanın toplam kaynak dikişi alanının %10'undan daha büyük olması durumunda bağlantının yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olduğunu göstermektedir^[2]. Ark kaynağı yöntemlerinin çoğu, kaynak bölgesinde ve dikişin arka tarafında plaka üzerindeki çinko tabakasını buharlaştırarak korozyona neden olacaktır. Korozyonu en aza indirmek için, kaynak işleminden sonra genellikle bir koruyucu kaplama veya elektro-kaplama işlemi yapmak gerekir. Geleneksel elektro-kaplama yöntemleri, yüzeyde biriken sıçramalardan ve cüruftan etkilenebilir. Kaplama yapan firmalar, kaynak edilmiş olan galvanizli çeliklerdeki elektro-kaplama işleminin kalitesini iyileştirmek amacıyla çeşitli temizleme yöntemleri geliştirmiştir.

Ana malzemenin ısıdan etkilenen bölgesine (ITAB) ait boyutları ve nüfuziyet derinliği gibi özellikleri, kaynak sırasında gerçekleşen ısı girişi ve işlem parametreleri ile yakından ilişkilidir. Kaynak işleminin daha yüksek ısı girdisi ile gerçekleştirilmesi ince saclarda yanma oyuğu oluşma ve delinme eğilimini artırır. Yaygın olarak kullanılan palslı MIG kaynağı yöntemi ve kendinden korumalı özlü tel ile ark kaynağı yöntemi başta olmak üzere otomotiv endüstrisindeki galvanizli sacların kaynağında kullanılan çeşitli kaynak çözümleri vardır. Bu çalışmada, özel bir metal özlü tel ve özel bir AC darbe dalga formu (Çözüm-B) ile gerçekleştirilen yeni bir kaynak prosesi ile ilgili gelişmeler detaylandırıyor. Bu kaynak yöntemi, bir AC dalga formuyla kararlı damlacık transferi sağlayan gelişmiş bir güç ünitesi kullanır ve kritik kaynak özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden yüksek ilerleme hızlarında özlü tel kullanılmasına olanak sağlar. Galvanizli parçaların kaynağında kullanılan her iki çözüme ait avantajlar ve dezavantajlar **Tablo 1**'de listelenmiştir.

Bu yeni yöntem (Çözüm-B), kaynak kabiliyetini, üretim verimini, iç ve dış gözenek oluşumunu kıyaslamak amacıyla diğer yöntemlerle karşılaştırılacaktır. Ayrıca elektro-kaplama işleminden sonra kaynaklı bağlantıların sahip olduğu korozyon direncine ilişkin bazı sonuçlara da yer verilecektir. Yüzeyi kaplı çeliklerin kaynağında kullanılan bir diğer ticari çözüm olan Çözüm-C ise sadece Çözüm-B ile karşılaştırma yapmak amacıyla ele alınacaktır. Bunlara ek olarak, AC dalga formunun metal özlü telle birlikte kullanılması sonucu elde edilen avantajlar, metal özlü telin negatif kutuplamada çalışan sabit voltajlı bir güç ünitesiyle birlikte kullanıldığı

Tablo 1. Galvanizli Malzemelerin Kaynağında Kullanılan Farklı Çözümlere Ait Avantaj ve Dezavantajlar

	Proses Bilgisi	Avantajlar	Dezavantajlar
Çözüm A	MIG Kaynağı DC(+) Pals	<ul style="list-style-type: none"> Standart donanım Standart dolu tel Temizlik gerekmez 	<ul style="list-style-type: none"> Fazla gözenek Sıçrama Yanma oyuğu Yüksek onarım ihtiyacı Düşük ilerleme hızı
Çözüm B	Metal Özlü Tel İle Özlü Tel Kaynağı (Dalga Formu)	<ul style="list-style-type: none"> Minimum gözenek Düşük sıçrama Kaynak ağzını oluşturan aralıkta esneklik Yüksek ilerleme hızı 	<ul style="list-style-type: none"> Yeni donanım yatırımı Dikiş yüzeyinde silisyum birikintisi oluşumu
Çözüm C	Kendinden Korumalı Tel İle Özlü Tel Kaynağı DC(-)	<ul style="list-style-type: none"> Standart donanım Minimum gözenek Yüksek ilerleme hızı 	<ul style="list-style-type: none"> Cüruf temizliği Duman tahliyesi Düşük elektro-kaplama kabiliyeti
Çözüm D	ER70S-6 Sıcak Tel İle Lazer Kaynağı	<ul style="list-style-type: none"> Minimum gözenek Temizlik gerekmez 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek donanım maliyeti İlave eğitim ihtiyacı

farklı bir çözümle karşılaştırılarak vurgulanacaktır. Son olarak, kaynak sonrası yapılan elektro-kaplama işleminin korozyon seviyesi ile ilgili bazı ön sonuçlar da verilecektir. Bu sonuçlar standart haline gelen test protokollerinin uygulanması ile elde edilmiştir. Sıcak telle lazer kaynağı yöntemi, otomotiv endüstrisinde yüksek ilerleme hızlarında minimum yüzey artışı içeren gözeneksiz kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlayan üstün bir çözümdür. Bununla birlikte, ekipman maliyetinin yüksek olmasının yanında verimlilik ve teknolojinin mevcut sürece uyarlanması konusunda yaşanan zorluklar, sıcak telle lazer kaynağı yönteminin geleceğe yönelik bir geliştirme ve yatırım çalışması olarak kalmasına neden olmuştur.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler, önceki bölümde bahsedilen iki çözümle ilgili olarak gerçekleştirildi. 1,2 mm (0,045 inç) çapındaki AWS ER70S-6 dolu kaynak teli ve 1,0 mm (0,040 inç) çapındaki AWS E70C-GS (Metalshield® Z™) gaz korumalı özlü kaynak teli sırasıyla A ve B çözümlerinde kullanılmıştır. Tüm kaynak dikişleri, Lincoln Electric'in gelişmiş modül ile donatılan Power Wave® S350 güç ünitesi ve FANUC robotik kaynak sistemi tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaynak kabiliyeti incelenirken ana malzeme olarak, kaplama yoğunluğu 60 g/m² olan ve 2,0 mm (0,080 inç) kalınlığında, yüksek mukavemetli gelişmiş DP 980

