

KAPLANMIŞ ÇELİK SAÇLARIN NOKTA KAYNAKLI BAĞLANTILARININ ULTRASONİK TESTİ VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Marat VURAL

Doç. Dr., İTÜ Makina Fakültesi

Ahmet AKKUŞ

Ar. Gör. Dr., İTÜ Makina Fakültesi

ÖZET

Galvanizli çelik saclar, korozyona karşı direncin istendiği konstrüksiyonlarda ve özellikle de otomotiv endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sacların direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde bazı problemler ortaya çıkmaktadır, ve bu problemleri ortadan kaldırmak için bazı önlemler alınmalıdır. Bu önlemlerin alınmasında ve kaynak parametrelerinin optimizasyonunda, sorunu belirlemek en önemli aşamadır. Bunun için kullanılan muayene yöntemlerinden son yıllarda en sık kullanılan ultrasonik muayenedir. Bu çalışmada, galvanizli sacların nokta kaynağında ortaya çıkan problemler ele alınmış ve nokta kaynaklı bağlantıların ultrasonik testlerinin genel prensipleri verilmiştir. Bu hataların değerlendirme kriterleri, muhtemel sebepleri ve bunlara göre kaynak parametrelerinin optimizasyonu hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler, daha önce otomotiv firmaları araştırmacıları tarafından yapılan ultrasonik muayenelerle elde edilen grafikler ve fotoğraflarla desteklenmiştir. Sonuç olarak, nokta kaynaklı bağlantıların ultrasonik olarak muayenelerinin önemi üzerinde durularak, diğer muayene yöntemlerine göre üstünlükleri vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Direnç nokta kaynağı, ultrasonik muayene, galvanizli çelik sac

ABSTRACT

Galvanized steel sheets are widely used in construction with corrosion resistance and especially automotive industries. While the galvanized steel sheets are joined by resistance spot welded, some problems occur in both weld zone and electrodes and we need some special precautions to minimize those problems. Determining the problem is the most important stage before optimization of the welding parameters. For this aim, ultrasonic inspection became the most important method in recently years. In this study, the problems occurring in resistance spot welding of the galvanized steel sheets were described and the general principles of the ultrasonic inspection of the resistance spot welded joints were explained. The failure criterias, the reason of failures and the optimization of the weld parameters according to investigation results were discussed. The informations were supported with graphs and figures which were obtained early investigations by automotive researchers. As a result, the importance of the ultrasonic inspection of the resistance spot welded steel sheets was determined and compared with other destructive and non-destructive inspection methods.

Keywords: Resistance spot weld, ultrasonic inspection, galvanized steel sheet

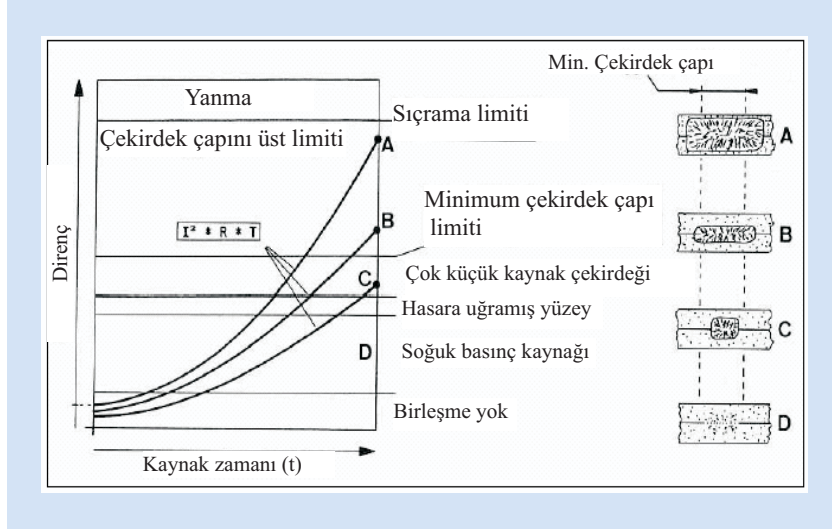
Giriş

Günümüzde, korozyona karşı direncin öneminin giderek artması sonucu, galvanizli çelik sacların üretimi hız kazanmıştır. Uzun yıllardan bu yana, nokta kaynaklarının tahribatsız ultrasonik testleri başarıyla yapılmaktadır. İlk önceleri, klasik keski ile ayırma metoduna ilave olarak kullanılırdı. Ancak son zamanlarda ultrasonik test metodu, özellikle galvanizli çelik saclarla bağlantılarda ve seri üretimde kaynak parametrelerinin optimizasyonunda bir zaruriyet haline gelmiştir.

Galvanizli Çelik Sacların Nokta Kaynağında Ortaya Çıkan Problemler

Çinko tabakası, direnç nokta kaynakları üzerinde önemli etkilere sahiptir:

Direnç kaynağında, ısıyı yoğunlaştırma etkisinin oluşabilmesi için belirli bir başlangıç direncine ihtiyaç vardır. Malzeme sıcaklığının artmasıyla direnç artar, bu ısınmayı hızlandırır ve dolayısıyla sıcaklık çok kısa bir sürede lokal bir bölgede malzemenin erime sıcaklığına yükselerek çekirdek oluşumu gerçekleşir (1400 °C). Ancak, yüzeydeki çinko tabakası iyi bir erime için gerekli olan başlangıç direncini düşürür. Şekil 1'de, ısı giriş oranı eğrisinin bir fonksiyonu olarak nokta kaynağının kalitesi gösterilmektedir. A ve B eğrileri başlangıç direncinin uygun ve yeterli olduğunu gösterirken, C eğrisi bu direncin düşük ve yetersiz olduğu durumları göstermektedir. Galvanizli çeliklerde, kaynak akımı daha yüksek olduğundan, C eğrisi biraz daha yükselebilir. Grafiğin üst limiti



