



tmmob
makina mühendisleri odası

KAYNAK TEKNOLOJİSİ

V. ULUSAL KONGRESİ

11 - 12 KASIM 2005

BİLDİRİLER KİTABI

TOZALTI KAYNAĞI İLE SİRİRAL DİKİŞLİ BORU ÜRETİMİNDE KAYNAK DİKİŞ GEOMETRİSİ İLE TOKLUK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kahraman Şirin ⁽¹⁾, Şule Y. Şirin ⁽²⁾, Erdiñç Kaluç ⁽³⁾

⁽¹⁾ Dr.Müh., NOKSEL Çelik Boru Sanayi A.Ş., SAKARYA, 0.264. 6150300

⁽²⁾ Yrd.Doç.Dr. Asım Kocabıyık MYO., KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ, 0.262. 5113715

⁽³⁾ Prof.Dr. Mühendislik Fak., Mak. Müh. Böl., KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ, 0.262. 324 99 10

ÖZET

Tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen spiral dikişli doğal gaz iletim borularında kaynak dikişininin geometrik özellikleri oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Kaynak dikiş genişliği, yüksekliği, derinliği, derinlik/malzeme kalınlık oranı, genişlik/derinlik oranı, kep yüksekliği ve açısı gibi kaynak geometrisine ait büyüklükler kaynak dikişinin tokluk davranışı üzerinde oldukça etkin olan faktörlerdir. Bu çalışmada, tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen spiral dikişli borularda kaynak dikişininin geometrik özellikleri ile tokluk arasındaki ilişki incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tozaltı kaynağı, Kaynak geometrisi, Tokluk

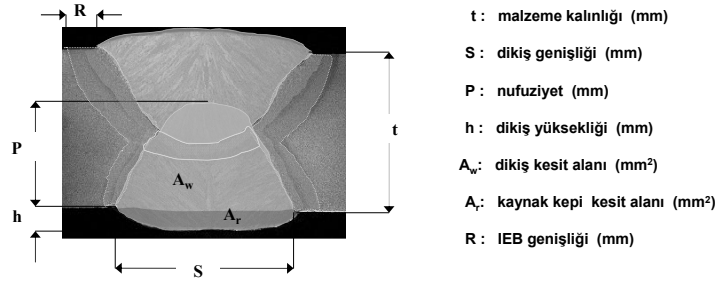
THE RELATIONSHIP BETWEEN WELD GEOMETRY AND TOUGHNESS BEHAVIOUR IN SUBMERGED ARC WELDED SPIRAL PIPE PRODUCTION

Abstract: The weld geometry has a a very important factor in the manufacturing of the spiral pipe, which is produced for the oil and gas transmission. Width, height and depth of the weld, weld penetration/material thickness ratio, width/depth ratio, weld flare shape and angle can be considered as the main geometrical factors which have a significant importance on the toughness behaviour of the weld seam. In this work, the relationship between weld geometry and toughness behaviour of the weld seam is analyzed in submerged arc welded spiral pipe.

Keywords: Submerged arc welding, Weld geometry, Weld metal toughness

1. GİRİŞ

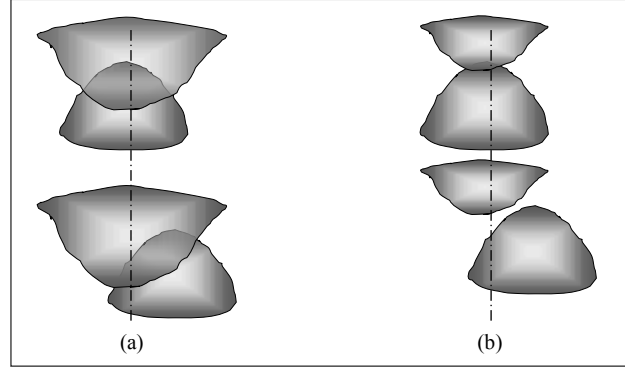
Spiral dikişli boru kaynağının ilk aşaması sac malzemeye spiral form verilen bölgede yapılan iç kaynaktır. Dış kaynak ise iç kaynaktan ayrı olarak daha ileri bir aşamada yapılır. Dolayısı ile spiral dikişli boru üretiminde, kaynağı iç ve dış kaynak olmak üzere iki bölümde ele almak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada, kaynak bağlantısının tokluk özelliklerine bağlı olarak, kaynak dikişinin geometrik büyüklüklerinin öngörülmesine olanak sağlayacak olan kriterler belirlenmiştir. Burada ele alınan geometrik büyüklükler; kaynak dikiş genişliği, dikiş yüksekliği, nüfuziyet derinliği, işlerlik oranı, ısıdan etkilenmiş bölge genişliği, toplam ergime kesit alanı ve kaynak kepidir (Şekil 1).