Tablo 2. Her İki Çözüme Ait Test Parametreleri

	Çözüm-A	Çözüm-B
Kaynak Teli	1.2 mm [0.045 inç] ER70S-6	1.0 mm [0.040 inç] E70C-GS
Dalga Formu	Gelişmiş pals	AC dalga formu (Rapid Z™)
Koruyucu Gaz	%90 Ar ve %10 CO ₂	
CTWD *	13 - 16 mm [1/2 - 5/8 inç]	
İlerleme Hızı	16.9 - 21.2 mm/sn. (40-50 inç/dk.)	
Kaynak Pozisyonu	"2F" bindirme kaynağı	

* CTWD : Contact Tip to Work Distance (Stickout)
İş parçası ile kontakt meme arasındaki mesafe

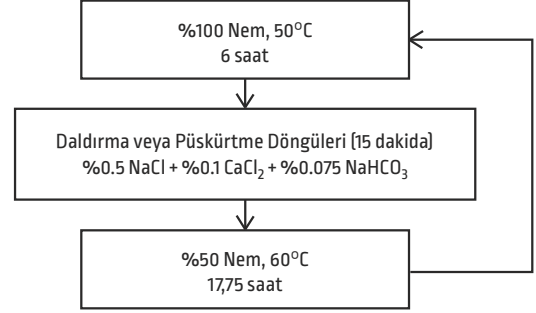
galvanizli çelik saclar (ASTM A653 60G/60G) kullanılmıştır. Korozyon testi için, 55CR01 MS-6000 Chrysler spesifikasyonuna uygun çelik saclar kullanılmıştır. Kaynak dikişleri, 2F tipi bindirmeli bağlantı uygulanan galvanizli saca tek paso atılarak çekildi. İki ana plaka, kaynak sırasında aralık oluşmaması için özel bir fikstüre sabitlendi. Koruyucu gaz için %90 argon ve %10 CO₂'den oluşan bir gaz karışımı kullanıldı ve gaz akış hızı 1,13 m³/saat (40 ft³/saat) olarak uygulandı. Tüm deneyler 16,9 mm/sn [40 inç/dak] ilerleme hızında gerçekleştirildi. Her bir çözüme ait ayrıntılı kaynak parametreleri **Tablo 2**'de gösterilmiştir.

Kaynak metallerine ait kimyasal bileşimler bir optik emisyon spektrometresi ile incelenmiştir. Kaynaktan sonra dikişte oluşan iç gözenekler ise X-ışını radyografisi ile incelenmiştir. Radyografi görüntülerinden gözenek boyutlarını, sayılarını ve alanlarını hesaplamak için "ImageJ"^{**} görüntü işleme yazılımı kullanıldı. Her veri noktasına ait sonuçlar, üç kaynak dikişi içeren sacın ortalamasına ait değerlerden elde edilmiştir. Işık mikroskobu için standart prosedürlere göre metalografi numuneleri hazırlandı. Kaynak sonrası elektro-kaplama deneyleri ise alanında deneyim sahibi büyük üreticilerle çalışılarak sürdürüldü.

Korozyon Testi

Kaynak dikişi içeren numunelerin hızlandırılmış korozyon testinde SAE J2334 döngüsel korozyon testi yöntemi^[3] ve çabuk sonuç elde edilen bir çözüm kullanıldı. Bu test yönteminde, örnekler önce altı saat boyunca %100 nem

Şekil 1. "Standard SAE J2334" Tekrarlanan Korozyon Çevrimi



oranına sahip sıcak bir atmosferde bekletildikten sonra 15 dakika süreyle daldırma/püskürtme işlemine ve ardından **Şekil 1**'de gösterildiği gibi 24 saatlik bir döngü boyunca bu sefer %50 nem içeren sıcak bir atmosfere tabi tutuldu. Bu çalışmada kullanılan korozyon kabinlerinden kaynaklanan kısıtlamalar nedeniyle, numunelerin 15 dakika süre boyunca hızlandırıcı çözelti ile ıslatılmasını sağlamak için dakikada 5 saniye süre ile on beş kez hızlandırıcı çözelti püskürtüldü. Test işlemi, her 20 çevrimde bir yapılan gözlemler ve alınan resimlerle 80 çevrime ait süre boyunca gerçekleştirildi. İki çözümün karşılaştırılmalı analizi, kenarlarına nokta kaynağı uygulanan iki adet kaplanmamış ve kaplanmış çelik örneği üzerinde yapıldı.

SONUÇLAR

Kimyasal Analizler

Tablo 3, kaynak dolgusunun A ve B çözümleri ile elde edilen kimyasal bileşim değerini göstermektedir.

Tablo 3. Yığılan Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi

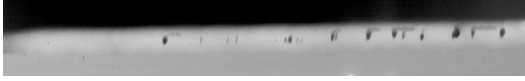
	%C	%Si	%Mn	%P	%S
A	0.08	0.08	1.52	0.006	0.008
B	0.12	1.03	1.65	0.008	0.01

** ImageJ : Ulusal Sağlık Enstitüleri ve Optik ve Hesaplamalı Enstrümantasyon Laboratuvarı'nda geliştirilen Java tabanlı bir görüntü işleme programıdır.

Gözenek Oluşumu

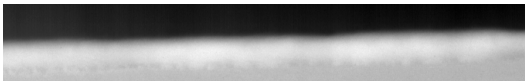
Çözüm-A yönteminde, 1.2 mm çapındaki (0.045 inç) ER70S-6 kaynak teli ve gelişmiş darbeli DC(+) dalga formu kullanılmıştır. **Şekil 2**, 16,9 mm/sn [40 inç/dak] ilerleme hızında elde edilen kaynak dikişinin radyografi görüntüsüdür. İç gözenek miktarı, kaynak dikişinin her bir 25 mm'si için 3'dür ve 16,9 mm/sn [40 inç/dak] ilerleme hızında çalışılması durumunda oluşan bu gözeneklerin toplam alanı toplam kaynak alanının %8'i kadardır.