Şekil 1. Dirençleri Farklı Üç Malzemedeki Isı Oluşumunun Kaynak Zamanına Göre Değişimi

sıçramanın başladığı durumu temsil ederken, alt limit yeresiz ve çok küçük çekirdek çapını göstermektedir. Galvanizli çeliklerde, daha yüksek kaynak akımları kullanıldığından, elektrodun temas yüzeylerinde sıcaklık aşırı yükselir ve sonuç olarak bakır malzemenin sertliği azalır. Diğer taraftan bu durum, çok hızlı bir şekilde boyutları kabul edilemez derecede küçük kaynak çekirdeklerinin oluşmasına neden olur. Ayrıca, bakır malzemesinin sertliğinin azalması, elektrodun yüzeye yapışmasına, temas yüzeylerinin deforme olmasına ve genişlemesine sebep olur [5].

Galvanizli çeliklerde, çinko tabakasının yanmasının, elektrodun yüzeylerine ek bir etkisi vardır. Mükemmel bir direnç kaynağında, elektrotlar içerisinde geçen akımın mümkün olduğunca sabit olması gerekir. Sadece kaynak akımının yüksek olması değil aynı zamanda çinko tabakasının erime sıcaklığının düşük olması da bu durumu büyük ölçüde etkilemektedir. Elektrolitik olarak yapılan çinko kaplama tabakası yaklaşık 420 °C'de erir. Sac metal ise 1400 °C'e kadar ısındığı için, daha kaynağın ilk aşamalarında çinko tabakası yanar ve bakır elektrodun üzerine metal yapışır, ve bu noktalarda elektriksel direnç artar. Bu metal yapışması elektrod yüzeyinde genelde düzensiz bir dağılım gösterir ve

özellikle elektrodun orta kısmında ya da çukurlaşan bölgelerinde oluşur. Bu durumun temas direncinde değişikliklere sebep olması sonucunda, akım düzensiz akmaya başlar ve yetersiz büyüklükte kaynak çekirdekleri olan nokta kaynakları elde edilebilir. Stasyonel (sabit) kaynak makinelerinde, kaynak daima tek yönde ve aynı açıda yapıldığından, elektrodun temas yüzeylerinde oluşan bu metal yapışması daha çok görülür. Robot kaynak makinelerinde ise, her kaynak pozisyonu kaynağa başlamadan önce programlanır, dolayısıyla her kaynağa farklı pozisyonlar ve farklı kaynak açılarıyla kaynak yapılır. Bu da, elektrodun çukurlaşmasını ve metal yapışmasını azaltır.

Metal yapışması ve çukurlaşma gibi olaylar, halka kaynağı (çekirdeğin yetersiz çapta oluşması ve sacların sadece elektrodun dış kısımlarına gelen yerlerinden halka şeklinde birbirine kaynak olması) oluşma riskini ortaya çıkarmaktadır (Şekil 2 ve 3). Bu tip halka kaynaklarında 1 mm'nin altındaki sacları klasik keskiyle ayırma yöntemiyle test etmek oldukça zordur. Boya kaplamalarda, test esnasında saclar çok fazla gerilmemelidir. Bu nedenle test kuvveti çoğu zaman halka kaynağını koparmak için çok düşüktür. Halka kaynaklarında, çekirdeğin dış uçlarında ve



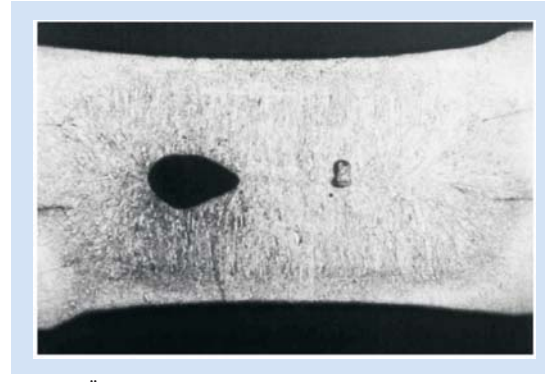
Şekil 2. Halka Kaynağının Mikroyapısı



Şekil 3. Keski ile Ayırma Testinden Sonra Halka Kaynağının Görünüşü

bağlantı bölgesi içerisinde ilave bir çinko bağı oluşur. Bu bağ, mekanik direncin artmasına sebep olur ve tahribatlı testlerde uygun şekilde hataların belirlenmesini engeller. Bu bağ etkisinden dolayı, keski ile ayırma metodunun güvenilirliği her zaman bir tartışma konusu olmuş ve ultrasonik testle karşılaştırıldığında kesinlikle daha az geçerliliği olan bir yöntem olarak düşünülmektedir.

