



Makale / Research Paper

Östenitik Paslanmaz Çelikler İle Takım Çeliklerinin Birbirleri İle Kaynağında Oluşan Kaynak Bölgesinin İncelenmesi

Fatih KAHRAMAN^{1,*}, Şefika KASMAN², Ayça D. KAHRAMAN³, Oğuzhan TUNUSLU⁴

^{1,5}Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir /TÜRKİYE

²Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, İzmir /TÜRKİYE

³Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Manisa /TÜRKİYE

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir /TÜRKİYE

¹fatih.kahraman@deu.edu.tr; ²sefika.kasman@deu.edu.tr; ³demirer.ayca.ad@gmail.com; ⁴tunusluouz@hotmail.com

Özet: Bu çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile 90MnCrV8 takım çeliği örtülü elektrotlar ile ark kaynağı (MMA) yöntemi ile çok pasolu (üç paso) kaynak edilerek elde edilen kaynak bölgesi metalografik olarak incelenecektir. Östenitik paslanmaz çelikler ve takım çeliklerinin her ikisi de kaynak kabiliyeti olarak “Şartlı kaynak edilebilir” olarak kabul edilen malzemelerdir. Östenitik paslanmaz çelik malzemelerde karbür çökmesi, sıcak çatlak ve sigma fazı oluşumuna karşı önlemlerin alınması gerekirken, takım çeliklerinin kaynağında ise yüksek karbon içeriğinden dolayı martenzit oluşumuna karşı önlemlerin alınması gerekir. Bu nedenle bu malzemelerin birbirleri ile kaynağında tüm bu oluşumları engellemek için uygun kaynak parametrelerinin seçilmesi ve önlemlerin alınması gerekir. Başta elektrot seçimi ve ısı girdisi olmak üzere uygun kaynak parametreleri seçilerek yapılmış kaynak dikişinde meydana gelen içyapı metalografik olarak incelenmiş ve kaynak bölgesinin sertlik dağılımı ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kaynak, Paslanmaz çelik, Takım çeliği

Investigation of the Weld Zone of Dissimilar Austenitic Stainless Steels to Tool Steels

Abstract: In this study, multipass weld zone of the AISI 304 Austenitic Stainless Steels to 90MnCrV8 Tool Steels was investigated by metallographic inspection. Both of the austenitic stainless steels and tool steels are accepted “conditional weldable” materials. It is supposed to take precautions against the formation of carbide precipitation, hot crack and sigma phase in the welding of austenitic stainless steels, and it should be taken against the formation of martensite in the welding of tool steels because of the high carbon content. Therefore, to prevent these defects, it must be determine suitable welding parameters and take precaution at the welding of these materials with each other. Microstructure of weld zone made by suitable welding parameters including heat input and electrode selection were examined by metallographic inspection and hardness distribution was measured.

Keywords: Welding, Stainless Steel, Tool Steel.

Bu makaleye atıf yapmak için

Kahraman, F., Kasman, Ş., Kahraman, A.D., Tunuslu, O., “Östenitik Paslanmaz Çelikler İle Takım Çeliklerinin Birbirleri İle Kaynağında Oluşan Kaynak Bölgesinin İncelenmesi” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(1); 57-64.

How to cite this article

Kahraman, F., Kasman, Ş., Kahraman, A.D., Tunuslu, O., “Investigation of the Weld Zone of Dissimilar Austenitic Stainless Steels to Tool Steels” El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(1); 57-64.

1. Giriş

Günümüzde endüstriyel çalışma hayatında yüksek mukavemet, kolay işlenebilme ve düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle hala en yaygın kullanılan metal alaşımı karbonlu çeliklerdir [1]. Bu çeliklerde, mukavemetlendirme sırasında tokluk ve süneklik özelliklerinde kayıplar oluşması, kalın kesitli malzemelerde kesit boyunca tamamen martenzitik yapı oluşturulamaması, düşük sıcaklıklarda darbe dirençlerinin zayıf olması, korozyon dayanımlarının düşük olması ve yüksek sıcaklıklarda çabuk oksitlenme gibi özellikleri nedeniyle, alaşımli çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır [2-4]. Paslanmaz çelikler çok iyi korozyon dayanımları, hem düşük ve hem de yüksek sıcaklarda kullanılabilir olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri ve estetik görünüşleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanılan ı %70 lik bir oranla östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın kullanılan alaşım ise AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliktir [5].

AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik, kimyasal bileşiminin, mekanik özelliğinin, kaynak yapılabirliğinin ve korozyon-oksidayson direncinin fiyatına oranla çok iyi olması sebebiyle tercih edilir. Bu paslanmaz çelik kalitesi piyasada kolay bulunabilmesi, kolay şekil verilebilmesi ve rahat kaynak yapılabirliğinden ötürü en sık tercih edilen paslanmaz kalitelerinden birisidir. Fiyat-performans açısından en uygun paslanmaz çeliklerden birisi olan AISI 304 özellikle hemen hemen her alanda kullanılmasıyla günlük hayatın bir parçası haline gelmiştir. Bu nedenle kullanım yerlerine göre bu çeliklerin sık sık birbirleri veya farklı kalitedeki çelikler ile birleştirilmeleri gerekmektedir. Bu çeliklerin ergitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesinde karşılaşılan başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bu problemler sırasıyla Isının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşumu, kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir.

Çeliklerin kaynağında %0,2 karbon oranı kaynaklanabilirlik sınırıdır ve çelik içerisinde bu oranın üzerinde karbon olduğunda kaynaklanabilirlik düşmektedir. Başta talaşlı imalat takımları ve kalıp imalatı gibi pek çok alanda kullanılan takım çeliklerinin içeriğindeki %0,3 ile 2,5 arasındaki karbon oranı nedeniyle kaynağı zor olan çelik gruplarından biridir. Bu çeliklerin kaynağında karşılaşılan en büyük problem ise yüksek karbon içeriğinden dolayı martenzit oluşumudur. Bu nedenle bu çeliklerin kaynağında çeliğe uygun elektrodun seçilmesi ve uygun bir ön tav sıcaklığı kaynak kabiliyeti açısından en önemli hususlardır.

Kaynak işleminde göz önüne alınması gereken diğer husus ise diğer ana malzeme olan östenitik paslanmaz çelikte meydana gelebilecek olan sıcak çatlak ve sigma fazı oluşumu riskleridir. Kaynak elektrodu seçimi yapılırken sıcak çatlak riski ve sigma fazı oluşumuna engel olabilecek minimum kimyasal bileşime sahip olacak şekilde yapılmalıdır. Sıcak çatlak kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimler nedeniyle meydana gelir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlak oluşumuna neden olurlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında sıcak çatlak oluşumunu engellemek için kaynak işlemi sonrasında oluşacak kaynak dolgusu yapısı içerisinde ferrit miktarının %4'den fazla olması önerilmektedir. Çünkü ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engeller [6]. Sigma fazı ise çok sert (700-800 HV), antimagnetik ve gevrek özellikte metaller arası bir bileşiktir. Bileşimi takriben % 52 Cr ve % 48 Fe'den ibarettir ve 550°C ila 925°C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir. Östenitik çeliklerde bu fazın meydana gelebilmesi için, östenitik yapı içinde bir miktar ferrit olması gerekir. Soğuk şekil değiştirme, niobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin varlığı sigma fazı oluşumunu destekler. Sigma fazı çeliğin şekil değiştirme kabiliyetini ve çentik darbe mukavemetini azalttığından istenmez. Sigma fazı homojenizasyon tavyıyla giderilebilir veya kaynak bölgesi

içindeki ferrit miktarı % 10'in altında tutularak bu bölgenin özellikleri üzerine olumsuz bir etkide bulunması engellenebilir [7]. Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise hidrojenin çözünürlüğünün östenitik yapı içerisinde ferritik yapıya nazaran 8 kat daha fazla olmasıdır. Bu nedenle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında rutil örtülü bir elektrod tercih edilmelidir.

Çalışmamızda AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve 90MnCrV8 takım çeliği yukarıda bahsi geçen problemler göz önüne alınarak AWS A5.4 standardına göre E 312-16 numaralı rutil örtülü elektrod ile kaynak edilmiştir. Kaynaklı parça metalografik muayene ile incelenmiş ve sertlik testine tabi tutulmuştur.

