

Yapısal Uygulamalar İçin Geliştirilen Modifiye 12 CR Ferritik Paslanmaz Çeliğinin Tozaltı Kaynaklı Bağlantılarının Özellikleri

Emel TABAN

Dr., Müh., Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Erdinç KALUÇ

Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü Kaynak Tekn. Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi

Eddy DELEU

Ir., Belçika Kaynak Tekn. Enstitüsü Araştırma Merkezi

Alfred DHOOGHE

Prof. Dr., Ghent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Böl.,

ÖZET

Bu çalışmada, çelik üreticisi tarafından $<0,015$ karbon ve düşük arayer elementleri içerecek biçimde, kaynak kabiliyeti iyileştirilerek özellikle yapısal uygulamalardaki kullanım alanının artırılması için yapı çeliklerine alternatif olarak modifiye edilerek üretilen 12 mm kalınlığında modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliği kullanılmış ve tozaltı kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. Eş metal kaynaklı bağlantıların mekanik, tokluk ve mikroyapısal özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla çekme ve eğme deneyleri, Charpy çentik darbe ile yorulma deneyleri yapılmıştır. Çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri makroyapı görüntüleri olarak incelenmiştir. Mikroyapısal incelemelerde metalografik inceleme, Vickers sertlik ölçümleri, delta ferrit miktarı ve tane boyutu analizleri yapılmıştır. Atmosferik korozyon direncinin belirlenmesi amacıyla da tuz püskürtme ve blister korozyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinin tokluk ve mikroyapısı arasında bir ilişki bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ferritik paslanmaz çelik, 12 Cr, kaynak kabiliyeti, tozaltı kaynağı

ABSTRACT

In this study, 12 mm thick modified X2CrNi12 stainless steel, as an alternative to structural steels for structural applications, produced with low carbon content ($<0,015$) and low impurity levels improving the weldability and mechanical properties was used. Mechanical, toughness and microstructural properties of the homogeneous welded joints were investigated. Transverse and longitudinal tensile tests, bend and Charpy impact and fatigue tests were realised as mechanical testing. Fractographs were also examined. As microstructural examination; metallography, Vickers hardness measurements, ferrite content and grain size analysis were done. Salt spray and blister corrosion tests were also realised to determine the atmospheric corrosion resistance. Correlation between toughness and microstructure of the weld zones were found.

Keywords: Ferritic stainless steel, 12 Cr, weldability, submerged arc welding

GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, öncelikle korozyona karşı direnç amacıyla geliştirilen ve Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni sistemine dayanan yüksek alaşımlı, önemli ve geniş bir mühendislik malzemesi grubudur. Bu çelik ailesi, yaygın olarak kimya ve güç mühendisliği, gıda endüstrisi, sağlık uygulamaları, petrol ve petrokimya alanlarında, tekstil alanında, taşımacılıkta, yüksek veya sıfırlı sıcaklık uygulamalarında ve mimari uygulamalar gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır [1-6].

Ömür-maliyet analizleri ve çelik üretim teknolojilerindeki gelişmeler, son yıllarda ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliklerin yeni bir statüye kavuşmalarını sağlamış ve az alaşımlı paslanmaz çelik kalitelerinin ekonomik kullanımı ve performanslarının artırılmasını ön plana çıkarmıştır. Bu önemli etkinliğin sonucu olarak %11-%14Cr sistemini temel alan alaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu alaşımlar, alaşımlı paslanmazlık özelliğini sağlayacak miktarda krom içeriğine sahip olmakla birlikte mikroyapıları %12 veya %13Cr aralığında tamamen ferritik yapıdan tamamen martenzitik yapıya doğru değişmekte, böylece değişen Cr miktarına göre gerilmeli korozyon

çatlamasına iyi direnç göstermekte veya daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olabilmektedir. Bu grup malzemelere ilginin artmasının başlıca nedeni, bu tür çeliklerin ostenitik ve duplex türlere göre düşük olan fiyatlarının yanı sıra yeterli korozyon dirençleri ile birlikte elde edilen mukavemet/ağırlık oranının HSLA çeliklerine eşit, hatta duplex paslanmaz çeliklerden daha iyi olmasıdır [7].