Elektrodlarda meydana gelen çukurlaşmanın bir diğer sonucu da büzülme kaviteyonudur. Çinko tabakası yandığında, yüksek basınç altında gaz kabarcıkları ve içi hava dolu boşluklar meydana gelir, ve bunlar kaynak bölgesinde sac metal erir erimez yayılırlar. Elektrodların çukurlu şeklinden dolayı, kaynak dış uçta şekillenir ve içe doğru gelişir. Bu tip bir şekillenmeden dolayı, gaz kabarcıkları iç kısma doğru zorlanır. Sonuçta, kaynak bölgesinde ve çoğunlukla da toplam kalınlığın ortasında büzülme boşlukları oluşur (Şekil 4). Uzun kaynak zamanı gaz

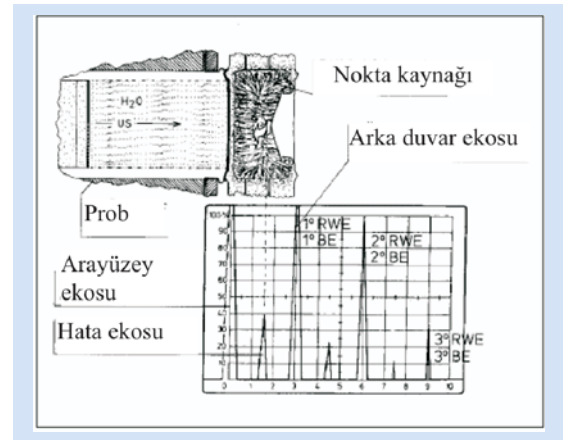


Şekil 4. Üç Sacdan Oluşan Bir Bağlantıda Büzülme Boşluğu

boşluklarının oluşması için yeterli zaman tanıdığından, büzülme boşlukları genellikle daha kalın sacların kaynağında meydana gelir. Kaynak açısının sürekli değişmesi, yukarıda ifade edilen etkileri azalttığından, robot kaynak makinaları büzülme boşluklarından kaçınmada bir avantaj sağlar.

NOKTA KAYNAKLARININ ULTRASONİK TESTLERİNİN GENEL PRENSİPLERİ

Şekil 5, üzerine ultrasonik prob yerleştirilmiş bir nokta kaynağını ve kaynak içerisinde ilerleyen ses dalgalarının durumunu göstermektedir. Öncelikle, nokta kaynağının kusursuz olduğunu düşünelim. İlk olarak sadece tek bir dalga gözükür. Bu ses dalgası probdan kaynak içerisine iletilir ve bir kısmı prob ile nokta kaynağı arasındaki arayüzeyden geri yansır. Bu yansıma, ultrasonik cihazın monitöründe (soldaki



Şekil 5. Kaynak Üzerine Yerleştirilen Prob ve Eko Dizisinin Monitörde Görünümü [4]

birinci dalga) arayüzey ekosu olarak gözükür. Ses dalgasının geri kalan kısmı kaynak noktası içerisine girer ve hata olmaması şartıyla sadece iç sınırlardan geri yansır. Bu yansıma, arayüzey ekosunun sağında birinci arkaduvar ekosu olarak gözükür. Ses dalgası, belirli bir süre kaynak noktasının başı ve sonu arasında ileri geri gidip gelir, ve her gidip gelmede ses dalgasının bir kısmı probda kalır. Ses dalgasındaki bu azalmalar, ekranda birbirleriyle aynı uzaklıkta ikinci, üçüncü ve dördüncü duvar ekoları olarak gözükür. Burada, başlangıç arkaduvar ekoları arasındaki mesafe, malzeme kalınlığının iki katını verir (Malzeme içerisindeki gidiş dönüşten dolayı) [1].

Nokta kaynağı içerisinde gaz boşluğu gibi herhangi bir hata varsa, bu hatanın boyutuyla orantılı olarak ses dalgasının bir kısmı da bu hatadan yansır. Hata, kaynak noktasının alt ve üst kısmı arasına yerleştiğinden, bundan dolayı oluşan hata ekosu da arkaduvar ekoları arasında meydana gelir. Kaynak hatalarının çok büyük olması durumunda, hata ekoları daha yüksek olur ve bunların arasındaki mesafeler, arkaduvar ekoları arasındaki meafelerden daha kısadır. Eğer ilk ses dalgasının ekosu gelmezse, prob kaynak içerisine yeni bir dalga gönderir. Yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanır. Başlangıç ses dalgaları ile ekrandaki görüntüler senkronize edilerek (eşzamanlı hale getirilerek) sürekli bir grafiksel gösterim elde edilir [2,3].

ÖZEL NOKTA KAYNAK PROBLARI

15 MHz'lik problemler, kaplanmış çelik sacların nokta kaynağı testi için geliştirilmiştir ve yüksek çözünürlüklü ultrasonik cihazlarla manuel test işlemlerinde oldukça etkin sonuçlar vermektedir.

Çinko kaplanmış çelik sacların nokta kaynağında bu problemlerin kullanılması, bazı zorlukları da beraberinde getirmiş, küçük çekirdek çapı ve soğuk

kaynak bölgesi gibi oluşumların tespit edilmesinde güçlükler meydana gelmiştir. Bu güçlüklerin esas sebebi, çinko kaplı çelik saclarda var olan çinko bağlarıdır ve bu durum hataların ses yansıtılmasına engel olmaktadır.

Bu zorluklar, 1993'lerin başında 20MHz'lik problemlerin üretilmesine neden olmuştur. Yüksek frekanslar verebilen bu problemler, çok yüksek çözünürlükle karakterize edilirler. Bu yeni problemler kullanılarak, çinko kaplı çeliklerde söz edilen hatalar %93 oranında tespit edilebilmişlerdir. Ancak, kesinlik derecesi yüksek sonuçlar elde edilmesine rağmen, bunların kullanımı teknik ve pratikte maliyeti çok artırmaktadır. En iyi sonuçlar G20MN tip problemler ve USIP12 tip ultrasonik hata dedektörleri kullanılarak elde edilmiştir [4].

