

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA SOĞUK ÇATLAKLARIN OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAK. MÜH. DEĞER EYÜBOĞLU

TEZ YÖNETİCİSİ : PROF. NURULLAH GÜLTEKİN

İSTANBUL - 1993

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA SOĞUK ÇATLAKLARIN OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAK. MÜH. DEĞER EYÜBOĞLU

TEZ YÖNETİCİSİ : PROF. NURULLAH GÜLTEKİN

İSTANBUL - 1993

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET

SUMMARY

1- KAYNAK DİKİŞLERİNDE ÇEŞİTLİ TİP ÇATLAKLAR, GÖRÜNÜŞLERİ, SEBEPLERİ	1
1.1. Sıcak Çatlaklar	1
1.2. Gerilme Çatlakları	2
1.3. Krater Çatlakları	3
1.4. Dikişaltı ve Hidrojen Çatlakları	4
1.5. Katmer Çatlakları	5
1.6. Yaşlanma Çatlakları	5
1.7. Kenar Çatlakları	5
1.8. Taneler Arası Gerilmeli Korozyon Çatlakları	6
1.9. Mikro-Çatlaklar	6
1.10. Balık Gözleri	7
2- SOĞUK ÇATLAK OLUŞUMU, İNCELENMESİ	8
2.1. Soğuk Çatlağın Tanımı, Oluşumu	8
2.2. Çelik içindeki Hidrojenin Etkinlikleri	9
2.3. Kaynakta Hidrojenin Oluşumu	13
2.4. Kaynakta Hidrojenin Yayınması	14
2.5. Hidrojen Kırılganlığının Genel Karakteri	15
3- SOĞUK ÇATLAĞIN OLUŞMASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	18
3.1. Kalınlık ve Birleşme Tipi	18
3.2. Çeliğin Kimyasal Bileşimi	19
3.3. Kullanılan Elektrod ve Rutubet Oranları	20
3.4. Kaynak Birim Dikiş Enerjisi ve Ön Tavlama Sıcaklığının Etkisi	27

4- KAYNAK DİKİŞLERİNDEKİ SOĞUK ÇATLAKLARIN SAPTANMASI	
İÇİN YAPILAN ÖZEL MUAYENELER	30
4.1. Karbon ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağında Isı Etkili Bölgede Soğuk Çatlak Oluşumu SNM 439 ve SKS'in RRC Testindeki Kırılma Davranışı	30
4.1.1. Muayene Esası	30
4.1.2. Kullanılan Malzemeler ve Deneysel İşlemler-Deney Tesisatı	31
4.1.2.1. Kullanılan Malzemeler	31
4.1.2.2. Deneysel İşlemler-Deney Tesisatı	32
4.1.3. Zorlama Etkisi Altında Çatlama	34
4.1.4. Çatlamanın Makro ve Mikroskopik Karakteristikleri	40
4.1.5. Sonuçlar	44
4.2. Karbon ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağında Isı Etkili Bölgede Soğuk Çatlak Oluşumu Sönümlü Çatlak Tipinin Soğuk Çatlağı İçin Yapılan Simülasyon Testinin Uygulanabilirliği	45
4.2.1. Muayene Esası	45
4.2.2. Kullanılan Malzemeler ve Deneysel İşlemler	46
4.2.2.1. Kullanılan Malzemeler	46
4.2.2.2. Deneysel İşlemler	46
4.2.3. Değerlendirmeler ve Deneysel Sonuçlar	48
4.3. Karbon ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağında Isı Etkili Bölgede Soğuk Çatlak Oluşumu Sönümlü Çatlak Tipinin Soğuk Çatlama Hassasiyeti Üzerinde Kimyasal Bileşimlerin Etkisi	54
4.3.1. Muayene Esası	54
4.3.2. Kullanılan Malzemeler ve Deneysel İşlemler	54
4.3.2.1. Kullanılan Malzemeler	54
4.3.2.2. Deneysel İşlemler	55
4.3.3. Değerlendirmeler ve Deneysel Sonuçlar	58

5- KARBON EŞDEĞERİ-KALINLIK EŞDEĞERİ-BİRİM DİKİŞ ENERJİSİNE BAĞLI UYGULAMA ÖRNEKLERİ	72
5.1. Yapı Çeliği St 37-2 için Uygulama Örnekleri	73
5.1.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	73
5.1.2. Manuel Ar Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	76
5.2. Islah Çeliği C60 için Uygulama Örnekleri	78
5.2.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	78
5.2.2. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 6 mm. Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	80
5.2.3. Gazaltı (MAGM) ve Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	82
5.2.4. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı oluşturularak Birleştirilmesi	84
5.3. Islah Çeliği 34 Cr 4 için Uygulama Örnekleri	86
5.3.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	86
5.3.2. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	88
5.3.3. Gazaltı (MAGM) ve Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	89

5.3.4. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	91
5.4. Islah Çeliği 34 Cr Mo4 için Uygulama Örnekleri	92
5.4.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	92
5.4.2. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	94
5.4.3. Gazaltı (MAGM) ve Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	95
5.4.4. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	97
5.5. Islah Çeliği 34 Cr Ni Mo 6 için Uygulama Örnekleri	99
5.5.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	99
5.5.2. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	101
5.5.3. Gazaltı (MAGM) ve Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	102
5.5.4. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	104
5.6. Nitrit Çeliği 39 Cr Mo V 139 için Uygulama Örnekleri	105
5.6.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	105

5.6.2. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	108
5.6.3. Gazaltı (MAGM) ve Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	109
5.6.4. Gazaltı (MAGM) Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	111
5.7. Ferritik Çelik X6 CrAl 13 için Uygulama Örnekleri	112
5.7.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	112
5.7.2. Tozaltı Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	116
5.7.3. Tozaltı Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	117
5.7.4. Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	118
5.8. Östenitik Çelik X2 CrNi MoN 18 13 için Uygulama Örnekleri	120
5.8.1. Manuel Ark Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	120
5.8.2. Tozaltı Kaynağı ile 6 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	122
5.8.3. Tozaltı Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak Birleştirilmesi	123

5.8.4. Manuel Ark Kaynağı ile 12 mm Et Kalınlığına
Sahip İki Parçanın V-Kaynak Ağzı Oluşturularak
Birleştirilmesi

124

6. SONUÇLAR VE İRDELEME

127

7. KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

TEŞEKKÜR



ÖZET

Kaynak sonucunda kaynak dikişinde ve esas metalde yanma olukları, cüruf kalıntıları gibi hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar hem dikişin homojenliğini bozar, hem de mukavemetini düşürür.

Çatlaklar diğer hatalara göre en tehlikeli olanlarıdır. Bunları oluşturan nedenler çeşitlidir. Kullanılan malzeme cinsine, malzemenin homojenliğine, levha kalınlığına, birim dikiş enerjisine ve ön tavlama sıcaklığına bağlı olarak çatlaklar ortaya çıkabilir.

Kaynakta rastlanan çatlaklar çok çeşitli olmakla birlikte burada yalnızca uygulamalarda sıkça rastlanabilen, çeliklerin kaynağında oluşabilen soğuk çatlaklar incelenmiştir.

Çalışmamızın ilk bölümlerinde kaynak dikişlerinde oluşabilen çeşitli tip çatlaklara değindikten sonra, soğuk çatlak oluşumu ve soğuk çatlağın oluşmasına etki eden faktörler ele alınmıştır. Daha sonraki bölümlerde ise kaynak dikişlerindeki soğuk çatlakların saptanması için geliştirilen özel muayeneler incelenmiş ve karbon eşdeğeri, kalınlık eşdeğeri, birim dikiş enerjisine bağlı uygulama örnekleri üzerinde çalışılmıştır.

İstanbul, 1993

Değer EYÜBOĞLU

Makina Mühendisi

SUMMARY

At the end of welding there may be some mistakes like residues and burning grooves in the welding seam and basic metal. These mistakes deforms either the welding homogeneity lowers or its resistance.

The cracks are the most dangerous to the other mistakes. There are different kinds of reasons. The cracks may depends on a sort of materials used, material homogeneity, plate thickness, arc energy and preheat.

Although there are many cracks in welding process, only cold cracks were investigated in this search.

At first part of this search, different types of cracks formed at welding seam are defined. And then forming cold cracks and the reasons were studied.

Further, special examinations developed to determine the cold cracks were investigated and also carbon equivalence, thickness equivalence, arc energy examples were searched.

istanbul, 1993

Değer EYÜBOĞLU
Makina Mühendisi

1- KAYNAK DİKİŞLERİNDE ÇEŞİTLİ TİP ÇATLAKLAR, GÖRÜNÜŞLERİ, SEBEPLERİ

Kaynakta çatlak, kaynak işleminde sıvı metalin katı faza geçmesi ve soğumasından sonra ergimiş bölgedeki doku değişmelerine, soğuma koşullarına ve malzemenin sıcaktaki özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan bir hata türüdür. Bir metalin kaynaklanabilme kabiliyetini sınırlayan en önemli husus ana metalin kaynak civarında çatlamaya hassasiyetidir. Çeşitli sebeplerle meydana gelen bu çatlaklar kaynak metali veya ana metal içerisinde oluşabildiği gibi her iki bölgede de sürekli bir yol takip edebilirler. Bu çatlaklar değişik şekillerde gruplandırılabilirler. Çatlakları genişliklerine göre mikroçatlak, kıl çatlağı, çatlak ve kırık olmak üzere sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan mikroçatlak 200 ila 1000 büyütmeli mikroskop altında, kıl çatlağı göz veya büyüteçle, çatlak ve kırık ise gözle görülebilmektedir.

Aşağıda, kaynak dikişlerinde oluşan çeşitli tip çatlaklar, bunların görünüşleri ve sebepleri incelenmiştir.

1.1. SICAK ÇATLAKLAR

Sıcak çatlaklar, yüksek sıcaklıklarda katılaşma sıcaklığının tam altında ve üzerinde, bütün metal katılaşmadan kendini çekmenin başlaması neticesinde ortaya çıkar. Genellikle, kaynak metalindeki karbon veya kükürt ya da her ikisinin birden fazla olması neticesinde ortaya çıkan bir çatlak cinsidir. Karbon ve kükürt dikkate değer derecede segregasyona meyil gösterirler. Erimiş metal katılaşmaya başladığı zaman kristaller sıvı-katı ara yüzeyine dikey doğrultuda büyürler. İlk meydana gelen kristallerde karbon ve kükürt miktarı oldukça azdır. Gittikçe büyüyen kristaller arasında kalan erimiş metal, karbon ve kükürt bakımından zenginleşir. Eğer o anda kendini çekme gerilim-

leri ortaya çıkarsa, tane sınırlarındaki gerilme erimiş metal tarafından karşılanamaz ve kolaylıkla kristaller arasında çatlaklar oluşur. Bu çatlakların en fazla teşekkül ettiği dikişler iç köşe birleştirmeleridir. Bazı durumlarda (X) dikişlerinde de uygun kaynak sıraları seçilmeme koşullarında yüzeysel çatlaklar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda ortalama kükürt miktarının uygun olmasına rağmen, alt pasolarda bölgesel kükürt fazlalığı görülür. Şekil 1'de tek taraflı bir iç köşe dikişinde sıcak çatlak görülmektedir.



Şekil 1- Tek taraflı bir iç köşe dikişinde sıcak çatlak (şematik) /3/

1.2. GERİLME ÇATLAKLARI

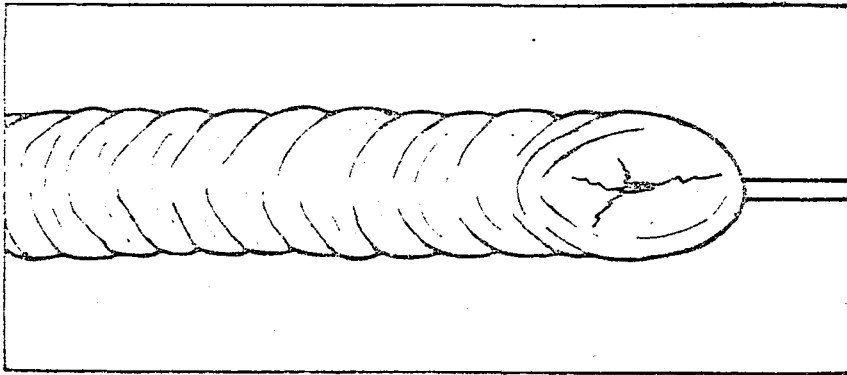
Gerilme çatlakları, kaynak esnasında dikişte oluşan kendini çekme gerilmelerinin sebep olduğu bir çatlak cinsidir. Bir kaynak işlemi yapıldıktan sonra dikişin gözenekli ve cüruf kalıntıların bulunması durumunda, bu dikişlerde yeniden ağız hazırlanıp, aynı yerlerin tekrar kaynak yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla aynı kısımların iki defa kaynak yapılması sonucunda

kaynak dikişinde kendini çekme gerilmeleri hasıl olmaktadır. Bu da, gerilme çatlaklarının ortaya çıkmasına neden olur. Böyle durumlarda parçaya yardımcı bir tavlama uygulamak yerinde olur. Bu, özellikle aynı yerin herhangi bir nedenle iki defa kaynağında çok önemlidir. Yardımcı tavlama ön tavlamadan biraz farklı olup amacı, kaynak metali yığılmadan önce tatbik edilerek soğuma hızının ani düşüşünü önlemektir. Böylece parçanın çabuk soğuması önlenmektedir. Bu şekilde geçiş bölgesindeki sertleşme de asgariye indirilmiş olur.

1.3. KRATER ÇATLAKLARI

Krater çatlakları, hemen hemen alaşımsız ve hafif alaşımlı çeliklerin kaynağında elektrodun çabuk çekilmesiyle meydana gelmektedir. Kaynağın sonuna doğru veya elektrodun bitimine doğru elektrod kaynak yerinden çabuk çekilirse, kaynak metali krater yerinde az yığıldığından zayıf olur. Bu yüzden erimiş haldeki kaynak metalinin katılaşma esnasında emilmesiyle krater çatlağı meydana gelir.

Krater çatlağının oluşmasını önlemek için kaynağın veya elektrodun bitiminde elektrot çabuk çekilmez. Krater iyice doldurulur ve dikişin bu kısmına biraz fazla metal yığılır veya ek parça metodu ile bu hata, öngörülen kaynak dikiş boyutunun dışına taşınır.



Şekil 2- Alın birleştirmesinde bir krater çatlağı.
(Şematik) /3/

1.4. DİKİŞALTI VE HİDROJEN ÇATLAKLARI

Dikişaltı çatlakları esas metalin ısı etkili bölgesinde, kaynak metalinin dışında ve daha ziyade kaynağın erime çizgisine paralel çatlaklardır. Çatlakların meydana gelmesinde çeşitli faktörler rol oynamaktadır. Bunların başlıcaları,

- a- Isı etkili bölgede ani soğumanın etkisi,
- b- Isı etkili bölgedeki hidrojen,
- c- Rijitlik derecesi

Çabuk soğuma ile martenzit teşekkülü meyli artmaktadır ve en fazla olduğu yer de erime sınır çizgisine yakın bölgedir.

Hidrojen, kaynak metalinden östenitik yapıdaki esas metale doğru yayılmaktadır. Soğumanın çabuk olması dolayısıyla soğuyan östenitik yapı martenzite dönüşür. Bu durumda hidrojen martenzit içerisinde hapsolür. Bu da martenzitin gevrekliğini arttırır. Hızlı soğuma malzemede oldukça önemli gerilmelere neden olur. Buna ilaveten östenitik yapıdan martenzite dönüşüm bir hacim artmasıyla meydana geldiğinden, bu durum da malzemede gerilmeler oluşturur. Bütün bu faktörler birlikte; hidrojenin malzemeyi gevrekletirmesi, östenitin martenzite dönüşümüyle meydana gelen hacim artması ve ani soğumanın neden olduğu gerilmeler dikişaltı ve hidrojen çatlaklarını meydana getirebilmektedirler. Bu tip çatlakların meydana gelmesi için; şu iki şart gereklidir :

a- Kaynağın erime çizgisine yakın bölgede martenzit teşekkül etmesi,

b- Bir miktar hidrojen bulunması, yeterli koşul olarak bilinmektedir.

1.5. KATMER ÇATLAKLARI

Bu tip çatlama, esas metalin kendine ait bir kusurundan ileri gelir. Esas metalde bulunan cüruf kalıntıları, saça çekme gerilmesi uygulandığı zaman katmer çatlakları şeklinde ortaya çıkar. Burada, elektrodun yanlış seçilmesinin veya kaynakçı hatasının bir tesiri söz konusu değildir.

1.6. YAŞLANMA ÇATLAKLARI

Karbon ve azot birlikte çeliğe yaşlandıran elemanlardır. Bununla birlikte fosforun gevrekleştirici etkisinden dolayı, şayet çeliğin bileşiminde fazla miktarda fosfor varsa, yaşlanma çatlakları kaçınılmaz olur.

Yaşlanma çatlakları kullanılan malzemenin kalınlığına, kullanılan elektrodun çapına bağlı olarak dikişten 2-20 mm. mesafede ve kaynak sırasında tavlama maruz kalan kısımlarda oluşur. Soğuk şekil değiştirme ve tavlama yaşlandırmayı teşvik eden bir ortam hazırlar.

Yaşlanmaya elverişli bir malzeme, önce östenit alanına kadar tavlانیp çabuk soğuttuktan sonra, 550-650 °C arasında temperleme işlemine tabi tutulursa, bu öngörülme durumun ortadan kaldırılması mümkün olabilmektedir.

1.7. KENAR ÇATLAKLARI

Kenar çatlakları büyük zorlamalara maruz kalan yapı çeliklerinin kaynağında görülen bir çatlak çeşididir. Malzemenin sert yapısı, keskin çentikler ve yüksek kendini çekme gerilmeleri kenar çatlaklarını oluşturan sebeplerin başında gelir.

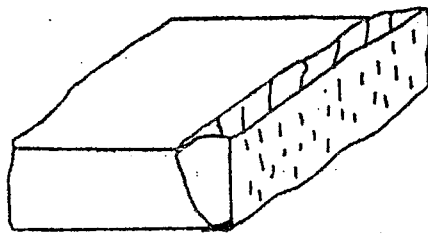
Kenar çatlaklarını önlemek için uygun bir kaynak sırası izlenmelidir. Ayrıca ön tavlama ve yardımcı tavlama tatbik etmek gerekir.

1.8. TANELER ARASI GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAKLARI

Bu tip çatlaklar, alaşımsız ve hafif alaşımlı çeliklerin asidik bir ortam içerisinde çekme gerilmesine maruz kalmaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Taneler arası gerilmeli korozyon çatlakları daha çok kaynaklı silindirik kazanlarda, çevresel dikişlere paralel ve silindirik kısmın boylamasına dikişlerine dik olarak meydana gelir. Önüne geçmek için malzemedeki kendini çekme gerilmelerinin giderilmesi amacıyla malzemeye bir gerilme giderme tavlaması uygulamak gerekir.

1.9. MİKRO-ÇATLAKLAR

Yumuşak çeliklerin kaynağında çok ince çatlaklara rastlanabilir. Bunlar Şekil 3'de görüldüğü gibi kaynak istikametine dik doğrultudadırlar. Sertleştirme işlemlerinin etkisi ile ilgili olmayan ve büyük miktarlarda görülen bu çatlaklara çok az karbon ihtiva eden çeliklerde bile rastlanır ($\sim \% 0,06 C$). Bu tip çatlakların meydana gelmesinde hidrojen önemli bir yer tutar.



Şekil 3- Bir kaynak dikişinde meydana gelen mikro-çatlaklar (Şematik) /10/

Kaynak metalinde hidrojen miktarı arttıkça mikro-çatlakların oluşma eğilimi de artmaktadır. Diğer önemli faktörler ise soğuma hızı ile kaynak yerinin rijiditesidir.

Çatlakların meydana gelmesinde muhtemelen dislokasyon ve hatalı kısımlara yığılarak hidrojen molekülleri meydana getiren hidrojen atomlarının aşırı doyma konsantrasyonu sebep olmaktadır. Hidrojen molekülleri yüksek basınç meydana getirirler ve bu da lokal gerilmelere neden olur. Lokal gerilmeler malzemenin kopma mukavemetini aşarsa çatlak meydana gelir.

Mikro-çatlaklar çok ufaktır fakat sayıları çok olabilir. Çekme ve çentik darbe mukavemetini düşürürler.

1.10. BALIK GÖZLERİ

Balık gözlerinin oluşum mekanizması mikro-çatlaklar gibi olup, görünüşleri farklıdır. Bunlar ark kaynağının kırık yüzeylerinde yuvarlak veya oval benekler halinde kendilerini gösterirler. Bu benekler kırık yüzeyinde daha parlak olduklarından kolayca fark edilebilir. Beneğin ortasında ufak bir cüruf kalıntısı veya gözenek görülür. Yapılan muayeneler bu beneklerin hakikatte lokal gevrek kırılmalar olduğunu göstermiştir. Metalin akma sınırının üzerinde yüklenmesi halinde kendini göstermektedir.

Balık gözlerinin çoğalması malzemenin sünegliğini azaltır. Balık gözlerinin oluşumuna metal yüklenirken, cüruf kalıntılarına ve gözeneklere diffüze etmiş olan hidrojenin basıncı sebep olmaktadır.

Yukarıdaki bölümde kaynak dikişlerindeki çeşitli tip çatlaklardan, bu çatlakların görünüş ve sebeplerinden bahsedilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde, çeliklerde soğuk çatlakların oluşumu, nedenleri ve soğuk çatlakların saptanması için geliştirilen özel muayeneler incelenecektir.

2. SOĞUK ÇATLAK OLUŞUMU, İNCELENMESİ

2.1. SOĞUK ÇATLAĞIN TANIMI, OLUŞUMU

Soğuk çatlaklar, çeliğin kimyasal bileşimi, kaynak sırasında sıcaklığın etkileri, malzemede metalurjik, teknolojik faktörler nedeniyle gevrekleşme hasıl olduğunda meydana gelir.

Soğuk çatlaklar ısı etkisi altında kalmış bölgede, erime çizgisinin yakınında, kaynak malzemesinde, kaynak malzemesinin ve ana metalin özellikleri, parçanın kalınlığı, çentik mevcudiyetine göre enine ve uzunlamasına çatlaklar şeklinde hasıl olabilirler. Bunlar daha çok düşük sıcaklıklarda (bazen oda sıcaklığı) ve daha ziyade çeliğin kimyasal bileşimine göre östenit dönüşümünün son fazında meydana gelir.

Soğuk çatlak tanımlanması kısaca şöyle yapılabilir. Kaynakta soğuk çatlak, kimyasal bileşimi nedeniyle ve sıcaklık etkilenmesiyle çeliğin bir gevrek kristallerarası tahribe uğraması olayıdır.

Bu tip çatlakların meydana gelmesine etki eden faktörler 3.bölümde incelenmiştir. Bununla birlikte soğuk çatlak oluşması üzerinde en önemli etkenler olarak metalin dokusunun durumu, gerilmelerin büyüklüğü ve dağılışı, metalde bulunan hidrojen miktarını göstermek mümkündür.

Soğuk çatlağın meydana gelmesi için gerekli koşullar olarak, metalin özellikle tane sınırlarında şekil değiştirme kabiliyeti, kaynakta ve faz değişiminde homojen olmayan soğumadan ötürü metalin önemli miktarda şekil değiştirmesi, kaynak dikişi bölgesinde belirli bir doku durumu ile malzeme özelliği sayılabilir.

Soğuk çatlağın hareket noktası mikroçatlaklardır. Bunun oluşması ve gelişmesi için ana malzeme-kaynak malzemesi sınırında uygun koşullar meydana gelmelidir. Bu koşullar tane sınırlarının

kısmi ergime ve karışması, saflığı bozan maddelerden yana zenginleşme, bir heterojen (martensitik yapı, geri kalan östenit) dokunun meydana gelmesi olarak sıralanabilir.

Isınma ve soğuma ile bir ferrit-östenit değişmesi geçiren çeliklerin iyi kaynaklanabilir olmaları için bunların, östenitik durumdan itibaren soğuyan kısımlarının, kullanılan kaynak koşullarına uyan bir soğuma hızı ile sertleşebileceği bir biçimde olmamaları gerekir. Aynı olay kaynak metali içinde geçerlidir. Martensitik doku bir kaynaklı birleşmede gevrekleşmeye neden olur. Martensit'in oluşması durumunda ise, hidrojenin gevrekleşme üzerindeki etkisi çok güçlü olmaktadır.

Ana metal ile kaynak malzemesi aynı bileşimde ise ve kaynak malzemesinin dikiş içinde soğuk çatlamaya zayıf mukavemetli bir doku göstermesi halinde çatlak daima kaynak malzemesinde ortaya çıkacaktır.

Kaynak malzemesi ana metalden daha düşük alaşımlı ise çatlak, ısı etkili bölgede meydana gelir. Erime sınır çizgisi üzerinde oluşan çatlak ısı etkili bölgeye doğru gelişir.

2.2. ÇELİK İÇİNDEKİ HİDROJENİN ETKİNLİKLERİ

Soğuk çatlak, HAZ (Heat Affected Zone), hidrojen çatlağı, sertlik çatlağı, kenar çatlağı, dikişaltı çatlağı deyimleri hemen hemen aynı olayları tanımlar. Soğuk çatlamaya duyarlılık hidrojen miktarı ile artmaktadır.

Hidrojen yayılımı ve bunun zararlı etkileri sadece kaynak dikişine özgü değildir. Hidrojen bütün metalsel ortamlarda yayılır. Alüminyum, krom, çinko, gümüş bundan zarar görmez. Fakat aralarında çeliğin de yer aldığı diğer birçok metal ve alaşım üzerinde gayet olumsuz etki yaratır.

Atomsal hidrojen elik bünyesinde yayınırken aŗağıdaki etkinlikleri gösterir :

a- Cidarı boydan boya kat ederek havaya karışabilir. Baŗka bir ifadeyle atomsal hidrojen içeren basınçlı kaplar terler.

b- Malzeme içinde var olan üç eksenli yüksek gerilim bölgele-ri yani sivrilikler yayınan hidrojeni üzerlerine çeken odaklar-
dır. Buralarda toplanan hidrojen zaten yüksek olan yerel gerili-
mi daha da artırarak çatlağı büyümeye zorlar.

c- Atomal hidrojen malzeme kusurlarında toplanır. Burada molekül hidrojen haline dönüşerek hareketliliğini yitirir. Bu şekilde oluşan ve zamanla çoğalan gaz birikintisinin basıncı giderek büyük değerlere yükselir. Gazın iten tepkisi metal yüze-
yinde kabarmalar meydana getirecek mertebeye ulaşabilir.

d- elik bünyesinde yayınan hidrojen karbon ile birleşerek metan (CH_4) gazı oluşturur. Söz konusu olan kimyasal reaksiyon $220^{\circ}C$ sıcaklıkta başlar ve sıcaklık yükseldikçe hızlanır. Olay çeliğe iki yönden zarar verir. Birincisi, elik bünyesi kar-
bonca fakirleştiğinden mukavemet azalır. ikincisi, boşluklarda ve diğer tüm malzeme hataları içinde toplanan metan gazının zaman-
la artan basıncı çeliği çatlamaya zorlar.