%12Cr'lu paslanmaz çelikler, birçok uygulamada agresif olmayan sıvılarla temasta ve atmosferik korozyona yeterli dirençleri ile düşük fiyatlarından dolayı kullanım alanı bulan paslanmaz çeliklerdir. Bu tür çeliklerde yüksek sıcaklıklarda bir miktar ostenit oluşur ve soğuma sırasında martenzite dönüşür. Bu durum, karbon bileşiminin sıkı kontrolü ve martenzit/ferrit dengesinin ayarlanması ile tamamen ferritik veya tamamen martenzitik yapıların oluşmasını engelleyerek ferritik veya martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyi kaynak kabiliyetine sahip %12Cr içeren dönüştürülebilir paslanmaz çeliklerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çelikler ilginç uygulama alanlarında kullanılabilen yüksek mukavemetli paslanmaz yapı çelikleri olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, mikroyapısal özellikleri ve üretiminin nispeten karmaşık ve hassas olması nedeniyle halen çok iyi anlaşılmadığı için kullanımı yeterince ön plana çıkamamıştır. Düşük karbonlu ve düşük arayer katı ergiyik elementleri içeren çeliklerin geliştirilmesi ile kaynak kabiliyeti iyileşmekte ve mühendislik uygulamaları artmaktadır [8-17].

İlk nesil %12Cr'lu çelikler 3Cr12 paslanmaz çeliği olarak tanınmışlardır ve yeterli korozyon direncini sağlayacak en az krom miktarı ve %0,03C içerecek şekilde geliştirilmişlerdir. Bu az alaşımlı kromlu paslanmaz çelikler, karbonlu çelikler ve yüksek alaşımlı paslanmaz çelik kaliteleri arasındaki fiyat ve performans aralığında köprü görevi görmektedir, ancak 3Cr12 çeliğinin detaylı korozyon deneyleri yapılmadan yüksek kaliteli çelikler yerine kullanılma olanağı yoktur. Korozyon direncine ek olarak, yumuşak çeliklere göre artan mukavemet özellikleri dolayısı ile yapı bileşeninin kesit azalmasının getireceği ekonomik üstünlük de gözönüne alınarak, bu çelik geçmiş yıllardan bu yana genel olarak korozyon ortamında, genellikle Güney Afrika altın ve kömür madenlerinde artarak karşılaşılan sıvı ortamlardaki korozyon problemleri ile maden ve mineral işleme endüstrilerinde başarılı uygulamalarda ve tuğla endüstrisinde kullanılan fırın arabalarından, endüstriyel atık konteynerlerine ve elektrik iletim direklerine kadar geniş bir kullanım aralığında kullanılmaktadır. Son yıllarda, otomotiv ve ziraat endüstrilerinde kullanımına dönük dikkate değer bir ilgi de bulunmaktadır. Güney Afrika, Avustralya, Belçika, İngiltere ve Amerika gibi dünya çapındaki başlıca büyük demiryolları, bu tür çeliklerden yapılmış kömür ve altın vagonları ile

taşımacılıkta 20 yılın üzerinde endüstriyel deneyime sahiptirler [14, 19-26].

Çelik üreticileri EN 10088-2 ve EN 10028-7'deki kalitelere karşılık gelen EN 1.4003 ve ASTM A240'da UNS S41003'e karşılık gelen çelikleri ürettiklerinden bu yana EN 1.4003 çeliği, kaynak kabiliyetini düzeltmek için karbon miktarının az karbonlu çelikler için sınır sayılan %0,03'den daha düşürülmesiyle alışılmış %12Cr'lu paslanmaz çeliğinden modifiye edilmiştir [1, 7, 9, 27, 28].

