

## SAE 304L ÇELİKLERİN TEK V ALIN KAYNAK DİKİŞİNDE POROZİTENİN ULTRASONİK YÖNTEMLE OPTİMUM TESBİTİ

Memduh KURTULMUŞ, Onur FİDANER, A.İrfan YÜKLER

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 34722 Göztepe/İSTANBUL

### ÖZET

Ostenitik paslanmaz çeliklerin ergitmeli kaynak birleştirmelerinde kaynak dikişi iri tanelerden ve dendritik mikroyapıdan oluşur. Bu mikroyapı anizotropik karakterlidir. Bu çeliklerin ultrasonik yöntemle muayenesi sırasında kaynak dikişine gelen ultrasonik ses dalgaları, kaynak dikişinin mikroyapısına bağlı olarak saçılmakta, yön değiştirmekte ve dolayısıyla zayıflamaktadır. Kaynak dikişine ait belirtiler ile bilhassa küçük boyutlu kaynak hatalarına ait belirtileri birbirinden ayırt etmek çok zor olmaktadır. Ayrıca daha büyük boyutlu hataların tesbitinde ve konumlarının hassas olarak tayin edilmesinde hatalar yapılabilmektedir.

SAE 304L ostenitik paslanmaz çelik levhalara 45° ve 60° açılı V alın kaynak ağzı açılmıştır. Levhalar 308L örtülü elektrodlar ile sıfır hatalı olarak kaynaklanmıştır. Kaynak sonrası kaynak dikişlerinde poroziteyi temsil eden yapay hata oluşturulmuştur. Kaynak ekseninde ve dikiş kalınlığının ortasına gelen noktaya 1 mm çapında ve 20 mm derinlikte bir delik açılmıştır. İki ayrı tür dalga içeren 8 farklı prob ve 8 ayrı test konumunda ultrasonik test yapılmıştır. Her yapılan testte hata algılama parametresi olarak sinyal/gürültü oranı tespit edilmiştir. Deneyle sonunda porozitenin optimum olarak tesbit edilmesinde (1) Prob dalga türünün, (2) Prob test konumunun, (3) Prob frekansının etkisi bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** aynağın ultrasonik muayenesi, ostenitik paslanmaz çelik kaynak hataları, porozite

## OPTIMUM ULTRASONIC INSPECTION CONDITIONS OF SINGLE V BUTT-WELDED SAE 304L AUSTENITIC STAINLESS STEELS

### ABSTRACT

A textured coarse grain structure is formed in austenitic stainless steel welds. This microstructure has anisotropic properties. When an ultrasonic wave passes through the weld metal, the wave is attenuated, that is its amplitude decreases. The principal cause of this attenuation belongs to the scattering of the wave at the grain boundaries. This attenuation causes difficulties in discrimination between defect indications and weld metal indications in ultrasonic inspection of the weldment.

SAE 304L plates were 45° and 60° single V butt welded with manuel metal arc method. 308L electrodes were consumed in welding. A defect free weldment was produced. Then a hole was drilled in the weld metal to stimulate porosity. Ultrasonic inspection was done with various probes and probe positions. In each test signal-noise ratio was recorded. The aim of the experiments was to find out the optimum ultrasonic test condition in detecting the porosity. The effects of the probe type, probe frequency and probe position on test results were determined.

**Key words:** Austenitic weld metal defects, porosity, ultrasonic testing

## 1.GİRİŞ

Ostenitik paslanmaz çelikler ve bilhassa SAE 304L paslanmaz çelikler nükleer enerji santrallerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metalden yapılmış parçalar kaynak yöntemi ile birleştirilmektedir. Kaynaklar üretimlerinden sonra ve hizmetleri sırasında kontrol edilmektedir. Kontroller tahribatsız muayene yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Radyografi yöntemi yüksek radyasyon seviyesi yüzünden nükleer enerji santrallerinde sınırlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bilhassa santrallerdeki çalışma durumundaki iş parçalarının kontrolü ultrasonik muayene yöntemi ile gerçekleştirilmektedir [1].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında oluşan yönlenmiş, kaba taneli ve dendritik mikroyapı ultrasonik ses dalgalarını zayıflatmaktadır [2]. Kaynak metalinin karakteristik mikroyapısı ultrasonik dalgaların saçılmasını sağlayarak dalgaları zayıflatmaktadır. Bu durum ise kaynaktaki hataların algılanmasını zorlaştırmaktadır. Hata içermiyen malzeme mikroyapısından kaynaklanan belirtiler ile küçük boyutlu hatalardan algılanan belirtilerin birbirinden ayırt edilmesi çok zor olmaktadır.