3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız östenitik paslanmaz çelik ile normalize haldeki takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
%0.08	%2.0	%0.045	%0.03	%0.75	%18-20	%8-10

Tablo 2. 90MnCrV8 takım çeliğinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ni
0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	0,030	0,030	0,20-0,50	-	0,05-0,15	-	-

Bu çeliklerin birbirleri ile kaynağında birbirinden çok farklı kimyasal içeriklere sahip olduklarından elektrod seçimi önemli bir husustur. Bu çeliklerin uygun bir şekilde birbirine kaynak edilebilmesi için öncelikle takım çeliği içerisindeki yüksek karbon oranı nedeniyle martenzit oluşum riski dikkate alınmalıdır. Diğer dikkat edilmesi gereken nokta ise kaynak esnasında, kromun karbona olan yüksek afinitesinden dolayı takım çeliğinin karbonu çok hızlı bir şekilde elektrod içerisindeki krom ile reaksiyona girerek eriyik içerisine karışarak krom karbür oluşturmasıdır. Bunun sonucunda takım çeliğinde karbon azalması meydana gelirken kaynak dolgusu geçiş bölgelerinde ise karbon artışı olacaktır. [8].

Çalışmamızda karbon difüzyonunu önlemek için yüksek nikel içeren yüksek alaşımlı bir elektrod kullanılarak karbon difüzyonu azaltılmaya çalışılmıştır.

Kaynağı yapılan esas metal ve kaynak elektrodunun Cr_{es} ve Ni_{es} değerlerine göre delta ferrit ve sigma fazı gibi oluşabilecek yapılar ve katılma şekilleri Schaffler diyagramından tahmin edilebilirler [9]. Yukarıda bahsi geçen problemler nedeniyle Schaffler diyagramı göz önüne alınarak, TS EN ISO 3581-A ve EN 1600 standartlarına göre E 29 9 R 12 ve AWS A5.4 standardına göre E 312-16 numaralı rutil örtülü elektrod seçilmiştir. Seçilen elektrodun kimyasal bileşimi Tab. 3 de verilmiştir.

Tablo 3. AWS A5.4'e göre E 312-16 rutil örtülü elektrodun kimyasal bileşimi

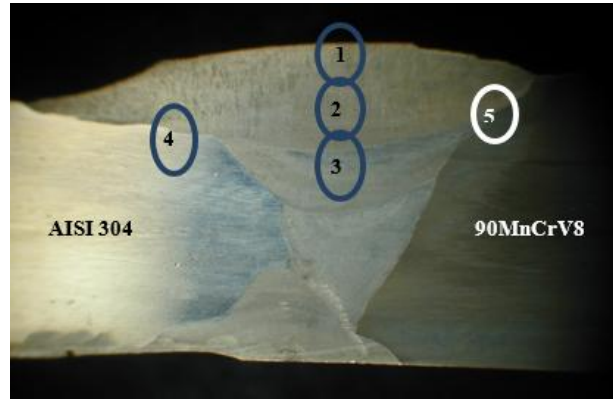
C	Si	Mn	Cr	Ni
0,1	0,75	1,1	29	10.00

12mm kalınlığındaki AISI 304 östenitik çelik ve 90MnCrV8 takım çeliğinin alın kaynağı, 3,25 mm çaplı rutil örtülü elektrod ile X kaynak ağzı açıldıktan sonra DC 100 A kaynak akımı ile 4 pasoda birleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra takım çeliğinin içerdiği yüksek miktarda karbon oranı,