Hidrojenin etkinliklerinin erken teşhisi mekanik deneyler-
le, özellikle sertlik ve çentik-darbe deneyleriyle veya mikros-
kop incelemesiyle yapılabilir. Tahribatsız muayene yöntemleri,
Özellikle manyetik toz ve sıvılarla muayene yöntemleri hidro-
jen çatlaklarını ancak makroskopik ölçülere vardıktan sonra al-
gılayabilirler.

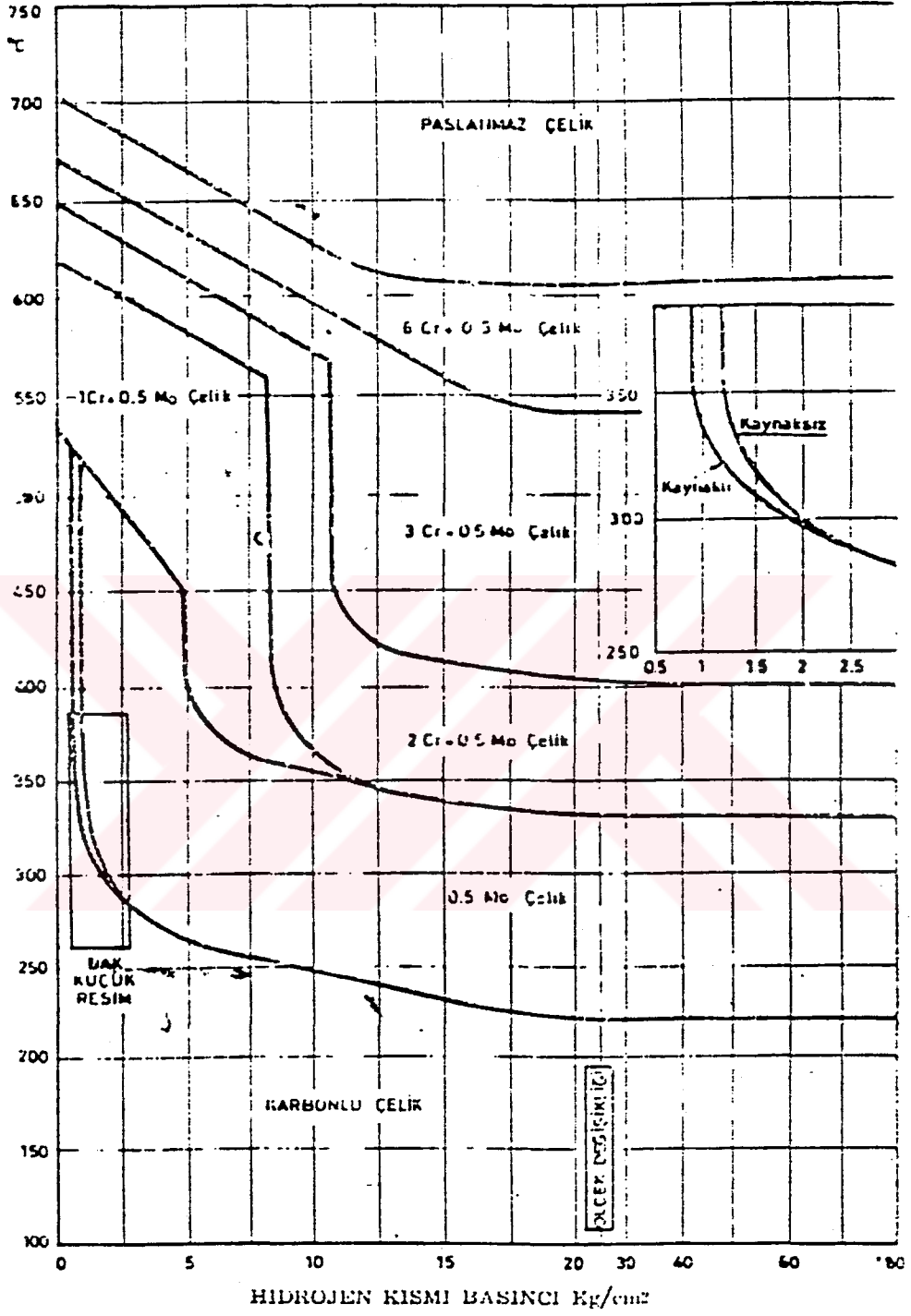
elik bünyesinde molibden ve krom elementlerinin varlığı metan oluşumunu engellemektedir. Bunlara çeliğe kararlılık sağ-
layan katkılar adı verilir. Nitekim paslanmaz elik, fazla mik-
tarda krom içermesi nedeniyle yüksek sıcaklıklarda hidrojene kar-
řı, en fazla dirence sahip elik türüdür.

Hidrojene bağlı olarak sıcaklık ve basınca göre malzeme seğimi Şekil 4'de görülen Nelson Eğrileri yardımı ile yapılmaktadır. Nelson eğrileri düŐey eksene sıcaklık ve yatay eksene hidrojen kısmi basıncı baz olarak alınmıŐ eğrilerdir.

Őekilden görüldüğü gibi 220°C sıcaklığa kadar karbonlu elik her basınçta kullanılabilir. Eğer hidrojen kısmi basıncı 1 atmosferin altında kalırsa karbonlu eliğin 525°C sıcaklığa kadar da kullanılabilenęi görülmektedir. Ancak 415°C'den sonra karbonlu çeliğin kullanılması sınırlanır; Őöyleki elik bünyesindeki karbon grafiklenmesi ve sementitin parçalanma eğilimi baŐlar.

Daha yüksek sıcaklıklarda hidrojen devrelerinde hangi malzemelerin kullanılabilenęi Şekilde belirlenmiŐtir. Ayrıca, Őeklin sağ st köŐesindeki küçük resimden kaynaklı halde karbonlu çeliğin kullanılabilirlik sınırının aŐaęıya kaydığı görülmektedir.

Hidrojen devreleri deyimi, serbest hidrojen gazıyla karıŐık diğer gazların dolaŐtıęı devreleri ifade etmektedir. Bu yüzden, yukarıda hidrojen basıncından değil de kısmi basıncından bahsedilmiştir.



Şekil 4- Nelson eğrileri. (Hidrojen devrelerinde malzemelerin kullanılabilirlik sınırları) /14/.

2.3. KAYNAKTA HİDROJENİN OLUŞUMU

Çeliğin kaynağında hidrojen, çeşitli hataların oluşumunda yardımcı bir faktör olması dolayısıyla, özel bir önem taşımaktadır.

Bilindiği gibi, H_2O (su) molekülü mevcut moleküllerin en sağlamlarından biridir. Su molekülünü oluşturan kovalent bağ ancak $2700^{\circ}C$ sıcaklıkta çözülür. Halbuki molekül sel yapıya sahip sayısız kimyasal madde çok daha düşük sıcaklıklarda atomlarına ayrılabilirler. Elektrik arkının $3600^{\circ}C$ dereceye varan sıcaklığı su molekülünü de parçalayabilecek enerjiye sahiptir.

Kaynak esnasında su buharı ark atmosferinde ayrışır, hidrojen ve oksijene dönüşür. Oksijen demirle yüksek sıcaklıkta hemen reaksiyona girerek bağımsızlığını yitirir, demiroksit oluşumu ile sahneden çekilir. Fakat hidrojen ne demirle, ne de onun alaşım elementleri ile kimyasal reaksiyon yapmadığından bünye içinde bir yabancı olarak varlığını sürdürür.

Çeliklerin kaynağında hidrojen su buharının ayrışması sonucunda oluşur. Su buharının membaı olarak şunları sayabiliriz :

a- Örtülü elektrotla yapılan ark kaynağında : Organik maddelerin yanmasından oluşan su buharı ve havadan absorbe edilen nem;

b- Tozaltı kaynağında : tozdan gelen kristal suyu, havadan absorbe edilen nem;

c- MIG kaynağında : örtülü tel kullanılması durumunda ark kaynağındaki durum ortaya çıkar. Ayrıca her iki durumda da koruyucu gazdan gelen nem vardır;

d- TIG kaynağında : dolgu telinin yüzeyinden gelen nem ve koruyucu gazdan gelen nem;

Aşağıdaki tabloda elektrod tipine göre, kaynak metalindeki hidrojen miktarı görülmektedir.

Elektrod Tipi	Kaynak metalindeki hidrojen miktarı	
	ml H ₂ /100 gr kaynak metal	% ağırlık
Asit elektrodlar	15 - 25	0, 0013 - 0, 0022
Rutil Elektrodlar	15 - 25	0, 0013 - 0, 0022
Normal bazik elektrodlar	5 - 10	0,00043 - 0,00087
Özel düşük hidrojenli bazik elektrodlar	2 - 3	0,00017 - 0,00026

Tablo 1- Örtülü yumuşak çelik elektrodların kaynak metalindeki hidrojen miktarı /10/.

2.4. KAYNAKTA HİDROJENİN YAYINMASI

Hidrojen, bütün atomların en küçüğüne sahip olması nedeniyle katı ortamlarda en kolay yayınabilen maddedir. Tane sınırları, dislokasyonlar, yabancı atomların sebep olduğu kafes bozuklukları hidrojen diffüzyonunu daha da kolaylaştıran birer kanaldırlar. Hidrojenin bütün bu yollardan gerçekleşen diffüzyonu, difüzyonun genel kanunu olarak bilinen "Fick Kanunu"na uymaktadır. Fakat hidrojen atomunun söz konusu hareketliliği, atomsal halini koruduğu sürecidir. İki hidrojen atomu birleşip hidrojen molekülünü oluşturunca hareket sona erer.

Kaynak esnasında erimiş metal tarafından hidrojenin absorpsiyonu gayet çabuk olur. Diğer taraftan katılaşma sırasında erime kabiliyeti süratle düşer ve hidrojen o kadar çabuk dışarı çıkmaya muvaffak olamaz, neticede kaynakta hidrojen bakımından doymuş bir eriyik meydana gelir. Katı halde de sıcaklık düştükçe erime kabiliyeti azalır ve hidrojen daima dışarı çıkmaya çalışır. Yalnız bir kısım hidrojen yüzeyden atmosfere geçer.

Erime bölgesine yakın esas metalde az miktarda hidrojen ihtiva eder ve kaynak esnasında östenize olur. Östenitin hidrojeni eritme kabiliyeti daha iyi olduğundan erime bölgesindeki bir kısım hidrojen ısı etkili bölgeye yayılacaktır. Soğuma esnasında östenit ferrite dönüşeceğinden erime kabiliyeti azalacaktır. Neticede ısı etkili bölge hidrojen bakımından aşırı doymuş hale gelecektir. Bununla beraber elektrod örtüsü veya başka bir kaynaktan yalnız erime bölgesi değil buna komşu olan ısı etkili bölgenin de ark atmosferi veya kaynak banyosundan hidrojen alacağı göz ardı edilmemelidir.

Hidrojenin en tehlikeli tesiri, çelik hidrojen bakımından aşırı doyduğu zaman kendini gösterir. Böylece çok çabuk yayılan hidrojen atomları, hataların bulunduğu boşluklara doğru diffüzyon yoluyla toplanırlar. bu hatalar gözenekler gibi mikroskopik veya kristal kafesindeki dislokasyonlar veya hatalar gibi mikroskop altı mertebede olabilirler. Atom halindeki hidrojen bu hataların bulunduğu boşluklarda konsantre hale gelince hidrojen moleküllü oluşur. Bu kısımlarda yüksek bir gaz basıncı meydana gelir. Bu hidrojen basıncı malzemenin kırılma dayanımını arttıracak bir üç eksenli gerilme hali meydana getirir. Bazı hallerde bu basınç malzemenin kopma gerilmesini aşar ve çatlaklar meydana gelir.

2.5. HİDROJEN KIRILGANLIĞININ GENEL KARAKTERİ

Çeliğin kaynağında hidrojenin neden olduğu çatlamlar, nadiren kaynağın yapımı sırasında, fakat genellikle kaynağın tamamlanmasından sonra ve hatta gecikmeli olarak baş gösterir. Onun için hidrojen çatlamasına "soğuk çatlak" da denilebilir.

Çatlamanın tam başlangıç anını yakalamak, günümüz olanaklarıyla henüz mümkün değildir. Çatlak ancak mikroskopik ölçülere varınca fark olunabilmektedir

Soğuk çatlaklar çok büyük bir olasılıkla ısı etkili bölgede meydana gelir. Ancak alaşımlı çeliklerde ve alaşım oranlarının arttığı nispette kaynak dikişi içinde de görülmesi olasıdır.

Aşağıda sıralanan dört şart aynı anda var olduğunda çatlamanın oluşması beklenir:

a- Hidrojen Varlığı

Usulünce kurutulmamış elektrodla, yanlış seçilmiş elektrodla veya kirden, yağdan ve pastan yeterince temizlenmemiş yüzeylerde yapılan kaynaklarda hidrojen oluşması kaçınılmazdır.

b- Çekme Gerilmelerinin Varlığı

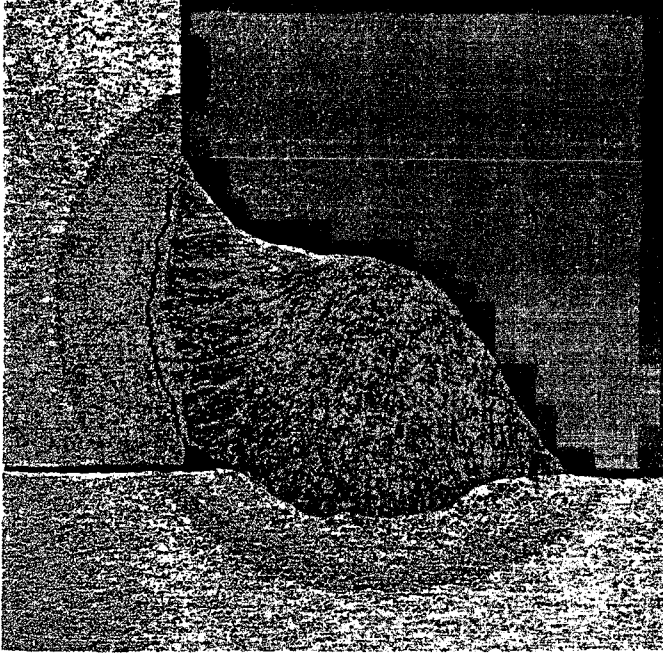
Hızlı soğuma, malzemede oldukça önemli kalan gerilmelere neden olur. Buna ilaveten, östenitten martenzite dönüşüm bir hacim artmasıyla oluştuğundan bu durumda malzemede gerilmeler oluşturur.

c- Isı Etkili Bölgenin Kırılgan Bir Yapıya Sahip Olması

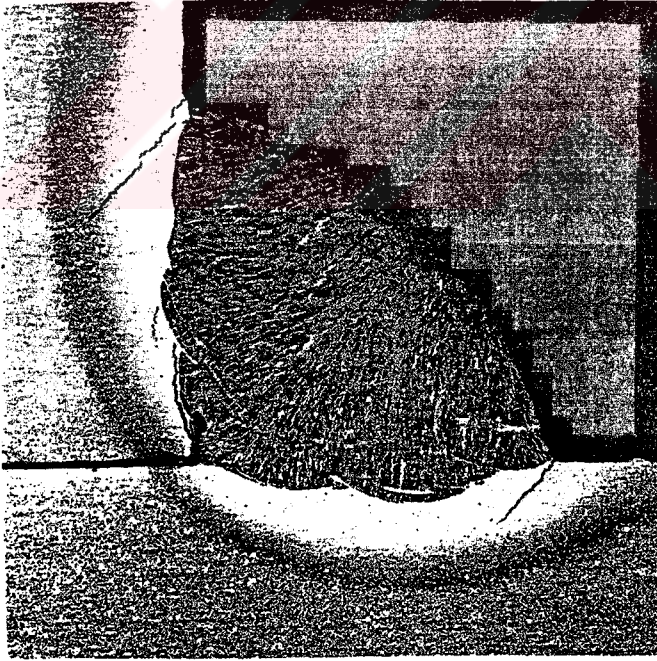
Hidrojen, kaynak metalinden östenit halindeki esas metale doğru yayılmaktadır. Soğumanın çabuk olması ile soğuyan östenit martenzite dönüşür; bu durumda hidrojen, erime kabiliyeti düşeceğinden martenzit yapı içerisinde hapsolunur. Bu da martenzitin gevrekliğini arttırır. İç gerilmelerle yüklü olan bu gevrek yapı hidrojenin katkısı ile kırılgan hale gelir.

d- Sıcaklığın Belirli Bir Düzeyin Altına İnmesi

Soğuk çatlamanın en büyük olasılık kazandığı an, kaynak sıcaklığının ortam sıcaklığına yaklaştığı andır. Çatlama, alaşımlı çeliklerde 250°C , yumuşak karbonlu çeliklerde 150°C sıcaklığın altında görülmektedir. Bu sınırlara "kritik çatlama sıcaklıkları" adı verilir.



Şekil 5. Hidrojen nedenli erime sınırına paralel gelişen çatlak /16/.



Şekil 6. Hidrojen nedenli bir kenar çatlağı /16/.

Şekil 5'de görüldüğü gibi soğuk çatlaklar erime sınırına paralel oluşabilmektedirler. Bu durumda, bağlantının etkisini azaltır ve Şekil 6'da görüldüğü gibi bir kenar çatlağı da oluşabilir.

3. SOĞUK ÇATLAĞIN OLUŞMASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

3.1. KALINLIK VE BİRLEŞME TİPİ

Pek çok çeliğin belli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, o sıcaklıktan hızla soğutulması ile sertleştiği bilinen bir gerçektir. Ortaya çıkan sertliğin derecesi soğuma hızı ile değişebilir. Hızlı soğuma kaynak dikişinin ısı etkili bölgesinde dönüşmelere neden olur ve sertleşmiş bir mikroyapı oluşturur. Parça kalınlığındaki ve birleşme tipindeki değişimler ısı etkili bölgede soğuma hızında ve kaynakla beraber olan kalan gerilme sisteminde değişme yapar. Eriyen bölgeden ısı etkili bölgeye geçen ısı oradan da esas malzemeye iletilir. Genel olarak verilen belli bir ısı girdisi için daha kalın parça daha hızlı soğuma demektir. Kaynak yapılan malzemelerin boyutları da önemlidir; fakat uygulamada pek çok durumda, birleştirilen iş parçaları oldukça geniştir ve bu nedenle sonsuz bir ısı düşüşü sağlandığı göz önüne alınabilir.

Kaynakta, kaynak bölgesine verilen ısının yayılması birleşme tipi ile çok yakından ilgilidir. Örneğin, V-alın kaynağında kök pasosunun ısı etkili bölgesinde soğuma hızı, aynı parça kalınlığı, aynı birim dikiş enerjisi ve aynı ön tavlama sıcaklığı için bir T - birleştirmesinininkinden daha az olacaktır. Bir T - birleştirmede de bir kaç birleştirmeye oranla parça kalınlığı, kaynak birim dikiş enerjisi ve ön tavlama sıcaklığı aynı da olsa, ısı etkili bölgede soğuma hızı daha yavaş olacaktır.

Kaynakla beraber ortaya çıkan gerilme sisteminin çatlama olasılığına etkisi her zaman gözönünde bulundurulmalıdır. Isı etkili bölgedeki gerilme düzeyi, kaynak dikişini çevreleyen malzemenin neden olduğu rijitliğe büyük oranda bağlıdır. Rijitlik kaynak kabiliyeti gibi, kesin olmayan izafi bir tanımdır. Fakat bu ilişki içinde rijitlik, bağlantının deformasyon ve distorsiyona karşı "yapı direnci" olarak tanımlanabilir. Genellikle, rijitlik

miktarı parça kalınlığının artması ile artacaktır.

Ağız hazırlamadan yapılan kaynak dikişlerinde, kötü doldurmanın neden olduğu, kök pasosundaki bir aralığın etkisi ısı etkili bölge çatlağı olasılığını şiddetle arttırır. Bunun nedeni, kaynak metali ile esas metal arasındaki soğuma sırasında kaynak pasosunda var olan geometrik çentikte gerilme toplanması olabilir.

3.2. ÇELİĞİN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Birçok durumda, daha çok yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde görülen soğuk çatlaklar söz konusu olmaktadır. Alaşımsız çeliklerde kaynak kabiliyeti sınırı % 0,55 C'dadır. Yüksek karbon miktarlarında ise, ısı etkili bölgede soğuk çatlaklar beklenmelidir.

Düşük karbonlu çeliklerin sertleştirilmesi için çok ani soğutma gerekir, yüksek karbonlu çelikler ise yavaş soğutma ile bile fazlasıyla kolayca sertleşir. Bununla birlikte yüksek karbonlu çeliklerde diğer elementlerle reaksiyona girerek gaz meydana getirebilecek kadar karbon bulunur. Bunlar ise çelikte soğuk çatlak oluşmasına çoğu kez neden olabilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde bu tür problemlere yol açacak yeterli karbon yoktur.

Karbon miktarı % 0,45'ten fazla olan çeliklerde, yani yüksek karbonlu çeliklerde soğuk çatlak oluşma olasılığı yüksektir. Karbon miktarı % 0,45'in hemen çok az üzerinde olursa bu problem pek ciddi olmayabilir fakat karbon miktarı arttıkça soğuk çatlak oluşma riski de artar.

Erimiş haldeki yüksek karbonlu çelik hidrojen, karbonmonoksit ve diğer gazları kolayca absorbe eder. Bu gazlar metal soğurken dışarı atılmaları gerekir. Şayet bunlar doku aralarında birikirse, kaynağın zayıflamasına yol açar. Bu problem çelikte fazla miktarda kükürt, fosfor ve silikon bulunması halinde daha fazla-

laşır, çünkü bunlar gazlarla birleşerek onların çeliğin bünyesinde kalmalarına neden olurlar. Bu da martenzit malzemede soğuk çatlaklara neden olur, ayrıca sünek malzeme içerisinde gözenek oluşur.

Alaşımlı çeliklerde kaynak boyunca kenarlarda meydana gelen soğuk çatlakların miktarı ana metalin karbon ve alaşım miktarına ve kaynağın soğuma hızına bağlı olarak artar.

Bir alaşım çeliğinin kaynağında soğuk çatlak oluşumunu önleyebilmemiz için onun kimyasal özelliklerini iyi bilmemiz gereklidir.

Düşük karbonlu çelikler ve kaynak metalleri yüksek sünekliğe sahiptirler. Daha düşük çekme mukavemetleri vardır ve soğuk çatlaklar oluşmaz. Bu özellikleri düşük karbonlu çeliklerin kaynağını kolaylaştırır.

Çeliğin üretiminden gelen ve her zaman bileşiminde bulunabilen silisyum, mangan, fosfor, kükürt, azot, hidrojen ve oksijene eşlik elementleri adı verilir. Bunlardan mangan, fosfor, azot, hidrojen ve oksijen malzemeyi gevreklettiği sebebiyle istenmeyen elemanlar olarak adlandırılır.

Birçok ülkede kaynaklanacak çeliklerin ihtiva ettiği karbon ve mangan miktarı sınırlanmıştır. Çünkü bu iki element çeliğin sertleşme kabiliyetini dolayısıyla da soğuk çatlakların ortaya çıkma olasılığını oldukça fazla arttırır.

3.3. KULLANILAN ELEKTROD VE RUTUBET ORANLARI

Kullanılan elektrod ve rutubet oranları, soğuk çatlak olasılığına etkiyen önemli faktörlerdendir. Daha önce de belirtildiği gibi, sertleşmiş mikro yapının çatlamaya, duyarlılığı, kaynak işleminde kaynak bölgesine verilen hidrojen miktarından önemli derecede etkilenmektedir.

A W S Sınıfı (Not 1)	Örtü Tipi	Kullanma anında örtüsünde rutubet %	Saklama havasının bağıl rutubeti %	Kurutma fırını sıcaklığı °C	Sıcak saklama dolabı sıcaklığı °C
		Not 2		Not 3	
E 6010	Sellülozik	3-7	20 - 60	İmalatçısının önerisine uyulmalıdır.	
E 6011		2-4			
E 6012.E6013	Rutil	1	60	120-150	40 - 50
E 6020	Asidik				
E 6027	Asidik				
	Demir Tozlu	0.5			
E 7014	Rutil				
E 7024	Demir Tozlu				
E 7015	Bazik	0.4	50	250-300	50 - 150
E 7016					
E 7018	Bazik			300-350	
E 7028	Demir Tozlu	0.6			

Tablo 2- Elektrodların saklama ve kullanma koşulları.
(Yumuşak karbonlu çelik elektrodları) /4/

Şimdiye kadar açıklanan kavramlardan elektrodların rutubet içermemeleri anlamı çıkarılabilir. Bu ancak, selülozik elektrod- lar dışında kalan elektrod türleri için doğru olabilir.

Tablo 2, yumuşak karbonlu çeliğin kaynağında kullanılan elektrodları, tavsiye edilen rutubet oranlarını, saklama ve kurutma koşullarını göstermektedir.

Selülozik elektrodların örtülerinde rutubet oranı % 2-7 arasında değişir. Rutubetin anılan düzeyin altına inmesi örtüyü bozduğundan bu tür elektrodların aşırı kurutulmaları zararlı olur. Bu taktirde, elektrodun yanışında sıçrama artar, arkın kararlı- lığı bozulur, dikiş gözenekli çıkar. Selülozik elektrodlarda ru- tubetin azlığı, fazlalığından daha çok sorun yaratır. Selülozik elektrodların nemlendirilmiş ambarda saklanması, açık havada çalışırken kutunun güneş altına konmaması, ağzının kapalı tutul- ması gibi önlemler gerektirir.

Burada;

Not 1 : AWS simgesinin açıklanması;

Örneğin E 6010

E : Ark kaynağında kullanılan bir elektrod

60 : Çekme dayanımı; kpsi (kilopound/inc²)

1 kpsi = 0,7 daN/mm²

1 : Kaynak pozisyonu (1- bütün pozisyonlar,
2- Oluk ve yatay kaynak pozisyonları,
3- Sadece oluk pozisyonu)

0 : Son rakam da, akım şekli, kutup vaziyeti ve
örtü tipini karakterize eder.

Tablo 3'de bu rakamlara tekabül eden örtü
tipleri, akım şekli ve kutup vaziyetleri
görölmektedir.

İşareti	Örtü tipi	Akım şekli kutup durumu
E X X 10	Selülozik (sodyum silikat)	Doğru akımda elektrot pozitif ku- tupta
E X X 11	Selülozik (potasyum silikat)	Doğru akımda elektrot pozitif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 12	Rutil (sodyum silikat)	Doğru akımda elektrot negatif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 13	Rutil (potasyum silikat)	Doğru akımda elektrot negatif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 15	Bazik (Sodyum silikat)	Doğru akımda elektrot pozitif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 16	Bazik (potasyum silikat)	Doğru akımda elektrot pozitif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 17	Demir tozlu	Doğru akımda elektrot negatif ku- tupta ve alternatif akımda
E X X 18	Bazik (Demir tozlu)	Doğru akımda elektrot pozitif ku- tupta ve alternatif akımda

Tablo 3- Örtü tipi, akım şekli ve kutup durumunu ifade
eden işaretler (AWS/ASTM) /3/.

Not 2; Rutubetli ortamda depolama; sıcaklık 17 - 37°C arasında

Not 3; Elektrodun 1 saat süreyle kurutulma sıcaklığı.