Şekil 2. Çözüm-A'nın 16,9 mm/sn [40 inç/dak] İlerleme Hızında Elde Edilen Radyografi Görüntüleri

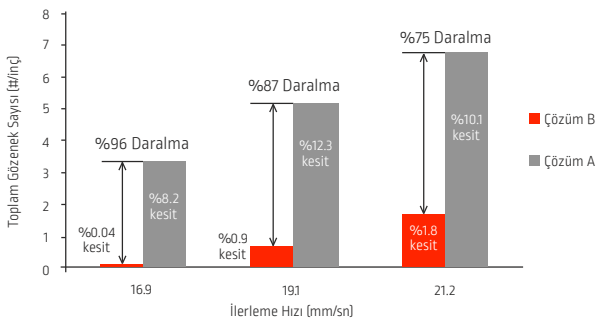


Şekil 3, 16,9 mm/sn [40 inç/dak] ilerleme hızında Çözüm-B yöntemiyle elde edilen kaynak dikişinin radyografi görüntüsüdür. Çözüm-B'de, çinkodan kaynaklanan gözenek oluşumunun yığılan kaynak metalinde minimum seviyede olacak şekilde kontrol altına alınması konusunda umut veren sonuçlar elde edilmiştir. İç gözenek miktarı, kaynak dikişinin her bir 25 mm'si için 0,1'dir ve oluşan bu gözeneklerin toplam alanı toplam kaynak alanının %0,04'ü kadardır. Bu veriler, üç kere tekrarlanan kaynaklardan elde edilen değerlerin ortalamasıdır. İlerleme hızının iç gözenek oluşumu üzerindeki etkisi de **Şekil 4**'te gösterilmiştir.

Şekil 3. Çözüm-B'nin 16,9 mm/sn [40 inç/dk] İlerleme Hızında Elde Edilen Radyografi Görüntüleri



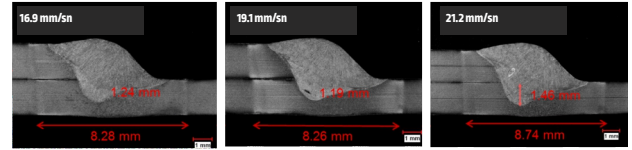
Şekil 4. 16,9-21,2 mm/sn İlerleme Hızında Farklı Çözümler İçin Toplam Oluşan İç Gözenek Sayılarının/Kesitlerinin Karşılaştırılması



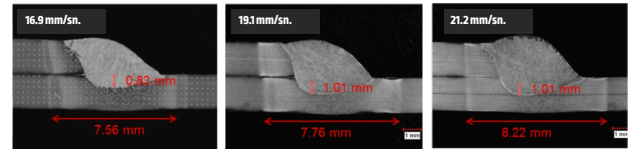
Kaynak Dikişinin Profili

ITAB'ın sınırları, dikiş profilleri ve Çözüm-A ve Çözüm-B'nin penetrasyon derinliği **Şekil 5** ve **Şekil 6**'da gösterilmektedir. DC(+) ile gerçekleştirilen kaynak işleminde, kaynak dikişi nüfuziyetinin genellikle daha derin olduğu görülür. 16,9 mm/sn [40 inç/dak] ilerleme hızıyla kaynak yaparken, Çözüm-A'da elde edilen kaynak dikişinin nüfuziyet derinliği 1,24 mm ve ITAB boyutu 8,28 mm'dir. Çözüm-B'de ise elde edilen kaynak dikişinin nüfuziyet derinliği 0,83 mm, ITAB boyutu 7,56 mm'dir. Bu veriler **Tablo 4**'te özetlenmiştir. Farklı ilerleme hızlarında, Çözüm-A ve Çözüm-B'ye ait radyografi görüntülerinden ulaşılan gözenek yoğunluğu **Şekil 7**'de göstermiştir. İlerleme hızı arttıkça, kaynak dikişinin daha fazla iç gözenek içerebileceği görülmektedir. Üç farklı ilerleme hızında gerçekleştirilen kaynak prosedürleri, aynı boyuttaki kaynak dikişlerinin elde edilmesi için gerekli olan dolgu metalini yığabilecek şekilde ayarlanmıştır.

Şekil 5. Çözüm-A ile Kaynak Yapılması Halinde İlerleme Hızının Dikiş Şekli ve Nüfuziyet Profilleri Üzerindeki Etkisi



Şekil 6. Çözüm-B ile Kaynak Yapılması Halinde İlerleme Hızının Dikiş Şekli ve Nüfuziyet Profilleri Üzerindeki Etkisi



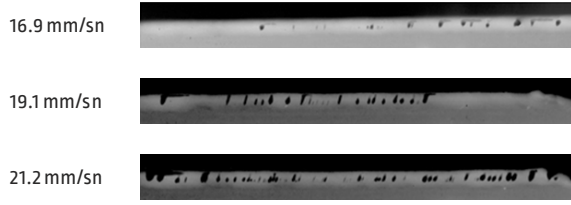
Tablo 4. 16,9 mm/sn [40 inç/dk] Hareket Hızında Farklı Çözümler İçin Penetrasyon Derinliği ve Isıdan Etilenen Bölgenin (HAZ*) Büyüklüğü

	Çözüm-A	Çözüm-B
Nüfuziyet Derinliği (mm)	1.24	0.83
Isı Etkisi Altındaki Bölge (HAZ) Genişliği (mm)	8.28	7.56