Bilhassa çok pasolu kaynaklarda kaynak metalinin mikroyapı ve yönlenmesi kompleks hal almaktadır. Bu nedenle bu mikroyapıda ultrasonik ses ilerleme yönü ve mikroyapı yönlenme farkına bağlı olarak büyük saçılmalar gerçekleşmektedir. Bu olay hataların detektesini daha da zorlaştırmaktadır [3,4].

## 2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

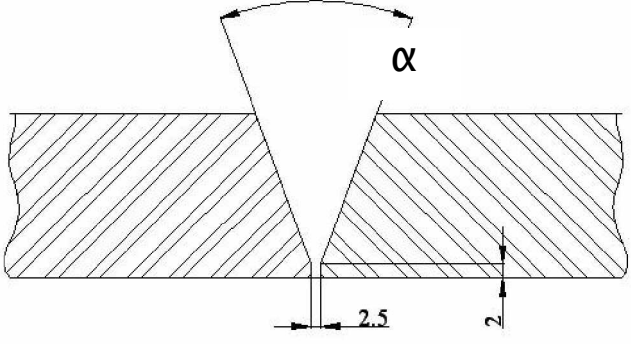
Deneysel çalışmalarda 20 mm kalınlıktaki SAE 304L ostenitik paslanmaz çelik levha kullanılmıştır. Levhanın kimyasal analizi Çizelge 1’de verilmiştir. Levhadan plazma ile 250x150 mm ölçülerinde parçalar kesilmiştir. 250 mm uzunluğundaki kısım levha haddeleme yönüne paraleldir. Bu kenarda kaynak ağzı freze ile açılmıştır. ASP 308L elektrodları ile öntavlamasız 45° ve 60° açılı V alın kaynağı yapılmıştır. Kök paso çekilmeden önce deney numunelerine yeterli ters açı verilerek, kaynak sonrası birleştirilen parçaların 180 ° açı oluşturması sağlanmıştır. Birleştirme geometrisi ve kaynak parametreleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Deney parçalarının kimyasal analizi

%Cr	%Ni	%C	%Mn	%Mo	%Cu	%Si	%V
18,33	8,11	0,03	1,22	0,77	0,63	0,40	0,11

Kaynak işlemleri sırasında her pasodan sonra spiral taşlama makinesine çanak tel fırça bağlanarak cüruf temizlenmiş daha sonra, olası hataları belirlemek için Sıvı Penetrant testi yapılmıştır. Kaynaklarda cüruf, porozite ve çatlak kalmamasına özen gösterilmiştir. Kaynaklar tamamlandıktan sonra ise parçaların radyografi (X-Ray) ile filmleri çekilip, kaynak sonrasında deney parçası içerisinde herhangi bir süreksizlik olup olmadığı kontrol edilmiştir. Çekilen radyograflarda, parçada hata olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapay hata ile ultrasonik parametreler araştırıldığından ve doğal hatalar ultrasonik dalgalarla girişim yapabileceğinden ölçümleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dolayısı ile malzemede doğal hataların bulunmaması gerekmektedir. Sonuçta sıfır hatalı kaynak elde edilmiştir.

**Çizelge 2.** Kaynak birleştirme geometrisi ve kaynak parametreleri

20 mm SAE 304L levha Kaynak pozisyonu : Yatay Dikiş uzunluğu : 250 mm Deney 1 $\alpha$ : 45° Deney 2 $\alpha$ : 60°		
Pasolar	1	2 – 13
Elektrod cinsi	ASP 308L	
Elektrod çapı (mm)	2,5	3,25
Akım (Amper) DC (+)	70	110
Kaynak ilerleme hızı (mm/s)	3,1	2,9