Bu bağlamda, selülozik elektrodlarla yapılan kaynak dikişlerinde hidrojen oranı yüksek olmaktadır. Dolayısıyla soğuk çatlama eğilimi fazla olan malzemelerin örneğin yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında selülozik elektrod kullanılmamalıdır.

Bazik elektrodların örtüsünün bileşiminde hidrojen açığa çıkaracak bir madde bulunmadığından, dikişin absorbe ettiği hidrojen miktarı çok azdır. Bağlayıcı madde olarak kullanılan silikatın içinde kalabilecek herhangi bir rutubet kalıntısının bertaraf edilmesi için de bu elektrodlar ayrıca 250-350°C'lik bir pişirme işlemine tabi tutulur. Bilhassa hidrojenin, kaynak dikişinin geçiş bölgelerinde gayet ince çatlaklar meydana getirdiği düşünülürse, bu olayın bertaraf edilmesi bakımından bazik elektrodların kullanılması büyük bir önem taşır. Bazik elektrodların saklama sıcaklığı 50-150°C arasındadır. Kurutulmuş elektrodlar kullanma anına kadar bu sıcaklığın altına düşürülmemelidir. Aksi taktirde dikişte gözenekler oluşur ve hidrojen gevrekleşmesi meydana gelir.

A W S Sınıfı	Not 1	Not 2	Not 3	Örtüsünde Rutubet mik. %	Kurutma fırını sıcaklığı °C	Saklama dolabı sıcaklığı °C
E 7015-XX, E 7016-XX E 7018-XX		Not 2	Not 3	0.6	300-350	
E 8015-XX, E 8016-XX, E 8018-XX E 9015-XX, E 9016-XX				0.4	300-400	100-150
E 9018-XX E 10015-XX, E10016-XX, E 10018-XX E 11015-XX, E 11016-XX, E 11018-XX E 12015-XX, E 12016-XX, E 12018-XX				0.2		
E 14018				0.1		

Tablo 4- Elektrodların saklama ve kullanma koşulları.
(Düşük alaşımlı çelik elektrodları) /44/

Not 1 : Tablodaki elektrodların tümü bazik karakterlidir.

Not 2 : Elektrodların AWS simgelerinin açıklanması Tablo 2'de verilmişti. Burada sona gelen XX takısı fazlalığı vardır. XX takısı elektrodun etkin alaşımını simgeler. (A1: C-Mo, B1: Cr-Mo, C1: Ni, D1: Mo, M: Ni-Mo, G: Diğer alaşımlar).

Not 3 : Elektrodlar bu sütunda görülen rutubet oranları ile üretilirler. Kullanma anında elektrod doğrudan kullanılabilir. Fakat ambalaj delinmiş ise veya içine hava sızdırmış ise kurutma gereklidir.

Not 4 : Kurutma süresi 1 saattir.

Diğer taraftan elektrodu uzun saatler boyunca kurutma fırınında veya birçok haftalar boyunca sıcak saklama dolabında unutmak örtüsünü kırılğanlaştırdığı, hatta çatlattığı için zararlıdır.

Tablo 3'deki elektrodların tümü bazik karakterli yani düşük hidrojenli tipdendirler. Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında başka tür elektrod kullanılmaz. Elektrodun çekme dayanımı yükseldikçe örtü içinde müsaade olunabilecek rutubet oranı azalmaktadır.

Düşük alaşımlı çeliklerin yüksek gerilmeler altında kullanılmasında hidrojen miktarını kontrol çok önemlidir. Argon ve CO₂ gazı korumalı metal ark kaynaklarında, hidrojen kontrollü örtülü elektrodlar ile hidrojen miktarı oldukça düşük olan kaynak metalleri oluşturulabilir. Bu, böyle işlemlerde önlem almanın gereksiz olduğunu göstermez. Kaynak yerinin ya da elektrodun yağlı, paslı, kirli ya da nemli olması durumunda kaynak metaline önemli derecede hidrojen girebilir.

3.4. KAYNAK BİRİM DİKİŞ ENERJİSİ VE ÖN TAVLAMA SICAKLIĞININ ETKİSİ

Soğuk çatlağın oluşumuna etki eden bir önemli faktör de kaynak bölgesine verilen kaynak birim dikiş enerjisidir. Belli bir parça kalınlığı için, birim dikiş boyunda daha büyük kaynak enerjisi girdisi ısı etkili bölgede daha düşük soğuma hızı oluşturmaktadır. Kaynak birim dikiş enerjisi akım şiddetinin, kaynak geriliminin ve kaynak hızının fonksiyonudur. Ana değişkenler akım şiddeti ve kaynak hızıdır. Kaynak birim dikiş enerjisini arttırmak için ya akım ş

arttırmak kaynak hızını düşürmek gerekir. Akım şiddetinin arttırılması, el ile yapılan metal ark kaynağında daha büyük çaplı elektrod kullanmak demektir. Bunlar özellikle sertleşmeye eğilimli malzemelerin kök pasolarının kaynağında kullanılır. Örneğin V kaynak ağızlarında 4 mm'lik ve iç-köşe kaynak dikişlerinde 5 mm'lik elektrodlar gibi.

Kaynak enerjisi miktarı da alabildiğine arttırılamaz; bunun da uygulamadan gelen sınırları vardır.

Ön tavlama işlemi, kaynak yapılan malzemenin kimyasal bileşimine, metalurjik özelliklerin dizayn tarzına, malzemenin kalınlığına, kullanılan birleştirme ve kaynak işlemi tarzına göre değişik olabilir.

Ön tavlama, kaynak birim dikiş enerjisi gibi soğumadan sonraki dönüşüm yapısını etkilemektedir. Esas faydası ise, dönüşümden sonraki soğuma hızını düşürmesidir. Soğuma hızı yavaş olduğu için kaynak bölgesi daha uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalacak ve yüksek sıcaklıkta hidrojenin yayılması daha uzun süre olacağı için, hidrojen yayınarak kaynak bölgesinden uzaklaşabilir, sonuçta soğuk çatlak olasılığı azalır.

Ön tavlama bilhassa aşağıdaki hallerde tatbik edilmelidir :

a- Çeliğin Kimyasal Bileşimi

Kaynak edilecek çeliğin sertleşme kabiliyeti yüksek olabilir. Bu taktirde bir ön tavlama tatbik edilmezse, kaynak sıcaklığıyla

parça östenit alanına kadar tavlандığından, soğuma sırasında istenmeyen sert bir iç yapı meydana gelir. Bu da, kendini çekme ve dönüşme gerilmelerine sebep olduğundan neticede soğuk çatlaklar oluşabilir. Bunun için tatbik edilen ön tavlama ile kritik soğuma hızı düşürüldüğünden, sert iç yapı teşekkülü de önlenmiş olur.

b- Parçanın Formu ve Boyutu

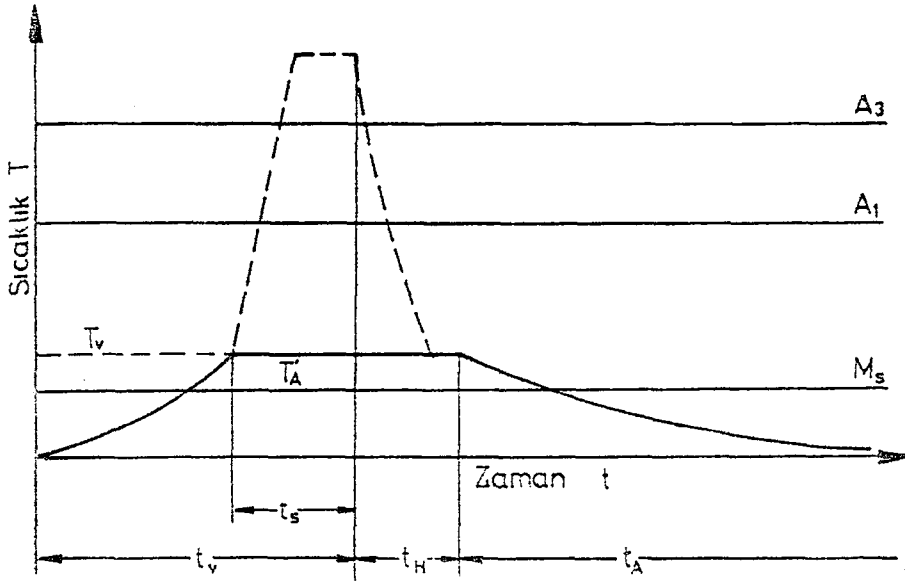
Rijit veya kalın kesitli konstrüksüyonlarda, daha ziyade çok eksenli gerilmeler meydana gelir. Tatbik edilen bir ön tavlama ile genişleyen bölge iyi bir plastik şekil değiştirme özelliği kazanır ve neticede de gevrek kırılma tehlikesi azalmış olur.

c- Hidrojen Gevrekleşmesi ve Çentik Hassasiyeti

Kaynak metali ile ısı etkili bölge arasında hidrojen diffüzyonunun söz konusu olduğu durumlarda, parçaya takriben 200°C'nin üzerinde bir ön tavlama yapılarak kaynak yapmak hidrojen gevrekleşmesi tehlikesini azaltır. Diğer taraftan, bu ön tavlama parçanın soğuktaki gevrekliğini de bertaraf ettiğinden; çentik darbe hassasiyetini azaltarak, çentik mukavemetini yükseltir.

Ön tavlama sıcaklığının soğuk çatlama üzerindeki etkisi "izotermal kaynak" da daha iyi anlaşılmaktadır. Burada parça, martenzit teşekkül sıcaklığının üzerindeki sabit bir ön tavlama sıcaklığında kaynak edilir.

Çalışma sıcaklığı, östenitik halde bulunan esas malzemenin, perlitik hale geçinceye kadar devam eden dönüşme süresinin son bulmasına kadar muhafaza edilir. İzotermal kaynak ile ilgili sıcaklık zaman ilişkisi Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7- İzotermal kaynak (Şematik) /3/.

T_v : Ön tavlama sıcaklığı

T_A : Çalışma sıcaklığı

M_s : Martenzitin oluşma sıcaklığı

t_v : Ön tavlama süresi

t_s : Kaynak süresi

t_H : Bekleme süresi

(Bu süre, M_s sıcaklığının üzerindeki dönüşme sona erinceye kadar geçen süredir).

t_A : Soğuma süresi (Oda sıcaklığına kadar)

— : Parçanın sıcaklığı

---- : Kaynak yerinin sıcaklığı

Alaşımsız çeliklerde ön tavlama sıcaklığı karbon miktarına göre belirlenebilir. Örneğin St 42 için 20 mm den kalın saçlarda 150°C lik bir ön tavlama önerilmektedir. Alaşımlı çeliklerde alaşım elementlerinin çokluğu nedeniyle durum pek açık değildir. Bu durumda karbon eşdeğerleri yardımıyla ön tavlama sıcaklığını belirleme olanağı vardır.

4. KAYNAK DİKİŞLERİNDEKİ SOĞUK ÇATLAKLARIN SAPTANMASI İÇİN YAPILAN ÖZEL MUAYENELER

4.1. KARBON VE DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA ISI ETKİLİ BÖLGEDE SOĞUK ÇATLAK OLUŞUMU SNCM 439 VE SK5'İN RRC (ROOT RESTRAINT CRACKING) TESTİNDEKİ KIRILMA DAVRANIŞI

4.1.1. MUAYENE ESASI

Karbon ve düşük alaşımlı çelikler makina yapıları, makina elemanları ve yataklanmış çeliklerin önemli elemanlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Ancak bunların kaynak yapılabilen yüksek mukavemetli çeliklerden daha yüksek karbon miktarlarına sahip olmaları nedeniyle kaynak kabiliyetleri daha düşüktür. Bu çeliklerin kaynak denemeleri manuel ark kaynağı aracılığıyla yapılmakta iken, son zamanlarda, lazer kaynağı gibi yeni kaynak teknolojilerinin gelişimi sebebiyle, yeni teknolojinin uygulanabilirliği ve kaynak kabiliyeti üzerinde yeni çalışmalar sürdürülmektedir.

Bilindiği gibi, bu çeliklerin kaynak yapılması olayındaki ciddi problemlerden biri, yüksek sertleşebilirliği sebebiyle ısı etkili bölgede soğuk çatlamaya karşı yüksek duyarlılıklarıdır. Yapılan araştırmalara göre, hidrojenin neden olduğu soğuk çatlamaya ilaveten bir başka tip soğuk çatlama kolayca oluşur. Çatlamanın karakteristiği, kuluçka devri olmamasıdır. Bundan dolayı, genelde bu çatlamanın ısıl işlemde su ile soğutulma ile oluşan çatlak ile benzerliği vardır. Sıcaklığa ilişkin olarak, söndürmeli çatlak, martensitik transformasyon % 50 üzerinde olduğunda oluştuğu varsayılmaktadır. Ancak kaynaktaki bu tip çatlama üzerinde yeterli bilgi azlığından, çatlak başlangıcı ve yayılma davranışları, martensitik transformasyona ilişkin olarak, çatlamanın morfolojik karakteristikleri ve kimyasal bileşim etkisi

açıklanmamıştır. Bu nedenle belirtilen muayene ile öngörülen amaç, bu malzemelerin ısı etkili bölgelerindeki çatlama fenomeni, mekanizma ve hassasiyeti açığa çıkararak bu tip çatlamayı önlemektir.

Çatlama davranışları ve çatlamanın mikroyapısal özellikleri, yayılabilir hidrojen etkisinin önemsiz olduğu koşullar altında RRC testi aracılığıyla çalışılmaktadır. Bu deneyde RRC testi kullanmanın sebebi aşağıdaki gibidir; RRC testinde zorlama baskı, kaynağın soğuması ile derece derece artar. Dahası yüksek mukavemetli çelikler gibi daha düşük M_s sıcaklığına sahip malzemelerdeki transformasyon, genişlemeli ve transformasyonlu süper plastiklik sebebiyle gerilim baskısında azalma, RRC testi ile değerlendirmeye dahil edilebilmektedir.

4.1.2. KULLANILAN MALZEMELER VE DENEYSEL İŞLEMLER - DENEY TESİSATI

4.1.2.1. KULLANILAN MALZEMELER

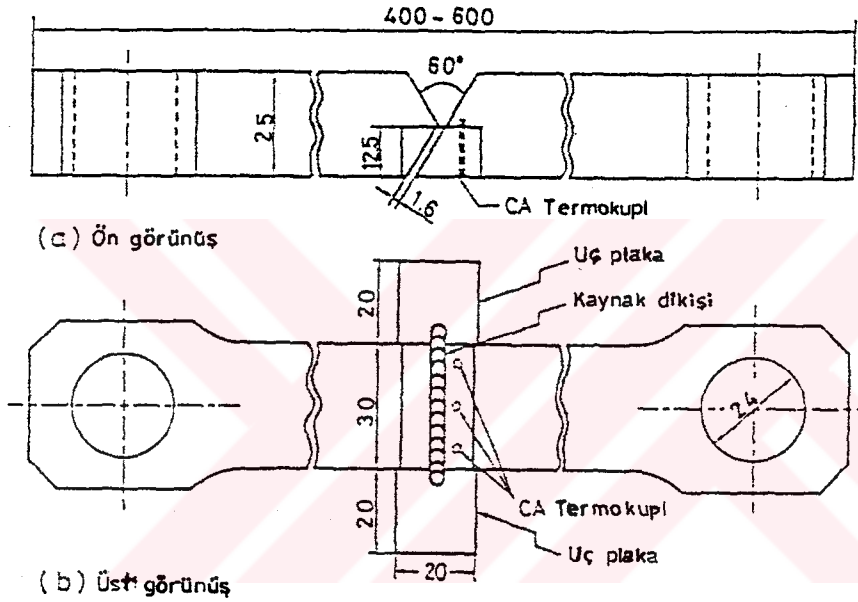
Yapılan deneylerde, orta karbonlu Ni-Cr-Mo çelik JIS SNCM 439 ve yüksek karbonlu çelik JIS SK5, baz malzeme olarak kullanılmaktadır. Kaynak için kullanılan kaynak teli ısı etkili bölgedeki yayılabilen hidrojen etkisini yok etmek için östenitik paslanmaz çelik JIS Y310'dur. Bunların tümü, kimyasal içerikleri Tablo 5'de verilen ticari çeliklerdir.

Material		KİMYASAL BİLEŞİM (% ağırlık)								Kalınlık	Çap
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	(mm)	(mm)
Baz metal	SNCM439	0.40	0.26	0.83	0.007	0.009	1.80	0.82	0.26	25	-
	SK5	0.83	0.34	0.48	0.010	0.007	-	-	-	25	-
İlave matz.	Y310	0.09	0.51	1.72	0.025	0.005	20.5	25.8	0.04	-	1.6

Tablo-5-Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi /11/

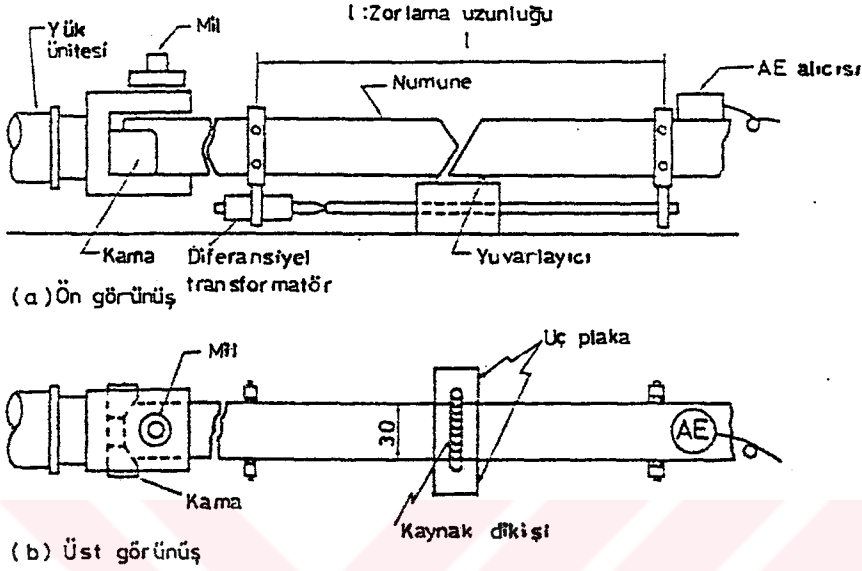
4.1.2.2. DENEYSEL İŞLEMLER - DENEY TESİSATI

Numunenin şekli ve boyutu Şekil 8'de gösterilmiştir. İki levha RRC'nin 25 ton kapasiteli çatlak test edicisine iki uç plaka ile konulur ve 1,6 mm aralıkla birbirine yaklaştırılarak bir Y ağzı oluşturulur. Numune parça Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. RRC test numunesinin görünüşü /11/.

Zorlama yoğunluğu üç seviyede kullanılır: 9,8 , 19,6 ve 29,4 kN/nm.mm. Zorlama yoğunluk R_F , $R_F = E \cdot h / l$ şeklinde hesaplanabilir. (R : Zorlama yoğunluk, E : Elastikiyet modülü, h : plaka kalınlığı, l : Zorlama uzunluk). GTA kaynak 300 Amper kaynak akımı, 19 Volt ark voltajı, 2 mm/saniye kaynak hızı ve 12,5 mm/saniye ilave malzeme hızı kullanılarak saf argon koruyucu gazı ve sabit tel besleme sistemi kullanılan Y310 austenitik paslanmaz çelik tel ile yapılır. Genişleme ve çekilme sebebiyle seçilen zorlama uzunluk l'deki ani değişiklik bir diferansiyel



Şekil 9. RRC testinde şematik görünüş /11/.

transformatör ile bulunur ve $\pm 0,002$ mm hassasiyetli ölçüm ile kısa zamanda iptal edilir. Isı etkili bölgenin soğuma sıcaklığı üç farklı yerde arkadan takılan üç CA termokupl ile ölçülebilmektedir (Δt 1073 - 773⁰K) soğutma zamanı, bu koşullar altında yaklaşık 3,5 saniye kadar sürmektedir.

Çatlak başlangıcını bulmak için akustik emisyon tekniği (AE) uygulanmaktadır. Transduser (algılayıcı) diferansiyel bir tiptir. Düz frekans tepkisine ve $1 \text{ V}/\mu\text{bar}$ ile belirtilen -84 dB hassasiyete sahiptir. Ayrıca 100 ila 350 kHz bandpass filtre kullanılır ve böylece toplamda 80 dB'ye ayarlanmaktadır.

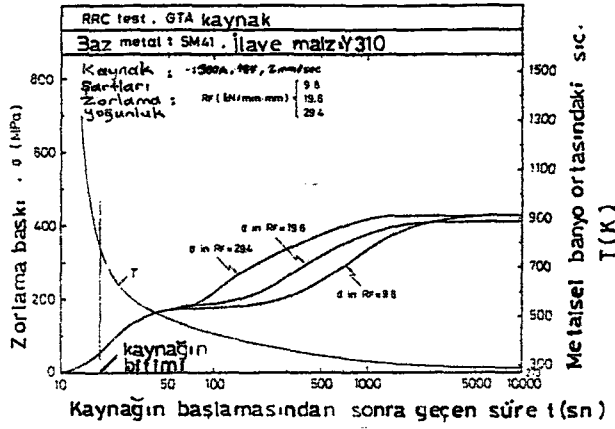
Akustik emisyon yöntemi, tahribatsız muayene yöntemlerinin en önemlilerinden biridir. Bu yöntemin uygulama sahası son yıllarda artmıştır.

Akustik emisyon, malzeme içerisinde dinamik işlemler (deformasyon ve benzeri) sonucu oluşan enerjinin bir ya da daha çok yerel kaynaktan hızla boşalarak geçici elastik dalgalar üretmesi olarak tanımlanır. Eğer enerji seviyesi düşük olursa, oluşan sesler duyulamaz. Akustik emisyon tekniği, bu sesleri duyulabilecek hale getirmek için büyötmeye izin verirler

Bunların yanı sıra, AE tekniğinin uygunluğu gerilim-çatlama testi ile kontrol edilir. Burada, Şekil 8'deki numunenin aynısı ayarlanıp, gerilim deformasyonu farklı bağlama çenesi hızları altında kaynaklamadan sonra uygulanabilmektedir. Bu test sırasında, gerilim deformasyonu belli aralıklarla atılır. Bundan sonra, çeşitli kesitler incelenir ve AE ile çatlama arasındaki karşılıklı ilişki kontrol edilebilir.

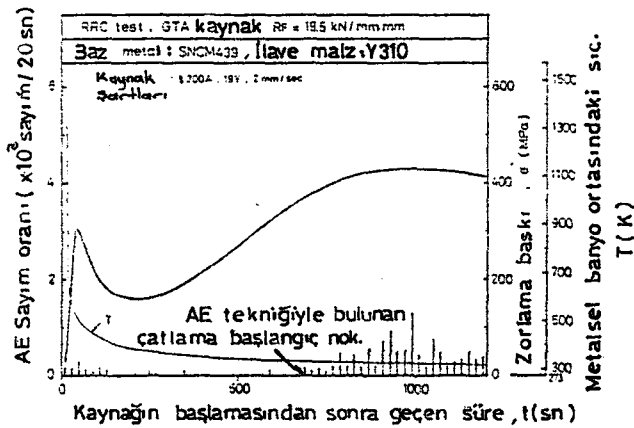
4.1.3. ZORLAMA ETKİSİ ALTINDA ÇATLAMA

Şekil 10'da, RRC testindeki referans datasını elde etmek için yapılan, baz metal SM 41'deki zorlama baskıdaki kademeli artış gösterilmektedir. Zorlama baskı, zorlama yoğunluktan bağımsız olarak (ilk adım) kaynak başladıktan sonra yaklaşık ilk 40 saniye için kademeli olarak artar, sonra sabit kalır (ikinci adım) ve kademeli olarak nihai değere yükselir (üçüncü adım). İkinci adımdan üçüncü adıma geçiş, artan zorlama yoğunluğuyla daha erken ortaya çıkar. Bu arada, nihai değerler, prensipte zorlama yoğunluğa bağılı olarak değişecektir. Ancak, şekil 10'de gösterilen nihai değerler zorlama yoğunluktan muaf olarak hemen hemen sabittir.

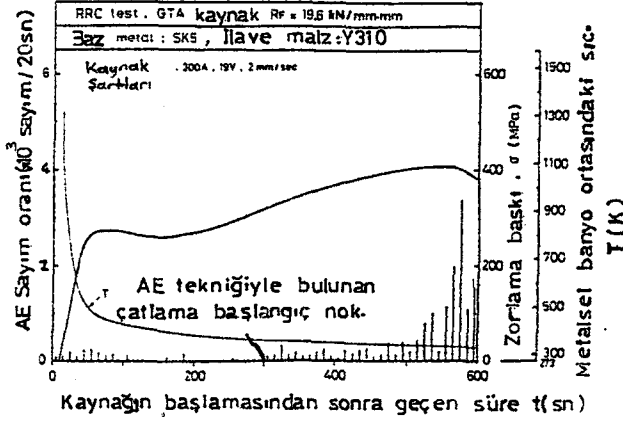


Şekil 10. Yumuşak bir çelik olan SM 41'in zorlama baskı davranışı /11/.

Şekil 11 (a) ve (b)'de, 19,6 kN/mm.mm zorlama yoğunluk koşulu altında, sırasıyla SNCM 439 ve SK5 de AE sayım oranı ve zorlama baskı davranışları örnekleri gösterilmektedir. SNCM 439'da, Şekil 11 (a)'da ilk adım, SM 41'deki gibi aynı şekilde oluşmaktadır. İkinci adımda ve üçüncü adımın başlangıç safhalarında, zorlama baskı, martensitik transformasyon sebebiyle önemli derecede düşer ve tekrar yükselir.



(a) SNCM 439



(b) SK5

Şekil 11. Zorlama baskı ve AE davranışı, zorlama yoğunluk $R_F = 19,6 \text{ kN/mm.mm /11/}$.

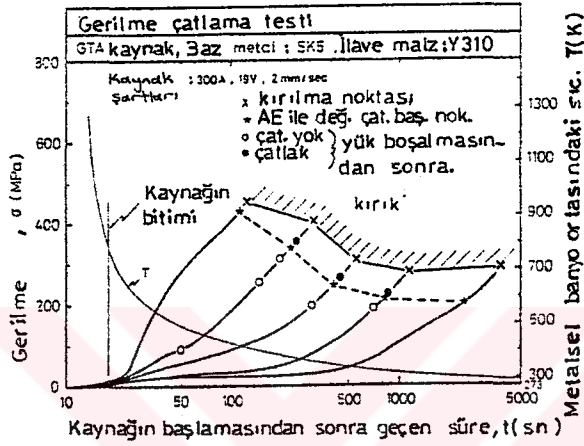
Üçüncü adımda zorlama baskının maksimum değerinin martensitik transformasyon etkisi göz önünde bulundurulsa bile kabaca hesaplanan nihai değerden daha düşük olduğuna dikkat edilmektedir. Bu, üçüncü adımda çatlak oluştuğu ve bir dereceye kadar yayıldığı anlamına gelir.

Zorlama baskı maksimum noktasından azalmaya başladığından maksimum AE sayım oranı oluşmuştur. Bu da, bize kaynak başladıktan 700 saniye kadar sonra kırılmanın başladığını gösterir.