Şekil 1. Kaynak dikiş geometrisine ait büyüklükler.

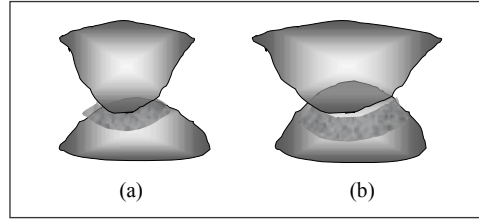
1.1. Nüfuziyet derinliği ve işlerlik oranı

Nüfuziyet başarılı bir kaynağın temel koşuludur. Kaynak işlemi sırasında, ergimenin bütün malzeme kalınlığına aynı olmaması sonucunda bağlantının alt kısımlarında oluşan oyuk ve çentikler (nüfuziyet yetersizliği) özellikle dikişin yorulma mukavemetini önemli bir ölçüde düşürür ve dikiş eğilmeye zorlandığında bağlantının kırılma eğilimini artırır. Nüfuziyet esas olarak kaynak bağlantısındaki ergime derinliğidir; yani, esas metalin ilk yüzeyi ile ergimenin bittiği noktalar arasındaki mesafedir. Nüfuziyet derinliği, kaynak ağzı biçimi ve uygulanan ısı girdisine bağlı olarak değişir. Kaynak ağzı esas olarak, nüfuziyet derinliğini artırmak için yapılır. Ağız açısı büyüdükçe nüfuziyet artar. Burada önem taşıyan husus, endüstriyel uygulamada “işlerlik oranı” adı altında tanımlanan, iç ve dış dikişin birbirine geçme miktarıdır. Her bir dikişin nüfuziyet derinliği işlerlik problemi yaratmayacak düzeyde olmalıdır. Bersch ve Koch tarafından spiral dikişli boru üretiminde St52 ile X70 kalite malzemelerin mekanik performanslarının mukayesesi amacı ile 1972 yılında yapılan bir çalışmada nüfuziyet derinliğinin malzeme kalınlığının % 60 ‘ı kadar olmasının yeterli olacağı ifade edilmiştir. Bu durumda işlerlik oranının da malzeme kalınlığının minimum % 20 oranında olması gerektiği aşıkardır. Endüstriyel tecrübeler bu oranın, tozaltı kaynak yöntemi ile spiral dikişli gaz borusu üretiminde yeterli olduğunu göstermektedir. İşlerlik oranı iki açıdan önem taşımaktadır. Öncelikle, işlerliğin belirli bir orandaki eksenel dikiş kaçıklığını tolere edebilecek düzeyde olması gerekir (Şekil 2-a). İşlerlik miktarı yeterinden az olursa, az bir orandaki dikiş kaçıklığı bile nüfuziyet yetersizliği probleminde yol açabilir (Şekil 2-b).



Şekil 3. İşlerlik ile dikiş kaçıklığı arasındaki ilişki.

Dış kaynak sonrası iç kaynağın belirli bir bölümü ısı yayılımı nedeni ile yapı değişikliğine uğrar. Bu bölge kaynak bölgesi olması nedeni ile zaten mikroyapısal değişime uğramış olup, dış kaynak sonrası etkisinde kaldığı ikincil bir ısı çevrim nedeni ile daha kaba taneli bir yapıya dönüşerek tokluk açısından kaynak dikişinin en zayıf bölgesini oluşturur (Şekil 3-a). İşlerlik miktarının artması bir anlamda dış kaynak için uygulanan ısı girdisinin de artırılmasını zorunlu kılar. Bu ise, iç kaynağın dış kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgenin daha da büyümesine neden olur (Şekil 3-b). Bu nedenle, işlerlik miktarı bu bölgenin kaynak tokluğunda problem yaratmayacak düzeyde olacağı kadar yüksek olmalıdır.