Günümüzde ileri çelik üretim teknolojileri ile kimyasal bileşimin kontrolü daha dar bir aralıkta yapılabilmekte, karbon ve azot içerikleri çok düşük seviyelere çekilebilmektedir, dolayısı ile kaynaklı durumda IEB özellikleri düzeltilmekte ve krom karbür oluşum tehlikesi de en aza indirgenerek korozyon performansı artırılmaktadır. Bugün, özellikle Avrupa'da 12 Cr'lu modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliği, $\leq 0,015\%$ gibi oldukça düşük karbon ve düşük katışkı seviyeleri ile kaynak kabiliyeti ve mekanik özelliklerini artıracak biçimde üretilebilmektedir [1, 7, 10, 27].

Az karbonlu 12 Cr'lu paslanmaz çeliklerin kaynak edilmesi için E410NiMo eş bileşimde ek kaynak metali bulunmasına karşın darbe, yorulma veya dinamik yüklerin beklendiği uygulamalar için önerilmemektedir. Bu konuda yayımlanmış olan kaynak kabiliyeti çalışmalarında da IEB hidrojen çatlağı tehlikesinin azaltılması ve yapısal uygulamalar için gereksinim duyulan tok kaynak metalinin oluşturulabilmesini sağlamak amacıyla bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında ostenitik paslanmaz çelik tür ek kaynak metallerinin kullanılması önerilmektedir [7-9, 11, 14, 29-31].

Bu koşullar altında modifiye 12 Cr paslanmaz çeliği, basınçlı kaplar, giriş veya köprüler, boru hatları vb. yapısal uygulamalarda kullanılan alaşımsız S355 yapı çelik kalitesinin yerini alması düşünülebilir. Alışılmış yapı çelikleri ile kıyaslandığında, iyileştirilmiş korozyon direnci ile modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliğinin kullanılması sayesinde maliyetler azalabilir. Bu çelik daha ucuz kaplama ve yenileme sayesinde çevresel üstünlükler sunmaktadır. Bu nedenle son ürünün bakım masrafları alışılmış çeliklerden çok daha az olacaktır. Diğer uygulamalar için, bu kalite paslanmaz çelik, daha yüksek alaşımlı ve pahalı ostenitik paslanmaz çeliklerden daha ekonomik olacaktır. Ve iyileştirilmiş kaynak özellikleri ile kaynak kabiliyeti, artan kaynak hızları ile kaynak edilebilme olanağı sayesinde de verim artacaktır [10, 27, 29].

Bu çalışmada, 12 mm kalınlığındaki modifiye X2CrNi12 ferritik paslanmaz çelik levhalar eş metal kaynaklı bağlantılar oluşturacak biçimde, literatürde önerildiği üzere AISI 309L tür ostenitik ek kaynak metali kullanılarak, tozaltı kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri çekme, eğme, Charpy çentik darbe ve yorulma

deneyleri ile belirlenirken, mikroyapısal özellikler metalografik incelemeleri, HV5 sertlik ölçümleri, tane boyutu analizi ve ferrit miktarı ölçümleri ile analiz edilmiştir. Atmosferik korozyon direncinin belirlenmesi amacıyla korozyon deneyleri yapılmıştır. Kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinde elde edilen tokluk değerleri ile IEB mikroyapısı (tane boyutu) arasında dikkate değer bir ilişki bulunmuştur.

MALZEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

12 mm kalınlığında modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliğinin, çelik üreticisi tarafından sağlanan kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmektedir.

çentik darbe deney numuneleri, kaynak metali (KM), ergime çizgisi (EÇ), ergime çizgisinden 2 mm uzakta IEB'de (EÇ+2 mm) ve ergime çizgisinden 5 mm uzakta çentikler açılarak hazırlanmıştır. Kaynaklı bağlantıların çentik darbe dayanımını belirlemek için, referans sıcaklık -20°C olarak seçilmiş, elde edilen sonuçlara bağlı olarak ayrıca -40 C ve -60 C gibi oldukça düşük test sıcaklıkları da kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

12 mm kalınlığında 309 tür elektrodla ile tozaltı kaynaklı bağlantılardan çıkarılan numuneler kullanılarak yorulma özellikleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Yorulma deneyleri 0,1 yorulma oranında, dört farklı gerilme aralığı kullanılmış ve her gerilme aralığı üç tekrar ile yapılmıştır. 100 kN ve 150 kN kapasitelerinde iki adet yorulma deney cihazı kullanılmıştır. Numuneler 8.000.000 (8.10⁶) çevrime kadar