SK5'de, zorlama baskının artan prosesi SNCM 439 ile aynıdır ancak ikinci adımdaki zorlama baskı azalması SNCM 439'dan azdır. Ayrıca, çatlama başlangıcı zamanının kaynak başladıktan sonra yaklaşık 300 saniye olduğu düşünülmüştür.

AE tarafından çatlama başlangıcı değerlendirilmesi uygunluğu, gerilim-çatlama testi sırasında farklı zamanlarda ani yükü boşaltma ile sağlanmaktadır. Sonuç Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada yıldız işareti, AE ile değerlendirilen çatlama başlangıç noktası anlamına gelir, içi dolu ve içi boş daire ise, yük bo-

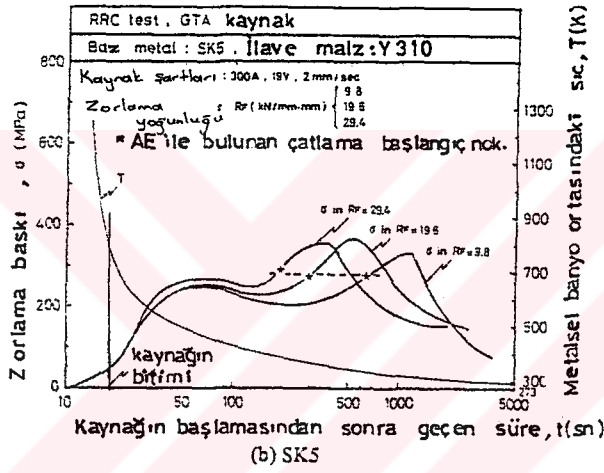
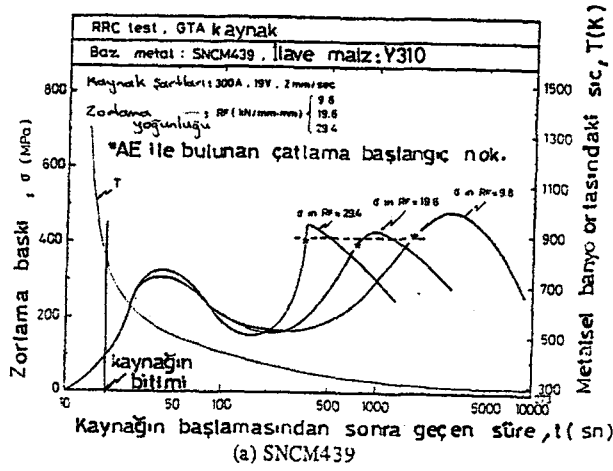
şalmasından sonra beş karşı çapraz kesitteki sırasıyla çatlama ve çatlama yük anlamına gelir. Bu sonuç şunu teyid eder; AE ile değerlendirilen çatlama başlangıç zamanı makuldür.



Şekil 12. Test sırasında ani boşalma ile AE tekniğiyle değerlendirilen çatlama başlangıç zamanının deneysel teyidi /11/.

Şekil 13 (a) ve (b), sırasıyla SNCM 439 ve SK5'deki zorlama baskı davranışlarını göstermektedir. Burada yıldız işareti, AE tekniği ile değerlendirilen çatlama başlangıç noktası anlamına gelmektedir.

SNCM 439'da, Şekil 13 (a)'da gösterildiği gibi, zorlama baskı martensitik transformasyon nedeniyle ikinci adımda azalır sonra tekrar maksimum değere yükselir ve üçüncü adımda kademeli olarak azalır. Bu davranış biçimi tüm zorlama koşullarda aynıdır. Ancak, en düşük zorlama yoğunlukta bile çatlama üçüncü adıma yaklaşırken oluşur ve yayılır.



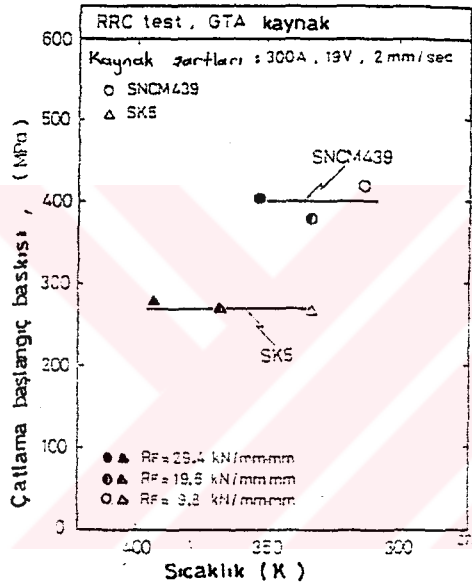
Şekil 13. Zorlama baskı davranışı ve çatlama başlangıç zaman özeti /11/.

AE değerlendirilen çatlama başlangıç zamanı yaklaşık olarak sırasıyla 9,8 19,6 ve 29,4 kN/mm.mm zorlama yoğunlukta kaynak başladıktan sonra 1700, 700 ve 350 saniyedir. Zorlama baskı çatlama başlangıcında, zorlama yoğunluğa bakmaksızın yaklaşık 400 NPa'dır.

Şekil 13 (b)'de gösterilen SK5'de, zorlama baskı davranışı SNCM 439'dakinin hemen hemen aynısıdır, ancak ikinci adımdaki zorlama baskı azalması SNCM 439'dakinden daha azdır. Çatlama

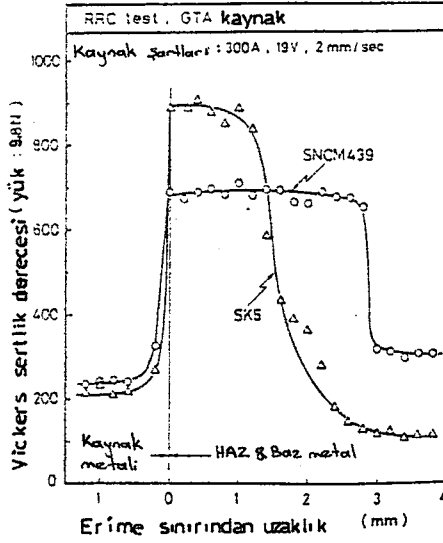
başlangıç zamanı, sırasıyla 9,8 - 19,6 ve 29,4 kN/mm.mm zorlama yoğunlukta, kaynak başladıktan sonra yaklaşık 650, 290 ve 190 saniyedir. Çatlama başlangıç baskısı, zorlama yoğunluk değişmesine bakmaksızın yaklaşık 270 MPa'dır.

Şekil 14'de, her iki çeliğin sıcaklık ve çatlama başlangıç baskısı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 14. Sıcaklık ve çatlama başlangıç baskısı arasındaki ilişki /11/.

Çatlama zorlama baskısı, zorlama yoğunluk veya sıcaklığa bakılmaksızın hemen hemen aynı değerdedir. En düşük zorlama yoğunluğunda çatlama başlangıç sıcaklığı, SNCM 439 ve SK5'de sırasıyla 313 ve 333 K'dir. En yüksek çatlama başlangıç sıcaklığı, en ciddi zorlama yoğunluğa karşılık olarak SNCM 439 ve SK5'de sırasıyla yaklaşık 353 ve 393 °K dir. Sonuç olarak, en ciddi zorlama yoğunlukta bile çatlama başlangıç sıcaklığının hidrojen nedenli soğuk çatlamadakinden yalnızca çok az daha yüksek veya hemen hemen aynı olduğu düşünülmektedir.

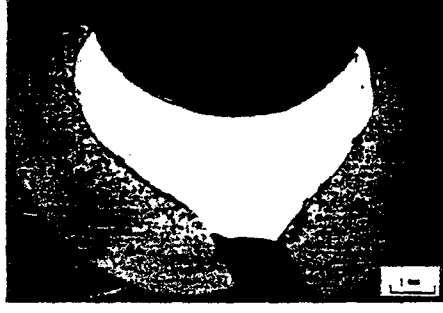


Şekil 15. Kaynakta sertlik dağılımı /11/.

Şekil 15'de, ısı etkili bölgedeki sertlik dağılımı gösterilmektedir. Maksimum sertlik, SNCM 439 ve SK5'de sırasıyla HV 690 ve HV 900 kadardır, ısı etkili bölgedeki yapısı martensit olarak gözükür. Ancak SK5'de, troostite kısmen gözlenmiştir. SNCM 439'daki sertleşmiş bölge SK5'dekinden iki kere fazladır. Bu arada Şekil 11 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi, SNCM 439'da ikinci adımdaki zorlama baskı azalması SK5'dekinden daha fazladır. Bu farkın, SK5'in M_s sıcaklığının SNCM 439'dan daha düşük olması gereğine rağmen, Şekil 15'deki sertleştirilmiş bölgedeki fark sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

4.1.4. ÇATLAMANIN MAKRO VE MİKROSKOPİK KARAKTERİSTİKLERİ

Bu malzemelerin erime sınırları yakınındaki ısı etkili bölgedeki mikroyapı, martensit'dir. Ancak SK5'de troosite zaman zaman görülmektedir.



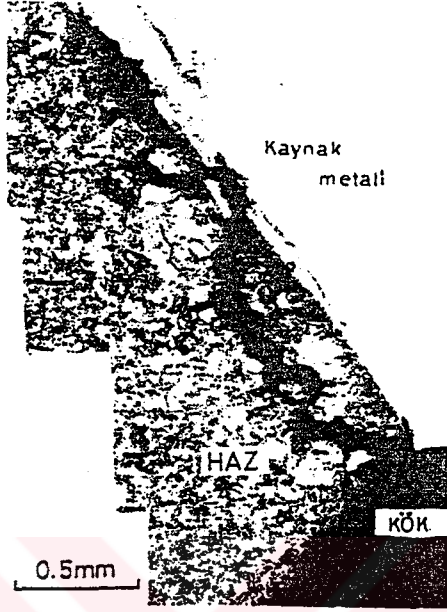
(a) SNCM 439



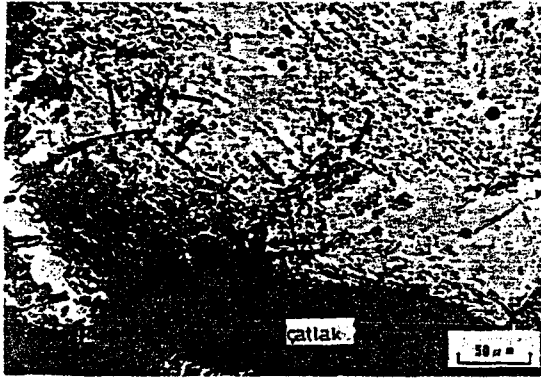
(b) SK5

Şekil 16. Isı etkili bölgedeki çatlamanın makro yapısı /11/.

Şekil 16 ve 17'de, kaynağın karşılıklı çapraz kesitinde, çatlak etrafındaki makro ve mikro yapının tipik örnekleri gösterilmiştir. Şekil 16 ve 17'de gösterildiği gibi, çatlama, erime sınırı yakınındaki taneli bölgenin ısı etkili bölgesinde oluşur ve yayılır. Çatlama ile tane-sınır arasındaki karşılıklı ilişki; ıslatıcı amil içeren doymuş pikrik asitli sulu solüsyonla çalışılır. Tane sınırındaki erime izleri, Şekil 18'de görüldüğü gibi çatlama etrafında gözlenmektedir. Bundan dolayı, çatlama başlangıç parçasının, erime sınırı yakınındaki ısı etkili bölgede yayılmış tane sınırı ile yakın ilişkisi olduğu sonucuna varılır.



Şekil 17. SNM 439'un ısı etkili bölgedeki (HAZ) çatlak etrafındaki mikroyapı /11/.



(a) SNM 439



(b) SK5

Şekil 18. Çatlama etrafındaki erimiş tane-sınırı yani, doymuş pikrik asitin sulu solüsyonu ile çizili erimiş tane sınırı /11/.

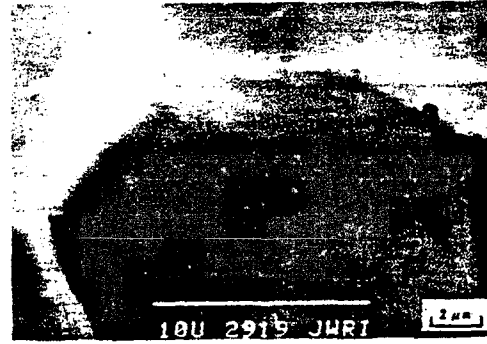
Şekil 19'da çatlama başlangıç parçasında taneler arası çatlak fasetanın SEM mikrofraktografi görülmektedir. Tanelerarası fasetaların çoğu parlak olarak görülmektedir. Çatlak yayılma bölgesinde; önemli plastik deformasyon ile birlikte yarım-çatlak kırık yüzey, taneler arası kırık yüzey ile birlikte gözlenir.



(a) SNCM439



(b) SK5



Şekil 19. Kırılma başlangıç parçasında taneler arası kırım fasetanın SEM mikrofraktagrafi /11/.

4.1.5. SONUÇLAR

Başlıca sonuçlar, aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

1) SNCM 439 ve SK5 çeliklerinin RRC testi sırasında zorlama baskının genel davranışı, ikinci adımdaki martensitik transformasyon ile zorlama baskıdaki azalma haricinde kaynaklanabilir karbon çeliğinki ile yaklaşık aynıdır.

2) Kaynak'dan sonra doymuş zorlama baskı veren üçüncü adım, yaklaşık 10 kN/mm.mm düşük zorlama yoğunlukda bile görülmemiştir; çünkü çatlama üçüncü adımda gelişir.

3) AE tekniği ile değerlendirilen çatlama başlangıcı, artan zorlama yoğunluk ile daha erken oluşur. Çatlama başlangıcının en yüksek sıcaklığı, SNCM 439 ve SK5'de sırasıyla, yaklaşık 353 ve 393 K'dir. Yani; M_s sıcaklıklarında daha düşük ve hidrojen nedeni soğuk çatlama yaklaşık aynıdır.

4) Çatlama başlangıcındaki baskı, zorlama yoğunluğa bakılmaksızın, SNCM 439 ve SK5'de sırasıyla yaklaşık 400 ve 270 MPa'dır. Her iki çelik de soğuk çatlama hassasiyetlidir. Yani bunlar, kaynak sırasında söndürmeli çatlama hassas çeliklerdir.

5) Her iki çeliğin de çatlama başlangıç parçaları ve erime sınırı yakınında ısı etkili bölgede erimiş tane-sınırlı bölge ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır ve çok parlak taneler arası kırık yüzeyler verir.

4.2. KARBON VE DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA ISI ETKİLİ BÖLGEDE SOĞUK ÇATLAK OLUŞUMU SÖNÜMLÜ ÇATLAK TİPİNİN SOĞUK ÇATLAĞI İÇİN YAPILAN SİMÜLASYON TESTİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

4.2.1. MUAYENE ESASI

4.1'deki muayenede sönümlü çatlak tipinin soğuk çatlağının temel tepkileri, AE tekniğiyle eşleştirilen RRC testi aracılığıyla incelenmiş ve metalurjik muayeneyle sonuçlar takip edilmiştir. Bu incelemede de, bu tip soğuk çatlağın hidrojen nedenli soğuk çatlak ile benzerlikler ve farklılıkları, erime sınırı yakınındaki eriyik tanecik sınırıyla yakın ilişkisi ve benzer konular ortaya konmaktadır.

Bununla birlikte, RRC testinin düşük ergime noktalı çelikler için çok uygun olmasına karşın, uygulamada kompleks ve sorunlu olduğu bir gerçektir. Bu bakış açısından hareketle, sönümlü çatlak tipinin soğuk çatlağı için yapılacak basit bir simülasyon testi, sadece çatlak oluşum mekanizmasının analizi için değil, çatlak-hassasiyetsiz çeliğin gelişimi amacıyla da geliştirilme-lidir.

Böylece bu incelemede, simüle edilmiş kaynağın termik çevrimin soğuması esnasında çentik gerilmesi aracılığıyla bir simülasyon testi yöntemi geliştirilip, kırılma gerilimi tepkisine karşı olan kırılma sıcaklığı ve RRC testinde bunlara karşılık gelen kırılma gerilimi ve mikroyapının karşılaştırılmasıyla uygulanabilirliği araştırılmıştır.

4.2.2. KULLANILAN MALZEMELER VE DENEYSEL İŞLEMLER

4.2.2.1. KULLANILAN MALZEMELER

4.1'deki muayenede belirtildiği gibi, RRC testinde kullanılan yarım yumuşak Ni-Cr-Mo çeliği SNCM 439 ve yüksek karbonlu çelik SK5 kullanılmaktadır. Tablo 6 bu çeliklerin kimyasal bileşimini göstermektedir.

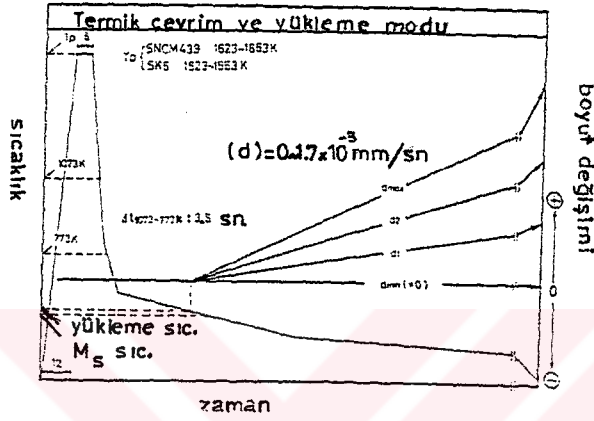
Malzeme	Kimyasal bileşik (% olarak ağırlık)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SNCM 439	0.40	0.26	0.83	0.007	0.009	1.80	0.82	0.26
SK5	0.83	0.34	0.48	0.010	0.007	-	-	-

Tablo 6. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi /12/.

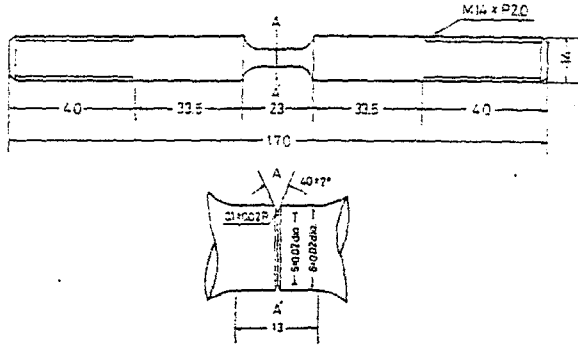
4.2.2.2. DENEYSEL İŞLEMLER

Bu araştırmada, sönümlü çatlak hassasiyetinin değerlendirilmesi için bir simülasyon testi geliştirilmekte ve termik çevrimin soğuması sırasında çentikli çekme testi yöntem olarak kullanılmaktadır. Termik çevrim ve yükleme şekli Şekil 20'de, sıcaklık/boyut değişimi ve zamana göre gösterilmiştir. Söz konusu örneğin biçimi ve büyüklüğü Şekil 21'de gösterilmiştir. Şekil 20'de gösterilen termik çevrim, mümkün olduğunca önceki raporda bahsedilen RRC testindekiyle uyuşacak şekilde programlanmıştır. Koşullar şunlardır : Maksimum sıcaklığa ısıtma süresi 12 saniye, maksimum sıcaklıkta kalma süresi olan 6 saniye, RRC testiyle simüle edilmiş test arasından iyi bir korelasyon kurulmasına göre değişmekte; ve 1073 K'dan 773 K'ya soğuma süresi, yani $\Delta t_{1073-773\text{ K}}$ 3,5 saniye olarak sabitlenmiştir. Yükleme mümkün olduğunca RRC testinin üçüncü aşamasıyla uyuşacak şekilde gerilim yaratmaya ayarlanmaktadır.

Yükleme, yani en baştaki boyut değişimi, başlamasından sıcaklığın M_s noktasının hemen üstüne soğuyana kadar sabittir ve tek boyutlu ısı akışı altında yapılan kaynaktaki farklı bağlama çenesi hızları altında artar.



Şekil 20. Simüle edilmiş soğuk çatlak testinde termik çevrim ve yükleme şekli /12/.



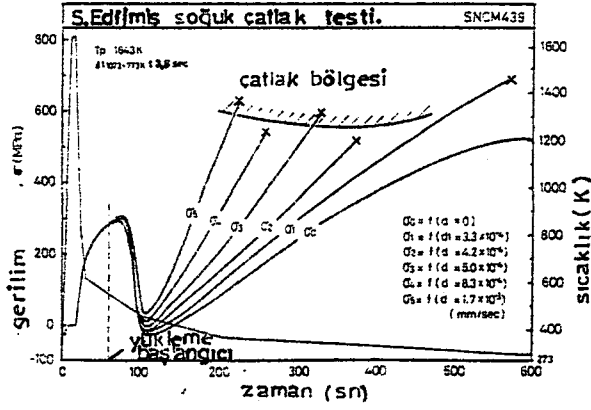
Şekil 21. Simüle edilmiş soğuk çatlak testinde çentik gerilmesi test örneğinin görünüşü /12/.

4.2.3. DEĞERLENDİRMELER VE DENEYSEL SONUÇLAR

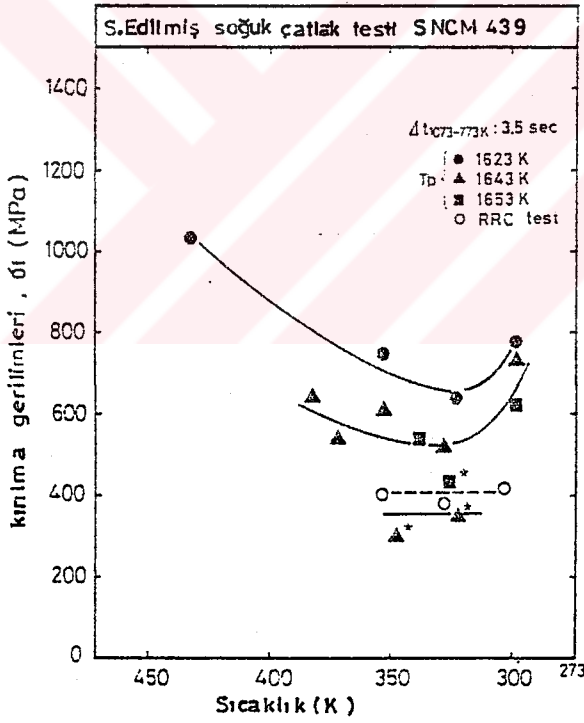
Şekil 22, simülasyon testi esnasındaki gerilme değişikliklerine bir örnektir. En başta gerilme, örneğin büzülme sırasında maksimum sıcaklıktan itibaren soğutulması sırasında artar. Sonra martensitik transformasyona uygun olarak önemli oranda azalır ve kullanılan bağlama çenesi hızlarında tekrar artar. En nihayet bağlama çenesi hızına bağlı olarak kırılır. Bu şekilde RRC testindeki zorlama baskı değişimleri yükleme modunca çok iyi bir biçimde simüle edilmiş olur. Ayrıca bu simülasyon testine "Simüle edilmiş soğuk çatlak testi" de denir.

Şekil 23, SNCM 439'da kırılma sıcaklığı ve kırılma gerilmesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kullanılan maksimum sıcaklıklar 1623, 1643 ve 1653 K'dır. Sıcaklığın 1653 K'nın üzerine çıkması durumunda, örnek neredeyse tamamen ergimektedir. Şekil 23, sonuçların RRC testiyle karşılaştırılmasına da olanak tanır. Görüldüğü gibi, 1623 K'daki kırılma gerilimleri en yüksek gerilimlerdir. Ayrıca 1643 ve 1653 K'daki sonuçları karşılaştırabiliriz.

Üçgenleri ve dörtgenleri karşılaştırırken 1643 ve 1653 K'da elde edilen sonuçları aynı kategoriye koyabiliriz. Ayrıca bu dataların yıldız ile beraber gösterilenlerinin, yıldızsız olanlara göre oldukça düşük kırılma gerilmelerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 22. SNCM 439'da simüle edilmiş soğuk çatlak testi esnasındaki gerilim değişimlerine bir örnek /12/.



Şekil 23. SNCM 439'da maksimum sıcaklık T_p ve tane sınırı eriyiğinin kırılma gerilimi-sıcaklık'a etkisi /12/.

Şekil 24'de yüzey reaktifi içeren doymuş pikrik asidin su-landırılmış eriyiyle aşınmış olan bu mikroyapılar karşılaştırıldığında şu sonuçlar elde edilmektedir :



(a) T_p ; 1643 K, tane sınırları eriyiğinin tam olarak gerçekleşmediği anlamına gelir.



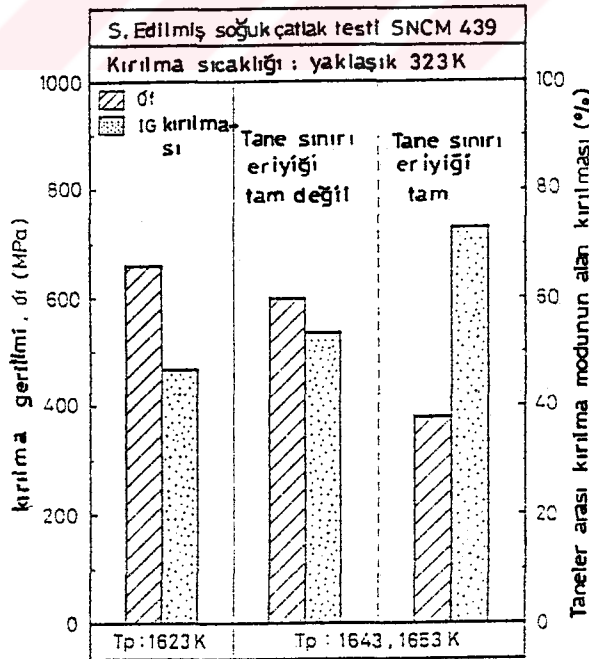
(b) T_p ; 1653 K, tane sınırları eriyiğinin tam olarak gerçekleştiği anlamına gelir.

Şekil 24. Sulandırılmış doymuş pikrik asitle aşınmış olan SNCM 439'da yapılan test sonrası mikroyapı /12/.

Yıldızlı olan örnekte tane sınırlarının tamamen eriyik olmasına karşın yıldız olmayan örnekteki tane sınırları tamamen eriyik olmamıştır. Bu arada, yaklaşık 50 K/saniyelik yüksek ısınma oranını saptayabilen özel bir mikroskop (hot stage microscope) aracılığıyla yapılan gözlemler, tane sınırları eriyik sıcaklığının yaklaşık 1658 K olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bu mikroyapısal özellikleri ele alır ve bunları RRC testindeki sonuçlarla karşılaştırırsak, kırılma gerilmesinin maksimum sıcaklıkla, özellikle de tane sınırı eriyiğiyle azaldığı ve tane sınırı eriyiğinin altında elde edilen kırılma gerilmesinin, çatlak başlangıçtaki yerinin, erime sınırına yakın olan ısı etkili bölgedeki eriyik olmuş tane sınırıyla bağlantılı olduğu ve RRC testiyle hemen hemen uyduğu sonucu ortaya çıkar.

Şekil 25'de örneklerin 323 K civarında kırıldığı SNM 439'da maksimum sıcaklıkla bağlantılı olarak taneler arası kırılma modunun (şeklinin) kırılma bölgesi ile kırılma gerilimi karşılaştırılmaktadır. Taneler arası kırılmış bölge kırılma gerilimindeki azalışa paralel bir artış gösterir. Özellikle, eriyik olmuş tane sınırları olan örneklerde, taneler arası kırılma modu, kırılma gerilimindeki ani azalışla hemen hemen % 80'e ulaşır. Bu da, segregasyon ile artan taneler arası kırılmayı, tane sınırı eriyiğinden sonraki tane sınırlarına doğru genişletir.