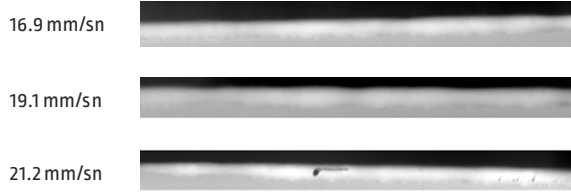
* HAZ : Heat Affected Zone
Isı Tesiri [Etkisi] Altındaki Bölge [ITAB]

Şekil 7. 16,9-21,2 mm/sn İlerleme Hızında Çözüm-A ve Çözüm-B'ye Ait Radyografi Görüntüleri

Çözüm A:



Çözüm B:



Korozyon Testleri

Test ile ilgili tüm parça numuneleri, test başlamadan önce işaretlenmiştir. Korozyondan etkilenen bölgenin maksimum genişliği kaynakta kızıl pas oluşumu ve boya dökülmesi/kabarması incelenerek tahmini olarak hesaplanmıştır. 60 günün sonunda kaynak bölgesinde oluşan pastaki artışın Çözüm-A ve Çözüm-B için benzer değerde olduğu görüldü. Bununla birlikte, Çözüm-B, Çözüm-A'dan görsel açıdan daha az kızıl pasa sahiptir. Çözüm-B'ye ait görüntüleri içeren **Şekil 8**, Çözüm-B'de Çözüm-A'dan daha az kızıl pas oluştuğunu göstermektedir. Yapılan karşılaştırmalarda, yüzeyi kaplanmış ve nokta kaynağı uygulanmış parçalardan alınan numunelerde herhangi bir paslanma belirtisi görülmezken, soğuk haddelenmiş parçalara ait numunelerde yoğun miktarda kenar ve çizgi paslanması izleri saptandı. Yapılan çalışmaların bundan sonraki aşamasında, 80 gün sonra elde edilen sonuçlar ve oluşan pasın kapsamı ve etkilenen kaynak alanları ile ilgili nicel ölçümler ele alınacaktır.

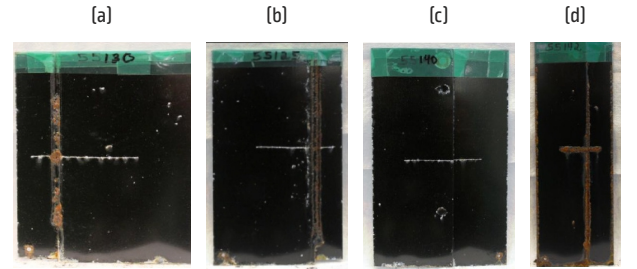
AC dalga formunun kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda Çözüm-B ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması:

Sıçrama

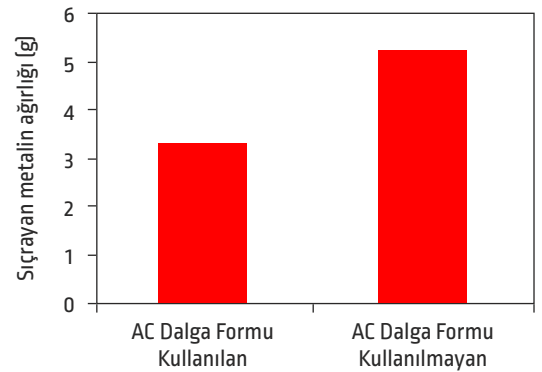
DC(+)'da eğer metal özlü kaynak teli kullanılırsa çok yüksek sıçrama oluşur. AC dalga formunun kullanıldığı Çözüm-B'de

ise, negatif kutuplamada gerçekleştirilen çalışmaya göre sıçrama miktarı %36 gibi önemli bir oranında azaldı. AC dalga formu kullanılarak ve AC dalga formu kullanılmadan kaynak yapılırken oluşan sıçrama miktarı **Şekil 9**'da gösterilmektedir. Kaynak işlemi 16,9 mm/sn ilerleme hızında (40 inç/dak) Çözüm-A ve Çözüm-B yöntemleri kullanılarak yapılmış ve sıçrama miktarı her biri 150 mm uzunluğundaki üç kaynak dikişinin toplamı alınarak hesaplanmıştır. Sıçrama miktarı, AC dalga formunun kullanıldığı Çözüm-B'de 3,3 g, negatif kutuplamada gerçekleştirilen darbeli dalga formunda ise 5,2 g'dır. AC dalga formu kullanarak kaynaktaki sıçrama miktarının önemli ölçüde azaltılabileceği aşırıktır.

Şekil 8. [a] Çözüm-A ve [b] Çözüm-B ile Yapılan Kaynak Dikişlerinde Oluşan Korozyonun Kontrol Numuneleriyle Karşılaştırılmasına Ait Ara Sonuçlar. [c] Kaplamalı ve Punta Kaynaklı Numune ve [d] Kaplamasız ve Punta Kaynaklı, Ark Kaynağı İçermeyen Ana Malzeme



Şekil 9. AC Dalga Formu Kullanılan ve Kullanılmayan Çözüm-B'de Oluşan Sıçramanın Ağırlığı



Çalışma Aralığı

AC dalga formunun kullanıldığı ve kullanılmadığı Çözüm-B yöntemlerinin çalışma aralığındaki farklar aşağıdaki **Şekil 10**'da şematik olarak gösterilmektedir. Bu grafik aynı zamanda dikiş ölçüsüne (tel sürme hızı) bağlı olarak nüfuziyet ve ITAB boyutundaki değişimi de gösterir.

TARTIŞMALAR

Gözenek Oluşumu

Yüzeyi kaplı çeliğin kaynak edilmesiyle ilgili en büyük endişelerden biri gözenek oluşumudur. Arka planda yürütülen çalışmalarda belirtildiği gibi, iç kısımda gözenek oluşumunun olumsuz etkileri, kaynaklı parçaların yorulma ömrünü ve çekme mukavemetini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Galvaniz kaplı sacların kaynağına yönelik tüm yeni çözümlerin hedefi, kaynak metalinde oluşan dış ve iç gözenekleri etkin bir şekilde azaltmaktır.