ULTRASONİK TESTLE HATA SAPTAMA KRİTERLERİ

Farklı kalınlıklara sahip kaplanmış çelik saclar, otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Aynı veya farklı kalınlıklara sahip iki ya da daha fazla sayıda sac birbirleriyle nokta kaynağı ile birleştirilirler. Minimum kaynak çekirdeği çapı, aşağıdaki kriterlere göre belirlenir: Çekirdek çapı, ince sacın kalınlığının karekökünün en az dört katı olmalıdır. Minimum kaynak çekirdeği çapları şöyle gruplandırılır (Şekil 1): 4 - 4,5 - 5 ve 5,6 mm. Bu minimum kaynak çekirdeği çaplarına göre ses dalgası çapları farklı problemler dizayn edilmiştir. Test her zaman ince sac tarafından yapılır. İşlemi yapan operatör, birbirine kaynak yapılan sacların sayısı ve kalınlığı hakkında kesin bilgiye sahip olmalıdır. Nokta kaynağındaki hataları belirlemek ve hataların tipini tespit etmek için ultrasonik cihazın monitöründe görülen ekoların üç özelliğinden faydalanılır:

1. Arkaduvar ekosunun büyüklüğünde meydana gelen düşüş

2. Hata ekolarının oluşumu
3. Hata ekolarının büyüklüğü ve pozisyonu

Arkaduvar Ekolarının Büyüklüğündeki Düşüş

Otomobil gövdelerinde kullanılan galvanizli çelik malzemeler, genellikle ince taneli ve ferritik yapıya sahiptir. Bu durum, sac içerisinde ses dalgasının giderek sönümlenmesine sebep olur, ve belli bir süre sonra çıkış dalgası görünmez hale gelir. Şekil 6'da, 2 mm. kalınlığında tek bir sacdan alınan eko dizisi örneği görülmektedir. Bu uzun eko dizisi, kaynak edilmemiş ya da soğuk kaynak edilmiş bir malzemenin karakteristik özelliğidir.

Eğer malzeme eritilirse, daha iri taneli perlitik bir yapı elde edilir. Bu durum, ses dalgalarında oluşan sönümleme miktarını artırır ve eko dizisinin genişliği azalır. Şekil 7'de, 2 mm. kalınlığındaki sacın kaynak çekirdeğinden alınan ekolar görülmektedir. Eko dizisinin genişliği, kaynak çekirdeğinin nüfuziyeti ya da erimesi ile orantılı olarak değişir.

Eko dizisinin genişliği, yüzey şartlarından da etkilenir. Kaynak elektrodlarının sebep olduğu deformasyon, mükemmel düzlüğe sahip saclarla karşılaştırıldığında, yansıtma şartlarının kötüleşmesine yol açar. Bu yüzden, eko dizisinin kesin ve açık bir şekilde saptanabilmesi için bu

deformasyonların belli bir limiti geçmemesi gerekir.

Monitörde görülen eko dizisinin ses yolu, erime için bir ölçüm olarak kullanılabilir. Bu ölçüm, toplam sac kalınlığının iki katı ile gözlemlenen eko sayısının çarpımından hesaplanır.

Şekil 6'ya göre;

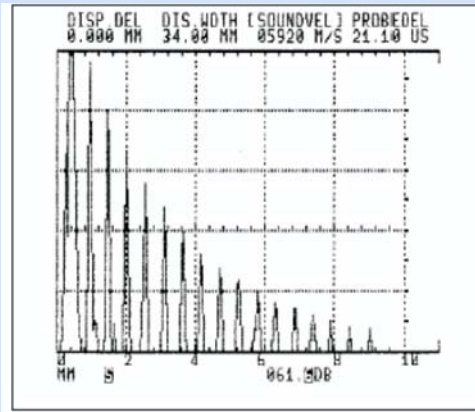
$$2 \times 2 \text{ mm} \times 16 \text{ eko} = 64 \text{ mm ses yolu}$$

Kaynaklı malzemede Şekil 7'ye göre;

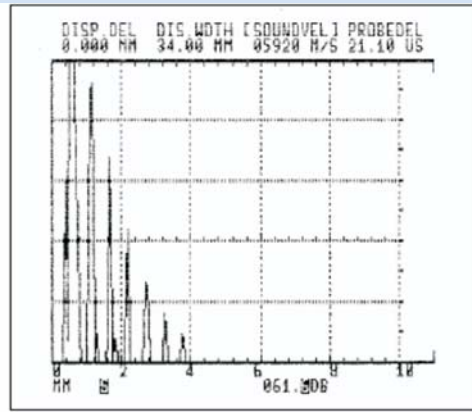
$$2 \times 2 \text{ mm} \times 6 \text{ eko} = 24 \text{ mm ses yolu.}$$

Hata Ekolarının Oluşumu

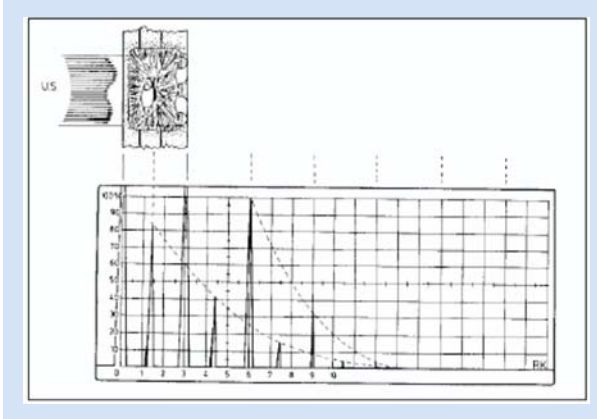
Daha önce belirtildiği gibi, iyi bir nokta kaynaklı yapıda ses dalgaları sönümlenene kadar belirli bir süre yapı içerisinde gider gelir. Bu durumda, arkaduvar aralarındaki mesafe, toplam kalınlığın iki katını ses dalgasının katetme zamanına bağlıdır. Eğer ses dalgasının katettiği bölge içerisinde malzemede bir kusur varsa, ses dalgasının bir kısmı bu kusurdan dolayı geri yansır ve bir hata ekosu oluşur (Şekil 8). Hata ekosunun monitördeki yeri, hatanın hangi derinlikte olduğu hakkında bilgi verir. Şekil 8 incelenecek olursa, bağlantının ortasında bir büzülme boşluğu olduğundan, hata ekosu da buna bağlı olarak arkaduvar ekolarının arasında orta kısımda yer almaktadır.