Şekil 3. İşlerlik oranı ile ısıdan etkilenmiş bölge genişliği arasındaki ilişki.

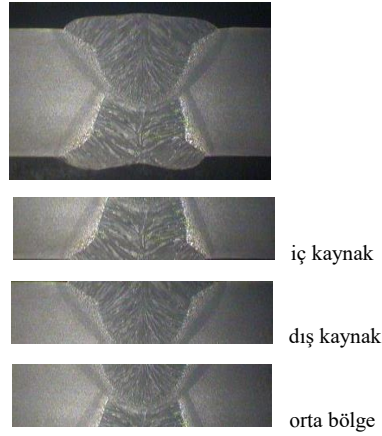
Çalışmanın bu bölümünde, X-65 çeliğinden üretilen 1067x15,88 mm ebatlı boruda, dış kaynak dikişi ısıdan etkilenen bölgesinin (IEB) kaynak dikişinin çentik darbe mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; yapılan deneysel çalışmada kullanılan elektriksel kaynak parametreleri Tablo 1 'de, kullanılan malzemenin ve elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi ise Tablo 2 'de verilmiştir. Öncelikle, sadece iç kaynak bölgesini ve daha sonra sadece dış kaynak bölgesini içerecek şekilde, son aşamada ise, hem iç hem de dış kaynak bölgesini içerecek şekilde sadece kaynak orta bölgesinden çentik darbe deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 4). Numune yüksekliği 7,5 mm olarak alınmıştır. -20 °C 'de ki çentik darbe test sonuçları Tablo 3 'de verilmiştir. Tablo 3 'den, iç ve dış kaynağın çentik darbe deney sonuçlarının birbirine son derece yakın olduğu görülmektedir. Elde edilen ortalama değerler sırasıyla, 103 J ve 101 J 'dur. Kaynak orta bölgesinin çentik darbe deney sonucu ise ortalama 82 J 'dur.

Tablo 1.1067x15,88 mm ebatlı boruya ait kaynak parametreleri.

		Akım şiddeti (A)	Ark gerilimi (V)	Tel çapı (mm)	Isı girdisi (J/mm)	$t_{8/5}$ (sn)	Kaynak hızı (m/dk)
İç kaynak	DC	850	29	4,0	2569	28	1,40
	AC	700	29	3,2			
	AC	500	30	3,2			
Dış kaynak	DC	800	29	3,2	1894	306	
	AC	700	30	3,2			

Tablo 2. Malzeme ve kaynak dikişinin kimyasal bileşimi (1067x15,88 mm).

	C	Mn	Mo	Nb	Ti	V
Malzeme	0,034	1,34	0,051	0,055	0,0020	0,056
İç kaynak	0,047	1,38	0,234	0,034	0,0237	0,038
Dış kaynak	0,048	1,40	0,242	0,033	0,0245	0,038



Şekil 4. Çentik darbe deney parçalarının hazırlanışı (1067x15,88 mm).

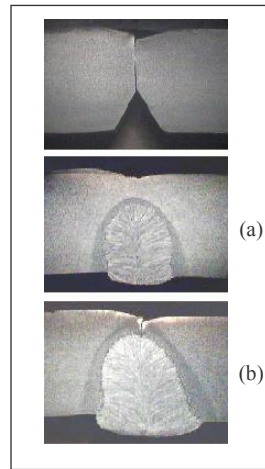
Tablo 3. İç kaynak, dış kaynak ve kaynak orta bölgesinin çentik darbe mukavemeti sonuçları.

parça no	-20 °C (J)		
	İç kaynak	Dış kaynak	Orta bölge
1	91	101	80
2	90	100	76
3	101	104	62
4	106	92	94
5	114	82	71
6	111	123	95
7	102	111	103
8	101	90	94
9	109	136	78
10	90	94	66
11	124	101	86
12	91	72	79