hızlı soğumalarda çok kolay martenzitik yapı oluşturacağından daha yavaş soğuma sağlayıp, kaynak dikişi ve ITAB'da martenzitik yapı oluşumunu bir miktar engelleyebilmek için, tozaltı kaynak tozu altında 45 dakika soğumaya bırakılmıştır. Kaynak işleminden sonra çıkarılan numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve ardından dağlanmıştır. Farklı çeliklerin kaynağı yapıldığı için dağlama işlemi kademeli olarak yapılmıştır. Dağlama işleminde ilk kademede 90MnCrV8 takım çeliği dağlanmış, daha sonraki kademede ise kaynak dolgusu ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik dağlanarak inceleme yapılmıştır. 90MnCrV8 takım çeliği % 2'lik nital çözeltisinde (% 2 nitrik asit ve % 98 etil alkol) 9 saniye tutularak dağlanmıştır. Kaynak dolgusu ve 304 östenitik çeliğin dağlanmasında ise % 28 nitrik asit (HNO₃), % 28 asetik asit (CH₃COOH), % 42 hidroklorik asit(HCl) ve % 2 gliserol den oluşan bir dağlama sıvısı kullanılmıştır. Dağlama süresi ise 2 dakikadır. Mikro sertlik ölçümü 9.8 N yük ve 10 saniye bekleme süresi altında gerçekleştirilmiştir. Malzemenin üst ve alt yüzeyinden 2 mm içerde ve tam ortasından geçen bir hat üzerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır.

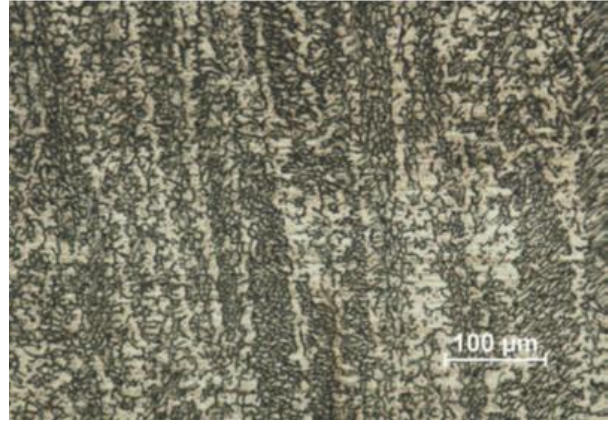
4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örtülü elektrod kaynağı ile birleştirilmiş AISI 304 östenitik çelik ve 90MnCrV8 takım çeliğinin kaynak bölgesine ait makro resim Şekil 1' de, görülmektedir. Kaynak dolgusu içerisinde herhangi bir makro kaynak hatasının olmadığı görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı bölgeler makro resim üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaynaklı birleşirmeye ait makroresim ve mikroyapı incelemelerinin yapıldığı bölgeler

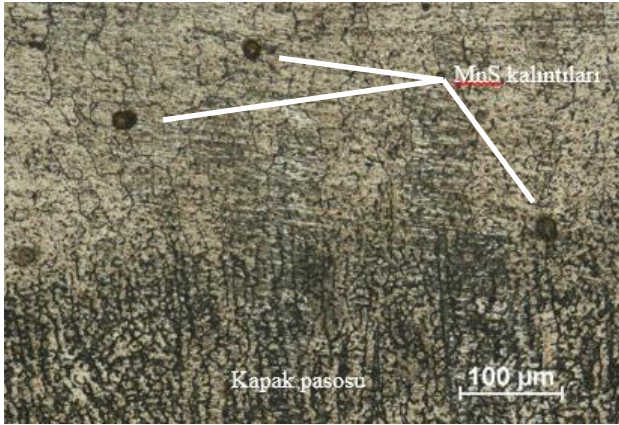
1 numaralı bölge kapak pasosunun üst yüzeyidir. Kapak pasosunun yüzey kısımlarında yüksek soğuma hızına bağlı olarak düşük oranda bir miktar martenzit oluşmuştur (Şekil 2). Bu oluşuma östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı üzerine yapılan diğer çalışmalarda rastlanmıştır [6]. Ancak bu ince tabakanın hemen altından itibaren ısı transferi yönünde yönlenmiş halde yüzey kısımlarında delta ferrit tespit edilmiştir. Soğuma hızı 2 numaralı bölgede kapak pasosunun yüzey kısımlarına nazaran daha düşük olması nedeniyle martenzitik yapı bu bölgede oluşmamıştır. Ayrıca soğuma hızının daha düşük olması bu bölgede delta ferrit oluşumunu teşvik etmiştir. Bu nedenle kaynak dikişi yüzeyinden itibaren ferrit oluşumu artmakta ve yapıda yoğun olarak delta ferrit gözlenmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. 1 numaralı bölgede oluşan içyapı Şekil 3. 2 numaralı bölgede oluşan içyapı