Şekil 6. Kaynaksız Sacda Eko Dizisi

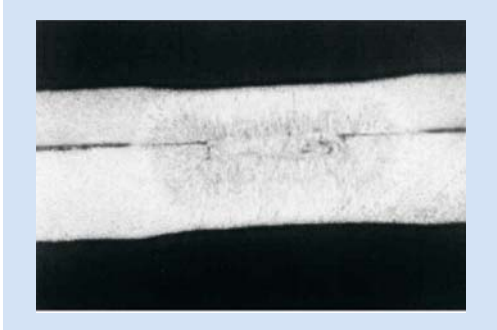


Şekil 7. Nokta Kaynaklı Sacda Eko Dizisi [4]

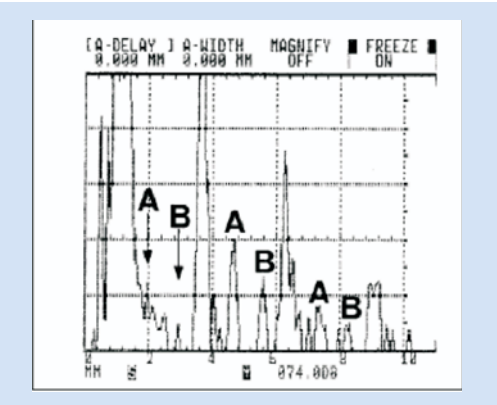


Şekil 8. Ortasında Büzülme Boşluğu Bulunan Nokta Kaynağının Eko Dizisi [4]

Şekil 9 ve 10'da, farklı kalınlıklarda birleştirilmiş (0,7 ve 2 mm) iki sac arasındaki oldukça küçük gerçekleşen çekirdek çapı görülmektedir. A hata ekosu, probun ince sac tarafına bağlanmasıyla ses yolunun kısa olması sonucu arayüzey ekosunun arkasına yakın yer almaktadır. İkinci hata ekosu olan B de, hatadan gelen çoklu yansıma sonucu oluşmuştur.



Şekil 9. Küçük Çekirdek Çapının Görünümü [4]



Şekil 10. Farklı Kalınlıklardaki Saclarda Oluşan Küçük Çekirdek Çapının Eko Dizisi [4]

Hata Ekosunun Yeri ve Büyüklüğü

Hata ekosunun yüksekliği, hatanın boyutu ve yansıtma davranışıyla doğrudan ilgilidir. Sadece ses dalgalarının ilerleme doğrultusuna dik doğrultuda yerleşmiş olan yüzey parçaları ekonun yüksekliğini tam doğru olarak ekrana verir. Hacimli bir şekle sahip olmasından dolayı, bir büzülme boşluğu probdan gönderilen ses dalgasının tamamını her zaman geri yansıtamaz. Bu sebepten dolayı da oluşan bir hata ekosu her zaman hata boyutunu tam olarak vermez.

Sonuç olarak, bir hata ekosunun büyüklüğü, hatadan geri yansıyan sesin basıncına bağlıdır. Hata derinliğinde bu basınç toplam basıncın %50'sinden az ise, hata ekosu sağ tarafta yer alan arkaduvar ekosundan daha küçüktür. %50'nin üzerinde ise, hata ekosu daha büyük olur. Eğer oran yarı yarıya ise, bu durumda da hata ekoları arkaduvar ekolarıyla aynı yükseklikte olur. İşlemi yapan operatör bu durumu dikkate almaz ise, sonuçlar yanlış yorumlanabilir.

Galvanizli çeliklerde, çekirdeğin dış ucunda oluşan çinko lehimlenmesinden dolayı, küçük çekirdek çapı ve soğuk kaynak gibi hata tipleri özel bir öneme sahiptir.

Bilindiği gibi çinko 420 °C'de erir. Şekil 11'den de açıkça görüldüğü gibi, erimiş çinko, elektrot iz bölgesinin dış tarafında bir halka şeklinde toplanır. Ancak, halka kaynağı içerisinde çok ince bir çinko bağı da vardır. Bu bağlar, farklı kalitede olabilir: Yüksek

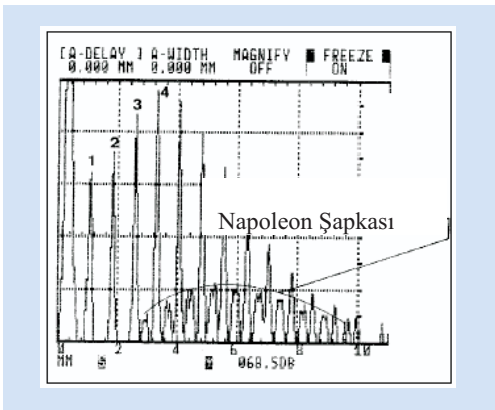


Şekil 11. Saclar Ayrıldıktan Sonra Çinko Bağının Görünümü

dayanımlı, orta ve az dayanımlı. Ultrasonik dalgalar kullanılarak bunlar birbirlerinden ayırt edilebilir. Yüksek dayanımlı bağ durumunda, yansımanın az olmasından dolayı ses dalgası hata direnci çok azdır. Bu durumda, çok küçük hata ekoları görülür.