Kaynak orta bölgesinin çentik darbe mukavemeti, iç ve dış kaynak ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %20 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Bunun olası nedeni ise, dış kaynak sonrası, iç kaynak dikişinin ısı çevrim altında kalan belirli bir bölgesinde oldukça iri taneli bir bölge oluşmasıdır. Yapı özellikleri nedeni ile kaynak dikişinin en zayıf yeri olan bu bölgenin tokluk açısından yaratacağı olumsuz etkileri en aza indirmek için, dış kaynak sonrası ısı çevrim altında kalan bu bölgenin sınırlandırılması gerekir. Bunun sağlanması için iki farklı çözüm vardır, bunlar; dış kaynak öncesi, iç kaynak bölgesinin sıcaklığı olabildiğince düşük tutulmasıdır. İkinci çözüm ise dış kaynak işleminin olabildiğince düşük ısı girdisi ile yapılmasıdır.

1.2. Isıdan Etkilenmiş Bölge Genişliği (IEB)

Metalik malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman kaynak dikişine (ergime bölgesi) bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklık derecesinin etkisi altında kalır. Kaynağa uygulanan sıcaklık derecesinin daha doğrusu ısı çevrimin etkisi altında kalarak, iç yapı değişikliğine uğrayan ergime bölgesine bitişik olan bu bölgeye “ısıdan etkilenmiş bölge (IEB)” adı verilir. Kaynak sırasında IEB bölgesinde önce hızlı bir ısınma ve sonrasında malzeme kalınlığına ve uygulanan ısı girdisine bağlı olarak hızlı bir soğuma oluşur. Çeliğin bileşimine göre, sertleşme eğilimi olan çeliklerde soğuma hızı kritik soğuma hızını aştığı anda genellikle IEB bölgesinin 900 °C ’nin üzerindeki sıcaklıklara çıkmış olan bölgelerinde martenzitik karakterde sert ve kırılgan bir yapı ortaya çıkar. Bu bölge kaynak bağlantısının en zayıf bölgesi olup bir çok çatlama ve kırılma bu bölgede meydana gelir. Karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde kaynak sırasında oluşan ısı değişimlerin yarattığı en önemli etki, malzemenin ısıdan etkilenen bölgesinin sertleşme derecesine bağlı olarak, tokluk mukavemetinin ve hidrojen gevrekliğinin olumsuz yönde değişmesidir. Bu nedenle, IEB bölgesinin genişliği mümkün olduğunca dar olmalıdır. 1016x17,7 mm ebatlı boruda iki farklı ısı girdisinde yapılan kaynak iç denemelerinde (Şekil 5) ısı girdisinin artması ile birlikte, gerek ergime kesit alanının gerekse IEB bölgesinin arttığı görülmektedir (Tablo 4).

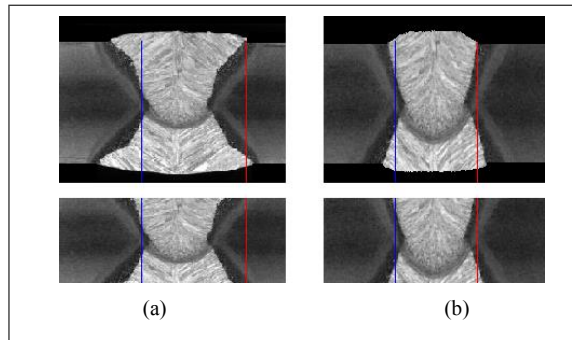


Şekil 5. Farklı ısı girdilerinde elde edilen kaynak bağlantıları.

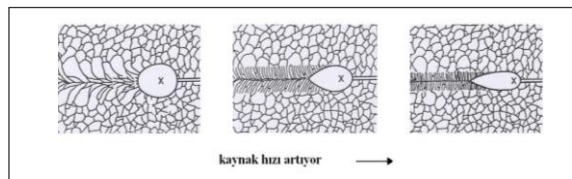
Tablo 4. Farklı ısı girdilerinde elde edilen kaynak bağlantılarının geometrik büyüklükleri.

parça no	Isı girdisi (J/mm)	İç dikiş kesit alanı (mm ²)	Kaynak dikiş genişliği (mm)	Nufuziyet derinliği (mm)	IEB genişliği (mm)
a	1950	121,40	10,47	11,53	2,1
b	2925	176,03	10,74	13,57	2,6