Gözenek oluşumunun azaltılmasına yönelik yaklaşımlardan biri ergimiş kaynak metalinin katılma sıcaklığının düşürülmesidir. Bir ark kaynağı yönteminde, oluşan ark, kaynak banyosunu çeliğin erime noktasının ve çinkonun

Şekil 10. 16,9 mm/sn (40 inç/dak) İlerleme Hızında AC Dalga Formu Kullanılması (Z) ve Kullanılmaması (MC / DC-) Durumunda Çözüm B'ye ait Çalışma Aralığı

TEL SÜRME HIZI	Düşük Tel Sürme Hızı		Yüksek Tel Sürme Hızı	
	Düşük ITAB (HAZ)* Genişliği	Düşük Nüfuziyet	Yüksek ITAB (HAZ)* Genişliği	Yüksek Nüfuziyet
400	420	435	450	
Z	7.46 mm 0.81 mm	7.56 mm 0.83 mm	7.78 mm 0.88 mm	8.23 mm 1.08 mm
MC / DC(-)	Kaynak edilemez			8.50 mm 1.10 mm

kaynama noktasının çok üzerinde olan 2500°C'a kadar ulaşan sıcaklıklara kadar ısıtır. Kaynak banyosu soğudukça çinko kaynak banyosundan çıkmaya devam eder ve oksijenle reaksiyona girerek çinko oksit oluşturur. Çinko oksit, ya kaynak banyosunun kenarları boyunca (en soğuk bölgeler) uzanan beyaz bir çökelti halinde ya da çinkonun ön katılma bölgesinde tutulduğu durumlarda kaynak dikişinde oluşan dış gözeneklerin yüzeyinde beyaz bir çökelti halinde belirgin bir şekilde görülür. Katılma eğer yapı içerisinde sıkışan çinko yayılmadan önce tamamlanırsa çinko serbest kalmaz ve kaynak dikişi içerisinde hapsolür. Katılma sıcaklığının daha düşük olması kaynak banyosunun daha uzun süre sıvı fazda kalmasını sağlayacak ve bu sayede çinkonun kaynak metalinden kaçma süresini uzatacaktır. Katılma sıcaklığı malzemenin ana yapısında bulunan katkı elementlerinden

* HAZ : Heat Affected Zone
Isı Tesiri (Etkisi) Altındaki Bölge (ITAB)

* Scheil Katılma Simülasyonu: Birincil fazın, yüksek katılma hızıyla çözünen madde yakalama yönteminin indüklendiği tek dendrit oluşturan faz olduğu ana varsayımına dayanmaktadır.

etkilenebilir. Telin içerisindeki farklı alaşım elementlerinin miktarına göre oluşan kaynak metalinin katılma sıcaklıkları Thermo-Calc® [4] ile hesaplanır. Scheil Katılma Simülasyonu** modülü ile katılmış kütle oranları hesaplandı. Hesaplamaya karbon (C), manganez (Mn), alüminyum (Al) ve silisyum (Si) dahil edildi. %95 oranında katılmış kütleyle karşılık gelen sıcaklık değeri **Tablo 5**'te verilmiştir. Katılmanın tamamlanmasına doğru çinko buharı tamamen kaynak metalinde hapsolacağından yapılan çalışmalar için %95'lik bir katılmış kütle oranının seçilmesi uygun görülmüştür. Tablo, Çözüm-A'ya ait kaynak dikişinin Çözüm-B'dekinden daha yüksek bir katılma sıcaklığına sahip olduğunu göstermektedir. Daha düşük katılma sıcaklığı ile çinko buharı kaynak banyosundan kaçmak veya kaynak banyosunda çözünmek için daha fazla zaman bulur ve dolayısıyla gözenek oluşturma eğilimi de daha düşük olur. Bu durum aynı zamanda **Şekil 11**'de gösterildiği gibi Çözüm-B ile yapılan kaynakların Çözüm-A ile karşılaştırıldığında daha uzun krater boyutuna sahip olması ile bağlantılıdır. İlerleme hızı sabit olduğundan, uzun kaynak banyosu, kaynak metalinin daha uzun sürede katıldığı bir göstergesidir.

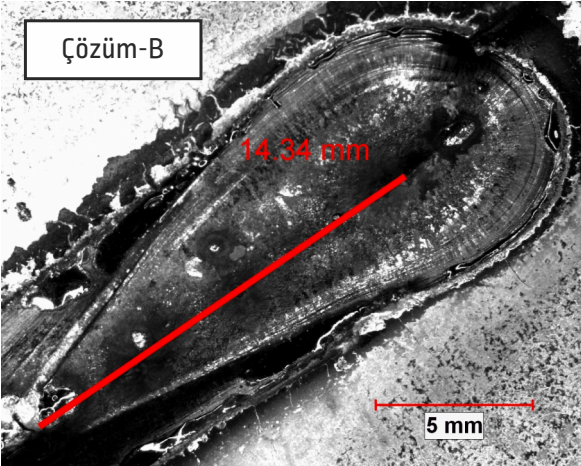
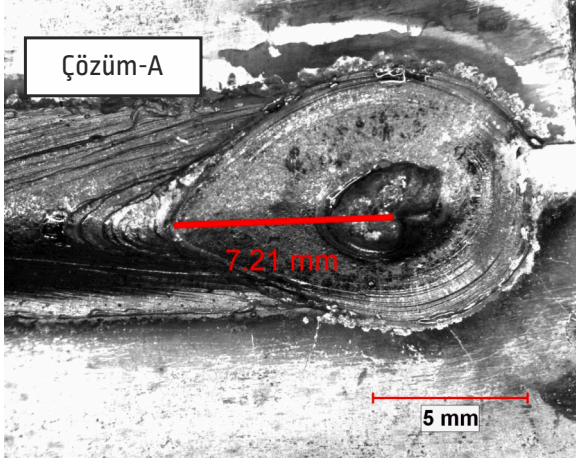
Çinko kaynaklı gözeneklerin azaltılmasına yönelik başka bir yaklaşım da dalga formunun kontrol edilmesidir. Kaynak işleminin pozitif kutupta yapılması, **Şekil 12 (a)**'da gösterildiği gibi çevredeki gereksiz çinko etkileşimini en aza indirmek için arkin telin ucunda odaklanması ve daha iyi damlacık transferi için yüksek lokal sıkıştırma (büzme) kuvvetinin elde edilmesi gibi avantajları beraberinde getirir. Öte yandan, kaynak işleminin negatif kutupta yapılması, **Şekil 12 (b)**'de gösterildiği gibi kaynak metalinin nüfuziyet derinliğini ve çinko etkileşim hacmini azaltabilir. Negatif kutuplamada özlü tel kullanmanın yarattığı bu etki sayesinde, yüzeyi kaplı çeliklerin kaynağından kendinden korumalı özlü teller kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yüzeyi kaplı çeliklerin kendinden korumalı özlü kaynak teli ile kaynak edilmesinin dezavantajı ise, kaynak metalinin yüzeyinde biriken cüruf ve erimemiş silikat kalıntılarıdır.