Bağ kalitesinin azalmasıyla hata direnci artar ve buna bağlı olarak da yansıma büyük olur. Bağların karakteristik bir özelliği de monitördeki görünümleridir. Ultrasonik kullanıcılar buna “Napoleon Şapkası” olarak adlandırır (Şekil 12). Eko dizisi görünümünün çan şeklinde olması şöyle açıklanabilir: Bağdan dolayı oluşan küçük yansımalar, toplam sac kalınlığında yüksek ses basınçlı bir eko dizisi oluştururken, üst sacda düşük ses basınçlı bir eko dizisine sebep olur. Toplam kalınlıktan gelen yüksek ses basınçlı eko dizisi sürekli gidip gelirken, az bir miktarı oluşan çinko bağ bölgesinden geri yansır. Bu durum, düşük genlikli eko dizisini üst üste bindirir. Malzemenin sönümleme etkisinden dolayı genlik tekrar düşene kadar çoklu eko dizisinde bir artış gözlemlenir.

Yüksek dayanımlı bir bağ, çok düşük bir yansıtma katsayısına sahiptir. Bundan dolayı hata ekoları küçüktür ve toplam sac kalınlığından gelen eko dizisinde belli bir süre Napoleon Şapkası gözükmez. Düşük dayanımlı bağ ise daha yüksek bir yansıtma katsayısına sahiptir, sonuç olarak da hata ekoları daha büyüktür ve Napoleon Şapkası başlangıçta toplam eko



Şekil 12. Eko Dizisinde Görülen “Napoleon Şapkası” [4]

dizisinin üzerinde gözükür. Benzer kalınlıklara sahip saclar kaynak edildiğinde, “Napoleon Şapkası” sadece hata ekolarıyla sınırlı kalmaz, aynı zamanda toplam eko dizisinde de oluşabilir (Şekil 12, 1 ve 4 arkaduvar ekoları arası).

YAPISAL ÇALIŞMALAR VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Galvanizli çeliklerde düşük arayüzey direnci olduğundan, yüksek kaynak akımları kullanılır. Ancak, bu değerler sıçrama olayı olmayacak şekilde sınırlanır. Kaynak aralığını artırmanın bir başka yolu da kaynak zamanını uzatmaktır. Ancak, zaman kaybindan dolayı kaynak zamanı en pahalı kaynak parametresidir ve mümkün olduğunda kısa ayarlanır.

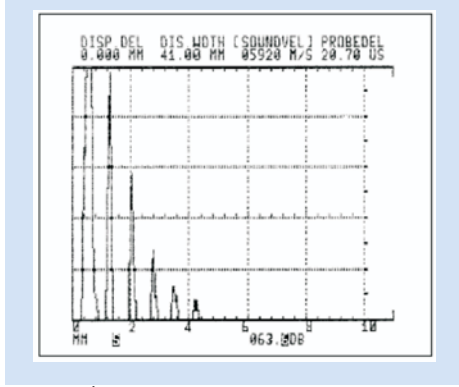
Nokta kaynağının ultrasonik test metodunda, esas olarak aşağıdaki kalite özellikleri muayene edilir:

1. Yüksek erimeyle yeterli kaynak çekirdek çapı (Şekil 1, A bölgesi)
2. Zayıf erimeyle yeterli kaynak çekirdek çapı (Şekil 1, B bölgesi)
3. Çok küçük kaynak çekirdek çapı (Şekil 1, C bölgesi)
4. Nokta kaynağındaki büzülme boşlukları ya da gaz kabarcıkları
5. Birleşme ya da soğuk kaynak
6. Yanmış kaynak noktası

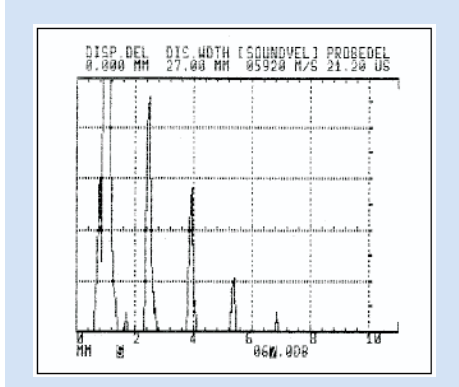
Yüksek Erimeyle Yeterli Kaynak Çekirdek Çapı

Yüksek erimeli nokta kaynağının karakteristik bir özelliği, arkaduvar ekolarının sayısıdır ve genellikle yedi ekodan fazla olmaz. Kaynak elektrotlarının sebep olduğu yüzeydeki çukurlaşma, belirli bir limiti geçmemelidir. Batma derinliği fazla olursa, nokta kaynaklarının yüzeyinde sesin dağılmasından dolayı basıncı düşer ve daha yüksek limitlerde bir cihaz gerekir. Prensip hata ekolarının oluşmaması gerekir. İnce saclarda, kalın saclara nazaran birkaç eko daha fazla oluşur. Örneğin, Şekil 13'e yüksek

erimeli iki sacdan oluşan bir bağlantıdaki (1,75 mm ve 1,38 mm) eko dizisini göstermektedir. Şekil 14'de ise üç sacdan oluşan bir bağlantıdaki (1,75mm - 1,38mm ve 1mm) eko dizisi görülmektedir. Her iki bağlantı için de, ses yolu hemen hemen aynıdır.