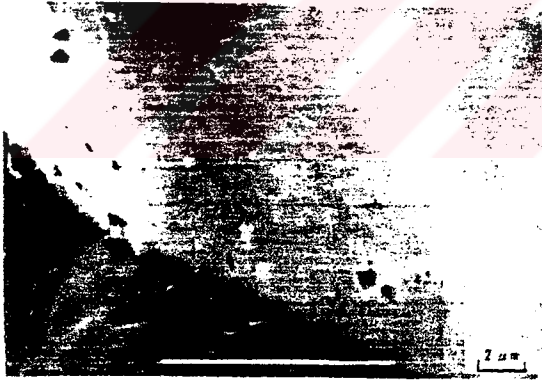


Şekil 25. SNM 439'da 323 K'da kırılan örnekler arasında maksimum sıcaklığa ilişkin olarak kırılma geriliminin ve taneler arası kırılma modunun karşılaştırılması /12/.

Şekil 26 (a), tane sınırı eriyiğinin tam olarak gerçekleştiği 26 (b) ise tam olarak gerçekleşmediği taneler arası yüzeylerin mikrofragtografını göstermektedir.



(a) T_p ; 1643 K, tam bir tane sınırı eriyiği vermemektedir.



(b) T_p ; 1653 K, tam bir tane sınırı eriyiği vermektedir.

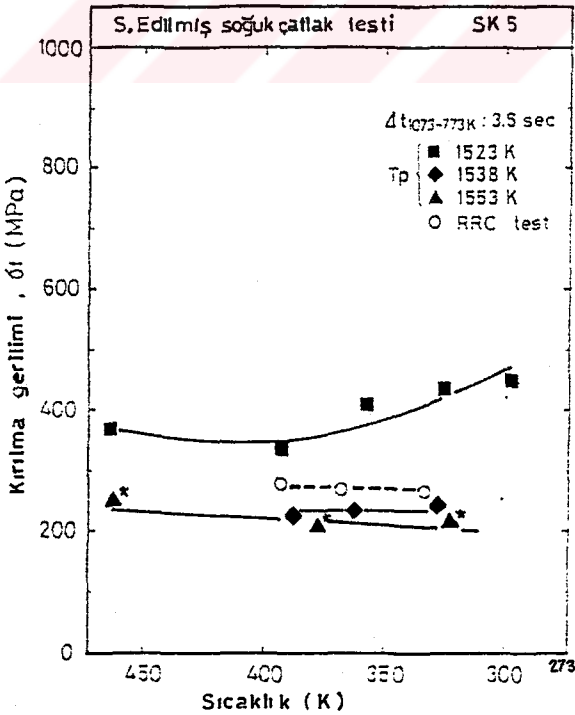
Şekil 26. SNCM 439'da tanelerarası kırılma yüzeyinin SEM mikrofragtografı /12/.

Plastik deformasyon izleri (küçük çukurlar vs.) tam gerçekleşmiş tane sınırı eriyiğinde tam gerçekleşmeyenlerine göre daha azdır. Bu, Şekil 25'dekilerle bağlantılıdır. Şunu da vurgulamak gerekir ki, tam gerçekleşmiş tane sınırı eriyikli tanelerarası yüzeyler RRC testindekileri andırır.

Şekil 27, SK5'de kırılma sıcaklığı ile kırılma gerilimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Maksimum sıcaklıklar, T_p ; 1523, 1538 ve 1553 K'dır. Yine bu durumda da kırılma gerilmesi T_p 'deki artışa paralel bir artış gösterir. Yıldızla gösterilen tam gerçekleşmiş tane sınırı eriyikli kırılma gerilimi hemen hemen RRC'deki çatlak başlangıçtaki gerilimine karşılık gelmektedir.

Genel olarak, maksimum sıcaklık düşük karbonlu-düşük alaşım çeliklerdeki eriyik olma sıcaklığının çok altında bir sıcaklık olan 1623 K'ya ayarlanmaktadır. Bununla birlikte bu araştırmanın gösterdiği gibi, yalnızca tane sınırı eriyiğinin ortaya çıktığı maksimum sıcaklıklarda RRC testindekilere uygun sonuçlar elde edilir.

Simüle edilmiş çatlak testinin koşulları, malzemeleri çatlak hassasiyeti açısından karşılaştırmak ve kompleks RRC testinin yerine ayrıntılı bir çatlak teşekkülü mekanizması oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 27. Maksimum sıcaklık (T_p) ve tane sınırı eriyiğinin SK5'de kırılma gerilimi-sıcaklık üzerindeki etkisi /12/.

4.3. KARBON VE DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA ISI ETKİLİ BÖLGEDE SOĞUK ÇATLAK OLUŞUMU SÖNÜMLÜ ÇATLAK TİPİNİN SOĞUK ÇATLAMA HASSASİYETİ ÜZERİNDE KİMYASAL BİLEŞİMLERİN ETKİSİ

4.3.1. MUAYENE ESASI

4.2'deki incelemede, sönümlü çatlak tipinin soğuk çatlak oluşumuna karşı hassas orta, yüksek karbonlu, düşük alaşım çelikleri için yapılan RRC testindeki çatlama gerilimi, simüle edilmiş soğuk çatlak testiyle elde edilen kırılma gerilimiyle saptamanın mümkün olduğu görüldü. Şimdi, simüle edilmiş soğuk çatlak testiyle, kimyasal bileşimlerin bu soğuk çatlak tipine karşı hassasiyeti üzerindeki, yani kırılma gerilimi üzerindeki etkisi araştırılacaktır.

Bu yüzden, bu raporda, söz konusu etki, farklı çeliklerin kırılma gerilimi üzerinde yapılan regresyon analizi yoluyla araştırıldı; analiz edilen çelikler, bu soğuk çatlak tipine karşı hassas olup piyasadan elde edilebilen ticari çeliklerdir, fakat kısmen laboratuvar çelikleri de analiz edilmiştir.

4.3.2. KULLANILAN MALZEMELER VE DENEYSEL İŞLEMLER

4.3.2.1. KULLANILAN MALZEMELER

Tablo 7'de, kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri görülmektedir; bu malzemeler, bir tür orta karbonlu düşük alaşımlı konstrüksiyon çeliği (SCr 440, SCM 440, SNCM 439, SCr 445, SCM 445 ve SNCM 447), adi karbonlu takım çeliği (SK6, SK5 ve SK3) ve yüksek karbonlu kromlu yatak çeliği (SUJ2) olarak sınıflandırılmıştır.

SNCM 447 hariç, bütün bu çelikler ticari çeliklerdir. SNCM 447 çelikleri, laboratuvar çelikleridir ve bunlar yaklaşık % 0.03 ve % 0.001 fosfor ve sülfür içermektedirler.

4.3.2.2. DENEYSEL İŞLEMLER

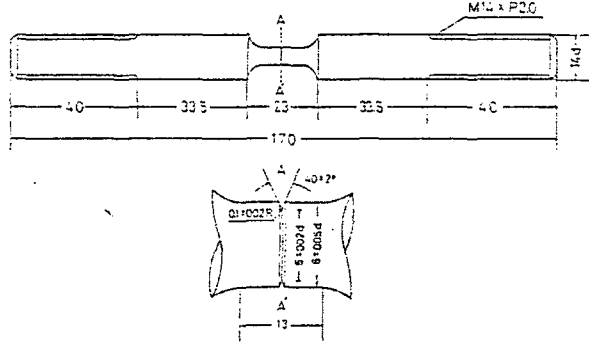
Önceki raporda kurulan simüle edilmiş soğuk çatlak testi kullanılmıştır; bu, simüle edilmiş kaynak termik çevrimin soğutulması esnasında çentik gerilim testi şeklindedir. Simüle edilmiş soğuk çatlak testinde kullanılan numunenin biçimi ve ölçüleri Şekil 28'de gösterilmiştir. Şekil 29'da gösterilen termik çevrimin soğuma safhası yani 1073 K'den 773 K'e kadar süren soğuma süresi (Δt) yaklaşık olarak 3,5 saniyedir. Önceki raporun sonucuna dayanıldığında, 6 saniyelik maksimum sıcaklıkta kalma süresi her bir çelikte tanecik sınırı eriyik sıcaklığına ayarlanmıştır. Tane sınırının eriyiğine yol açan maksimum sıcaklıklar Tablo 8'de özetlenmiştir.

Malzeme *	Kimyasal bileşik (% Ağırlık)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	O
SCr440	0.40	0.29	0.76	0.025	0.012	0.07	1.09	0.02	0.0120	0.004
SCM440	0.40	0.27	0.71	0.018	0.028	0.08	1.05	0.16	0.0100	0.001
SNM439	0.39	0.28	0.73	0.012	0.007	1.72	0.69	0.17	0.0094	0.003
SCr445	0.49	0.26	0.78	0.020	0.024	0.07	1.03	0.02	0.0067	0.001
SCM445	0.45	0.24	0.78	0.017	0.018	0.07	1.07	0.15	0.0140	0.001
SNM447(1)	0.44	0.22	0.69	0.015	0.007	1.68	0.71	0.16	0.0080	0.002
SNM447(2)	0.48	0.24	0.75	0.001	0.001	1.72	0.83	0.22	0.0011	0.004
SNM447(3)	0.47	0.26	0.76	0.034	0.001	1.82	0.80	0.24	0.0006	0.001
SNM447(4)	0.48	0.26	0.75	0.002	0.030	1.80	0.80	0.24	0.0007	0.001
SNM447(5)	0.50	0.25	0.76	0.031	0.032	1.80	0.79	0.24	0.0006	0.002
SK6**	0.72	0.22	0.75	0.025	0.023	0.07	0.22	0.01	0.0096	0.002
SK5	0.89	0.24	0.29	0.022	0.020	0.04	0.12	-	0.0043	0.001
SK3**	1.05	0.33	0.98	0.020	0.018	0.05	0.47	-	0.0130	0.001
SUJ2	0.96	0.26	0.46	0.015	0.009	0.05	1.46	0.01	0.0073	0.001

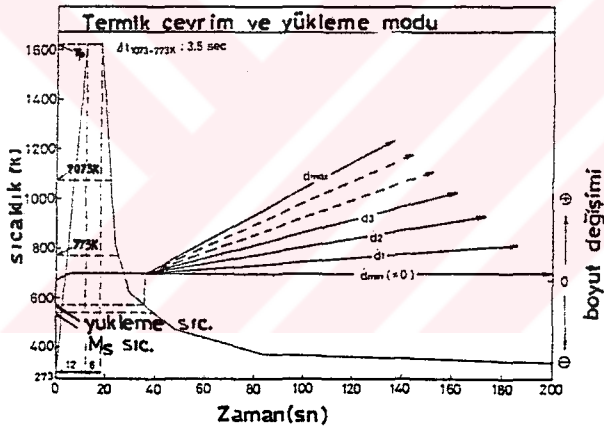
Tablo 7- Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi /13/.

* Tanımlamalar JIS (Japon Standartları)'e göredir.

** Mn ve Cr muhteviyatı JIS'da belirtilmiş olandan çok az yüksektir.



Şekil 28. Simüle edilmiş soğuk çatlak numunesinin görünüşü /13/.



Şekil 29. Simüle edilmiş soğuk çatlak testiyle termik çevrim ve yükleme modu /13/.

	T _p (K)		T _p (K)
SCr440	1633	SNCM447(1)	1628
SCM440	1638	SNCM447(2)	1628
SNCM439	1638	SNCM447(3)	1623
SCr445	1628	SNCM447(4)	1621
SCM445	1628	SNCM447(5)	1619

Tablo 8.Tane sınırı eriyiğine neden olan maksimum sıcaklıklar /13/.

Çentik yakınındaki tane sınırı eriyiğini gösteren ve sulandırılmış doymuş pikrik asit eriyiğiyle aşındırılmış mikroyapı örnekleri Şekil 30'da gösterilmektedir. Şekil 29'da gösterildiği gibi, kullanılan yükleme modu da önceki rapordakiyle aynıdır; yani ölçüler genellikle soğumanın başlamasından sıcaklığın ergime noktasının üzerindeki bir noktaya gelmesine kadar sabit tutulmuş ve sonra 0 mm/sn ile 0,005 mm/sn arasında değişik hızlarda artmaya başlamıştır. Bu farklı hızlar yelpazesi, kırılma 323 K ile 373 K arasında meydana gelebilsin diye seçilmekte, çünkü RRC testinde görüldüğü gibi, bu tip soğuk çatlak genellikle bu sıcaklıklar civarında meydana gelmektedir.



(a) SCM445



(b) SK5

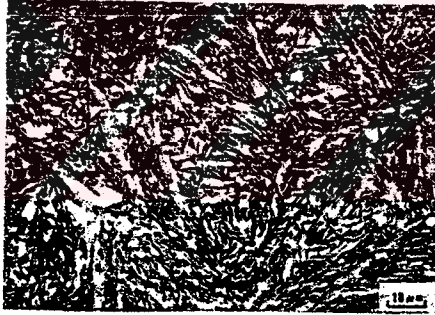
Şekil 30. Sulandırılmış doymuş pikrik asit eriyiğiyle aşındırılmış çentik yakınındaki tane eriyiğini gösteren mikroyapı /13/

4.3.3. DEĞERLENDİRMELER VE DENEY SONUÇLARI

Martensitik yapının (ve kısmen muhafaza edilmiş austenite yapının) test edilmesinden sonra çeliklerin çentik yakınındaki mikroyapısı ve % 2 Nitrik + % 2 Pikrik asit içeren bir eriyikle aşındırılmış örnekler Şekil 31'de gösterilmektedir.



(a) SNCM 439



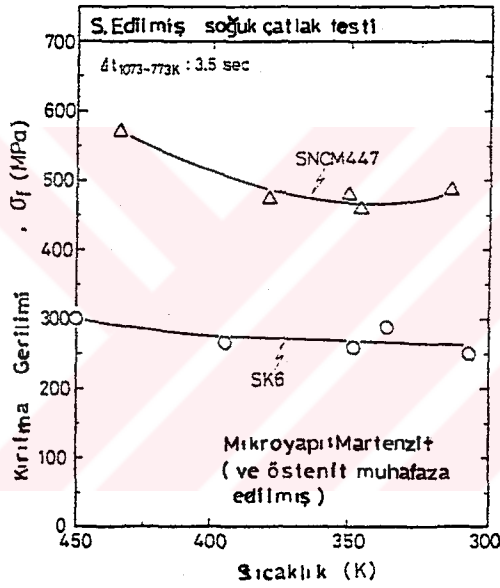
(b) SUJ 2

Şekil 31. $T_{1073-773}$ K olan ve 3,5 saniye süren soğutma koşulları altında olan ve % 2 nitrik asit + % 2 pikrik asit içeren bir eriyikle aşındırılmış çentik yakınındaki mikroyapı /13/.

Şekil 32, SNCM 447 ve SK6'daki sıcaklık ve kırılma gerilimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. SNCM 447'deki kırılma gerilimi, sıcaklığın 400 K civarındaki düşüşüne paralel olarak hafif bir düşme eğilimi gösterir ve 370 K'nın altında 460 MPa civarında hemen

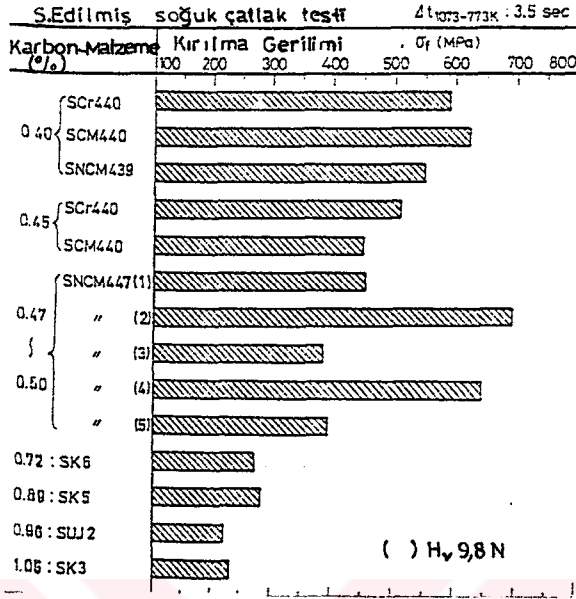
hemen sabit kalır. SK6'da kırılma gerilimleri SNCM 447'dekinden daha düşüktür ve neredeyse bütün sıcaklıklarda yaklaşık 250 MPa'da sabit kalır.

323 ile 373 K arasındaki sıcaklıklarda tüm malzemelerin ortalama kırılma gerilimi karbon muhtevisine göre Şekil 33'de gösterilmiştir; çentik yakınındaki sertlik, 9,8 N'lik yüklemeyle ölçülmektedir.



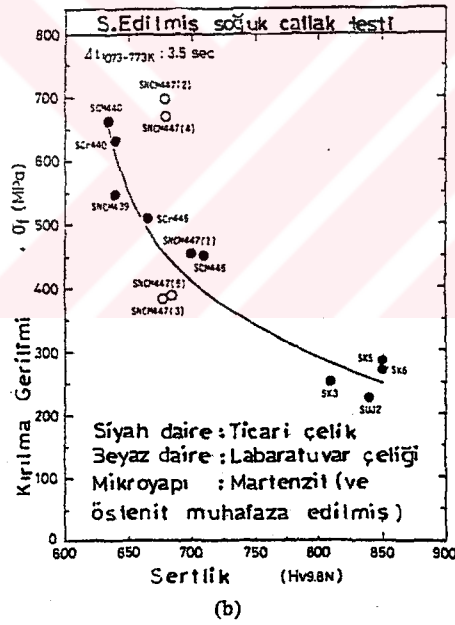
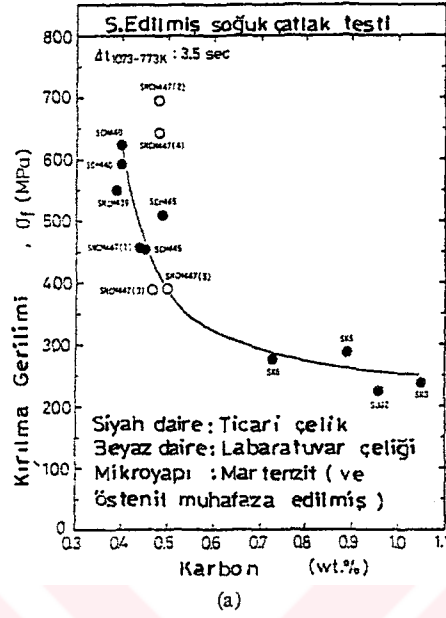
Şekil 32. SNCM 439 ve Sk6'da sıcaklık ve kırılma gerilimi arasındaki ilişki /13/.

Çok düşük fosfor içeren SNCM 447 (2) ve (4) dışında kırılma gerilimleri, karbon muhtevisindeki artışa paralel ya da sertlikteki bir artışa paralel olarak azalma eğilimi gösterir. Bu eğilimler, Şekil 34 (a) ve (b)'de gösterilmektedir. Siyah daireler ticaret çeliğini, beyaz daireler laboratuvar çeliğini temsil etmektedir. Bu arada belirtmek gerekir ki, ticaret çeliklerdekine benzer şekilde çok fazla fosfor içeren SNCM 447 (3) ve (5) laboratuvar çelikleri, kırılma gerilimi-karbon muhtevisi ve kırılma gerilimi-



Şekil 33. 323 K ile 373 K arasındaki sıcaklıklarda ortalama kırılma gerilimi /13/.

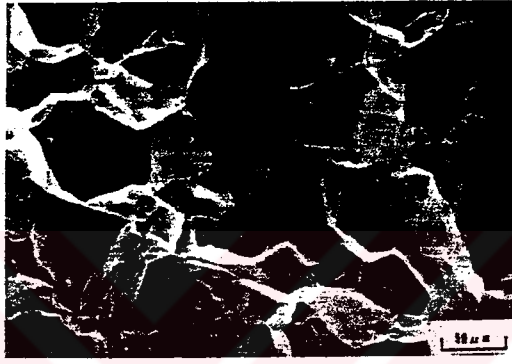
sertlik arasındaki korelasyonu gösteren eğri üzerinde yer alır. Ama öte yandan, çok az fosfor içeren SNCM 447 (2) ve (4) laboratuvar çelikleri eğriden önemli ölçüde sapma göstermişlerdir. Burada, soğuk çatlak tipine karşı hassasiyetin, esas olarak, ticari çeliklerde karbon muhteviyatına veya sertliğe bağlı olduğu anlamına gelir; yani, fosforun etkisi belirginken, sülfürünki çok azdır.



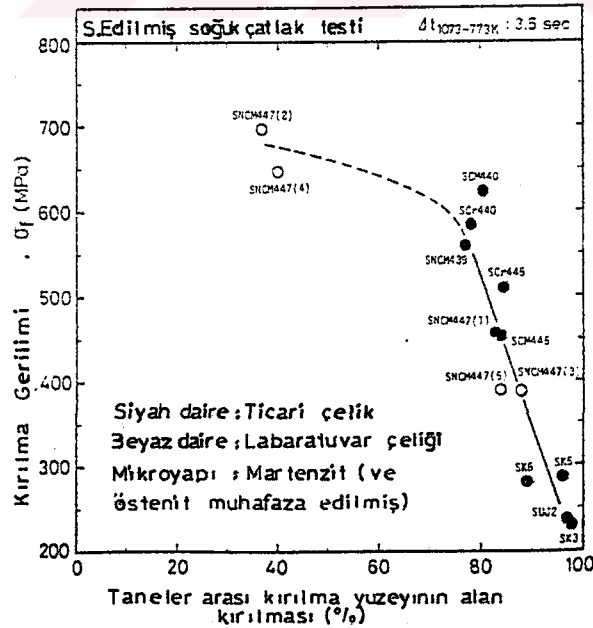
Şekil 34. (a) Karbon muhteiyatının kırılma gerilimi üzerindeki etkisi /13/
 (b) Sertliğin kırılma gerilimi üzerindeki etkisi /13/.

Bu soğuk çatlak tipinin özelliklerinden biri, Şekil 35'de gösterildiği üzere, tanelerarası kırılma yüzeyinin ortaya çıkması ve Şekil 36'da kırılma gerilimi tanelerarası kırılma yüzeyinin alan

kırılması arasındaki korelasyonla ortaya konmaktadır. SNCM 447 (2) ve (4) dışındaki çok düşük fosfor içeren malzemeler, % 75'den daha yüksek bir alan kırılması vermektedir ve kırılma gerilimi taneler-arası kırılmadaki artışa paralel olarak azalma eğilimi gösterir. SNCM 447 (2) ve (4)'ün alan kırılması, diğer malzemelerinkine çok az benzer ve bu da fosforun tane sınırları üzerindeki gevrekleştirme etkisi yaptığını düşündürür.



Şekil 35. SCM 445'de tanelerarası yüzeyin tipik bir SEM mikrofraktografi /13/.

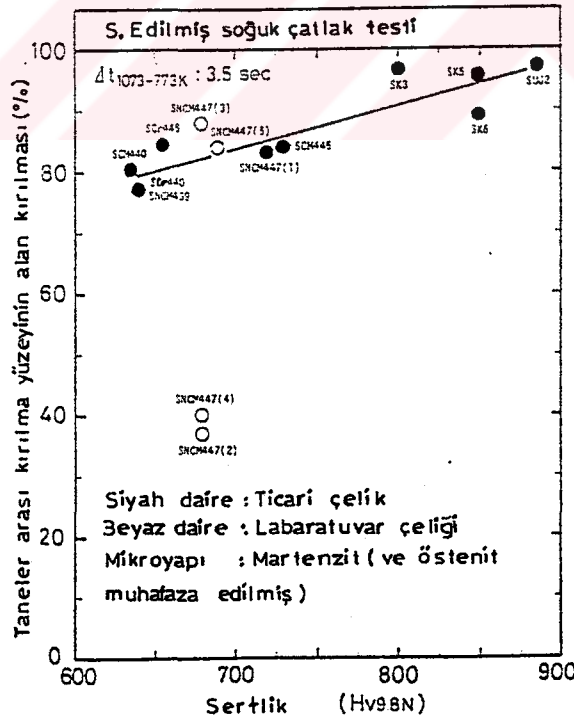


Şekil 36. Kırılma gerilimi ve tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılması arasındaki ilişki /13/.

Bu arada, tanelerarası alan kırılmasının % 75'den az olduğunu gösteren kesik çizgilerin gradyanının alan kırılmasının % 75'den fazla olduğunu gösteren kesiksiz çizgiden daha düzgün olduğunu görmekteyiz.

Şekil 37 sertlik ve tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ticari çeliklerde, tanelerarası yüzeyin alan kırılması sertlikteki artışa paralel bir artış gösterme eğilimindedir. Bununla birlikte, çok az fosfor içeren SNCM 447 (2) ve (4)'ün tanelerarası yüzeyinin kırılma gerilimi, bu eğilimden önemli ölçüde sapma gösterir.

Tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılması için yapılan regresyon analizi, sertlik değeri ve fosfor miktarı kullanılarak gerçekleştirilir. Denklem (1), sertlik değeri ve fosforun tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılması üzerindeki etkisini gösterir.

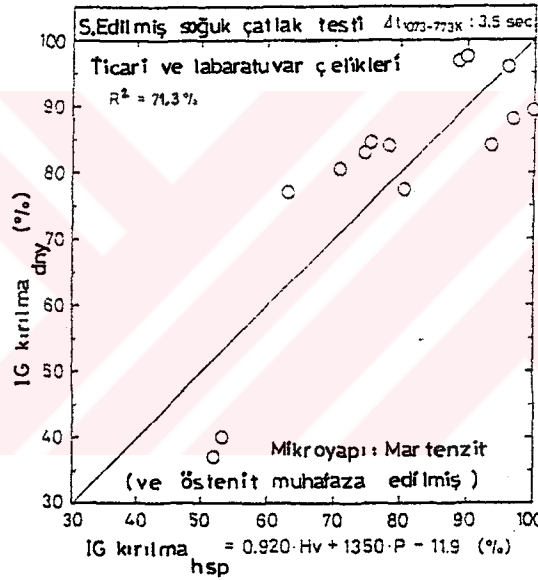


Şekil 37. Sertlik ve tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılması arasındaki ilişki /13/.

Şekil 38'de, tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılmasının Denklem 1'le hesaplanan değerle ($IG\ Kırılma_{hesap}$), deneyle elde edilen değer ($IG\ Kırılma_{deney}$) arasındaki ilişki gösterilmektedir.

$$IG\ Kırılma_{hesap} (\%) = 0,920 \cdot H_v + 1350 \cdot (\text{ağırlık } \% P) - 11,9 \quad (1)$$

Bu denklemde, üniformluk % 71,4'dür. Böylece fosforun tanelerarası kırılma üzerindeki etkisi üniformluk biraz düşük olsa da, regresyon analiziyle de doğrulanmış olur.



Şekil 38. Deneyle ölçülen tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılmasının ($IG\ Kırılma_{deney}$), sertlik ve fosforu hesaba katan Denklem 1'le hesaplanan tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılmasıyla ($IG\ Kırılma_{hesap}$) karşılaştırılması /13/.

