

10CrMo9-10 (P22) ÇELİĞİNİN KAYNAĞINDA KAYNAK PASO GENİŞLİKLERİNİN MEKANİK VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERE OLAN ETKİLERİ

Ercan KAPLAN

ÇİMTAŞ Çelik İmalat Montaj ve Tesisat AŞ
Kaynak Teknolojileri Merkezi Müdürü
ekaplan@cimtas.com.tr

Tanıl ATICI*

ÇİMTAŞ Çelik İmalat Montaj ve Tesisat AŞ
Kaynak Teknolojileri Merkezi Kaynak Mühendisi,
tatici@cimtas.com.tr

ÖZET

Enerji santrallerinde, yüksek sıcaklıktaki basınçlı buhara maruz kalan boru malzemesi olarak, yüksek sıcaklıkta dayançlı ve sürünme dayanımı yüksek olan malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kaynaklanması için özel kaynak sarf malzemeleri ve kaynaklar için uygun kaynak prosedürleri kullanılmalıdır. Müşteri taleplerinin istenilen kalitede ve zamanında karşılanabilmesi için de kaynak prosedürleri, kaynak işleminin en hızlı şekilde yapılmasını sağlayacak şekilde hazırlanmaya çalışılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, 10CrMo9-10 (P22) yüksek sıcaklıkta dayançlı çelik boru malzemesinin kaynağında, üretim süresinin kısaltılmasına katkıda bulunması için kaynak paso genişliği sınırlaması kaldırılarak, her kaynak katmanının tek kaynak pasosuyla doldurulması sağlanmış ve literatürde tavsiye edilen kaynak paso genişlikleriyle kaynaklanmış deney parçaları ile mekanik ve mikroyapısal özellikleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek sıcaklıkta dayançlı çelikler, 10CrMo9-10 (P22), kaynak paso genişliği, mikroyapı, mekanik özellikler

The Effects of Weld Pass Width Variations on Mechanical and Microstructural Properties of 10CrMo9-10 (P22) Steels

ABSTRACT

Materials having high strength at elevated temperatures with high creep strength are used as the piping material to be operated in hot steam media, in power plants. In order to weld such materials, special consumables are to be used with suitable welding procedures. For providing the desired quality with strict schedule necessities, welding procedures must be prepared to perform the welding application as quick as possible.

This study discusses the heat resistant steel 10CrMo9-10 (P22) welding application, with unlimited weaving width, by welding each layer with single pass in order to increase the production rate in comparison with the standard procedures. Experiments done for the comparison of unlimited weaving width with the welding procedures recommended in literature.

Keywords : High strength steels at elevated temperatures, 10CrMo9-10 (P22), weld weaving width, microstructure, mechanical properties

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 05.12.2011
Kabul tarihi : 30.12.2011

1. GİRİŞ

Dünyada artan enerji ihtiyacına paralel olarak, kızgın buharın hareketine dayalı enerji üreten santrallerin sayısının artması ve her geçen gün yenilerinin yapılıyor ve tasarlanıyor olması nedeniyle, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım ve sürünme özellikleri gösteren malzemelerin kullanıldığı, kaynaklı üretim yöntemleriyle birleştirildiği uygulamaların sayısı hızla artmaktadır. Artan uluslararası ticari rekabet, santrallerin istenen inşa süresini azaltmakta, rekabet alanını üretim hızıyla ilgili konulara çekmektedir.

Isıl yolla enerji üreten santrallerin inşasında, kaynaklı üretim yöntemlerini içeren iki kısım vardır. İlki, fabrika ortamında yapılması uygun olan boru ya da basınçlı kap kaynaklarının tamamlanması ve santral sahasına naklini, ikincisi ise nakledilen bu malzemelerin sahada birleştirilmesini içerir. Her iki üretim kısmında da tasarım standartları ve şartnameleri ile belirlenmiş olan kalite gereklilikleri sağlanmalı ve tüm kaynaklar istenilen tarihlere tamamlanmış olmalıdır.

İstenilen kalite gerekliliklerinin ortaya konulan zorlayıcı takvim dahilinde sağlanabilmesi zorunluluğu, üreticileri üretim hızını artırmaya yönelik uygulamalara yönlendirmektedir. Üretim hızını artırıcı adımlar atılırken, kalite gerekliliklerinin sağlandığının gösterilmesi şart olduğundan, atılan her adımda; etkilenmiş olması beklenen malzeme özellikleri sorgulanmalıdır. Bunlara bağlı olarak, yapılan bu deneysel çalışmada, 10CrMo9-10 (P22) yüksek sıcaklıkta dayançlı çeliğinin kaynağında, çeşitli kaynaklarda tavsiye edilen prosedürlerin dışına çıkılarak her katmanın, elektrod kaynağı salınım genişlik sınırı kaldırılarak tek pasoda tamamlanması sağlanmış ve bu malzemenin, kullanılagelen yaygın kaynak prosedürleriyle elde edilmiş mekanik ve mikroyapısal deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deney borularının kaynağında, yöntemlerin ısı girdi değerlerinin en üst değerde tutulabilmesi için kaynaklar oluk pozisyonunda yapılmıştır.