Kapak pasosunun hemen altındaki pasoda 3 numaralı bölgede eş eksenli östenitik yapı görülmektedir (Şekil 4). Denge durumunda, sıvı halden katı hale geçişte oluşan ilk faz delta ferrittir [10]. Ancak δ ferrit oluşuktan sonra sıvının büyük bir kısmı doğrudan östenite dönüşür. Soğuma süresince δ ferrit de östenite dönüşmektedir. Böylece $L \rightarrow L+\delta \rightarrow L+\delta+\gamma \rightarrow \delta+\gamma \rightarrow \gamma$ şeklinde östenit oluşumu tamamlanır [11-14]. Ancak soğuma hızının çok düşük olması nedeniyle delta ferrit de östenite dönüşmüş ve yapıda östenitik hale gelmiştir. Ayrıca bu bölgede düşük soğuma hızından dolayı düşük miktarlarda MnS kalıntıları da görülmektedir.

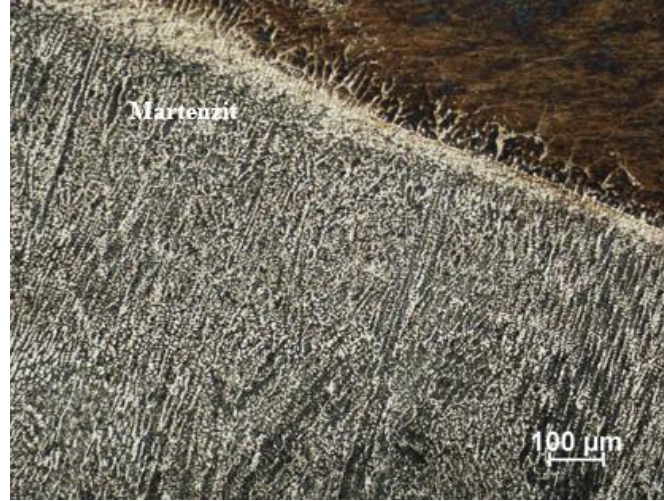
Kaynak dolgusu ile AISI 304 östenitik çeliğinin birleştiği yer 4 numaralı bölgedir. AISI 304 östenitik çeliğin ITAB ında yoğun olarak delta ferrit oluşmuştur (Şekil 5). Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayısı karbonlu çelikleri 1/3 ü kadardır. Bu nedenle bu çelikler kaynak edildiğinde ısıyı çok yavaş iletirler ve soğuma hızının düşmesine neden olurlar. Bu da delta ferrit oluşumunu arttırmaktadır. Kaynak dolgusu ile takım çeliğinin birleştiği yer 5 numaralı bölgedir.



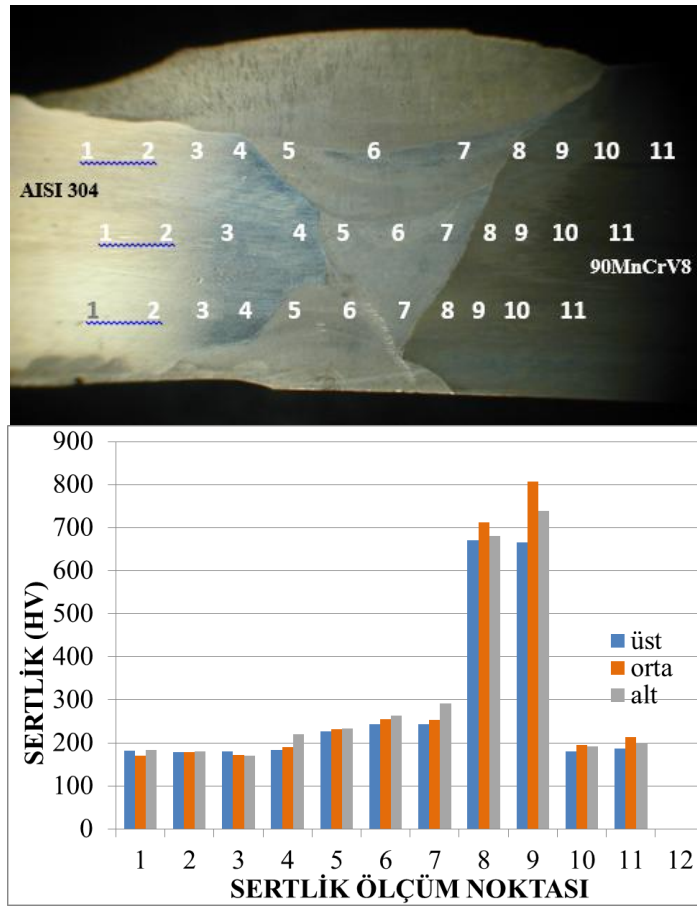
Şekil 4. 3 numaralı bölgede oluşan içyapı