Şekil 36, 37 ve 38'deki sonuçlara bakıldığında, kırılma geriliminin düşüşüne tanelerarası kırılma yüzeyinin alan kırılmasındaki artışın eşlik ettiği görülür; bundan da taneler arası alan kırılmasının yalnızca sertlikle değil, fosfor muhteiyatıyla da ilişkili olduğu anlaşılır.

Yukarıda sözü edilen kırılma gerilimi, kaynak tasarımı ve benzeri durumlarda pratiklik sağlamak amacıyla çok katlı lineer regresyon analizine tabi tutulmaktadır.

Karbon ve kırılma gerilimi arasındaki regresyon denklemi Denklem (2)'de verilmektedir. $\sigma_{f\text{ hesap}}$ ile $\sigma_{f\text{ deney}}$ arasındaki ilişki, Şekil 39 (a) da gösterilmektedir. Burada, $\sigma_{f\text{ hesap}}$ regresyon denklemiyle hesaplanan kırılma gerilimi değerini, $\sigma_{f\text{ deney}}$ deneyle elde edilen kırılma gerilimi değerini göstermektedir.

$$\sigma_{f\text{ hesap}} \text{ (MPa)} = - 568 (\text{ağırlık \% C}) + 783 \quad (2)$$

Bu durumda, üniformluk % 64,4 dür ve korelasyon tatmin edici değildir.

Sertlik ve kırılma gerilimi arasındaki regresyon denklemi, Denklem (3)'de verilmiştir; $\sigma_{f\text{ hesap}}$ ve $\sigma_{f\text{ deney}}$ arasındaki ilişki, Şekil 39 (b)'de gösterilmektedir.

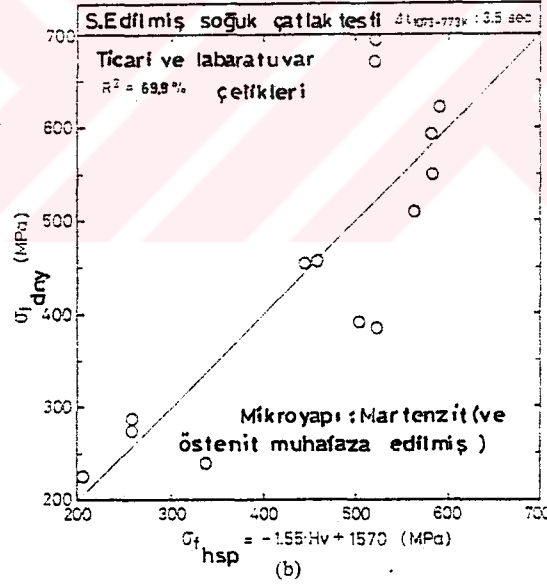
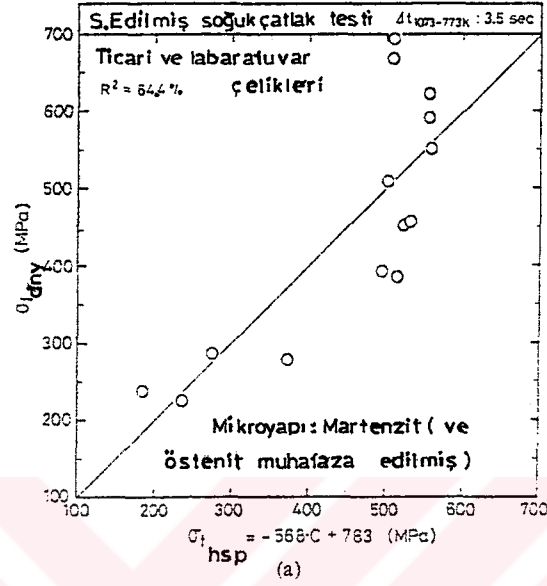
$$\sigma_{f\text{ hesap}} \text{ (MPa)} = - 1,55 \cdot H_V + 1570 \quad (3)$$

Bu denklemde, H_V , 9,8 N yüklemeli çentik yakınındaki Vickers sertliğini göstermektedir. Bu durumda üniformluk, % 69,9 'dur. Böylece korelasyon, karbonunkiyile karşılaştırıldığında çok daha iyi olsa da, yine de tatmin edici değildir.

Yalnız ticari çelikler için kullanılan regresyon analizlerinin sonuçları, denklem (4) ve denklem (5)'de ve Şekil 40 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

$$\sigma_{f\text{ hesap}} \text{ (MPa)} = - 540.(\text{ağırlık \% C}) + 756 \quad (4)$$

$$\sigma_{f\text{ hesap}} \text{ (MPa)} = - 1,48 \cdot H_V + 1520 \quad (5)$$



Şekil 39 (a) Deneyle elde edilen kırılma geriliminin ($\sigma_{f_{deney}}$), karbon muhteiyatını hesaba katan denklem 3 ile elde edilen değer ile ($\sigma_{f_{hesap}}$) karşılaştırılması /13/

(b) Deneyle elde edilen kırılma geriliminin ($\sigma_{f_{deney}}$), sertliği hesaba katan denklem 3 ile elde edilen değer ile ($\sigma_{f_{hesap}}$) karşılaştırılması /13/.

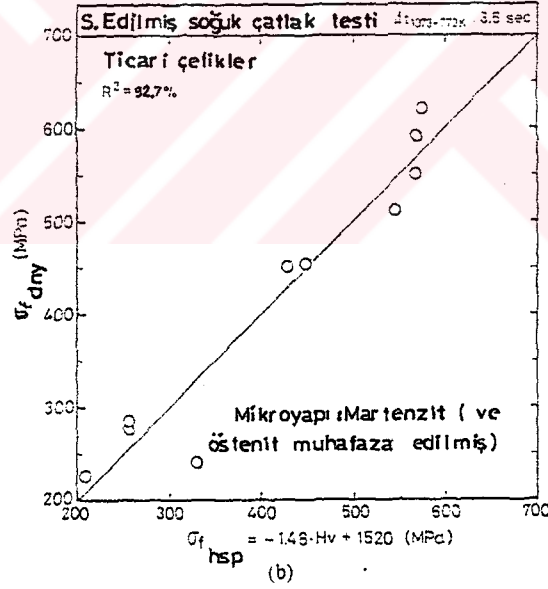
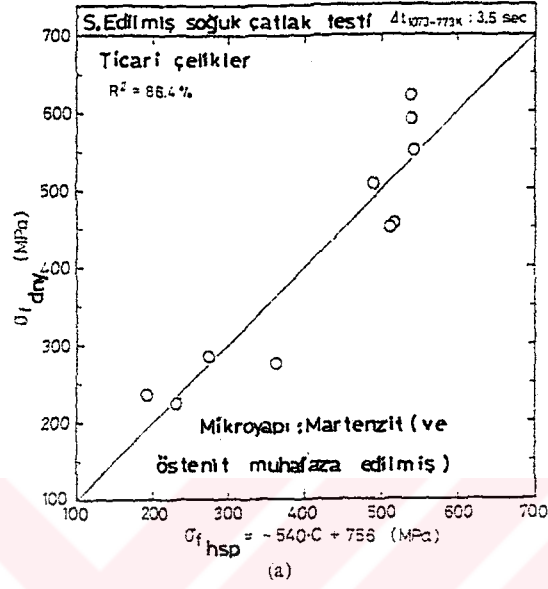
Her iki durumda da üniformluklar, bütün çelikler için geçerli olan Şekil 39 (a) ve (b) 'dekilerle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bu yüzden, ticari çelikler söz konusu olduğunda, bu soğuk çatlak tipine karşı çatlak hassasiyetinin karbon muhteviyatı veya sertliği, kullanımına göre değerlendirilebilir. Şimdi, sertliğe ek olarak, fosforin etkisi hesaba katılmakta ve denklem (6)'da regresyon denklemi; Şekil 41'de ise $(\sigma_{f_{hesap}})$ ve $(\sigma_{f_{deney}})$ arasındaki ilişki gösterilmektedir.

$$\sigma_{f_{(hesap)}} \text{ (MPa)} = -1,46 H_V - 7840 \text{ (ağırlık \% P)} + 1650 \quad (6)$$

Bu durumda, üniformluk % 90,7'dir ve iyi bir korelasyon olduğunu gösterir. Denklem (6)'daki fosforun regresyon katsayısı, büyük oranda negatif değer verir. Bu da, fosforun bu soğuk çatlak tipine karşı çatlak hassasiyetinin artışında önemli bir etken olduğunu teyid eder.

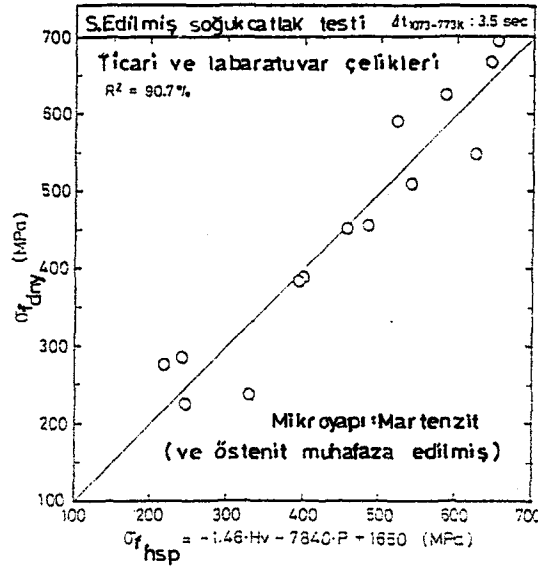
Dahası, nitrojen ve oksijenin, demir ve çeliğin çeşitli tipteki kırılmalarında, tanelerarası kırılmayı arttırma yönündeki herkesçe bilinen etkisi sertlik ve fosfora ek olarak hesaba katılmıştır. Regresyon denklemi, denklem (7) de ve $(\sigma_{f_{hesap}})$ ve $(\sigma_{f_{deney}})$ arasındaki ilişki Şekil 42'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \sigma_{f_{hesap}} \text{ (MPa)} = & -1,37 H_V - 7470 \text{ (ağırlık \% P)} - 2180 \text{ (ağırlık \% N)} \\ & + 14700 \text{ (ağırlık \% O)} + 1570 \end{aligned} \quad (7)$$



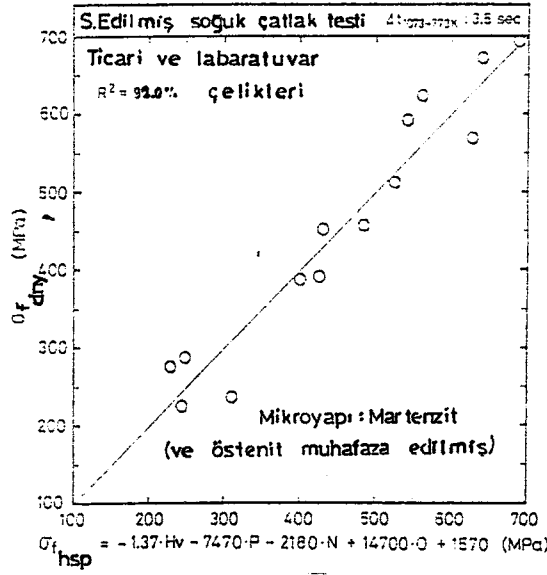
Şekil 40. (a) Deneyle elde edilmiş kırılma geriliminin karbon muhteiyatını göz önünde bulunduran denklem (4) ile elde edilenle karşılaştırılması /13/

(b) Deneyle elde edilmiş kırılma geriliminin sertliği gözönünde bulunduran denklem (5) ile elde edilenle karşılaştırılması /13/.



Şekil 41. Deneyle elde edilmiş kırılma geriliminin, sertliği ve fosforu gözönünde bulunduran denklem (6) ile hesaplanmış olanla karşılaştırılması /13/.

Bu durumda, üniformluk % 92,0'dır ve bu da iyi bir korelasyon olduğunu gösterir. Regresyon denkleminde (7) göre, nitrojenin regresyon katsayısı negatif, oksijenin regresyon katsayısı pozitifdir. Bu, nitrojenin, aynen fosfor gibi, kırılma gerilimi üzerinde çok az bir etkisi olduğunu gösterir. Bununla birlikte, nitrojenin regresyon katsayısı fosforunkinden 3 kat büyüktür. Görüldüğü kadarıyla, oksijen kırılma gerilimini etkin şekilde artırma etkisine sahiptir. Ama bu, oksijenin, çatlak hassasiyetini de artıracak anlamına gelmez. Çünkü çeliklerin temizliği ve kırılma vs. açısından oksijen muhteviyatının düşük tutulması gerekir. Bununla birlikte, fosfor muhteviyatının azaltılması, daha düşük çatlak hassasiyeti elde etmek için en uygun yoldur.



Şekil 42. Deneyle elde edilmiş kırılma geriliminin sertliği, fosfor, nitrojen ve oksijen miktarlarını hesaba katan Denklem (7) ile hesaplanmış oranla karşılaştırılması /13/.

Sertliğin ve elementlerin sönümlü çatlak tipinin soğuk çatlamaya karşı hassasiyeti üzerindeki etkisini değerlendirmek için, kırılma gerilimleri ondört çeşit çelik için uygulanan simüle edilmiş soğuk çatlak testiyle ölçülmüş ve bu, regresyon analizi yoluyla incelenmiştir. Elde edilen temel sonuçlar şunlardır :

1. Kırılma gerilimi, karbon muhteviyatı ve sertliğin artmasına paralel bir azalma eğilimi gösterir. Bu eğilim özellikle ticari çeliklerde çok açık bir şekilde görülür. Bununla birlikte, fosfor oranını azaltmakla kırılma gerilimini ıslah etmek oldukça mümkündür.
2. Kırılma gerilimi ile taneler arası kırılma yüzeyinin alan kırılması arasında iyi bir korelasyon vardır. Alan kırılması yalnızca sertlikle değil, fosfor muhteviyatıyla da bağlantılıdır.

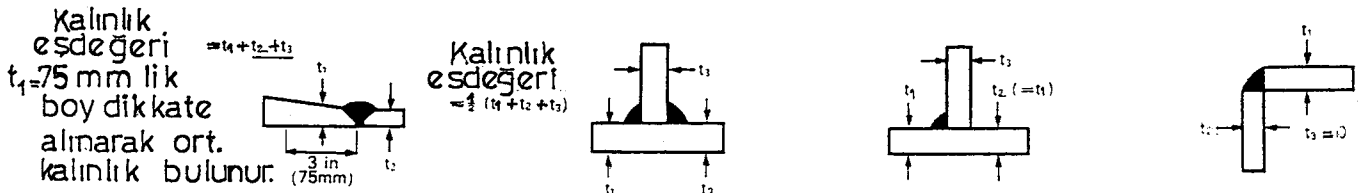
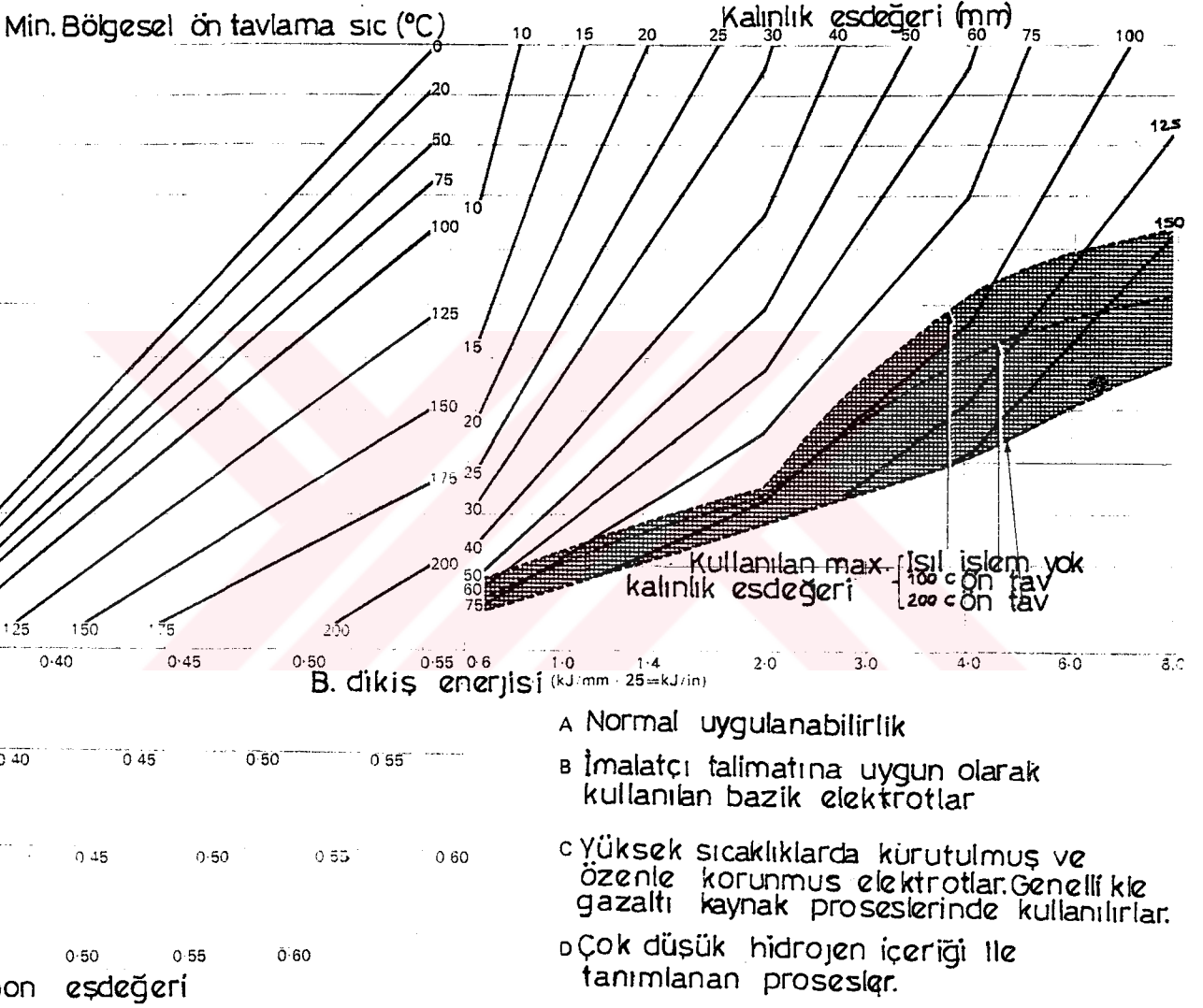
3. Regresyon analizi, çeşitli türden değişkenler için yapılmıştır: Yalnızca karbon için, yalnızca sertlik için, sertlik + fosfor ve sertlik + fosfor + nitrojen + oksijen; sonuncusu en iyi korelasyonu vermiştir. Yani,

$$\sigma_{f \text{ hesap}} = 1,37.H_V - 7470.(ağırlık \% P) - 2180 (ağırlık \% N) + 14700 (ağırlık \% O) + 1570 \quad (8)$$

Bu denklemden, üniformluk % 92'dir; denklemin uygulanabilirlik aralığı şudur : H_V : 635 - 850, P; % 0,001 - % 0,034, N; % 0,0006 - % 0,0140, O; % 0,001 - % 0,004 Burada, H_V 9,8 N Vickers sertliği anlamına gelir. Mikroyapı $\Delta t_{1073K - 773 K}$ ve yaklaşık 3,5 saniyelik soğutma koşulları altında martensit (ve kısmen muhafaza edilmiş östenit)'tir. Bu denkleme göre, fosfor ve nitrojenin etkisi zararlıdır, oksijenin etkisi olumludur. Bununla birlikte ticari çeliklerin muhteviyatını düşünürsek, en fazla etkili olan fosfordur. Nitrojen ve oksijenin etkisi ihmal edilebilir orandadır. Bu yüzden fosfor muhteviyatının azaltılması, çatlak hassasiyetinin ıslahı için çok yararlıdır.

5. KARBON EŞDEĞERİ-KALINLIK EŞDEĞERİ-BİRİM DİKİŞ ENERJİSİ'NE BAĞLI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Şekil 43'de karbon eşdeğeri-kalınlık eşdeğeri-birim dikış enerjisi ilişkisi görülmektedir. Karbon-mangan çeliğindeki hidrojen nedenli çatlakları önlemek için bu eğriler kullanılarak bazı uygulama örnekleri üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 43. Hidrojen nedenli çatlakları gidermek için üretimsel değişkenler ve bunların kombinasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren C-Mn çeliklerinin kaynak işlem diyagramı.

5.1. YAPI ÇELİĞİ St 37-2 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.1.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 mm ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karbon eşdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{es} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (9)$$

$$C_{es} = 0,17 + \frac{0,50}{6} = 0,17 + 0,083$$

$$C_{es} = 0,25$$

Bu uygulamada AWS A5.1 normunda E 6012 rutil elektrod kullanılmıştır. Kullanılan elektrod Ø 3,25 çapındadır ve işlem 2 pasoda gerçekleştirilmiştir, Tablo 9.

kalınlık (mm)	kaynak ağızı	elektrod çapları (mm)					paso sayısı
		2	2,5	3,25	4	5	
2	I	1					1
3	I		1				1
4	I			1			1
5	I				1		1
4	V			1			1
5	V				1		1
5/6	V			2			2
8	V			1	1		2
9/10	V			1	2		3
12	V			1	1	1	3
14/16	V			1	2	2	5
18/20	V			1	1	4	6
22	V			1	1	7	9
25	V			1	2	6	9

Tablo 9. Alın kaynağı uygulaması, malzeme kalınlığı, kaynak ağızı, elektrod çapı, paso sayısı.

ISO normu kaynak makinalarının ayar aksamı için akım şiddetine bağlı olmak üzere aşağıdaki formülü tavsiye eder:

$$U(\text{volt}) = 20 + 0,04 \cdot I \text{ (Amper)} \quad (10)$$

Tablo 10'da malzemelerin et kalınlıklarına göre uygulanması gereken kaynak akım şiddetleri görülmektedir.

e (mm)	Elektrod çapı, mm						
	1,6	2	2,5	3,25	4	5	6
	Kaynak akım şiddeti, A						
1	25	—	—	Kullanılmayan alan			
2	35	45	50				
3		60	70	80	Kullanılmayan alan		
4			85	95			
5			90	110	120	140	Kullanılmayan alan
6				120	135	140	
8				130	150	160	
10				130	160	190	
12				140	170	200	
15					180	210	
20					190	220	
25					200	230	
30					200	250	
50						250	
80						250	
100						250	

Tablo 10. Malzemelerin et kalınlığına göre kaynak akım şiddeti.

Bu tablo yatay kaynakta sac kalınlığına göre elektrod çapı ile ortalama akım şiddetini vermektedir.

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \varnothing$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \text{ (V)} \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset \quad I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = \eta \cdot \frac{I \cdot U \cdot 60}{V \cdot 1000} \quad (11)$$

$V = 15 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 9 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 0,9 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$V = 10 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 13,5 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 1,35 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Genel yapı çelikleri ticari kalitede, alaşımsız çeliklerdir. Bu çeliklerin en önemli özelliği, kullanımda, çekme dayanımı, akma sınırı, kimi zaman da darbe dayanımının gözönüne alınması, kimyasal bileşim de dahil, diğer özelliklerinin üzerinde durulmamasıdır.

Bu çelikler, genellikle yuvarlak, köşeli çubuklar, profiller, kütükler halinde piyasaya verilirler.

Seçilen malzemenin yapılan analizleri sonucu elde edilen sonuçlar yukarıdaki gibidir. Bu elde edilen sonuçlardan sonra bu tip bir çeliğin ön tavlamasız kaynak edilebileceği görülmektedir.

Ayrıca R.G.Baker'in (Şekil 43) birim dikiş enerjisi için elde etmiş bulunduğu tabloya bağlı kalarak ön tavlama gereksizliği tespit edilmiştir.

5.1.2. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM'LİK ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.1.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,25$ olarak bulunmuştu.

Bu uygulamada yine AWS A5.1 normunda E 6012 rutil elektrod kullanılmıştır. Malzemeler üç pasoda birleştirilmiştir. Her 3 pasodaki değerler Tablo 9 ve 10 yardımıyla bulunmuştur.

1. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 9 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,9 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{\text{ONTAV}}} = 132^{\circ}\text{C} \text{ bulunur. (Şekil 43)}$$

2. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 155 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 26 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 12 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{155 \cdot 26 \cdot 60}{12 \cdot 1000}$$

$$Q = 15,11 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,51 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 35^{\circ}\text{C} \text{ bulunur} \quad (\text{Şekil 43})$$

3. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 195 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 28 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{195 \cdot 28 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 24,57 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 2,45 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43)

Aynı malzemenin 12 mm. et kalınlığı için yapılan 2.analizinde $C_{es} = 0,25 < 0,45$ olduğundan ön tavlama Lloyd'un eşitliğine göre gereksiz olduğu görülmektedir. Fakat birim dikiş enerjisi eşitliği esas alındığında 1.paso için 132°C , 2.paso için 35°C lik bir ön tavlama gerektiği, 3.paso için ise ön tavlamaya gerek olmadığı görülmüştür.

Her iki tip analiz içinde kullanılan elektrod tipi AWS A 5.1 normunda E 6012 rutil elektroddur. Bu elektrodun seçilmesindeki etkili faktörler birleştirilecek malzemeye maksimum seviyede eş yapıda bulunması ve minimum maliyetli olmasıdır.

5.2. ISLAH ÇELİĞİ C 60 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.2.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karbon eşdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{es} = 0,65 + \frac{0,90}{6}$$

$$\underline{C_{es} = 0,80}$$

Ön tavlama sıcaklığı,

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 350. \sqrt{C_{es} - 0,25} \quad (12)$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 350. \sqrt{0,80 - 0,25}$$

$$\underline{T_{\text{ÖNTAV}} = 259^{\circ}\text{C}}$$

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı,

$$t_M = 550 - (350. \%C + 40. \%Mn + 35. \%V + 20. \%Cr + 17. \%Ni + 10. \%Cu + 10. \%Mo + 5. \%W + 15. \%Co) + \%Al \quad (13)$$

$$t_M = 550 - (350. 0,65 + 40. 0,90)$$

$$t_M = 236,5^{\circ}\text{C} \quad \underline{t_M \approx 237^{\circ}\text{C}}$$

Bu uygulamada AWS A 5,5 normunda E 8018 -G bazik elektrod kullanılmıştır. İşlem 2 pasoda gerçekleştirilmektedir.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 9 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 0,9 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \cong 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 13,5 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 1,35 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

İslah çelikleri, kimyasal bileşimleri, özellikle karbon oranları dolayısıyla, su verilerek sertleştirilmeye ve arkasından meneviş yapılarak, çekmeye fazla tesir yapmadan, akma sınırı ve darbe dayanımı yükseltilmeye yatkın olan çeliklerdir. Bu sınıf çelikler makina yapı çeliklerinin en önemli bölümünü oluştururlar.

Bu çeliğin yapılan analizlerin neticesinde kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığının 259°C olduğu tespit edilmiş olup, martenzitik dönüşüm sıcaklığı ise 237°C bulunmuştur.

Bu durumda fırında tavlama yapılacaksa yüksek emniyet için 237°C 'nin üzerinde tavlama gerçekleştirilebilir. Parçanın fırında veya çok iyi izolasyonlu soğutulması mümkün değilse, martenzitik dönüşüm sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta tavlama gereklidir (~ 235).