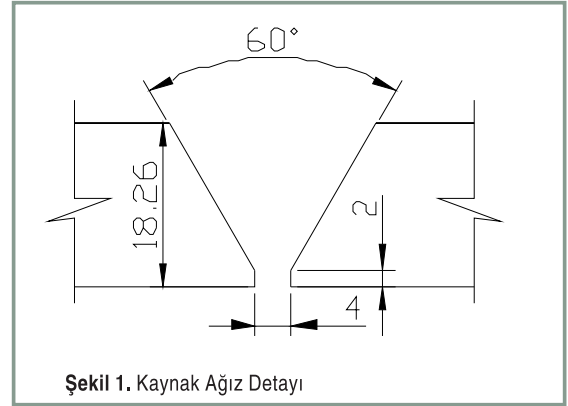
2. YÜKSEK SICAKLIKTAYI DAYANÇLI 10CrMo9-10 (P22) ÇELİĞİNİN KAYNAĞI

10CrMo9-10 (P22) yüksek sıcaklıkta dayançlı çelik malzeme, şartlı olarak kaynaklanabilen bir malzeme olarak adlandırılır. Hızlı soğuma nedeniyle sertleşmeyi önlemek için ön tav yapılması, dayanım kaybını engellemek için de pasolar arası sıcaklığın belirli bir değerin altında tutulması gereklidir. Kaynak sonrası hidrojen çatlak ihtimali nedeniyle düşük hidrojen seviyeleri içeren elektrodlar kullanılır. Kaynak sonrası kaynak dolgu metalinde ve ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) oluşan iç gerilimler ve oluşan fazların kristal yapıları nedeniyle oluşan gerilimlerin giderilebilmesi için gerilim giderme tavi yapılır.

Çalışmanın konusu, kaynak paso genişliklerinin malzemenin mekanik özelliklerine etkileri olduğundan, kaynak sırasında oluşan ısı girdisi büyük önem taşımaktadır. Isı girdisi kavramı, EN 1011-2: ferritik çeliklerin ark kaynağı [1] adlı standartta tanımlanmış ve ısı girdisinin kabul edilebilir seviyeyi geçmemesi için elle ark kaynağında (MMA,111) kaynak paso genişliğinin elektrod çekirdek çapının üç katını geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. EN 1011-2 standardının kapsamı, EN 15608: malzeme gruplama sistem standardında [2] belirtilen grup 1'den grup 7'ye kadar gruplanmış olan malzemeleri içerir. Çalışmanın konusu olan 10CrMo9-10 (P22) çeliği ise içeriğindeki ortalama %2.25 krom ve %1 molibden oranı ile EN 15608 standardında 5.2 grubuna dahildir, dolayısıyla EN 1011-2 standart tavsiyeleri bu malzeme için de geçerlidir.

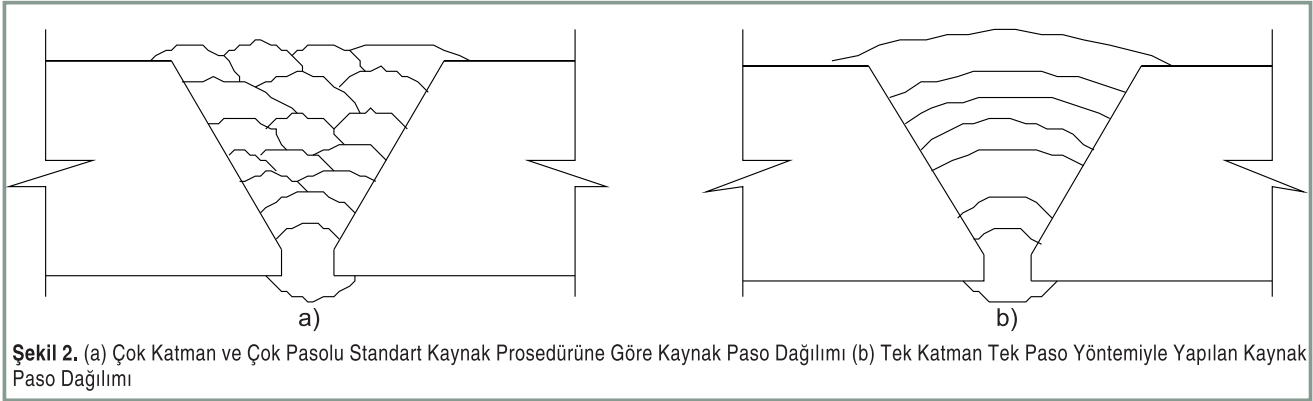
3. KAYNAK KOŞULLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmalarda 10CrMo9-10 (P22) çeliğinden üretilmiş iki set kaynak deney malzemesi kullanılmıştır. Her bir set 6 inç çapında 18.26 mm kalınlığında ikişer adet 150 mm uzunlukta borudan meydana gelmektedir ve 60° V şekilli özdeş kaynak ağızları oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Kaynak Ağız Detayı