Şekil 13. İki Saclı Bağlantıda Eko Dizisi [4]



Şekil 14. Üç Saclı Bağlantıda Eko Dizisi [4]

$$(1,75 + 1,38) \text{ mm} \times 2 \times 5 \text{ eko} = 31,3 \text{ mm.}$$

$$(1,75 + 1,38 + 1) \text{ mm} \times 2 \times 4 \text{ eko} = 33,0 \text{ mm.}$$

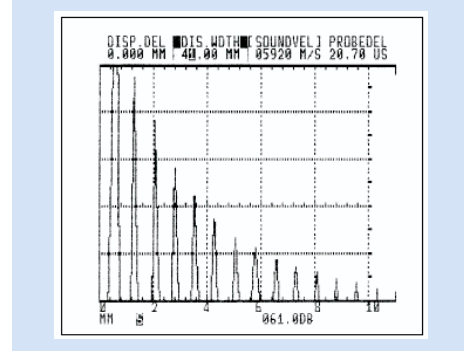
Aynı erime hızında, 0,8 mm. kalınlığındaki iki sacın bağlantısında 10 adet arkaduar ekosu beklenirse,

$$(0,8 + 0,8) \text{ mm} \times 2 \times 10 \text{ eko} = 32 \text{ mm.}$$

Bu durumda, ses yolu 40 - 45mm'nin altında olan ve hata ekosu içermeyen nokta kaynaklarında kaynak parametrelerinin düzenlenmesine (doğrultulmasına) gerek yoktur. Ancak, üretim sırasında (seri imalatta) elektrotların sürekli bakımı her zaman gereklidir.

Zayıf Erimeyle Yeterli Kaynak Çekirdek Çapı

Şekil 15'de, zayıf erimeyle birleştirilmiş iki sacdan alınan (1,75mm 1,38mm) eko dizisi görülmektedir. 13 ekodan daha fazla bir eko dalgası görüntülenmesi için ses dalgası nokta kaynağı içerisinde geçerken yavaş yavaş azaltılır. Ses yolu ölçümü,



Şekil 15. Zayıf Erimeyle Nokta Kaynağında Eko Dizisi [4]

$$(1,75 + 1,38) \text{ mm} \times 2 \times 13 \text{ eko} = 81,4 \text{ mm.}$$

Ses yolunun uzun olmasından dolayı, bu nokta kaynağı zayıf erimeye sahip nokta kaynağı olarak sınıflandırılır. Arkaduar eko dizisi arasında hata ekoları olmadığından, çekirdek çapı uygundur (Şekil 1, B eğrisi). Bu nedenle, bu tip bir eko görüntüsü üreten nokta kaynakları "mükemmel fonksiyonlu" olarak kabul edilirler. Ancak, pratikte seri üretim sırasında çok küçük çekirdek çapları ve soğuk kaynak gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır.

Zayıf erimenin en önemli sebepleri aşağıda listelenmiştir. Genelde, bu sebeplerin birkaç tanesi de biraraya gelerek bu hatayı oluşturur.

Software

- Yetersiz kaynak zamanı
- Yetersiz kaynak akımı
- Tutma periyodunun çok uzun olması

Hardware:

- Elektrod temas yüzeyinin çok geniş olması
- Elektrodun yetersiz soğutulması
- Primer veya sekonder devrenin yetersiz soğuması
- Elektrotların kısa devre olması
- Elektrod basıncının çok yüksek olması

Malzeme:

- Çinko tabaksının kalınlığının sabit olmaması
- Yüzey kaplamanın değişmesi
- Çinko kaplamadan dolayı kısa devre

Çok Küçük Kaynak Çekirdek Çapı

Eğer, gerçekleşen çekirdek çapı gerekli olan değerinden daha küçük olursa, kaynak çekirdeğinden gelen yansımalar, arkaduvar eko dizisi arasında hata ekolarının oluşmasına sebep olur (Şekil 9 - 10). Bağlantı bölgesinde erime değişebilir. Çekirdek çapının küçük olmasının sebebi, zayıf erimenin sebepleriyle hemen hemen aynıdır. Aşağıdaki bazı ilave sebepler ifade edilebilir.

Software:

- Yüksek kaynak akımı ya da uzun kaynak Zamanından dolayı malzemenin sıçraması
- Ön ısıtma basıncı zamanının çok kısa olması

Hardware:

- Elektrodların temas yüzeylerinin çok küçük olması
- Elektrodların dikey ekseninde denge ayarlarının Yapılmaması
- Elektrodların çok fazla kubbeli olması
- Kaynak teçhizatında oluşan bozulmalar

Büzülme Boşluğu İçeren Nokta Kaynakları

Siyah saclarda meydana gelen büzülme boşlukları ya da gaz boşluklarının sebebi genellikle sac yüzeyinin kirli olmasıdır (yağlı, paslı, vs.). Galvanizli çeliklerde, büzülme boşluğu oluşumu galvanizsiz çeliklere göre oldukça fazladır. Çinkonun kaplanma yöntemi de, kaynak esnasında bu boşlukların oluşma miktarını etkiler. Elektrolitik çinko kaplanmış saclarda, sıcak daldırma ile kaplanmış saclara göre büzülme boşlukları daha çok görülür. Çünkü sıcak daldırmada oluşan çinko-demir (Zn - Fe) alaşımı oldukça yüksek bir erime sıcaklığına sahiptir.

Aşağıda, büzülme boşluklarının ana oluşum sebepleri sıralanmıştır.