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında her iki pasoda da ön tavlama gerek olmadığı görülmüştür.

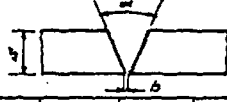
5.2.2. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.2.1.deki uygulamada $C_{eş} = 0,80$;

$T_{\text{ONTAV}} = 259^{\circ}\text{C}$; $t_M = 237^{\circ}\text{C}$ bulunmuştu.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG2 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler tek pasoda birleştirilmiştir.

MAG - kaynağında yatay konumdaki pozisyonlar için çalışma değerleri Tablo 11'de görülmektedir.

V - Dikiş ($\alpha = 45^\circ$, eğimsiz, altlık ile)										
										
6	0	1	1,0	9,8	12	24	235	31	198	3,2
10	1,5	1.	1,2	6,0	14	24	230	33	172	3,1
		2.	1,2	6,7	14	26	250	41	145	2,4
		3.	1,2	8,3	14	26	290	43	172	2,3
15	1,0	1.	1,2	9,2	15	25	235	30	270	3,3
		2.	1,2	11,4	15	28	285	50	200	2,0
		3.	1,2	11,4	15	28	285	50	200	2,0
		4.	1,2	11,4	15	28	285	40	254	2,5

Tablo 11. MAG -kaynağında yatay konumdaki pozisyonlar için çalışma değerleri.

Çalışma değerleri :

$S = 6 \text{ mm}$, $d = 1,0 \text{ mm } \emptyset$, $I = 235 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 31 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{235 \cdot 24 \cdot 60}{31 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,42 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,74 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 78^\circ\text{C} \quad \text{bulunur (Şekil 43).}$$

Bu bölümde bir evvelki uygulamaya alternatif olarak tek pasoda gazaltı (MAGM) yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır.

Bu çeliğin yapılan analizlerin neticesinde ön tavlama sıcaklığının 259°C olduğu tespit edilmiş olup, martenzitik dönüşüm sıcaklığı ise $\sim 237^\circ\text{C}$ dir.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.2.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında uygulanan tek paso kaynak için 78°C 'lik bir ön tavlama ihtiyacı görülmüştür.

5.2.3. GAZALTI (MAGM) VE MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.2.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,80$

$T_{ONTAV} = 259^{\circ}C$; $t_M = 237^{\circ}C$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG2 gazaltı kaynak teli ile AWS A5.5 normunda E 8018-G bazik elektrod kullanılmıştır. Malzemeler 3 pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

1.pasoda birleştirme gazaltı (MAGM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 230 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 33 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{ONTAV} = 152^{\circ}C \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

2. Paso :

2. pasoda birleştirme manuel ark kaynağı ile yapılmıştır.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$

$I = 170 \text{ A}$ (Tablo 10)

$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \text{ (V)}$ (TS 5893)

$$U \approx 27 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$V = 15 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{170 \cdot 27 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,77 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,37 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 62^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

3. Paso :

3. pasoda birleştirme yöntemi olarak yine manuel ark kaynağı kullanılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 225 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 29 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$V = 12 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{225 \cdot 29 \cdot 60}{12 \cdot 1000}$$

$$Q = 24,46 \text{ kJ/cm}; \quad Q = 2,44 \text{ kJ/mm} \text{ bulunur.}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Bu bölümde 1. pasoda MAGM, 2. ve 3. pasoda ise manuel ark kaynağı kullanılarak birleştirme işlemi yapılmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.2.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi dikkate alındığında ise 1. paso için 152°C , 2. paso için 62°C lik bir ön tavlama, 3.paso için ise ön tavlama gereklemediği görülmüştür.

5.2.4. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.2.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,80$;

$T_{\text{ONTAV}} = 259^{\circ}\text{C}$; $t_M = 237^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG 2 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler 3.pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 230 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 33 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}$; $Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$ bulunur.

$T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C}$ bulunur (Şekil 43)

2. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 250 \text{ A}$,

$U = 26 \text{ V}$, $V = 41 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{250 \cdot 26 \cdot 60}{41 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,46 \text{ kJ/cm} ; \quad Q = 0,64 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{\text{ONTAV}} = 163^{\circ}\text{C}} \quad \text{bulunur (Şekil 43).}$$

3. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 290 \text{ A}$,

$U = 26 \text{ volt}$, $V = 43 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{290 \cdot 26 \cdot 60}{43 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,15 \text{ kJ/cm} ; \quad Q = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{\text{ONTAV}} = 153^{\circ}\text{C}} \quad \text{bulunur (Şekil 43)}$$

Bu bölümde 3. pasoda da gazaltı (MAGM) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları

5.2.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1. paso için 152°C , 2.paso için 163°C , 3.paso için ise 153°C 'lik bir ön tavlamaya gerek olduğu görülmüştür.

5.3. ISLAH ÇELİĞİ 34 Cr4 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.3.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM'LİK ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karbon eşdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{es} = 0,37 + \frac{0,90}{6} + \frac{1,2}{5}$$

$$\underline{C_{es} = 0,76}$$

Ön tavlama sıcaklığı

$$T_{ONTAV} = 350. \sqrt{0,76 - 0,25}$$

$$T_{ONTAV} = 248,5^{\circ}\text{C} \quad \underline{T_{ONTAV} \approx 250^{\circ}\text{C}}$$

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı,

$$t_M = 550 - (350.0,37 + 40.0,90 + 20.1,2)$$

$$t_M = 360,5^{\circ}\text{C} \quad \underline{t_M \approx 360^{\circ}\text{C}}$$

Bu uygulamada AWS A 5.1 normunda E 7018-1 bazik elektrod kullanılmıştır. İşlem 2.pasoda gerçekleştirilmektedir.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04.I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 9 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,9 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlama gerek yoktur (Şekil 43)

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \approx 25 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,5 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,35 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlama gerek yoktur (Şekil 43)

Seçilen malzemenin yapılan analizleri sonucu bulunan değerler yukarıdaki gibidir.

Bu çeliğin analizleri sonucunda kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığının 250°C olduğu tespit edilmiş olup, martenzitik dönüşüm sıcaklığı ile 360°C 'dir.

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı, ön tavlama sıcaklığından oldukça yüksek olduğundan, martenzitik dönüşüm problemi olmaksızın parça anılan ön tavlama sıcaklığı uygulanarak sorunsuz olarak birleştirilebilir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında her iki pasoda da ön tavlama gerek olmadığı görülmüştür.

5.3.2. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 6 MM'LİK ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.3.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,76$;

$T_{ÖNTAV} = 250^{\circ}\text{C}$; $t_M = 360^{\circ}\text{C}$ bulunmuştu.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG3 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler tek pasoda birleştirilmiştir. Çalışma değerleri Tablo 11'de görülmektedir.

Çalışma değerleri :

$S = 6 \text{ mm}$, $d = 1,0 \text{ mm } \emptyset$, $I = 235 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 31 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{235 \cdot 24 \cdot 60}{31 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,42 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,74 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ÖNTAV} = 78^{\circ}\text{C}} \quad \text{bulunur (Şekil 43)}$$

Bu bölümde bir evvelki uygulamaya alternatif olarak tek pasoda gazaltı (MAGM) yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.3.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında uygulanan tek paso kaynak için $T_{ÖNTAV} = 78^{\circ}\text{C}$ 'lik bir ön tavlama ihtiyacı görülmüştür.

5.3.3. GAZALTI (MAGM) VE MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.3.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,76$;

$T_{ONTAV} = 250^{\circ}\text{C}$; $t_M = 360^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG3 gazaltı kaynak teli ile AWS A 5.1 normunda E 7018-1 bazik elektrod kullanılmıştır. Malzeme 3 pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

1. pasoda birleştirme gazaltı (MAGM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 230 \text{ A},$$

$$U = 24 \text{ V}, \quad V = 33 \text{ cm/dak} \text{ kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{ONTAV} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

2. Paso :

2. pasoda birleştirme manuel ark kaynağı ile yapılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 150 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 26 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$V = 15 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{150 \cdot 26 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 11,7 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,17 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 105^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

3. Paso :

3. pasoda birleştirme yöntemi olarak yine manuel ark kaynağı kullanılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 210 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 28 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$V = 10 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{210 \cdot 28 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 26,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 2,64 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlama gerek yoktur (Şekil 43).

Bu bölümde 1. pasoda MAGM, 2. ve 3. pasoda ise manuel ark kaynağı kullanılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.3.1'de belirtilmiştir gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında ise 1. paso için 152°C , 2. paso için 105°C 'lik bir ön tavlama, 3.paso için ise ön tavlama gerek olmadığı görülmüştür.

5.3.4. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.3.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,76$;

$T_{\text{ONTAV}} = 250^{\circ}\text{C}$; $t_M = 360^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG3 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler 3.pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 230 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 33 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

2. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre;

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 250 \text{ A}$

$U = 26 \text{ V}$, $V = 41 \text{ cm/dak}$ kabulü ile

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{250 \cdot 26 \cdot 60}{41 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,64 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 163^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

3. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 290 \text{ A},$$

$$U = 26 \text{ V}, \quad V = 43 \text{ cm/dak kabulü ile},$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{290 \cdot 26 \cdot 60}{43 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,15 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{\text{ÖNTAV}}} = 153^{\circ}\text{C bulunur (Şekil 43)}$$

Bu bölümde 3.pasoda da gazaltı (MAGM) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama için uygulama şartları 5.3.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1.paso için 152°C , 2.paso için 163°C , 3.paso için ise 153°C 'lik bir ön tavlamaya gerek olduğu görülmüştür.

5.4. ISLAH ÇELİĞİ 34 Cr Mo 4 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.4.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karbonesdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{\text{es}} = 0,37 + \frac{0,80}{6} + \frac{1,2 + 0,30}{5}$$

$$\underline{C_{\text{es}}} = 0,80$$

Ön tavlama sıcaklığı,

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 350. \sqrt{0,80 - 0,25}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 259^{\circ}\text{C}, \quad \underline{T_{\text{ÖNTAV}} \approx 260^{\circ}\text{C}}$$

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı,

$$t_M = 550 - (350.0,37 + 40.0,80 + 20.1,2 + 10.0,3)$$

$$t_M = 361,5^{\circ}\text{C} \quad \underline{t_M \approx 360^{\circ}\text{C}}$$

Bu uygulamada AWS A 5.5 normunda E 9018-G bazik elektrod kullanılmıştır. İşlem 2 pasoda gerçekleştirilmektedir.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04.I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75. \frac{120.25.60}{15.1000}$$

$$\underline{Q = 9 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 0,9 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$V = 10 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,5 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,35 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Seçilen malzemenin yapılan analizleri sonucu bulunan değerler yukarıdaki gibidir.

Bu çeliğin yapılan analizleri sonucunda parça kalınlığına bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığı 260°C , martenzitik dönüşüm sıcaklığı ise 360°C bulunmuştur.

Bu malzemenin martenzitik dönüşüm sıcaklığı 34 Cr 4 ıslah çeliğinde olduğu gibi ön tavlama sıcaklığından oldukça yüksek çıkmıştır. Buradan, martenzitik dönüşüm problemi olmaksızın parça anılan ön tavlama sıcaklığı uygulanarak sorunsuz olarak birleştirilebilir sonucuna varılmaktadır.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında her iki pasoda da ön tavlamaya gerek olmadığı görülmüştür.

5.4.2. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.4.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,80$;

$T_{ONTAV} = 260^{\circ}\text{C}$, $t_M = 360^{\circ}\text{C}$ bulunmuştu.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG Mo gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler tek pasoda birleştirilmiştir. Çalışma değerleri Tablo 11'de görülmektedir.

Çalışma değerleri :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 1,0 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 235 \text{ A}$$

$$U = 24 \text{ V}, \quad V = 31 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68. \frac{235.24.60}{31.1000}$$

$$Q = 7,42 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,74 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 78^{\circ}\text{C} \quad \text{bulunur (Şekil 43).}$$

Bu bölümde tek pasoda gazaltı (MAGM) yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.4.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi kullanıldığında ise 78°C 'lik bir ön tavlamaya gerek görülmüştür.

5.4.3. GAZALTI (MAGM) VE MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

$$5.4.1\text{'deki uygulamada } C_{\text{eş}} = 0,80 ;$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 260^{\circ}\text{C} ; \quad t_{\text{M}} = 360^{\circ}\text{C} \quad \text{bulunmuştur.}$$

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG Mo gazaltı kaynak teli ile AWS A 5.5 normunda E9018-G bazik elektrod kullanılmıştır. Malzemeler 3 pasoda birleştirilmiştir.

1.Paso :

1.pasoda birleştirme gazaltı (MAGM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 230 \text{ A},$$

$$U = 24 \text{ V}, \quad V = 33 \text{ cm/dak kabulü ile},$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43).}$$

2. Paso :

2.pasoda birleştirme manuel ark kaynağı ile yapılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 150 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 26 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile},$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{150 \cdot 26 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 11,7 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,17 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 104^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

3. Paso :

3.pasoda birleştirme yöntemi olarak yine manuel ark kaynağı kullanılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 210 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 28 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{210 \cdot 28 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 26,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 2,64 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Bu bölümde 1.pasoda MAGM, 2. ve 3. pasoda manuel ark kaynağı ile birleştirme işlemi yapılmıştır.

Kalınlığına bağlı olmaksızın ön tavlama için uygulama şartları 5.4.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1.paso için 152°C , 2.paso için 104°C 'lik bir ön tavlama, 3.paso için ise ön tavlamaya gerek olmadığı görülmüştür.

5.4.4. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.4.1'deki uygulamada $C_{eş} = 0,80$;

$T_{\text{ONTAV}} = 260^{\circ}\text{C}$; $t_M = 360^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG Mo gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler 3 pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 230 \text{ A}$$

$$U = 24 \text{ V}, \quad V = 33 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

2. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 250 \text{ A}$$

$$U = 26 \text{ V}, \quad V = 41 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{250 \cdot 26 \cdot 60}{41 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,64 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 163^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43).}$$

3. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 290 \text{ A},$$

$$U = 26 \text{ V}, \quad V = 43 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{290 \cdot 26 \cdot 60}{43 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,15 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 153^{\circ}\text{C} \quad \text{bulunur (Şekil 43).}$$

Bu bölümde 3.pasoda da gazaltı (MAGM) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama için uygulama şartları 5.4.1'de belirtilmiştir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1.paso için 152°C , 2.paso için 163°C , 3.paso için ise 153°C 'lik bir ön tavlamaya gerek olduğu yapılan hesaplamalar sonucu görülmüştür.

5.5. ISLAH ÇELİĞİ 34 Cr Ni Mo6 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.5.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karbonesdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{\text{eş}} = 0,38 + \frac{0,70}{6} + \frac{1,7 + 0,30}{5} + \frac{1,7}{15}$$

$$C_{\text{eş}} = 1,009$$

Ön tavlama sıcaklığı,

$$T_{\text{ONTAV}} = 350 \cdot \sqrt{1,009 - 0,25}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 304,5^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{ONTAV}} \approx 305^{\circ}\text{C}$$

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı,

$$t_M = 550 - (350 \cdot 0,38 + 40 \cdot 0,70 + 20 \cdot 1,7 + 17 \cdot 1,7 + 10 \cdot 0,30)$$

$$t_M = 323,1^{\circ}\text{C} \quad t_M \approx 323^{\circ}\text{C}$$

Bu uygulamada AWS A 5.5 normunda E10018-G bazik elektrod kullanılmıştır. Birleştirme 2 pasoda gerçekleştirilmektedir.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 9 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,9 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (şekil 43)

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,5 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,35 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (şekil 43)

Seçilen malzemenin yapılan analizleri sonucu bulunan değerler yukarıdaki gibidir.

Analiz sonucunda bu çeliğin kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığı 305°C ve martenzitik dönüşüm sıcaklığı ise 323°C bulunmuştur.

Bu malzemenin, görüldüğü gibi ön tavlama sıcaklığı ile martenzitik dönüşüm sıcaklığı arasındaki fark azdır. Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığı 305°C alınmaktadır. Tavlamanın 320°C civarında yapılması halinde martenzitik yapının oluşmaması için kontrollü soğutma yapılmalıdır.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında her iki pasoda da ön tavlama gerek olmadığı görülmüştür.

5.5.2. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.5.1'deki uygulamada $C_{eş} = 1,009$;

$T_{ONTAV} = 305^{\circ}\text{C}$; $t_M = 323^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SGMo gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Malzemeler tek pasoda birleştirilmiştir.

Çalışma değerleri Tablo 11'de görülmektedir.

Çalışma değerleri :

$S = 6 \text{ mm}$, $d = 1,0 \text{ mm}\emptyset$, $I = 235 \text{ A}$

$U = 24 \text{ V}$, $V = 31 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$Q = 0,68 \cdot \frac{235 \cdot 24 \cdot 60}{31 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,42 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,74 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ONTAV} = 78^{\circ}\text{C}} \text{ bulunur} \quad (\text{Şekil 43})$$

Bu bölümde tek pasoda gazaltı (MAGM) yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama şartları 5.5.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında uygulanan tek paso kaynak için $T_{\text{ONTAV}} = 78^{\circ}\text{C}$ 'lik bir ön tavlamaya ihtiyaç görülmüştür.

5.5.3. GAZALTI (MAGM) VE MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.5.1'deki uygulamada $C_{\text{eş}} = 1,009$; $T_{\text{ONTAV}} = 305^{\circ}\text{C}$; $t_M = 323^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG Mo gazaltı kaynak teli ile AWS A 5.5 normunda E10018-G bazik elektrod kullanılmıştır. 3 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso :

1.pasoda birleştirme gazaltı (MAGM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 230 \text{ A}$$

$$U = 24 \text{ V}, \quad V = 33 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68. \frac{230.24.60}{33.1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}}$$

2. Paso :

2.Pasoda birleştirme manuel ark kaynağı ile yapılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 170 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad . \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 27 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{170 \cdot 27 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,77 \text{ kJ/cm,} \quad Q = 1,37 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 66^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

3. Paso :

3.pasoda birleştirme yöntemi olarak yine manuel ark kaynağı kullanılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm,} \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 200 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (V) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 28 \text{ V } \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{200 \cdot 28 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 25,2 \text{ kJ/cm,} \quad Q = 2,52 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Bu bölümde 1.pasoda MAGM, 2. ve 3. pasoda ise manuel ark kaynağı ile birleştirme işlemi yapılmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.5.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında ise 1.Paso için 152°C , 2.Paso için 66°C 'lik bir ön tavlama, 3.paso için ise ön tavlamaya gerek olmadığı görülmüştür.

5.5.4. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.5.1'deki uygulamada $C_{eş} = 1,009$;

$T_{ONTAV} = 305^{\circ}\text{C}$, $t_M = 323^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG Mo gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. 3 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso :

Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 230 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 33 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68. \frac{230.24.60}{33.1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ONTAV} = 152^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}}$$

2. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 250 \text{ A}$,

$U = 26 \text{ Volt}$, $V = 41 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68. \frac{250.26.60}{41.1000}$$

$$Q = 6,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,64 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ONTAV} = 163^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}}$$

3. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 290 \text{ A}$$

$$U = 26 \text{ V}, \quad V = 43 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{290 \cdot 26 \cdot 60}{43 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,15 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 153^{\circ}\text{C} \quad \text{bulunur} \quad (\text{Şekil 43}).$$

Burada, bir evvelki uygulamaya alternatif olarak 3 pasoda da gazaltı (MAGM) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama için uygulama şartları 5.5.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1.paso için 152°C , 2.paso için 163°C , 3.paso için 153°C 'lik bir ön tavlama gerek olduğu görülmüştür.

5.6. NİTRÜR ÇELİĞİ 39 CrMo V 139 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.6.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Lloyd'un karboneşdeğeri eşitliğine göre,

$$C_{\text{eş}} = 0,42 + \frac{0,70}{6} + \frac{3,5 + 1,1 + 0,25}{5}$$

$$C_{\text{eş}} = 1,506$$

Ön tavlama sıcaklığı,

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 350. \sqrt{1,506 - 0,25}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 392^{\circ}\text{C}, \quad \underline{T_{\text{ÖNTAV}} \approx 390^{\circ}\text{C}}$$

Martenzitik dönüşüm sıcaklığı,

$$t_M = 550 - (350.0,42 + 40.0,70 + 35.0,25 + 20.3,5 + 10.1,1)$$

$$t_M = 285,2^{\circ}\text{C}, \quad \underline{t_M \approx 285^{\circ}\text{C}}$$

Bu uygulamada AWS A 5.5 normunda E 9018-B3 ısıcağa dayanıklı elektrod kullanılmıştır. 2 pasoda birleştirme yapılmıştır.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$E = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 25 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 15 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$D = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 9 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 0,9 \text{ kJ/mm}}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

2.Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 120 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \approx 25 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$V = 10 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

$$Q = 0,75 \cdot \frac{120 \cdot 25 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 13,5 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,35 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlamaya gerek yoktur (Şekil 43).

Nitrür çelikleri bileşimlerinde, azot ile uygun şekil ve büyüklükte nitrür oluşturacak elementler bulunan çelik türleridir. Bu çeliklerden yapılan parçalara, son şekil verildikten, su verme ve meneviş işlemleri uygulandıktan sonra, azot veren bir ortamda nitrürlendirme işlemi uygulanırsa, nüfuz eden azot dolayısıyla oluşan nitrür tabakası, ek bir su verme işlemine gerek duyulmadan, çok sert, aşınmaya dayanıklı, paslanmayı azaltan bir yüzey oluşturur. Bu çelikler, makina yapı çeliklerinden, ıslah çeliklerinin bir bölümünü oluştururlar.

Bu çeliğin yapılan analizlerin neticesinde kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama sıcaklığının 390°C olduğu tespit edilmiş olup, martenzitik dönüşüm sıcaklığı ise 285°C bulunmuştur.

Bu şartlar altında fırında tavlama yapılacaksa yüksek emniyet için 285°C nin üzerinde tavlama yapılabilir. Malzemenin fırında veya iyi bir şekilde izole edilmiş ortamda soğutulması mümkün değilse, 285°C 'nin biraz altında bir sıcaklıkta tavlama gerekebilir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında her iki pasoda da ön tavlamaya gerek olmadığı görülmüştür.

5.6.2. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.6.1'deki uygulamada $C_{eş} = 1,506$;

$T_{ONTAV} = 390^{\circ}\text{C}$; $t_M = 285^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG CrMo 1 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Tek pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır. Çalışma değerleri Tablo 11'de görülmektedir.

Çalışma değerleri ;

$S = 6 \text{ mm}$, $d = 1,0 \text{ mm } \emptyset$, $I = 235 \text{ A}$,

$U = 24 \text{ V}$, $V = 31 \text{ cm/dak}$ kabulü ile

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{235 \cdot 24 \cdot 60}{31 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,42 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,74 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ONTAV} = 78^{\circ}\text{C} \text{ bulunur} \quad (\text{Şekil 43})}$$

Bu bölümde tek pasoda gazaltı (MAGM) yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır.

Ön tavlama için kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları

5.6.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi eşitliği kullanıldığında uygulanan tek paso kaynak için $T_{ONTAV} = 78^{\circ}\text{C}$ 'lik bir ön tavlama ihtiyacı görülmüştür.

5.6.3. GAZALTI (MAGM) VE MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.6.1'deki uygulamada $C_{eş} = 1,506$;

$T_{ONTAV} = 390^{\circ}\text{C}$; $t_M = 285^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG CrMo 1 gazaltı kaynak teli ile AWS A 5.5 normunda E9018-B3 sıcağa dayanıklı elektrod kullanılmıştır. Parçalar 3 pasoda birleştirilmiştir.

1. Paso :

1.pasoda birleştirme gazaltı (MAGM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 230 \text{ A}, \\ U = 24 \text{ V}, \quad V = 33 \text{ cm/dak kabulü ile},$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$$\underline{T_{ONTAV} = 152^{\circ}\text{C}} \text{ bulunur (Şekil 43).}$$

2. Paso :

2. pasoda birleştirme manuel ark kaynağı ile yapılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 160 \text{ A}, \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 26 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile},$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{160 \cdot 26 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 12,48 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,24 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ÖNTAV}} = 87^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43).}$$

3. Paso :

3.pasoda birleştirme yöntemi olarak yine manuel ark kaynağı kullanılmıştır.

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 210 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 28 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{210 \cdot 28 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 26,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 2,64 \text{ kJ/mm}$$

Ön tavlama gerek yoktur (Şekil 43).

Bu bölümde 1.pasoda MAGM, 2. ve 3.pasoda ise manuel ark kaynağı kullanılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kalınlığa bağlı olmaksızın ön tavlama için uygulama şartları 5.6.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında ise 1.paso için 152°C , 2. paso için 87°C 'lik bir ön tavlama, 3.paso için ise ön tavlama gerek olmadığı görülmüştür.

5.6.4. GAZALTI (MAGM) KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

5.6.1'deki uygulamada $C_{eş} = 1,506$;

$T_{\text{ONTAV}} = 390^{\circ}\text{C}$; $t_M = 285^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

Bu uygulamada AWS A 5.18 normunda SG CrMo 1 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. 3 pasoda birleştirme gerçekleştirilmiştir.

1. Paso :

Tablo 11'de çalışma değerleri görülmektedir.

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 230 \text{ A}$

$U = 24 \text{ V}$, $V = 33 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 24 \cdot 60}{33 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,82 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,68 \text{ kJ/mm}$$

$T_{\text{ONTAV}} = 152^{\circ}\text{C}$ bulunur (Şekil 43)

2. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$S = 12 \text{ mm}$, $d = 1,2 \text{ mm } \emptyset$, $I = 250 \text{ A}$

$U = 26 \text{ V}$, $V = 41 \text{ cm/dak}$ kabulü ile,

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68 \cdot \frac{250 \cdot 26 \cdot 60}{41 \cdot 1000}$$

$$Q = 6,46 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,64 \text{ kJ/mm}$$

$T_{\text{ONTAV}} = 163^{\circ}\text{C}$ bulunur (Şekil 43)

3. Paso :

Tablo 11'deki çalışma değerlerine göre,

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 1,2 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 290 \text{ A},$$

$$U = 26 \text{ V}, \quad V = 43 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$Q = 0,68. \frac{290.26.60}{43.1000}$$

$$Q = 7,15 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

$$T_{\text{ONTAV}} = 153^{\circ}\text{C} \text{ bulunur (Şekil 43)}$$

Bu bölümde 3 pasoda da gazaltı (MAGM) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır.

Kalınlığa bağlı olmaksızın uygulama şartları 5.6.1'de belirtildiği gibidir.

Birim dikiş enerjisi gözönüne alındığında 1.paso için 152°C , 2.paso için 163°C , 3.paso için ise 153°C 'lik bir ön tavlama gerektirdiği görülmüştür.