İlk deney parçası, firma literatüründe bulunan standart 10CrMo9-10 (P22) kaynak prosedürüne göre TIG kök kaynağı ve bir üst temper pasosu üzerine elektrik ark kaynağı ile kaynatılmış olup; her elektrod pasosunda elektrod çekirdek çapının üç katı kadar salınma izin verilmiştir. İkinci deney parçası ise, kaynakçıya verilen ön kaynak prosedürü gereği her kaynak katmanı tek pasodan oluşacak şekilde, gereken kaynak katmanının genişliği kadar paso genişliği kullanılarak, olabilecek en yüksek paso genişlikleriyle kaynatılmıştır. Deneylerde, tek katmanın tek paso halinde kaynatıldığı parçanın ısı girdisi değerleri standart prosedür ile kaynatılan parçanın ısı girdisi değerleriyle karşılaştırıldığında, en yüksek salınma sahip son pasoda, tek katman tek paso yönteminin ısı girdisi standart prosedürle kaynatılanın yaklaşık dört katına ulaşmıştır. Standart prosedür ile kaynak ark süresi bir saat 40 dakika, tek katman tek paso yöntemiyle bir saat 20 dakika



sürmüştür. Pasolar arası sıcaklık beklmeleri, çok pasolu kaynakta daha fazla sayıda olduğundan, tek katman tek paso yönteminin toplam süresi standart prosedüre göre çok daha kısadır.

Kaynak işlemi sırasında EN 12952-5 standardında [3] belirtilen ön tav kuralları ve kaynak işlemleri sonrasında, yine aynı standartta belirtilen ısıl işlem süre ve sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Buna göre kaynak süresince 100°C ön tav sıcaklığı korunmuş ve kaynak sonrasında 720°C'de gerilim giderme ve temper tavı yapılmıştır. İlgili ısıl işlem grafiği Ek 1'de verilmiştir. Prosedürlerin üretim süreçlerinde de kullanılabilmesi için, üretim süreçlerindeki olası tamir gereksinimleri de göz önüne alınarak, gerilim giderme tavında bekleme süreleri her iki prosedür için de dört saat olarak belirlenmiştir. Kaynak

Yapılan çekme deneylerinde, oda sıcaklığında deneye maruz kalan numuneler, kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgenin dışından kopmuş, Tablo 2'deki çekme deney sonuçları elde edilmiştir. Buna göre her iki kaynak prosedürü uygulandığında yeterli çekme dayanım değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Her iki kaynak prosedürü için de 450°C sıcaklıkta sıcak çekme deneyi gerçekleştirilmiş ve Tablo 3'te verilen sonuçlar elde edilmiştir. 450°C sıcaklık 10CrMo9-10 (P22) çeliğinin servis sıcaklığıdır. EN 10216-2 [5] standardı yüksek sıcaklıkta dayanıklı çelikler için yüksek sıcaklıklarda çekme dayanım alt sınırı tanımlamamakta, akma dayanım sınırı koymaktadır. Yapılan sıcak çekme deneylerinde numuneler kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgenin dışından kopmuştur.

Tablo 1. Ana Malzeme ve Dolgu Malzemeleri Kimyasal Bileşim Değerleri

Ana Malzeme ve Dolgu Malzemeleri Kimyasal Bileşimleri					
	C	Si	Mn	Cr	Mo
10CrMo9-10 (P22) ana malzeme	0.10	0.25	0.52	2.22	0.92
EN ISO 21952-B W 62 2C1M dolgu malzemesi (TIG)	0.09	0.60	0.60	2.50	1.00
EN 1599 E CrMo 2 B 42 H5 dolgu malzemesi (MMA)	0.06	0.30	0.70	2.30	1.10

işlemleri sırasında, pasolar arası sıcaklık olarak 250 °C belirlenmiş ve aşılmamıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

EN 15614-1: standardına [4] göre karşılaştırma amaçlı yapılan kaynak prosedür deneylerinde, kaynaklı numunelerin çekme, sıcak çekme, çentik darbe tokluğu ve sertlikleri ölçülmüş, mikroyapıları görüntüleri alınarak incelenmiştir. 10CrMo9-10 (P22) malzemesinin EN 10216-2 standardında [5] belirtilen en düşük kabul edilebilir çekme dayanım değeri 480 MPa ve oda sıcaklığındaki en düşük kabul edilen çentik darbe tokluk değeri 40 J'dür. Ana malzeme ve dolgu malzemelerine ait kimyasal bileşim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Oda Sıcaklığında Yapılan Çekme Deneyi Sonuçları