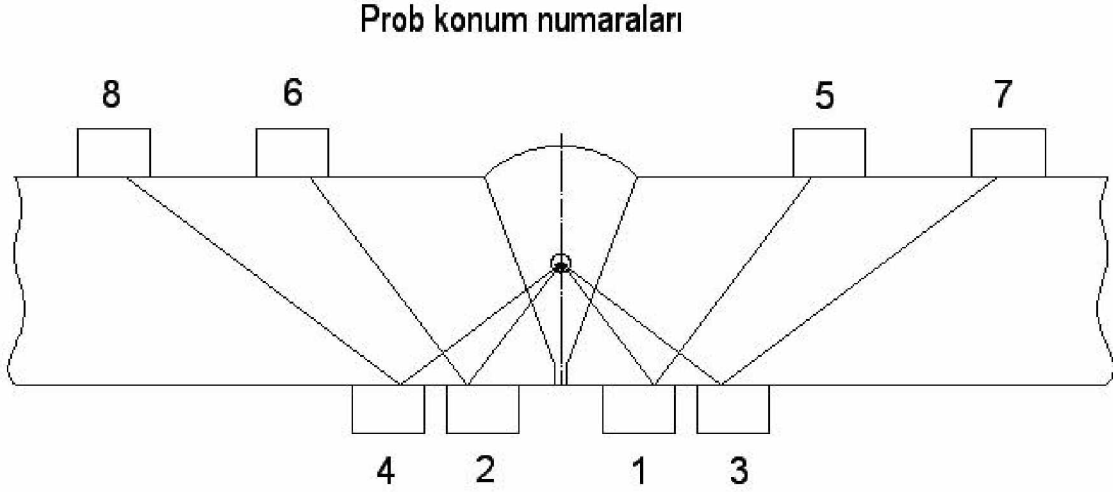
Daha sonra kaynak metalinin merkezine yakın bir noktada, kaynak dikiş ilerleme doğrultusunda, 1 mm çaplı ve 20 mm derinlikte bir delik açılmıştır. Bu delik yapay bir hata olup dikişte oluşabilecek porozite hatasını temsil etmektedir.

Yapay hata oluşturulduktan sonra hatanın tespiti için ultrasonik muayene işlemleri yapılmıştır. Deneyler Darbe-Yankı tipi bir Dijital/Analog ultrasonik hata detektörü (Krautkramer USM 255 Modeli) ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin yüzeyi üzerine kontakt maddesi olarak gres sürülerek ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan problar ve özellikleri Çizelge 3’de özetlenmiştir.

**Çizelge 3.** Deneylerde kullanılan problar ve özellikleri [5].

Prob Kodu	Markası	Dalga Türü	Demet Açısı	Frekans [KHz]	Prob Kristal Boyutu (mm)	Etkin Kullanım Bölgesi (mm)
MWB45-4	Krautkramer	Enine Dalga	45°	4	8x9	3 – 4600
MWB70-4	Krautkramer	Enine Dalga	70°	4	8x9	3 – 4200
MWB45-N2	Krautkramer	Enine Dalga	45°	2	8x9	5 – 3300
MWB70-N2	Krautkramer	Enine Dalga	70°	2	8x9	4 - 2400
VSY 45	Krautkramer	Boyuna Dalga	45°	4	5x10	3 - 40
VSY 70	Krautkramer	Boyuna Dalga	70°	4	5x10	4 - 35
VRY 45	Krautkramer	Boyuna Dalga	45°	1.8	10x22	21 – 150
VRY 70	Krautkramer	Boyuna Dalga	70°	1.8	10x22	15 - 100

Deney numunesinde açılan deliğin konumu, kullanılan prob cinsleri, bu problemlerin deney sırasındaki konumları ve her prob ile ölçüm yaparken probtan deliğe kadar ultrasonik dalganın takip ettiği ilerleme yolu Şekil 1’de gösterilmiştir. Her deneyde sesin takip ettiği yol ekrandan direkt olarak okunmuştur. Her deneyde bağıl hassasiyet ve sinyal/gürültü (S/G) oranı kayıt edilmiştir. Çalışmada referans ekran yüksekliği %40 olarak alınmıştır. Aynı koşullarda yapılan çok sayıda tekrardan sonra elde edilen sonuçların  $\pm 2\text{dB}$  hassasiyette olduğu tesbit edilmiştir.



**Şekil 1.** Deney parçalarında açılan delik, kullanılan prob tipleri, problemlerin konumları ve ultrasonik dalgaların şematik ilerleme yolu

### 3.DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Her prob ile her deney parçası üzerinde dört deney yapılmıştır. İki deneyde iki yarım sekme ve iki deneyde ise tam sekme adımı ile ölçüm yapılmıştır.  $45^\circ$  açısı olan problemlerle Şekil 1’de gösterilen 1,2,5 ve 6 prob konumlarında deney yapılırken  $70^\circ$  açılı problemlerle 3,4,7 ve 8 prob konumlarında deney yapılmıştır. Enine dalga problemlerine ait deney sonuçları Çizelge 4’te ve boyuna dalga üreten problemlerin sonuçları ise Çizelge 5’te görülmektedir. Her iki çizelgenin ilk sütununda hangi deney parçasına deney yapıldığı gösterilmektedir. Sütun ikide ise problemlerin deney konumları tanımlanmıştır. Üçüncü sütunda deneyde kullanılan problemin açısı belirtilmiştir. Dört ve beşinci sütun ile altıncı ve yedinci sütunlarda o deneyde sesin ilerleme yol uzunluğu ve o deneyde ait S/G oranı gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Enine dalga üreten problemlerin ultrasonik deney sonuçları