Kaynak parametreleri ile belirli bir oranda boyutları kontrol altına alınabilse de ısıdan etkilenmiş bölge oluşumu ergitme kaynağının kaçınılmaz bir sonucudur. Ancak, IEB bölgesinin kaynak tokluğu üzerindeki olumsuz etkilerini azaltma yönünde kaynak dikiş geometrisinin oldukça önemli bir rolü vardır. Bilindiği gibi, IEB bölgesinin tokluk özelliklerini artırma yönündeki olanakların kısıtlı olmasına karşın, kaynak metalinde uygun tel ve toz kullanımı ile istenilen kimyasal bileşimi sağlama ve dolayısıyla kaynak metalinin tokluk özelliklerini iyileştirme olanağı oldukça fazladır. Bu nedenle, özellikle tokluk davranışının belirlenmeye çalışıldığı çentik darbe testlerinde test sonuçları üzerinde kaynak geometrisinin oldukça büyük bir önemi vardır. Endüstriyel uygulamada, kaynak bağlantısının IEB bölgesinin çentik darbe testlerinde, kaynak dikişinin hemen bitimindeki nokta çentik eksenini olarak alınır. Kaynak dikişinin dar ve sivri olması durumunda çentik eksenini ağırlıklı olarak IEB bölgesinde yer aldığı Şekil 6-b 'de görülmektedir. Kaynak dikişinin daha geniş ve formunun çan şeklinde olduğu durumlarda ise, çentik eksenini ağırlıklı olarak malzeme bölgesinde kalmaktadır (Şekil 6-a). Çentik ekseninin IEB bölgesinin en riskli olduğu iç ve dış dikişin birbirine geçtiği bölgede olması durumunda da benzer durum söz konusudur. Bu nedenle, kaynak ağzı açısının mümkün olduğunca geniş tutulmasında oldukça büyük fayda vardır. Bunun dışında, kaynak banyosunun biçimini kaynak hızı ile de kontrol etme olanağı vardır. Düşük hızlı bir kaynak işleminde kaynak banyosu hemen hemen dairesel (eliptik) iken, kaynak hızının artması ile bu dairesellik kaybolur (Şekil 7).



Şekil 6. Çentik eksenini, IEB bölgesini ve dikiş formunu arasındaki ilişki [2].



Şekil 7. Kaynak hızının kaynak banyosu biçimini üzerindeki etkisi [3].

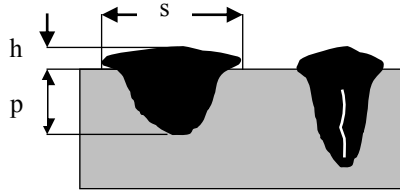
1.3. Kaynak dikiş genişliği ve Kaynak kepi

Dikiş genişliği, gerek kaynak ağzı açılmış kısmı tam olarak kapatarak yanma oluşuna neden olmayacak gerekse gazların kaynak banyosundan dışarıya rahatça çıkmasına olanak sağlayacak genişlikte olmalıdır. Gözenekler, dikişin taşıyıcıyı kesitinin azalmasına yol açtığından dolayı mukavemet değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikimlerine neden olur, bu durumda bağlantının mekanik özelliklerinin kötüleşmesine yol açar. Kaynak hızının aşırı yüksek olması ya da ısı girdisinin düşük olması nedeni ile Gazların kaynak banyosundan dışarıya çıkacak zamanı bulamadan kaynak metalinin katılaşması ve gazların katılaştıran kaynak metali içinde hapis olması; diğer bir ifade ile, hızlı soğuma durumunda, H₂, CO, N₂ ve H₂O gibi gazların yüzeye çıkmasının engellenmesi ile katılaştıran kaynak metalinde kalmaları ile gözenek türü kaynak hatası oluşur. Kalıntılar ise gerek kaynak kesitini zayıflatmaları gerekse de çatlak başlangıcına neden olduklarından varlıkları arzu edilmez. Hızlı soğuma durumunda (yetersiz ısı girdisi), curuf kalıntısı kaynak banyosunun erken katılaşması nedeni ile metal yüzeyine ulaşamaz ve dikişin içinde kalarak hata yaratır. Kaynak kepi ergiyen telin dikişte oluşturduğu çıkıntı kısmıdır. API 5L standardında, izin verilebilir kaynak kepi yüksekliğini, 12,7 mm ‘den daha ince malzemelerde maksimum 3,17 mm ve 12,7 mm ‘den kalın malzemelerde ise maksimum 4,76 mm olarak verilmiştir. Ancak, şapka açısının da göz önüne alınması durumunda, kepi yüksekliğinin maks. 2 mm ile sınırlandırılmasında yarar vardır. Şapka açısı da 30 ile 50° arasında olmalıdır [4].