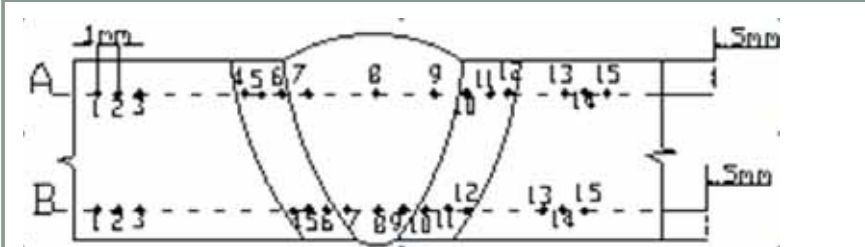
Kaynak Prosedürü	Çekme Dayanımı (MPa)
Standart prosedür	515.9
Tek katman tek paso yöntemi	522.7

Tablo 3. 450 °C Sıcaklıkta Yapılan Çekme Deney Sonuçları

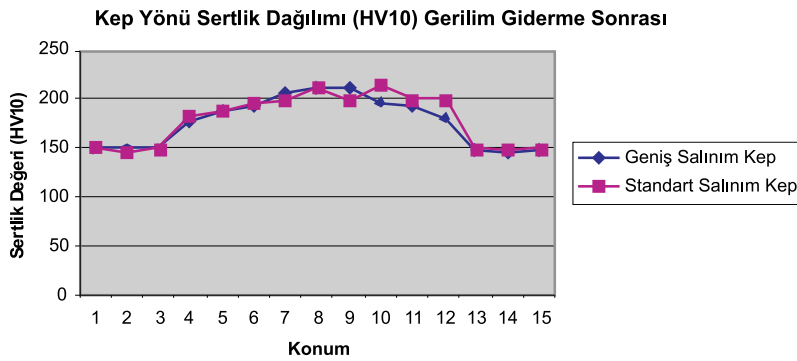
Kaynak Prosedürü	Çekme Dayanımı (MPa) 450°C sıcaklıkta
Standart prosedür	421.6
Tek katman tek paso yöntemi	425.5

Tablo 4. Oda Sıcaklığında Yapılan Çentik Darbe Deneyi (Charpy) Sonuçları

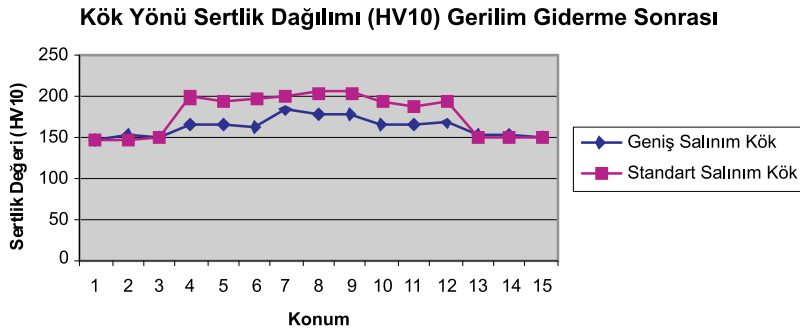
Kaynak Prosedürü	Kaynak Bölgesi Darbe Tokluğu (J) (oda sıcaklığında)	ITAB Darbe Tokluğu (J) (oda sıcaklığında)
Standart prosedür	142	288
Tek katman tek paso yöntemi	155	286



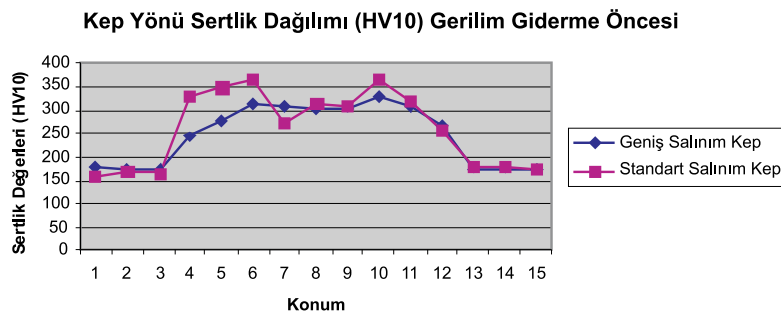
Şekil 3. Numunelerden Alınan Sertlik Değerlerinin Kaynak, ITAB ve Ana Malzeme Bölgeleri İçinde Dağılımı