Table 5. %95 Katılmış Kütle Simülasyonla Elde Edilen Sıcaklığı

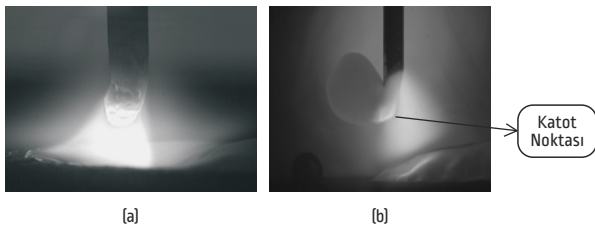
	Çözüm-A	Çözüm-B
%95 katılma sıcaklığı (°C)	1.456	1.440

Kaynak metalinin üzerinde oluşan bu yüzeysel oksit tabakası, eğer tamamen temizlenmezse, kaynak işleminden sonra korozyona karşı koruma sağlamak amacıyla uygulanan elektro-kaplama işleminde sorun yaşanmasına neden olabilir.

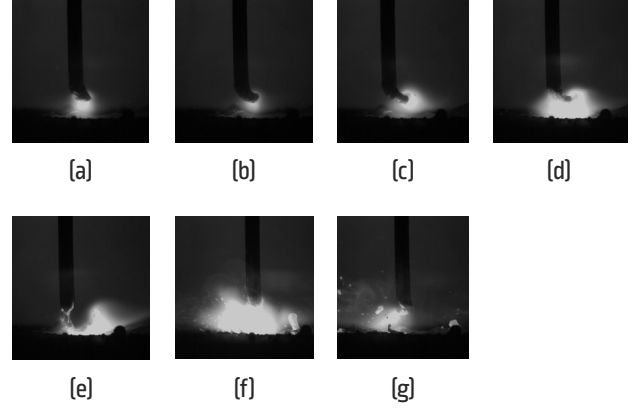
Şekil 11. Çözüm-A ve Çözüm-B'de 16,9 mm/sn (40 inç/dak) ilerleme Hızı İle Çalışırken Yığılan Kaynak Banyosuna Ait Katılaşma Süreleri Arasındaki Farklılıkları Gösteren Krater Boyutları



Şekil 12. [a] Pozitif Kutupta ve [b] Negatif Kutupta Damlacık Transferini Gösteren Fotoğraflar



Şekil 13. DC[-]'de Damla Transfer ile Gerçekleştirilen Kaynak İşlemine Ait Bir Dizi Anlık Görüntü. [a]-[g] Görüntüleri 260 milisaniyenin Üzerinde Alınan Anlık Ark Görüntülerinden Oluşmaktadır.



Negatif kutuplamada özlü tel kullanmanın neden olduğu bir diğer sorun ise kaynak telinin ucunda yer alan katot noktasının kararsızlığıdır. Telin pozitif kutupta kullanılması durumunda ise katot noktası alt pasodaki ark plazmasına ait kökün tam altındadır[5]. Bu katot noktası artık elektrod ucunun etrafında hareket etme eğiliminde olacağı için parçaya doğru yönelmesi (elektrodun pozitif kutba bağlandığı duruma göre) daha zayıftır. Ancak buna karşın daha güçlü bir ark plazması oluşur. Negatif kutuplama ile kaynak sırasında tele ait birkaç saniyelik görüntü **Şekil 13'**de yer almaktadır. Burada arkin odaklanmamış olma durumu ve düzensiz damlacık ayrılma süreci görülmektedir. Bu görseller, oluşan dengesiz bağı ve damlacığın elektrod ucunda oluşma/ayrılma konusunda sergilediği yetersizliği gösterir. Bunun nedeni ark plazmasının tele doğru tırmanarak damlacığın tamamını kapsaması, telin eksen boyunca akım yoğunluğunu azaltması ve böylece damlacığın ayrılması için daha zayıf bir sıkıştırma (büzme) kuvvetinin oluşmasına yol açmasıdır. Arkin odaklanma konusundaki bu eksikliği, kaynağın kökünde çinko etkileşimi açısından faydalı olan daha sık bir nüfuziyet profili üretirken, çinkonun etkileşime girme olasılığını kaynak dikişinin kenarları boyunca artırır. Ayrıca bu durumda, özellikle saha uygulamalarında sık karşılaşılan ve parçalar arasında değişken boşluklar bulunan bağlantıların doldurulmasında daha büyük kaynak dikişlerinin oluşturulmasına gerek duyulur ve dolayısıyla ısıdan etkilenen bölgenin geniş olma eğilimi ve **Şekil 10'**da gösterildiği gibi termo-mekanik işlem yoluyla elde edilen temel malzeme özelliklerinde bozulma potansiyeli artar.