Software:

- Kaynak akımının çok yüksek olması
- Ön ısıtma basıncı zamanının çok kısa olması

- Kaynak zamanının çok uzun olması (özellikle kalın saclarda)

Hardware:

- Elektrodların çukurlaşması
- Elektrod temas yüzeylerinin çok geniş olması
- Elektrod basıncının çok düşük olması

Malzeme:

- Çinko tabakası kalınlığının değişken olması
- Sac yüzeyinin kirli olması

“Birleşme” ya da “Soğuk Kaynak”

Pratikte birleşme ya da soğuk kaynağı oluşturan belli başlı etkiler vardır. Bunlar tek başına ya da bir araya gelerek bunu oluştururlar. Bu yüzden, işletmeye yeni bir kaynak sistemi yerleştirildiğinde, kaynak parametrelerinin optimum düzeyde tutulmasına dikkat edilmelidir. Seri üretimde, yeni elektrodlar ve maksimum erime sağlanarak daha yüksek üretim kalitesine ulaşılabilir. Bu hatanın en önemli sebepleri şunlardır.

Software:

- Fonksiyonların optimum düzeyde Programlanmaması
- Yetersiz kaynak zamanı
- Yetersiz kaynak akımı
- Tutma periyodunun uzun olması

Hardware:

- Elektrod temas yüzeyinin çok geniş olması
- Elektrodların yetersiz soğutulması
- Elektrod basıncının yüksek olması
- Kısa devre

Malzeme:

- Yüzey kaplamadaki değişimler
- Çinko tabakası kalınlığının değişmesi

Kaynak Noktasının Yanması

Genellikle kaynak parametreleri deneylerle tespit edilir ve nokta kaynakları yapıldıktan sonra tahribatlı bazı deneyler yapılarak kontrol edilirler. Kaynak akımı, sıçrama limitinin altında olacak şekilde ayarlanır. Nokta kaynağı yüzeyinin yanması ve elektrotların yapışması, elektrot ömrünün azalmasına sebep olur. Yanık yüzeyler, iyi bir erimenin elde

edilemediğinin göstergesidir. Eğer, arkaduar ekolarının ses yolu 45mm'den büyük ise, kaynak zamanı çok kısa ve kaynak akımı çok yüksek demektir. Şekil 16 ve 17, yanık yüzeylerin oluştuğu bir çinko bakır nüfuziyetli nokta kaynaklarında zayıf erimeyi göstermektedir.

Kaynak noktasının yanmasının ana sebepleri şunlardır.

Software:

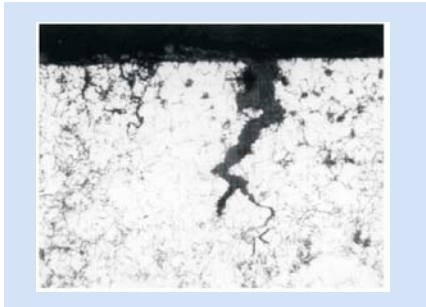
- Kaynak akımının çok yüksek olması
- Kaynak zamanının çok uzun olması (çok kısa eko dizisi verir)
- Kaynak zamanının çok kısa olması (çok uzun eko dizisi verir)
- Ön tavlama basıncı zamanının çok kısa olması

Hardware:

- Elektrod basıncının çok düşük olması
- Elektrod temas yüzeyinin çok küçük olması

Malzeme:

- Sac yüzeyinin kirli olması



Şekil 16. Çinko Nüfuziyetli Çatlağın Mikroyapısı



Şekil 17. Bakır Nüfuziyetinin Mikroyapısı

SONUÇ

Nokta kaynaklı bağlantıların ultrasonik muayenesi, başlangıçta, tahribatlı testlere yardımcı olarak kullanılmaktaydı. Hızlı yapılması, tekrarlanabilir olması ve herhangi bir test hurdası oluşturmaması gibi avantajlarından dolayı seri üretimde ultrasonik test metodu hızla yaygınlaşmıştır. Ultrasonik testin kullanılmasıyla, yeni kaynak sistemlerinin kurulması ve galvanizli çeliklerin daha yaygın kullanımı sağlanmıştır. Ultrasonik nokta kaynaklarının analizleri sayesinde en kısa zamanda kaynak sistemlerinin optimizasyonu yapılabilmektedir. Bu şekilde, yeni kaynak sistemlerinin yapılmasıyla, testlerde oluşan hurda miktarı da minimuma indirilmektedir.

Ultrasonik metot, sadece kaynak makinasının kalitesini belirlemede değil, aynı zamanda kaynak parametrelerinin optimizasyonu için de kullanılmaktadır. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu yapılarak, erimenin maksimum olmasına ve kaynak işleminin stabilitesinin daha yüksek olmasına olanak sağlanmaktadır. Bu da seri üretimde üretim kalitesini artırmaktadır.

KAYNAKÇA

1. **Desterke, A.**, December 1980, Automatic Ultrasonic Inspection of Pipeline welds, NDT International, Volume 13, Issue 6, pp 274-284.
2. **Meyer, J.H.**, Ultrasonic Inspection of Pressure Vessel Welds and Walls, April 1971, Ultrasonics, Volume 9, Issue 2, p 124.
3. **Sherbinskii, V.H., Kuzmin, A.A.**, October-December 1965, Ultrasonic Inspection of Thin Section Weld Seams, Ultrasonics, Volume 3, Issue 4, p 5.
4. **Wilhelm, F., Meincke, W., Voigt, B.**, 1990, Nondestructive Testing of Spot Welds, Examination of a Modified Ultrasonic Test Ssystem, SD 272: QZ Carl Hanser Verlag, Munich.
5. **Vural, M., Akkuş, A.**, November 2004, On the Resistance Spot Weldability of Galvanized Intersitital Free Steel Sheets With Austenitic Stainless Steel Sheets, Journal of Material Processing Technology, Volume 153-154, pp 1-6.