Şekil 4. Gerilim Giderme Tavı Sonrası Kep Yönü Sertlik Dağılımı



Şekil 5. Gerilim Giderme Tavı Sonrası Kök Yönü Sertlik Dağılımı



Şekil 6. Gerilim Giderme Tavı Öncesi Kep Yönü Sertlik Dağılımı

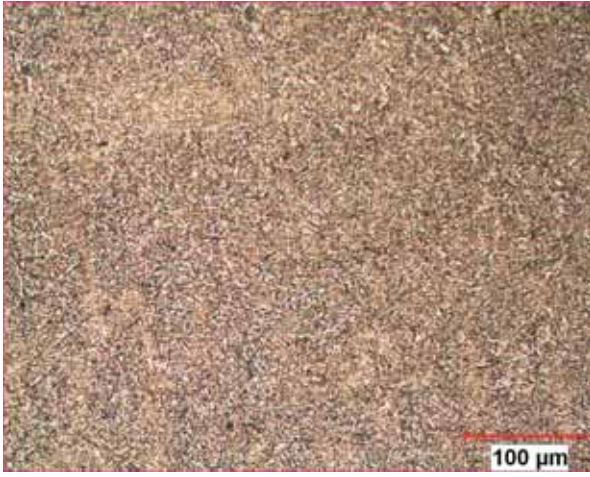
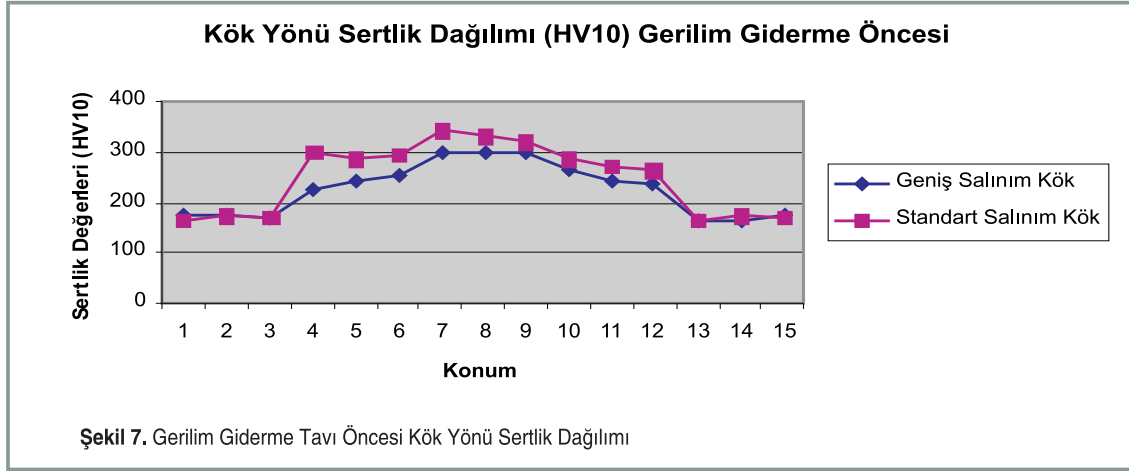
Çentik darbe deneyleri, her iki prosedürün kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgelerinin oda sıcaklığındaki çentik darbe tokluğunun birbirlerine yakın olduğunu ve standart gerekliliğinin üzerinde olduğunu göstermektedir (Tablo 4).

Her iki prosedür için de yapılan kaynak kesiti sertlik taramalarında, Vickers 10 kg skalasında, Şekil 3'te verilen sertlik profili doğrultusunda yapılan ölçümlere göre Şekil 4'teki grafik elde edilmiş ve EN 15614-1 standardında kabul edilen değerlerinin dışında sertlik değerlerine rastlanmamıştır. Standart prosedür ile kaynatılan parçanın kök yönü sertlik değerleri, tek katman tek paso yöntemiyle kaynatılan parçaya göre kaynak bölgesinde ve ITAB'da yaklaşık 40 HV10 yüksek olarak ölçülmüştür. Kep yönündeki sertlik değerlerinin her iki prosedür için de yakın olduğu gözlemlenmiştir.

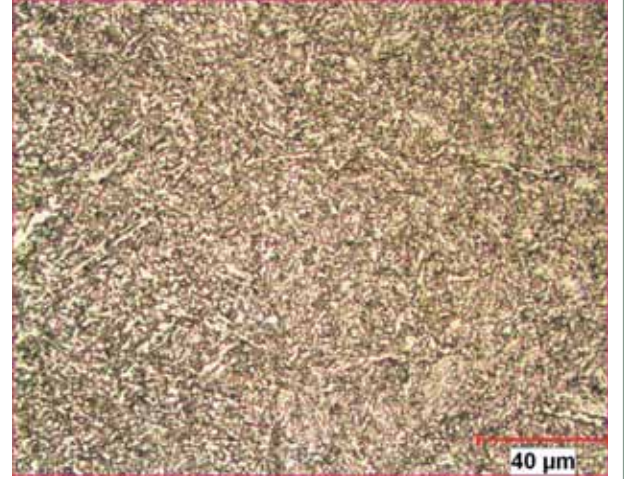
Kök yönünde gözlemlenen bu sertlik farkının nedenlerinin araştırılması için gerilim giderme tavlama öncesi sertlik değerleri ölçülmüş ve sertlik dağılımları çıkarılmıştır.