1.4. Genişlik/derinlik oranı

Tozaltı kaynak yöntemi, kaynak banyosunun göreceli olarak yavaş soğuması ile karakterize edilebilir. Kaynak metali soğuma sırasında büzülme ya da diğer bir deyişle kendini çekme eğilimi gösterir. Bu durumda, kaynak metali yeteri kadar sünek değilse ve kaynak edilen parçaların birbirine göre hareket etme olanakları sınırlı ise sıcak çatlak oluşur. Eğer, esas metal soğuk ve kaynak banyosu küçükse soğuma da o oranda hızlı olacaktır. Buna bağlı olarak, kaynak metalinin katılaşma sırasındaki büzülmesi (kendini çekme) çok hızlı gerçekleşecek ve bu da çatlak oluşumuna yol açacaktır. Bu durumda, malzemeye ön tav yapılması ya da ısı girdisinin artırılması ile soğuma hızı yavaşlatılarak çatlak oluşumu engellenebilir. Ancak, bazı durumlarda segregasyon, iri taneli yapı ve sıcak çatlak oluşumlarına rastlanabilmektedir. Bu durum, kaynak dikiş geometrisindeki uygunsuzluklardan kaynaklanan soğuma düzensizlikleri ile açıklanabilir. Söz konusu bu uygunsuzlukların başında ise kaynak dikişinin genişlik/derinlik oranı gelmektedir. Kaynak dikişinin genişlik/derinlik oranı ile sıcak çatlak oluşumu arasında doğrudan bir ilişki vardır (Şekil 7). Genişlik/derinlik oranı küçük olan yani, dar ve sivri bir biçime sahip kaynak dikişinde soğuma düzensizliklerinin oluşması kaçınılmazdır. Kaynak ağız açısı küçüldükçe, daha dar ve daha derin bir kaynak dikişi elde edilir; yani, kaynak dikişinin genişlik/derinlik oranı küçülerek, çatlak oluşum tehlikesi artabilir. Bu nedenle, kaynak ağzı açısının 60° ‘den büyük olması önerilmektedir.

The Welding Institute, genişlik/derinlik oranının 1,8 'den küçük olması halinde, çatlak oluşum tehlikesinin artacağını belirtmektedir [3]. Buna karşın, Lincoln Electric, söz konusu bu oranın 0,5 'den küçük olması durumunda çatlak tehlikesinin çok yüksek olacağını, 1,3 'den büyük olması halinde ise çatlak tehlikesinin azalacağını bildirmektedir [5]. Diğer bir yazar ise, iç dikiş için genişlik/derinlik oranının 0,5 ile 10 arasında, dış dikiş için ise bu oranın 1 ile 8 arasında değişebileceğini belirtmektedir [6]. Şapkalı bir kaynak bağlantısında şapklanmanın başladığı yerler çatlak açısından bağlantının en zayıf noktasıdır. Şapklanmaya gerilimim aşırı fazla olması ya da kaynak hızının çok düşük olması neden olur.

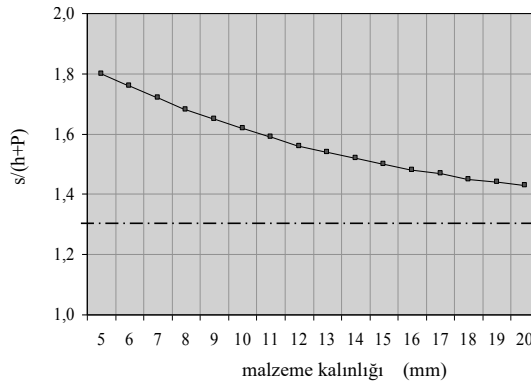


Şekil 8. Kaynak dikişi genişlik/derinlik oranı ile çatlak arasındaki ilişki.

Malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak dikiş yüksekliği, genişliği ve nüfuziyet derinliği gibi geometrik büyüklükler Tablo 5 'de, bu değerlere bağlı olarak kaynak dikişinin genişlik/derinlik oranının malzeme kalınlığına göre değişimi ise Şekil 8 'de verilmiştir. Genişlik/derinlik oranının malzeme kalınlığının artması ile birlikte azaldığı görülmektedir. Ancak, 20 mm gibi et kalınlıkların da dahi genişlik/derinlik oranının Lincoln Electric tarafından verilen 1,3 'lük sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, kaynak dikiş genişlik/derinlik oranının sıcak çatlak oluşumu açısından güvenli bölgede olduğu görülmektedir [7].

Tablo 5. Malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak dikiş geometrisi.

	Malzeme kalınlığı (mm)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
h	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
S	8,6	10,4	12,12	13,8	15,4	16,9	18,5	20,0
P	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	12,0



Şekil 8. Genişlik/derinlik oranının malzeme kalınlığına bağlı olarak değişimi.

1.5. Kaynak dikişi kesit alanı

Kaynak dikişi genel olarak ergiyen tel ile ergiyen esas metalden oluşur. Tozaltı kaynağında, kaynak metali içindeki ergiyen esas metal miktarı kaynak hızının yükselmesi ile azalan yönde değişir [8]. Yapılan araştırmalar, kaynak hızı ve kaynak akım şiddetinin ergimiş bölgenin kesit alanını belirleyen asıl etkenler olduğunu göstermiştir. Tozaltı kaynağı ile yapılan bu çalışmalardan birinde, kaynak ağzı açılmamış tek pasolu alın kaynağında, ergime kesit alanı ile kaynak hızı ve kaynak akımı arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile formüle edilmiştir [3]. Logaritmik olarak hazırlanmış bu formüle; A, ergimiş bölgenin kesit alanını (mm²), I, kaynak akım şiddetini ve S, kaynak hızını (cm/dk) ifade etmektedir.

$$\log_{10} A = 0,903 \cdot \log_{10} (I^{1,716}/S) - 0,78$$

$$A = I^{1,55} / (10^{3,95} \cdot S^{0,903})$$

2. SONUÇLAR

Tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen spiral dikişli borularda, kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği, nüfuziyet derinliği ve dikiş kesit alanı gibi geometrik büyüklüklerin kaynak bağlantısının tokluk özellikleri üzerinde oldukça büyük bir etkisi vardır. Bu etkiyi genel olarak, tokluk açısından olumsuz etki yaratan kaynak hatalarını önleme, yapı itibarıyla kaynak dikişinin en zayıf bölgesini içeren ısıdan etkilenmiş bölgenin sınırlandırılması şeklinde özetlemek mümkündür.

3. KAYNAKLAR

1. BERSCH,V.B., KOCH,F.O., 1972. SchweiBverhalten neu Entwickelter Hochfester Sonderrohr stahle. Bander Bleche Rohre Nr. 1, Düsseldorf.
2. EUROPIPE GMBH., 2002-2. PQR No. 1342/10, Mülheim.
3. LINNERT,G.E., 1994. Welding Metallurgy-Carbon and Alloy Steels. Fourth Edition, vol.1, chapter 7, USA.
4. WEISWEILLER,F.J., SERGEEV,G.N., 1988. Non-Destructive Testing of Large-Diameter Pipe for Oil and Gas Transmission Lines. VCH, page 31-64.
5. LINCOLN ELECTRIC, 2000. Specialised Welding Traning Programs. European Weld Tech. Centers, France.
6. ANIK,S., 1982. Kaynak Tekniği Cilt-2 (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak), İTÜ Kütüphanesi, sayı:1217, 2. Baskı, İstanbul.
7. ŞİRİN,K., 2004. Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Spiral Dikişli Boru Üretiminde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Dikiş Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.