Şekil 5. 4 numaralı bölgede oluşan içyapı

Kaynak işleminde yüksek alaşımlı östenitik elektrod kullanılmıştır. Kromun karbona olan yüksek afinitesinden dolayı ve takım çeliğinin karbonu, eriyiğe hızlı bir şekilde karıştığından yüksek krom içeren elektrod eriyiğinde geçiş bölgesinde sıcaklık ve zamana bağlı olarak difüzyon olmuştur (Şekil 6). burada bizim için önemli olan karbon difüzyonu meydana gelmesidir. Bu difüzyon olayı sonucunda takım çeliğinin ITAB ında bir miktar karbon azalması olurken kaynak dolgusunda da bir miktar karbon artışı meydana gelmiştir. Ayrıca takım çeliğinin ısı iletim katsayısı östenitik çelikten çok daha yüksek olduğu için bu bölgede soğuma hızı da yüksektir. Bu yüksek karbon ve soğuma hızı nedeniyle hem kaynak dolgusunda ve hem de takım çeliğinin ITAB'ında martenzitik yapı meydana gelmiştir. Sertlik değerleri de bu sonucu desteklemektedir (Şekil 7).



Şekil 6. 5 numaralı bölgede meydana gelen içyapı



Şekil 7. Kaynaklı numunenin sertlik dağılımı

Sertlik ölçümleri sonucunda AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve ısı tesiri altındaki bölgesi (ITAB) ile kaynak dolgusu arasında dengeli bir sertlik dağılımı gözlemlenmiştir. Bu dengeli sertlik dağılımı paslanmaz çelik için uygun bir elektrod seçimi ve soğuma hızı ile sağlanmıştır.

Takım çeliği sahip olduğu yüksek karbon içeriği (0,85-0,95) nedeniyle yüksek sertleşebilme kabiliyetine sahip bir malzemedir. Bu nedenle bu çeliklerin kaynağında martenzit oluşumu meydana gelmekte ve bu nedenle takım çeliğinin ITAB'ında sertlik değerleri yükselmektedir. Karbon difüzyonu nedeniyle kaynak dolgusunun takım çeliğine yakın olan bölgelerinde de karbon artışına

bağlı olarak martenzit oluşmaktadır. Bu nedenle kaynak dolgusunun takım çeliğine yakın olan bölgelerde sertlik değerleri de giderek artmaktadır. En yüksek sertlik değerleri ise takım çeliğinin ITAB'ında tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

AISI 304 östenitik çelik ve 90MnCrV8 takım çeliği AWS A5.4 standardına göre E 312-16 numaralı rutil örtülü elektrod ile X kaynak ağızı açılarak çok pasolu olarak kaynak edilmiştir. Kontrollü bir içyapı oluşturabilmek için soğuma hızını düşürmek için tozaltı tozu içerisinde soğutulmuştur. Uygun bir elektrod ve kontrollü bir soğuma sonucunda kaynak bölgesinde herhangi bir makro kaynak hatasının oluşmadı tespit edilmiştir. Yapılan içyapı incelemelerinde kapak pasosunun yüzey kısımlarında yüksek soğuma hızı nedeniyle martenzit ancak yüzeyin hemen altından itibaren ısı transferi yönünde yönlendirilmiş halde delta ferrit oluştuğu tespit edilmiştir. Kapak pasosunun hemen altındaki pasalarda ise soğuma hızının çok düşük olması nedeniyle oluşan delta ferritin de östenite dönüşerek yapının tamamen östenitik hale geldiği tespit edilmiştir. Kaynak dolgusu ile AISI 304 östenitik çeliğinin birleştiği bölge incelendiğinde AISI 304 çeliğinin ısı iletim katsayısından dolayı ısı transferini azaltarak soğuma hızını düşürmüş ve bu bu çeliğin ITAB'ında yoğun olarak delta ferrit oluşmasına neden olmuştur. Kaynak dolgusu ile takım çeliğinin birleştiği bölgede sıcaklık ve zamana bağlı olarak karbon difüzyonu meydana gelmiş ve kaynak dolgusunda bir miktar karbon artışına neden olmuştur. Bunun sonucunda hem takım çeliğinin ITAB'ında ve hem de karbon oranı artan bu bölgede martenzit oluşmuştur.