Gerilim giderme tavlama öncesinde de, kepe yönündeki ortalama sertlik değerlerinde her iki prosedür için kayda değer farklılık görülmezken, gerilim giderme sonrasında kök yönünde görülen yaklaşık 40 HV10 değerindeki sertlik farkları gerilim giderme tavlama öncesinde de bu bölgede gözlemlenmektedir.

10CrMo9-10 çeliğinin kaynak bölgesi ve ITAB'ı incelendiğinde, ferritik – beyitik mikroyapı gözlemlenmiştir (Şekil 8a, 8b, 9a, 9b).



8a

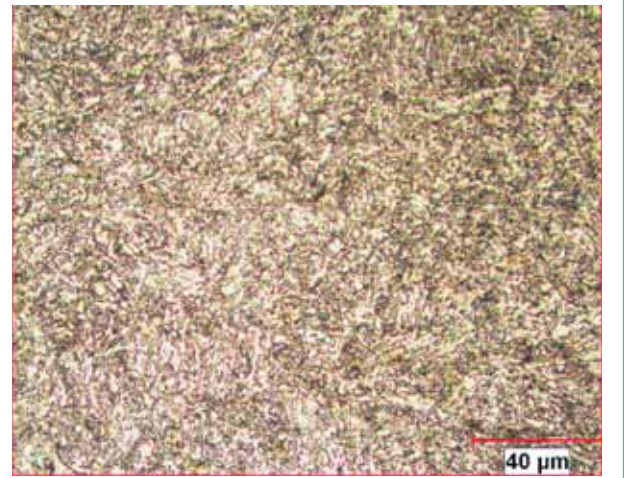


8b

Şekil 8a ve 8b. Kaynak Bölgesinin Farklı Büyütme Dereceli Görüntüleri



9a



9b

Şekil 9a ve 9b. Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin Farklı Büyütme Dereceli Görüntüleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan kaynak uygulamaları ve deneyler sonucu standart kaynak prosedürü ve tek katman tek paso şeklinde uygulanan prosedür karşılaştırılmış ve tahribatlı-tahribatsız muayene sonuçları elde edilmiştir. Standart prosedüre göre yapılan kaynaklarda TIG yöntemi için hat enerjisi 1.04 – 1.56 kJ/mm aralığında, MMA yöntemi için ise 1.26 – 2.35 kJ/mm aralığındadır. Tek katman tek paso uygulamasında ise TIG yöntemi için hat enerji değerleri, paso genişlikleri ve dolgu miktarı yaklaşık olarak standart prosedürle aynı olduğundan kayda değer bir farklılık göstermemiştir. Tek katman tek paso uygulamasının MMA yöntemiyle yapılan kaynağında ise hat enerjileri 2.20-3.42 kJ/mm aralığında tespit edilmiştir.

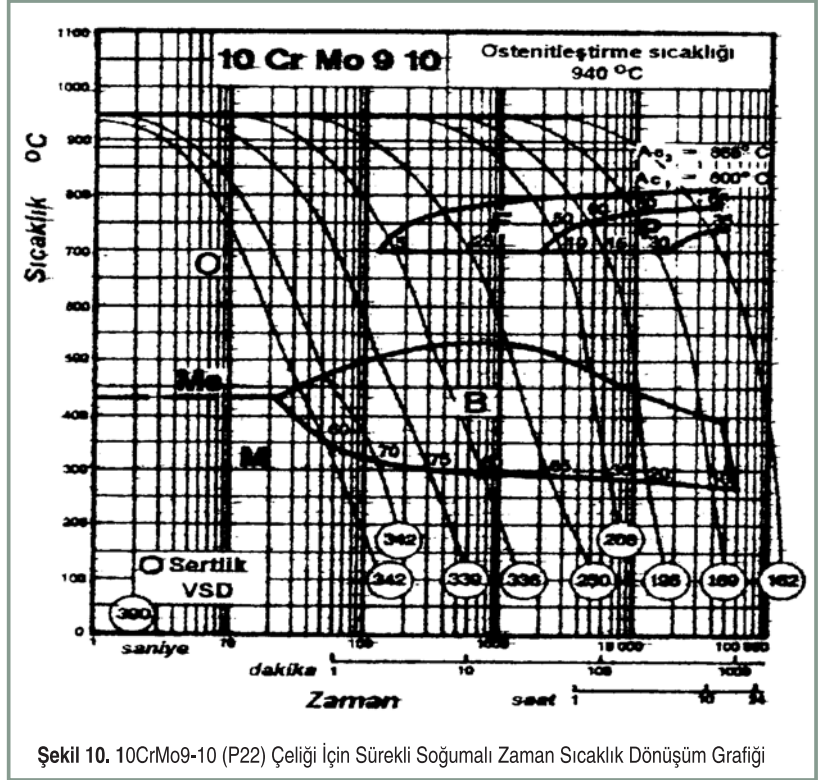
Her iki yöntemle yapılan kaynakta da radyografik yöntemle yapılan tahribatsız muayene sonucu kaynak hatası olarak nitelendirilebilecek bir süreksizliğe rastlanmamıştır.