5.7. FERRİTİK ÇELİK X6 CrAl 13 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.7.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikeleşdeğeri;

$$Ni_{\text{eş}} = \%Ni + 30.\% C + 0,5.\% Mn + 30.\% N \quad \text{eşitliğinden,} \quad (14)$$

$$Ni_{\text{eş}} = 0,5 + 30.0,08 + 0,5.1$$

$$Ni_{\text{eş}} = 3,4$$

Malzemenin kromesdeğeri;

$$Cr_{\text{eş}} = \%Cr + \% Mo + 1,5.\% Si + 0,5.\% Nb + 2.\% Ti \quad \text{eşitliğinden} \quad (15)$$

$$Cr_{eş} = 14 + 1,5.1$$

$$\underline{Cr_{eş} = 15,5}$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun nikeleşdeğeri,

$$Ni_{eş} = 1,4 + 30.0,03 + 0,5. 0,5$$

$$\underline{Ni_{eş} = 2,55}$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun kromleşdeğeri,

$$Cr_{eş} = 12,2 + 1,5 . 0,4$$

$$\underline{Cr_{eş} = 12,8}$$

Bu uygulamada AWS A 5.4 normunda E 410-15 paslanmaz çelik elektrod kullanılmıştır. 2 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04.I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 24 \text{ V } \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75. \frac{110.24.60}{15.1000}$$

$$\underline{Q = 7,92 \text{ kJ/cm},} \quad \underline{Q = 0,79 \text{ kJ/mm}}$$

2. Paso :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \cong 24 \text{ V } \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{110 \cdot 24 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 11,88 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,18 \text{ kJ/mm}$$

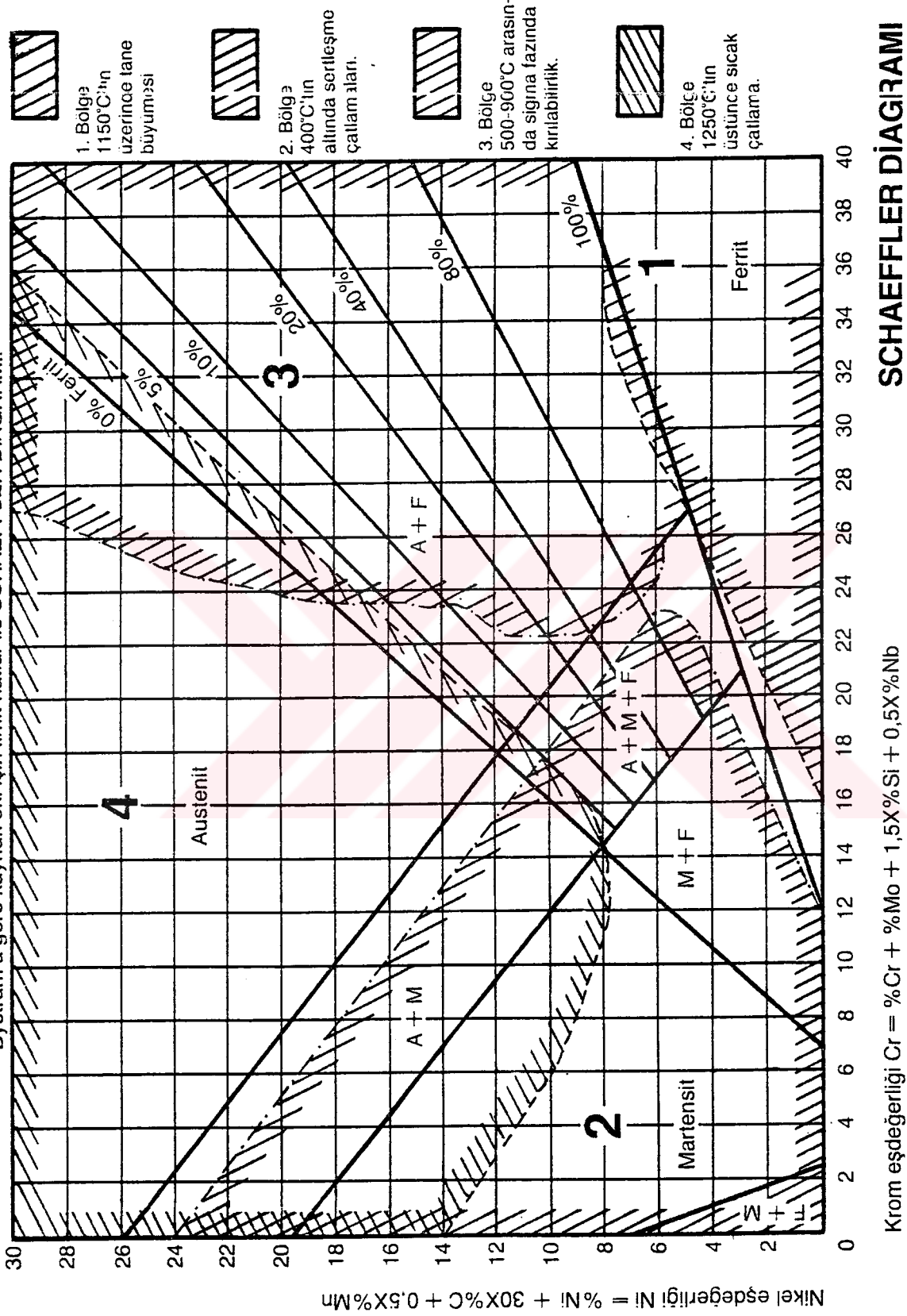
Paslanmaz çelikler, kimyasal etkilere (korozyon ve oksidasyon) karşı yüksek dayanım gösteren çelik türleri olup, genellikle en az % 12 krom içerirler. Artan krom miktarına bağlı olarak oksidasyon dirençleri artmaktadır. Çeliğin içeriğinde yalnız yüksek miktarda nikel bulunması paslanmayı önlerse de, krom ile birlikte bulunması özellikle asidik ortamlarda yüksek bir korozyon direnci sağlar. Paslanmaz çeliklerin bileşiminde krom, nikel ile birlikte mangan, molibden, bakır ve diğer alaşım elemanları da yer alabilir.

Paslanmaz çeliklerin kullanım yerleri çok çeşitlidir. Su ve buharın, gıda sanayii ürün ve yan ürünlerinin, organik asitlerin, tekstil, boya, sülfirik asitin, nitrik, fosforik ve diğer asitlerin, eczacılık, otomotiv sanayinde, tıbbi cihazlar, mutfak malzemeleri, kesici aletler ve daha pek çok parça cihaz ve aletin imalinde kullanılırlar.

X 6Cr Al 13 ferritik çeliğin kaynağı için elde edilen değerler yukarıda görülmektedir. Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin Martenzitik + Ferritik özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Schaeffler diyagramında 2.bölgeye tekabül eden bu alanda 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda sertleşmenin neden olduğu çatlama oluşumu eğilimi yüksektir (Şekil 44).

Bazı ferritik paslanmaz çelikler tane sınırlarında martenzit oluşumuna eğilimlidirler. Bu çeliklere uygulanan ön tavlama ısı etkili bölgede (HAZ) çatlama tehlikesini ortadan kaldırır ve kaynaktan doğan gerilmeleri sınırlar. Öntav sıcaklığı 150-250°C arasında uygulanır. Kaynak işleminden sonra 750-850°C'lik bir tavlamaı takiben hızlı bir soğutma, bu çelikler ısı etkili bölgenin sünekliğinin ve tanelerarası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur.

Bystram'a göre kaynak eki için limit hatlar ile SCHAEFFLER DIAGRAMI.



5.7.2. TOZALTI KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromleşdeğerleri,

$$\underline{Ni_{eş} = 3,4}$$

$$\underline{Cr_{eş} = 15,5}$$

Seçilen ilave malzemenin nikelleşdeğeri,

$$Ni_{eş} = 10 + 30.0,03$$

$$\underline{Ni_{eş} = 10,9}$$

Seçilen ilave malzemenin kromleşdeğeri,

$$Cr_{eş} = 18 + 2,5$$

$$\underline{Cr_{eş} = 20,5}$$

Bu uygulamada 316 L normunda OE-1912 3L ilave malzeme, kaynak tozu olarak da, aglomere edilmiş bazik-florür tipi düşük karbonlu bir toz kullanılmıştır. Tek pasoda birleştirme yapılmıştır.

Çalışma değerleri :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset \quad I = 600 \text{ A}$$

$$V = 30 \text{ V} \quad \text{kabulü ile,}$$

Isı mabının gücü eşitliğinden,

$$q = 0,24 \cdot \eta \cdot U \cdot I \quad (\text{cal/s}) \quad (16)$$

$$q = 0,24 \cdot 0,95 \cdot 30 \cdot 600$$

$$\underline{q = 4104 \text{ cal/s}}$$

Bu bölümde bir evvelki uygulamaya alternatif olarak tek pasoda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görölmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyag-

ramı yardımıyla kaynak dikişinin Martenzitik + Ferritik özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

Bu uygulamada bakır altlık kullanılarak kaynak işleminin gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Bakır altlığın açılmış bulunan kanalına ince bir tabaka kaynak tozu serilmiş ve böylece kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun bakırla teması önlenmiş olmaktadır.

5.7.1'de belirtilen metalurjik sonuçlar bu bölüm için de söylenebilmektedir.

5.7.3. TOZALTI KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\frac{Ni_{eş}}{eş} = 3,4$$

$$\frac{Cr_{eş}}{eş} = 15,5$$

ilave malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\frac{Ni_{eş}}{eş} = 10,9$$

$$\frac{Cr_{eş}}{eş} = 20,5$$

Bu uygulamada 316 L normunda OE-19 123 L ilave malzeme, kaynak tozu olarak da aglomere edilmiş bazik-florür tipi düşük hidrojenli bir toz kullanılmıştır. Tek pasoda birleştirme yapılmıştır.

Çalışma değerleri:

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 800 \text{ A}$$

$$V = 35 \text{ V} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$q = 0,24. \eta. U.I$$

$$q = 0,24.0,95.35.800$$

$$\underline{q = 6384 \text{ cal/s}}$$

Bu bölümde yine tek pasoda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin Martenzitik + Ferritik özelliği sahip olduğu görülmektedir. Bu uygulamada yine bakır altlık kullanılması uygun görülmüştür.

5.7.1'de elde edilen metalurjik sonuçlar bu bölümde de geçerli olmaktadır.

5.7.4. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\underline{Ni_{eş} = 3,4}$$

$$\underline{Cr_{eş} = 15,5}$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun nikel ve kromesdeğerleri,

$$\underline{Ni_{eş} = 2,55}$$

$$\underline{Cr_{eş} = 12,8}$$

Bu uygulamada AWS A 5.4 normunda E 410-15 paslanmaz çelik elektrod kullanılmıştır. 3 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (V) \quad (TS 5893)$$

$$U \approx 24 \text{ V} + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 15 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75. \frac{110.24.60}{15.1000}$$

$$Q = 7,92 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,79 \text{ kJ/mm}$$

2. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 140 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$V = 20 + 0,04.I_k \quad (V) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 25 V + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 12 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75. \frac{140.25.60}{12.1000}$$

$$Q = 13,12 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,31 \text{ kJ/mm}$$

3. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 170 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04.I_k \quad (V) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \cong 27 V + 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75. \frac{170.27.60}{10.1000}$$

$$Q = 20,65 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 2,06 \text{ kJ/mm}$$

Bu bölümde 3 pasoda manuel ark kaynağı ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin Martenzitik + Ferritik özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

5.7.1'de elde edilen metalurjik sonuçlar bu bölümde de geçerli olmaktadır.

5.8. ÖSTENİTİK ÇELİK X2 CrNi Mo N 18 13 İÇİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

5.8.1. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikeleşdeğeri,

$$Ni_{eş} = 14,5 + 30.0,03 + 0,5.1 + 30.0,22$$

$$Ni_{eş} = 23$$

Malzemenin kromleşdeğeri,

$$Cr_{eş} = 18,5 + 3 + 1,5.1$$

$$Cr_{eş} = 23$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun nikeleşdeğeri,

$$Ni_{eş} = 12 + 30.0,02 + 0,5.0,7$$

$$Ni_{eş} = 12 + 0,6 + 0,35$$

$$Ni_{eş} = 12,95$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun kromleşdeğeri,

$$Cr_{eş} = 19 + 2,7 + 1,5.0,7$$

$$Cr_{eş} = 19 + 2,7 + 1,05$$

$$Cr_{eş} = 22,75$$

Bu uygulamada AWS A 5.4 normunda E 316 L-16 paslanmaz çelik elektrod kullanılmıştır. 2 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso:

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 24 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 15 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{110 \cdot 24 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$Q = 7,92 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 0,79 \text{ kJ/mm}$$

2. Paso:

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U \approx 24 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 10 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{110 \cdot 24 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$Q = 11,88 \text{ kJ/cm}, \quad Q = 1,18 \text{ kJ/mm}$$

X2 CrNi MoN 1813 östenitik çeliğin kaynağı için elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin östenitik özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Schaeffler diyagramında 4.bölgeye tekabül eden bu alanda, 1250°C'nin üstünde sıcak çatlama oluşumu eğilimi yüksektir.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında, 450-850°C sıcaklık aralığında uzun süre kalma sebebiyle krom karbür çökmesi meydana gelebilmektedir. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşır hızla soğduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Buna karşın ısı etkili bölge, kaynak süresi boyunca 500-900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde östenit tane sınırlarında tanelerarası korozyona neden olacak karbür çökmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Bu bakımdan, kaynak ile birleştirilmesi gereken östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin en çok % 0,06, optimum % 0,03 civarında olması gerekmektedir.

5.8.2. TOZALTI KAYNAĞI İLE 6 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromleşdeğerleri

$$\underline{Ni_{eş} = 23}$$

$$\underline{Cr_{eş} = 23}$$

Seçilen ilave malzemenin nikelleşdeğeri,

$$Ni_{eş} = 10 + 30 \cdot 0,03$$

$$\underline{Ni_{eş} = 10,9}$$

Seçilen ilave malzemenin kromleşdeğeri,

$$Cr_{eş} = 18 + 2,5$$

$$\underline{Cr_{eş} = 20,5}$$

Bu uygulamada 316 L normunda OE-1912 3L ilave malzeme, kaynak tozu olarak da, aglomere edilmiş bazik-florür tipi düşük karbonlu bir toz kullanılmıştır. Tek pasoda birleştirme yapılmıştır.

Çalışma değerleri :

$$S = 6 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 600 \text{ A}$$

$$U = 30 \text{ V} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$q = 0,24 \cdot n \cdot U \cdot I$$

$$q = 0,24 \cdot 0,95 \cdot 30 \cdot 600$$

$$q = 4104 \text{ cal/s}$$

Bu bölümde tek pasoda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin östenitik özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

Bu uygulamada bakır altlık kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bakır altlığın açılmış bulunan kanalına ince bir tabaka kaynak tozu serilmiş ve böylece kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun bakırla teması önlenmiş olmaktadır.

5.8.1'de belirtilen metalurjik sonuçlar bu bölüm için de söylenebilmektedir.

5.8.3. TOZALTI KAYNAĞI İLE 12 MM ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\underline{Ni_{es} = 23}$$

$$\underline{Cr_{es} = 23}$$

ilave malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\frac{Ni_{eş}}{eş} = 10,9$$

$$\frac{Cr_{eş}}{eş} = 20,5$$

Bu uygulamada 316 L normunda OE-1912 3L ilave malzeme, kaynak tozu olarak da, aglomere edilmiş bazik-florür tipi düşük hidrojenli bir toz kullanılmıştır. Tek pasoda birleştirme yapılmıştır.

Çalışma değerleri :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset, \quad I = 800 \text{ A}$$

$$U = 35 \text{ V} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$q = 0,24 \cdot \eta \cdot U \cdot I$$

$$q = 0,24 \cdot 0,95 \cdot 35 \cdot 800$$

$$\underline{q = 6384 \text{ cal/s}}$$

Bu bölümde yine tek pasoda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin östenitik özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu uygulamada yine bakır altlık kullanılması uygun görülmüştür.

5.8.1'de elde edilen metalurjik sonuçlar bu bölümde de geçerli olmaktadır.

5.8.4. MANUEL ARK KAYNAĞI İLE 12 MM'LİK ET KALINLIĞINA SAHİP İKİ PARÇANIN V-KAYNAK AĞZI OLUŞTURULARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

Malzemenin nikel ve kromesdeğerleri,

$$\frac{Ni_{eş}}{eş} = 23$$

$$\frac{Cr_{eş}}{eş} = 23$$

Seçilen paslanmaz çelik elektrodun nikel ve krom eşdeğerleri,

$$\underline{Ni_{eş} = 12,95}$$

$$\underline{Cr_{eş} = 22,75}$$

Bu uygulamada AWS A5.4 normunda E 316 L-16 paslanmaz çelik elektrod kullanılmıştır. 3 pasoda birleştirme işlemi yapılmıştır.

1. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 3,25 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 110 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (V) \quad (TS 5893)$$

$$U \approx 24 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden

$$V = 15 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{110 \cdot 24 \cdot 60}{15 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 7,92 \text{ kJ/cm},} \quad \underline{Q = 0,79 \text{ kJ/mm}.}$$

2. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 4,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 140 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (V) \quad (TS 5893)$$

$$U \approx 25 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 12 \text{ cm/dak} \quad \text{kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{140 \cdot 25 \cdot 60}{12 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 13,12 \text{ kJ/cm},} \quad \underline{Q = 1,31 \text{ kJ/mm}.}$$

3. Paso :

$$S = 12 \text{ mm}, \quad d = 5,0 \text{ mm } \emptyset$$

$$I = 170 \text{ A} \quad (\text{Tablo 10})$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I_k \quad (\text{V}) \quad (\text{TS 5893})$$

$$U \approx 27 \text{ V} \pm 1$$

Birim dikiş enerjisi eşitliğinden,

$$V = 10 \text{ cm/dak kabulü ile,}$$

$$Q = 0,75 \cdot \frac{170 \cdot 27 \cdot 60}{10 \cdot 1000}$$

$$\underline{Q = 20,65 \text{ kJ/cm}}, \quad \underline{Q = 2,06 \text{ kJ/mm}}$$

Bu bölümde 3 pasoda manuel ark kaynağı ile birleştirme ele alınmıştır. Elde edilen değerler yukarıda görülmektedir.

Birleştirme işleminde, kaynak bağlantısının % 70'inin ilave ve % 30'unun ana malzemenin oluşturduğu kabul edilerek, Schaeffler diyagramı yardımıyla kaynak dikişinin östenitik özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

5.8.1'de elde edilen metalurjik sonuçlar bu bölümde de geçerli olmaktadır.

5.Bölümde elde edilen tüm değerler Tablo 12 ve 13'de görülmektedir. Tablolar ektedir.

6. SONUÇLAR VE İRDELEME

5. Bölümde karbon eşdeğeri-kalınlık eşdeğeri- birim dikiş enerjisine bağlı olarak yapılan analizler neticesinde elde edilen bulgular kıyaslamalı değerlendirilmiştir. Bu bulgular kaynak dikişinin ve ısı etkili bölgenin kalitesini çok yakından ilgilendirmektedir.

Yapılan analizlerin amacı, karbon eşdeğerinin malzeme kalınlık faktörünün, birim dikiş enerjisinin malzemenin kimyasal kompozisyonu gözönünde bulundurularak kalınlığa bağlı olmaksızın ve kalınlığı bağlı olarak ön tavlama sıcaklığının belirlenmesidir. Kalınlığa bağlı olarak ön tavlama sıcaklığının tayininde R.G.Baker'ın (Şekil 43) tablosundan faydalanılmıştır.

Analizlerde kaynaklı birleştirmelerde yaygın kullanılan yapı çeliği, ıslah çelikleri, nitrür çeliği, ferritik ve östenitik çelikler üzerinde durulmuştur.

Bilindiği gibi, genel yapı çelikleri alaşımsız çeliklerdir ve kullanımda çekme dayanımı, akma sınırı gözönüne alınmakta ve kimyasal kompozisyon da dahil diğer özelliklerinin üzerinde durulmamaktadır. Bu çalışmada genel yapı çeliklerinden St 37-2 üzerinde çalışılmış karbon eşdeğeri $< 0,45$ olması dolayısıyla kalınlığa bağlı olmadan ön tavlamanın gereksizliği tespit edilmiştir. Yine St 37-2 için R.G.Baker'ın tablosuna bağlı olarak belli kriterler kabulü ile malzeme kalınlığı gözönüne alındığında ön tavlama ihtiyacı meydana gelmiştir.

Islah ve nitrür çelikleri için malzeme kalınlığından bağımsız, sadece kimyasal kompozisyona bağlı kalarak ön tavlama ve martenzitik dönüşüm sıcaklıkları tespit edilmiştir. Martenzitik dönüşüm sıcaklığının iyi kontrol edilememesi halinde kaynak dikişi ve ısı etkili bölgede martenzitik yapı oluşacak ve bu da kaynak kalitesini menfi yönde etkileyecektir.

Diğer yandan kalınlığa bağlı olarak belli kriterler kabulü ile yapılan analizler sonucunda, parçaya verilen ısı girdisinin elektrod çapına uygun olarak arttırılması ve uygun bir kaynak sırasının izlenmesi kaynak kalitesini iyileştirir sonucuna varılmaktadır.

Ferritik ve östenitik çelikler için kaynak dikişinin metalurjik özelliklerinin tespitinde Schaeffler diyagramından faydalanılmıştır.

Ferritik çelik X6 CrAl 13 için yapılan analizlerde ısı etkili bölgede çatlama tehlikesini ortadan kaldırmak için ön ve kaynak işleminden sonra bir tavlama yapılmak sonucuna varılmıştır. Böylece ısı etkili bölgenin sünekliğinin ve tanelerarası korrozyona direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelik X2 CrNi MoN 1813'in kaynağında krom karbür çökmesi meydana geldiğinden, bu tip bir çeliğin karbon içeriğinin % 0,06, optimum % 0,03 civarında olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu analizlerin yanısıra bu çalışmada uygulamalarda sıkça rastlanabilen, çeliklerin kaynağında oluşabilen soğuk çatlaklar incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Soğuk çatlağın oluşmasına etki eden ana faktörler olarak kalınlık ve birleşme tipi, çeliğin kimyasal bileşimi, kullanılan elektrod ve rutubet oranları, kaynak birim dikiş enerjisi ve ön tavlama sıcaklığı olduğu görülmektedir.

Soğuk çatlaklar kaynak malzemesinde, erime çizgisinin yakınında ve ısı etkili bölgede uzunlamasına ve enine çatlaklar şeklinde ortaya çıkarılırlar. Çatlakların şekli, gerilmelerin yön ve büyüklüğüne bağlıdır.

Kaynak malzemesi ana metalden daha alçak alaşımlı ise, çatlak ısı etkili bölgede meydana gelmektedir. Çatlağın kaynak malzemesinde ortaya çıkması ise ana metal ile kaynak malzemesinin aynı bileşimde olması ve kaynak malzemesinin dikiş içinde soğuk çatlamaya zayıf bir doku oluşturmaya bağlıdır.

Soğuk çatlakların oluşmasını önlemek için dikkat edilmesi gerekli noktalar aşağıda sıralanmaktadır.

- Çeliğin kimyasal bileşimi iyi bilinmeli, soğuk çatlak eğilimi hakkında ön bilgi alınmalıdır.

- Kök pasolarında meydana gelen çatlak tamir edilmeden bir sonraki paso çekilmemelidir.

- Kullanılan elektrod ve rutubet oranları soğuk çatlak olasılığına etkiyen önemli faktörlerdendir. Hidrojen kaynak dikişinin geçiş bölgelerinde gayet ince çatlaklar meydana getirdiğinden, bunun önlenmesi için bazik elektrodların kullanılmasında ve higroskopik özelliği olan yardımcı malzemeler ile kaynak edilmede, nem uzaklaştırma işlemi özenle gerçekleştirilmelidir.

- Kaynak edilecek parçalar, kimyasal bileşimi, kalınlık eşdeğeri, biçim faktörü ve birim dikiş enerjisi dikkate alınarak, saptanacak sıcaklık seviyelerinde ön tavlama işlemine tabi tutulmalı, gerekli koşullarda izoterm kaynak ve son tavlama kaynak uygulamalarına başvurulmalıdır. Tavlama uygulamalarında, ergimiş bölge ve ısı etkisi altındaki bölge dışında da ortaya çıkabilecek etkiler gözönünde tutulmalıdır.

- Çok pasolu kaynaklarda parçaya verilen ısının olanaklar ölçüsünde sabit tutulması gerekmektedir. Pasolar birbiri arkasından soğumaya meydan vermeden çekilmelidir.

- Parçaya verilen ısı girdisi elektrod çapına uygun olarak arttırılmalıdır. Örneğin kalın çaplı bir elektrodla geniş pasolar çekilmeli ve uygun bir kaynak sırası izlenmelidir.

- Hava sıcaklığı sıfır veya sıfırın altında bulunduğu hallerde yapı çeliklerinin kaynağında bile hafif bir ön tavlama gereklidir.

- Dikişin çekme gerilmelerine dayanabilmesi için kaynak pasoları yeterli derecede geniş çekilmelidir. Bu, özellikle kalın saçların ve sabit parçaların kaynağında önemlidir.



KAYNAKLAR

1. GÖLTEKİN N., "Kaynak Tekniği" İstanbul, 1991.
2. SAĞIŞMAN M., "Çelik Nedir" İstanbul, 1971.
3. ANIK S., "Kaynak Tekniği" Cilt I-II-III, İstanbul, 1982.
4. OĞUZ B., "Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı" İstanbul, 1987.
5. OĞUZ B., "Ark Kaynağı" İstanbul, 1989.
6. TOPBAŞ M., "Çeliğin Isıl İşlemi" İstanbul, 1992.
7. ANIK S., TÖLBENTÇİ K., KALUÇ E., "Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı" İstanbul, 1991.
8. ŞANBAŞOĞLU S., "Standart Çeliklerin Uluslararası Eşdeğerleri" Ankara, 1985.
9. Oerlikon ve Böhler Ürün Katalogları, İstanbul, 1993.
10. BAGGERUD A., Çeviri: ANIK S., TÖLBENTÇİ K., "Kaynak Metalurjisi (Çelikler için)", İstanbul, 1966.
11. MATSUDA F., NAKAGAWA H., PARK H., MURAKAWA T., YAMAGUCHİ M., "Weld Cold Cracking in HAZ of Engineering Carbon And Low Alloy Steel (Report I)" Japan, 1986.
12. MATSUDA F., NAKAGAWA H., PARK H., "Weld Cold Cracking in HAZ Of Engineering Carbon And Low Alloy Steel (Report II)" Japan, 1986.
13. MATSUDA F., NAKAGAWA H., PARK H., "Weld Cold Cracking in HAZ Of Engineering Carbon And Low Alloy Steel (Report III)" Japan, 1987.

14. Doc. IIS/IIW - 452-74 - "Weld Hydrogen Levels And The Definition of Hydrogen Controlled Electrodes" Welding in the world 12 3/4, 1974.
15. SUZUKI H., "Comparison of Carbon Equivalents For Steel Weldability" Japan, 1987.
16. BAKER R.G., "The Welding Of Pressure Vessel Steels" Climax Molybdenum Co.Ltd.USA.



ÖZGEÇMİŞ

1967 Bandırma doğumluyum. İlk, Orta ve Lise öğrenimimi Terakki Vakfı Özel Şişli Terakki Lisesi'nde tamamladım. 1990 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdim ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitime başladım. Halen bu eğitime devam etmekte olup, özel bir şirkette Makina Mühendisi olarak çalışmaktayım.

Değer EYÜBOĞLU

Mak.Müh.

TEŞEKKÜR

Bana bu çalışma fırsatını veren ve değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Nurullah GÜLTEKİN'e, Makina Mühendisliği Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri ve yardımcılarına teşekkürü bir borç bilirim.