Sertlik ölçümleri sonunda sertlik dağılımının metalografik sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve ısı tesiri altındaki bölgesi (ITAB) ile kaynak dolgusu arasında dengeli bir sertlik dağılımının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Takım çeliğinden karbon difüzyonu nedeniyle kaynak dolgusunun takım çeliğine yakın olan bölgelerinde de karbon artışına bağlı olarak martenzit oluşmakta ve bu nedenle kaynak dolgusunun takım çeliğine yakın olan bölgelerinde sertlik değerleri de giderek artmaktadır. En yüksek sertlik değerleri ise takım çeliğinin ITAB'ında tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Yang, W., Li Q., Xiao Q., Liang J. "Improvement of corrosion protective performance of organic coating on low carbon steel by PEO pretreatment", Progress in Organic Coatings, 2015, 89: 260-266.
- [2] Arrayago I., Real E. "Experimental study on ferritic stainless steel simply supported and continuous beams", Journal of Constructional Steel Research, 2016, 119: 50-62.
- [3] Casarin L. S., Casarin F. O., Brandelli A., Novello J., Ferreira S. O., Tondo E. C. "Influence of free energy on the attachment of Salmonella Enteritidis and Listeria monocytogenes on stainless steels AISI 304 and AISI 316 LWT", Food Science and Technology, 2016, 69: 131-138.
- [4] Megep (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) Metal Teknolojisi Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Ankara, 2006
- [5] Aran A., Temel M. A. "Paslanmaz Çelikler", Acar Matbaacılık A.Ş, İstanbul, 2004
- [6] Odabaş C. "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Askaynak Teknik Yayınları, İstanbul, 2007
- [7] Dikicioğlu A. "Kaynaklı İmalat Ve Tasarım Ders notları", İstanbul, 2006

- [8] Duman Ü., Dağlılar S. “Kıatı hal Kaynağı İle Birleřtirilen AISI 3343 S600-AISI 4140 eliklerinin Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması”, Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 2004, 139: 34-37.
- [9] web.itu.edu.tr/~dikicioglu/PaslmazkaynakkabveSchaffler.pdf (download date: 15.08.2014)
- [10] Tyas N.H. “Grain Refinement of Austenitic Stainless Steels to Facilitate Ultrasonic Inspection”, Ph.D. Thesis, University of Cambridge, 2000
- [11] Hsieh C.C., Lin D.Y., Chen M.C., Wu W. “Microstructure, Recrystallization, and Mechanical Property Evolutions in the Heat-Affected and Fusion Zones of the Dissimilar Stainless Steels”, Materials Transactions, 2007, 48(11): 2898-2902
- [12] Tsukamoto S., Harada H., Bhadeshia H. K. D. H. “Metastable Phase Solidification in Electron Beam Welding of Dissimilar Stainless Steels”, Materials Science and Engineering A, 1994, 178: 189-194.
- [13] Suutala N., Takalo T., Moisio T. “The Relationship Between Solidification and Microstructure in Austenitic and Austenitic-Ferritic Stainless Steel Welds”, Metallurgical Transactions A, 1979, 10(4): 512-514
- [14] Zacharia T., David S.A., Vitek J.M., DebRoy T. “Weld pool development during GTA and laser beam welding of Type 304 stainless steel; Part I-theoretical analysis”, Welding Journal, 1989, 68 (12):.510-520