Uygulanan tahribatlı muayenelerden çekme deneyinde, her iki kaynak prosedüründe de çekme numunelerinde kopma, kaynak bölgesi ve ITAB dışındaki bir bölgede meydana gelmiştir. Çekme dayanım değerleri malzeme en düşük gerekliliğinin üzerindedir.

Sıcak çekme deneyi 450°C'de uygulanmış, her iki prosedürle yapılan kaynaklardan alınan numune parçalarında kopma, kaynak bölgesi ve ITAB dışındaki bir bölgede meydana gelmiş, çekme dayanım değerleri de malzemenin bu sıcaklıktaki en düşük gerekliliğinin üzerindedir.

10CrMo9-10 (P22) kalitesindeki malzemeler, enerji santrallerinde yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan malzemelerdir. 10CrMo9-10 (P22) kalitesindeki malzemenin tokluk değerlerinin, tıpkı diğer çelik alaşımlarında olduğu gibi artan sıcaklıkla artması beklendiğinden, çentik darbe tokluk deneyi bu malzeme için çalışma sıcaklıklarında kritik değildir. Deneylerde çentik darbe tokluğu, oda sıcaklığında yapılan deneylerle ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen tokluk değerleri, kaynak bölgesi ve ITAB için gereken standart değerinin üzerindedir.

Kaynak kesitleri boyunca yapılan sertlik taramalarında, kaynak kep bölgesi sertlik değerleri arasında her iki prosedürle yapılan kaynağın kesitinde de önemli bir farklılık görülmemiştir. Kök bölgelerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, kaynak bölgesi ve ITAB'da standart prosedüre ait olan numunenin, tek katman tek paso prosedürü ile kaynayan numuneye göre 40 HV10 daha sert olduğu

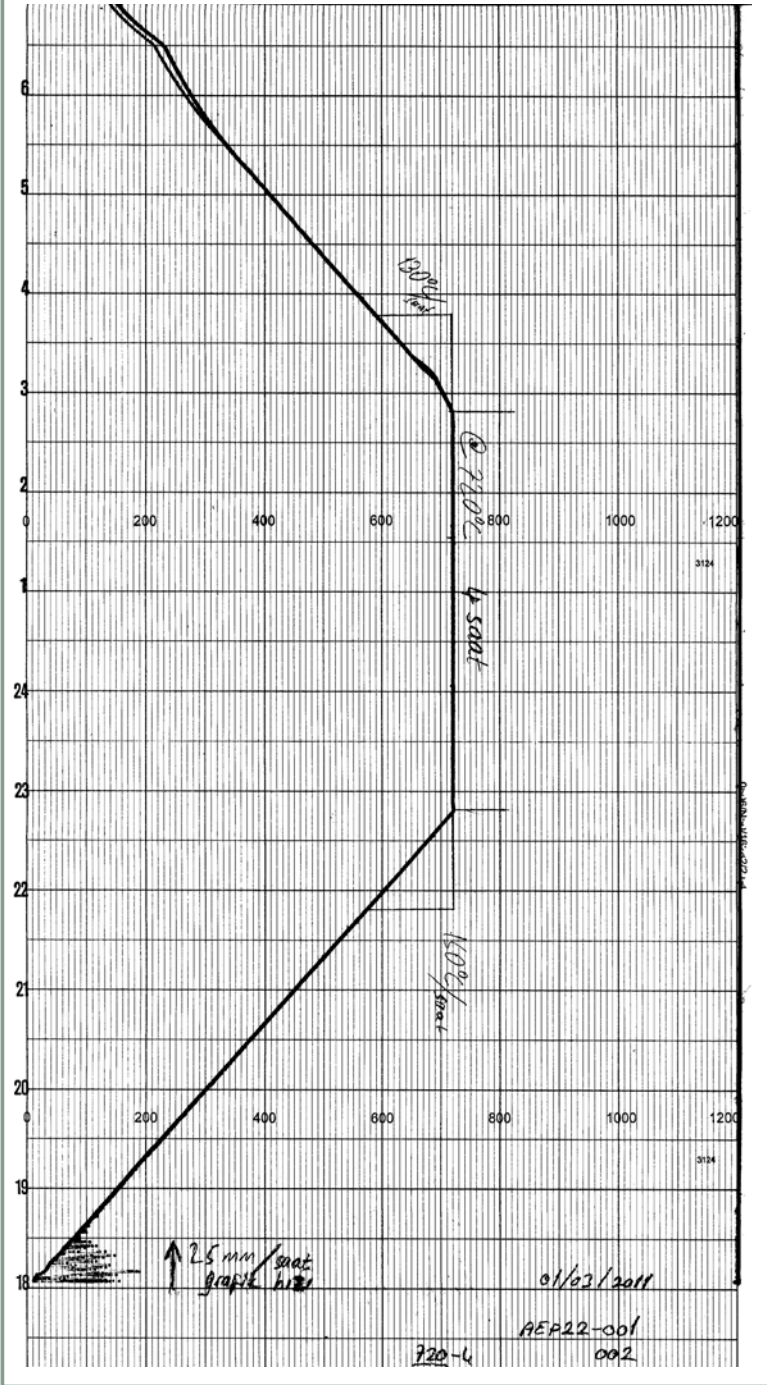


Şekil 10. 10CrMo9-10 (P22) Çeliği İçin Sürekli Soğumalı Zaman Sıcaklık Dönüşüm Grafiği