Kaynak Açısı	Prob Konumu	Prob Açısı	4,0 MHz Frekanslı Prob		2,0 MHz Frekanslı Prob	
			Ses Yolu, mm	S/G Oranı, dB	Ses Yolu, mm	S/G Oranı, dB
45°	1	45°	13,80	16,5	14,05	13,0
45°	2	45°	15,08	16,5	14,63	13,0
60°	1	45°	15,90	16,0	15,42	12,5
60°	2	45°	17,36	15,5	16,94	12,0
45°	3	70°	22,77	15,0	23,09	11,0
45°	4	70°	26,46	14,0	23,85	11,5
60°	3	70°	28,91	14,5	28,97	10,5
60°	4	70°	29,21	13,0	29,64	10,5
45°	5	45°	41,67	11,5	42,07	9,5
45°	6	45°	43,74	12,5	43,56	9,0
60°	5	45°	44,80	11,0	44,97	8,5
60°	6	45°	46,96	10,0	45,73	9,0
45°	7	70°	81,75	9,0	82,98	7,5
45°	8	70°	81,96	9,5	83,18	8,0
60°	7	70°	83,70	9,5	86,39	7,0
60°	8	70°	84,28	8,5	88,61	6,5

**Çizelge 5.** Boyuna dalga üreten problemlerin ultrasonik deney sonuçları

Kaynak Açısı	Prob Konumu	Prob Açısı	4,0 MHz Frekanslı VSY Probu		1,8 MHz Frekanslı VRY Probu	
			Ses Yolu, mm	S/G Oranı, dB	Ses Yolu, mm	S/G Oranı, dB
45°	1	45°	15,25	15,0	13,64	12,5
45°	2	45°	15,40	15,5	13,77	12,0
60°	1	45°	15,82	15,0	15,41	16,5
60°	2	45°	16,08	14,0	15,91	16,0
45°	3	70°	26,18	12,0	29,93	12,5
45°	4	70°	26,43	10,5	30,08	13,5
60°	3	70°	26,95	11,5	34,73	12,5
60°	4	70°	27,38	11,5	36,38	12,5
45°	5	45°	43,14	8,0	42,38	12,5
45°	6	45°	44,08	7,5	43,10	12,0
60°	5	45°	45,72	6,5	45,03	11,5
60°	6	45°	46,14	7,0	45,88	12,0
45°	7	70°	86,83	3,5	87,75	10,5
45°	8	70°	87,44	5,0	88,40	10,0
60°	7	70°	88,17	4,0	91,20	10,5
60°	8	70°	89,22	4,0	92,34	9,5

Çizelge 4 ve Çizelge 5'teki deney sonuçlarını incelediğimizde ilk tespit edilen husus ultrasonik sesin iş parçası içerisinde ilerlediği yol uzadıkça S/G oranının azalmasıdır. Çizelge 4'te 45° V alın kaynağında 45° açılı enine dalga prob sonuçlarını incelersek ses yolu 13,8 mm iken 16,5 dB olan S/G oranının 41,67 mm ses yolunda 11,5 dB değerine düştüğünü görüyoruz. Bu olay enine dalga problemlerde olduğu gibi boyuna dalga problemlerinde de meydana gelmektedir. Ultrasonik sesin ilerlediği yol uzadıkça sesin saçılması arttığından [6] S/G oranı yani hatanın dedektesi, tespiti azalmaktadır.

Deneyleerde 4 ve 2 MHz. frekanslı enine dalga problemleri kullanılmıştır. Bu problemlere ait deney sonuçlarını karşılaştırdığımızda prob frekansı arttıkça S/G oranının arttığını

görmekteyiz.örneğin Çizelge 4'teki ilk dört satırdaki sonuçları karşılaştırdığımızda 4 MHz frekanslı problemlerin daha iyi hata dedekte edebildiğini görmekteyiz. 15 mm ses yolunda 4 MHz frekanslı problemlerde 16,0 dB civarında S/G oranı elde edilirken benzer ses yolunda 2 MHz frekanslı problemlerde ise sadece 13,0 dB şiddetinde S/G oranı elde edilmektedir. Çizelge 4'teki diğer sonuçlarda da aynı trendi görmekteyiz.

Çizelge 5'teki sonuçları mukayese ettiğimizde boyuna dalga problemlerinde prob frekansı azaldıkça S/G oranının arttığını görmekteyiz. Çizelge 5'teki 5,6,7 ve 8 satır sonuçlarını karşılaştırdığımızda 1,8 MHz frekanslı VRY problemlerin daha uzun ses yolunda bile 4 MHz frekanslı VSY problemlerin daha iyi hata dedekte edebildiği görülmektedir.