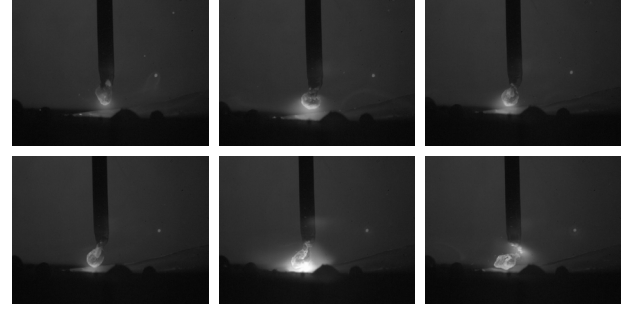
Tablo 6. Galvanizli Sacların Negatif ve Pozitif Kutuplamada Kaynak Edilmesi İle İlgili İçin Önemli Noktalar

DC(-)	DC(+)
<ul style="list-style-type: none">Hareketli katot noktasıOdaklanmamış arkYüzeysel (derin olmayan) nüfuziyet profiliZn ile düşük etkileşim	<ul style="list-style-type: none">Sabit katot noktasıOdaklanmış arkDaha yüksek sıkıştırma kuvvetleri *Daha iyi damlacık transferi

* Pinch Force : Sıkıştırma (Büzme) Kuvveti
Pinch Effect : Sıkıştırma (Büzme) Etkisi

Gerek pozitif gerek negatif kutuplamada kaynak yapmanın olumlu ve olumsuz yönlerini **Tablo 6**'da özet olarak belirtilmiştir. Gezinen katot noktasının damlacık transferi üzerindeki olumsuz etkisini ve bunun sonucunda ortaya çıkan kararsızlıkları en aza indirmek amacıyla, döngü başına bir damlacık transferi sağlayan ve negatif bir taban ve pozitif bir tepe noktasından oluşan özel bir AC dalga formu geliştirilmiştir. Çinkonun yayılma süresini uzatmak amacıyla katkı maddeleri eklenmiş özel bir kaynak teli ile birlikte yüzeyi kaplı çeliklerin kaynağı için geliştirilen bu özel dalga formunun birlikte kullanılması durumunda kutuplamanın negatif taban bölgesinden pozitif tepe noktasına doğru değiştirilmesiyle birlikte katot noktasının gezinme eğilimi en aza indirilir. Ayrıca kaynak arkının elektrod ve damlacığın altındaki bir noktada sabit tutulmasıyla elektrodun aşırı ısınması ve farklı bir konumda iken tel ucunda ikincil bir arkın tutuşma olasılığı önlenir. Çevrimin pozitif bölümünde damlacık transferi gerçekleştiikten sonra, çevrimin negatif bölümünde damlacığı oluşturmak için kutuplama tekrar değiştirilir ve bu sayede çinko etkileşimi bağlantının kök kısmında en düşük seviyeye iner. **Şekil 14**'te bu işlem sırasında damlacık naklinin anlık görüntüleri gösterilmektedir. Çözüm-A'da pozitif kutuplamada gelişmiş darbeli dalga formu ile birlikte geleneksel ER70S-6 kaynak teli kullanıldı. Bu çözüm, dış gözenek içermeyen bir kaynak metalinin elde edilmesi konusunda başarılı oldu. Ancak buna karşın, kaynak metalinin içinde hala çok fazla miktarda iç gözenek ve daha derin nüfuziyetlerin oluştuğu tespit edildi.

Şekil 14. Çözüm-B'deki Damla Transferine Ait Bir Dizi Anlık Görüntü. Fotoğraflarda Kararlı ve Odaklanmış Bir Damlacık Transferi Sağlayan Sıkıştırma (Büzme) Kuvvetinin Etkisiyle Oluşan Damlacık ve Damlacıktaki İncelme ve Bel Verme Net Bir Şekilde Görülmektedir.



Çözüm-B, hem pozitif hem de negatif kutbun avantajlarını birleştiren ve her iki tarafın olumsuz etkisini ortadan kaldıran bir AC dalga formuyla çalışır. Çözüm-B'nin en düşük iç gözeneğe sahip uygulama olduğunu radyografi görüntülerinden de açıkça görülmektedir.

Yeni sarf malzemesi ve dalga formu tasarımının bir araya getirilmesi sayesinde Çözüm-B, gözenek sayısında veya hacminde %99'a kadar azalma sağlanan en temiz kaynak metalinin elde edilmesine olanak sağladı.

Korozyon

60 gün sonra, kaynak yapılan bölgeler görsel olarak incelendiğinde, Çözüm-B'ye ait kaynak bölgesinin çevresinde nitelik açısından daha düşük miktarda kızıl pas ve genel korozyon oluştuğu belirlenmiştir.

Sayısal metalografi ve ölçümler devam etmektedir ve 80 günlük test süresi tamamlandıktan sonra sona erecektir.

Genel Değerlendirme

Tablo 7, iki çözüm arasındaki genel karşılaştırmayı göstermektedir. ++, + ve + değerlendirilmeleri sırasıyla her kategoride "en iyi", "daha iyi" ve "normal" sonucu temsil eder. Çözüm-B genel açıdan en iyi sonuçlara sahiptir.

SONUÇLAR

Otomotiv endüstrisinde ince malzemelerin ve özellikle galvaniz kaplı ince sacların kullanımı günümüzde büyük artış göstermiştir. Özellikle galvaniz kaplı ince sacların kaynağında, çinkonun buharlaşmasıyla oluşan gözenekler ciddi endişeleri beraberinde getirmektedir.