gözlemlenmiştir. Bu değerler, prosedürler ve P22 malzemenin standart gereklilikleri nedeniyle gerilim giderme tavı sonrası elde edilen değerlerdir. Sertliklerdeki bu farklılığın nedenlerinin araştırılması amacıyla aynı parçaların gerilim giderme öncesi sertlik değerleri karşılaştırılmış ve bahsedilen bölgelerdeki yaklaşık 40 HV10 sertlik farkının gerilim giderme tavı öncesinde de var olduğu tespit edilmiştir. Bu verilere dayanarak, tek katman tek paso şeklinde uygulanan kaynak prosedürünün, yüksek ısı girdisinden ve üst pasoların tüm kaynak ağız kesitini örtecek şekilde uygulanmasından ötürü kök yönündeki alt pasoların, üstlerine uygulanan her paso sonrası temperlenmesinden ötürü yumuşadığı sonucuna varılmıştır. Benzer durumun standart prosedürde görülmemesinin nedeni, dar salınımlarla yapılan kaynak pasolarının yalnızca altındaki iki pasoyu temperlemesi, dolayısıyla tek katman tek paso prosedürüne göre standart prosedürün kök yönündeki pasolarının daha az sayıda temperlenme döngüsüne sahip olmasıdır.

Kaynak ve gerilim giderme tavı sonrası yapılan mikroyapı incelemelerinde, ferritik-beynitik mikroyapı gözlemlenmiştir. %2.25Cr ve %1Mo içeren çeliklerde kaynak bölgesi ve ITAB'da beklenen mikroyapı ferritik – beynitik olup kalıntı östenit ve karbür çökeltileri de beklenmektedir [6]. Şekil 10'da [7] görülen zaman sıcaklık dönüşüm diyagramında, sertlik değerleri ve bu sertlik değerleri karşılığında beklenen mikroyapılar görülmektedir. Buna göre, gerilim giderme (temper) tavlama öncesi sertlik değerleri 225 – 366 HV10

Ek 1. Isıl İşlem Grafiği



arası olduğundan, elde edilen sertlik değerlerinin mikroyapı incelemesinde karşılaşılan fazlarla örtüştüğü söylenebilir-mektedir.

Tüm tahribatsız ve tahribatlı muayene sonuçları incelendiğinde, 10CrMo9-10 (P22) kalitesindeki malzemenin tasarım şartlarında her iki kaynak prosedürüyle de kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Tek katman tek paso olarak adlandırdığımız, her kaynak katmanının yalnızca bir pasoda, o bölgedeki kaynak ağzı genişliğinde yapılması; prosedürü çalışma hızında kayda değer hız artışlarının yolunu açabilir. Ancak bu metodun ticari anlamda projelerde kullanılabilmesi için bazı ek deneyler gerekmektedir. Bu çalışmadan sonraki bu alandaki çalışmalar, daha farklı malzeme kalınlıkları için daha farklı kaynak pozisyonlarında kaynak yapılmasını içerecek olup; pratikte tek katman tek paso prosedürlerinin uygulanabilmesi ve her kaynak pozisyonunda gerekli mekanik özelliklerin elde edilebilirliğinin araştırılması üzerine olacaktır.

KAYNAKÇA

1. EN 1011-2: Welding - Recommendations for Welding Of Metallic Materials - Part 2: Arc Welding Of Ferritic Steels, 2001.
2. EN 15608: Welding-Guidelines for A Metallic Materials Grouping System, 2005.
3. EN 12952-5: Water Tube Boilers and Auxiliary Installations Part 5 – Workmanship and Construction of Pressure Parts of the Boilers, 2007.
4. EN 15614-1: Specification and Qualification of Welding Procedures for Metallic Materials - Welding Procedure Test Part 1: Arc and Gas Welding of Steels and Arc Welding of Nickel and Nickel Alloys (Amd.1 2008), 2008.
5. EN 10216-2: Non Alloy and Alloy Steel Tubes with Specified Elevated Temperature Properties, 2007.
6. King, B. 2005. "Welding and Post Weld Heat Treatment of 2.25%Cr-1%Mo Steel," New South Wales
7. Topbaş, A. 1998. Çelik ve Isıl İşlem Atlası, İstanbul