Çizelge 5'teki sonuçlardan boyuna dalga problemleri ile probun etkin kullanım bölgesi içerisinde deney yapılması halinde sağlıklı sonuç alınacağını görmekteyiz. Etkin kullanım bölgesi dışında kalan ses yolu ile yapılan deneylerde hata dedektesi azalmaktadır. Örneğin 45° VRY probunun kullanım bölgesinin 21-150 mm olduğu Çizelge 3'te görülmektedir. Bu prob ile 13,64 ve 13,77 mm ses yolunda deney yapıldığında 12,5 ve 12,0 dB S/G değeri elde edildiğini Çizelge 5'in ilk iki satırında görmekteyiz. Aynı problemler ile 15,41 ve 15,91 mm ses yolunda yapılan deneylerde (Çizelge 5 üçüncü ve dördüncü satır) S/G oranı 16,5 dB'e yükselmiştir. Etkin kullanım bölgesinin altında kalan deneylerde hata dedektesi zayıflamıştır. Aynı zayıflama etkin kullanım bölgesinin üst sınırını aşan deneylerde de görülmüştür. Örneğin, 70° VSY problemlerinin etkin kullanım bölgesi 4-35 mm olduğu Çizelge 5'te görülmektedir. Bu problemler ile 80 mm üzerindeki ses yolu ile deney yapıldığında (Çizelge 5 son dört satır) çok düşük S/G oranları elde edilmiştir. Bu değerler hata dedektesi için tavsiye edilen[2] minimum 6 dB S/G oranının bile altına inmiştir.

V alın kaynaklarında yapılan ultrasonik deneylerde 4 MHz enine dalga problemleri ile 1,8 MHz boyuna dalga problemleri arasında belirgin bir fark bulunamamıştır. Benzer sonuçlar krom-nikel-molibden[16-25-6] paslanmaz çeliklerinde de elde edilmiştir[7]. Her iki çalışmada da ultrasonik ses dalgasının kaynak metalinin içerisinde ilerlediği yol uzunluğu toplam ses uzunluğuna olan oranı düşüktür. Eğer sesin kaynak metalinin içerisinde aldığı yol daha uzun olsaydı boyuna dalga probunun avantajı ortaya çıkacaktı. Bu problemlerde sesin kaynak metalinin içerisinde saçılması enine problemlere nazaran daha az olduğundan[4,6] daha yüksek S/G oranı elde etme olasılığı artacaktır. Yapılan çalışma sonunda küçük ses yolu içeren ince ostenitik paslanmaz çeliklerin ultrasonik muayenesinde boyuna dalga problemlerinin yanı sıra enine dalga problemlerinin başarı ile kullanılabilmesi anlaşılmıştır.

#### **4.GENEL SONUÇLAR**

Yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. SAE 304L ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde oluşan poroziteyi hem enine hem boyuna dalga üreten problemler ile dedekte etmek mümkündür.
2. Bütün problemlerde ultrasonik dalganın ses yolu kısaldıkça hatanın dedektesi artmaktadır.
3. Enine dalga problemlerinin frekansı arttıkça hatanın dedektesi artmaktadır.
4. Boyuna dalga problemlerinin frekansı azaldıkça hatanın dedektesi artmaktadır.
5. Boyuna dalga problemlerinin etkin kullanım bölgeleri dışına çıkan ses yolunda deney yapılırsa deney sonuçları çok düşük olmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Kemnitz, P., et al “Measurements of the Acoustic Field on Austenitic Welds” Nuclear Engineering and Design 174, 1997, 259-272
2. Ekinci, Ş. “Ostenitik Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik Testinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözümleri, Metalurji dergisi, Ağustos 1994, 7-13
3. Moysan, J., et al “Modelling the Grain Orientation of Austenitic Stainless Steel Multipass Welds to Improve Ultrasonic Assessment of Structural Integrity, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 80, 2003, 77-85
4. Qilin, Q, Maodi, Z. “Technique For Austenitic Stainless Steel Weld” Paper presented at 15<sup>th</sup> World Non Destructive Testing Conference, Roma, 2000
5. Krautkramer Catalogue “Probes Handy Precision Tools For Ultrasonic Testing, Krantkramer, 2004
6. Krautkramer, J., Krautkramer, H., Ultrasonic Testing of Materials, Springer Verlag, Berlin, 1990
7. Erhard, A., et al “Characterization of Defects in Austenitic Pipe Gird Welds” Non Destructive Testing Journal, Volume 5, October 2000, 1-5