Tablo 7. Genel Karşılaştırma

	Çözüm-A	Çözüm-B
Gözenek	+	+++
Sıçrama	+	++
Nüfuziyet	+	+++
Hepsi	+	+++

Yüksek üretim verimini koruyarak gözenek sayısını etkili bir şekilde azaltmak amacıyla büyük çaba saf edildi ve bir dizi girişimde bulunuldu. Bu çalışmada, aralarında boşluk bulunmayan galvanizli ince sacların kaynağında kullanılan iki farklı çözüm ayrıntılı olarak incelenmiş ve sunulmuştur. Çözüm-A'da gelişmiş darbeli dalga formunda geleneksel tip ER70S-6 kaynak teli kullanılmıştır. Çözüm-B'de ise belirli bir Rapid Z™ AC darbeli dalga formunda yeni geliştirilmiş Metalshield® Z™ özlü kaynak teli kullanılmış ve bu iki çözüm birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çözüm-B, gözenek ve sıçrama konusunda en iyi sonucu verir ve daha iyi bir nüfuziyet profili elde edilmesine olanak sağlar. AC dalga formu ayrıca yöntemin kullanılabilir çalışma aralığını artırır, yanma oyuğu sorununu azaltır ve gelişmiş yüksek dayanımlı çeliklerin performansı için kritik olan ısıdan etkilenen bölgenin daha dar bir alanda oluşmasını sağlar.

Galvanizli ince sacları AC dalga formunda özel bir metal özlü kaynak teli kullanarak kaynak etmek için geliştirilen yeni bir çözüm yaklaşımı umut verici sonuçlar verdi. Özlü tele bilinçli olarak eklenen alaşım elementleri, kaynak banyosunun genişlemesini ve yayılma süresini artırarak çinkonun kaynak metalinden kolayca ayrılmasını sağladı. Bunun yanında kararlı ve kesintisiz damlacık transferi sağlamak ve çinko etkileşim seviyesini düşürmek için kullanılan dalga formu ile ilgili düzenlemeler kolayca yapılabildi. Yeterli nüfuziyete, minimum ITAB alanı ve gözeneğe sahip olmakla birlikte yüksek üretim verimi ve kaliteyi de koruyan bu yeni çözüm,

MÜŞTERİ DESTEK POLİTİKASI

The Lincoln Electric Company yüksek kaliteli kaynak ekipmanları, sarf malzemeleri ve kesme ekipmanlarının üretimi ve satışı ile iştigal etmektedir. Amacımız müşterilerimizin gereksinimlerini karşılamak ve hatta beklentilerinin üzerine çıkmaktır. Müşterilerimiz bazen bizden ürünlerimizin kullanımına dair bilgi veya öneri talebinde bulunabilirler. Çalışanlarımız, müşterilerimizden gelen bilgileri ve onların uygulamaya dair birikimlerini de göz önünde bulundurarak, bu taleplere en iyi şekilde yanıt vermeye gayret gösterirler. Ancak, çalışanlarımızın müşterilerimizden gelen bilgileri ve projelerinin teknik ayrıntılarını bilmeleri ve değerlendirmeleri tabiiyle mümkün değildir. Bu nedenle, Lincoln Electric, çalışanlarının verebileceği bu gibi bilgi veya öneriler kapsamında herhangi bir garanti veremez, sorumluluk üstlenemez. Bu gibi bilgi veya önerilerin sağlanmış olması, ürünlerimizin garanti koşullarını ve kapsamını genişletmez, değiştirmez. Özel amaca uygunluk garantisini de dahil olmak üzere, bu tür bilgi veya önerilerden kaynaklanabilecek açık veya zımni her türlü garanti açıkça reddolunmaktadır.

Lincoln Electric tarafından satılan ürünlerin seçimi ve kullanımı yalnızca müşterilerimizin kontrolünde ve sorumluluğundadır. Uygulamanın sonuçları ve gereksinimleri, Lincoln Electric'in kontrolünde olmayan çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

Değişikliğe Tabi Olan Konular – Bu dokümandaki bilgilendirmenin içeriği, basımı sırasında mevcut bilgiler kapsamında doğrudur. Zaman içerisinde değişmesi mümkündür. En güncel metin için lütfen "www.lincolnelectric.com.tr" adresini ziyaret ediniz.

sıcak daldırma yöntemiyle galvanizlenmiş çinko kaplı çeliklerin kaynağı için büyük umut vaat etmektedir. Kaplanmış çelikler üzerinde kaynak yapmanın ve kaynaktan sonra elektro-kaplama işlemi uygulamanın korozyon üzerindeki etkisi nitelik açısından analiz edilmiştir.

ONAYLAR

Bu çalışmanın yazarları, korozyon testi ve elektro-kaplama numuneleri için Tower International Bellevue Plant'e ve yürütülen döngüsel korozyon testi için ArcelorMittal Global R&D - East Chicago'ya teşekkür eder. Yazarlar ayrıca çinko kaplı numuneleri sağladıkları için Chrysler Technology Center ve Tower Automotive Plymouth Plant'e teşekkür eder. Yazarlar ayrıca bu çalışmayı desteklediği ve tüm kaynak, test ve ölçüm işlemlerini yürüttüğü için Lincoln Electric Company'ye teşekkür eder. Yazarlar, bu raporun gözden geçirilmesindeki yardımları ve faydalı önerileri için Tower Automotive'den Allan Gwinn'e ve Lincoln Electric'ten David Park'a da teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. Mei, L., et al., *Research on laser welding of high-strength galvanized automobile steel sheets*. Optics and Lasers in Engineering, 2009. 47(11): p. 1117-1124.
2. Joaquin, A., Elliott, A.N.A, Jiang, C., Vaidyanath Rajan, Hartman, D., Chris Karas, *Gas Metal Arc Welding of Coated Advanced High Strength Steel (AHSS) – Developments for Improved Weld Quality*. SAE World Congress & Exhibition, 2007. 2007-01-1360.
3. SAE J2334, Laboratory Cyclic Corrosion Test, in Automotive Corrosion and Prevention Committee. 2003, SAE International.
4. Andersson, J.O., *THERMO-CALC & DICTRA, computational tools for materials science*. Calphad, 2002. 26(2): p. 273.
5. Lancaster, J.F., *The Physics of Welding*. 2nd edition ed. 1986: Pergamon, Oxford.

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY

22801 St. Clair Avenue · Cleveland, OH · 44117-1199 · U.S.A.
www.lincolnelectric.com.tr