Tablo 1. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi ve Mekanik Özellikleri

Kimyasal bileşim (ağ. %)*							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N (ppm)
0,014 [≤ 0,030]	0,26 [≤ 1,00]	0,95 [≤ 1,50]	0,035 [≤ 0,04]	0,001 [≤ 0,015]	12,45 [10,5-12,5]	0,51 [0,30-1,00]	80 [≤ 300]
Çekme dayanım özellikleri							
Akma mukavemeti (MPa)		Maks. çekme mukavemeti (MPa)			Uzama (%)		
362-363		500-502			30-32		

(*)[] içindeki değerler EN10088'deki gibidir

12 mm kalınlığında modifiye 12Cr'lu paslanmaz çelik levhalar, 2,4 mm çapında ER309L tel ve bazik aglomere tozlarla, kök pasolar özlü tel ile, dolgu pasolar ise tozaltı kaynak yöntemi ile seramik altlık ve 0,71 kJ/mm-1,19 kJ/mm ısı girdisi kullanılarak kaynak edilmiştir.

Kaynaklı bağlantılardan standartlara uygun olarak ve dikiş taşkınlıkları temizlenip enine yönde çıkarılarak hazırlanan numuneler, oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.

12 mm kalınlığındaki kaynaklı bağlantıların tamamen kaynak metali bölgelerinden Avrupa standartlarına uygun olarak boyuna yönde çıkarılan silindirik numuneler, enine çekme numunelerine benzer biçimde oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.

Kaynaklı levhalardan, kaynak dikişine dik yönde yine Avrupa standartlarına uygun yüz eğme ve kök eğme numuneleri çıkarılmış olup, 180° açı ile eğme deneyi yapılmıştır.

Enine yönde kaynaklı levhalardan kalınlık boyunca çıkarılan

veya hata görülünceye kadar yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır.

Kaynaklı levhalardan standartlara uygun olarak makro kesitler çıkarılmış, metalografik olarak hazırlanmış ve uygun ayıraçlar kullanılarak dağlanmış. Ayrıca 0,1 kg-10 kg kapasiteli sertlik cihazı ile kökten ve yüz alt yüzeyleri üzerinden Vickers sertlik taraması, standartlara uygun biçimde 5 kg yük altında yapılmıştır.

Kaynaklı bağlantılardan çıkarılan makro kesitler, ergime çizgisine yakın ve uzak IEB'lerde incelenmiş ve a₁ - a₄ ile sembolize edilen dört kalınlık pozisyonunda, makrokesitin sağ ve sol taraflarındaki IEB'lerdeki tane boyutları ASTM standardına uygun olarak ölçülmüştür. a₁-a₃ pozisyonları yaklaşık olarak EÇ+2mm'e karşılık gelen IEB çentik yerlerini simgelenmek üzere sembolize edilmiştir. a₄ ise EÇ'ni gösterecek biçimde sembolize edilmiştir. İyi taneli bölgeler 7-10 arasındaki ASTM tane boyut no.ları ile ifade edilirken iri taneli bölgeler 1-4 arasındaki no.larla tanımlanmaktadır. Tüm kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinin ferrit miktarı, ferritscope kullanılarak %ferrit olarak ölçülmüştür.

Atmosferik korozyon direncinin belirlenmesi amacıyla, korozyon deneyleri olarak tuz püskürtme ve blister deneyleri yapılmıştır. Tuz püskürtme deneyinde, standartlara uygun biçimde hazırlanan ve endüstride kullanılmakta olan iki katmanlı koruyucu bir sistemden oluşan kaplama yapılmış ve kaplanmamış numuneler 60° açı ile yerleştirilmiş, 24 saatte bir 24-28ml sis hacmi, 6,5-7,2 arasında pH değerlerinde, %5NaCl içeren sulu çözeltide ve 35°C test sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler etanolla temizlenerek ilgili kısımları parafinle kaplanmıştır. Kaplanmış numuneler de tüm test yüzeyi boyunca metal yüzeyine kadar çarpı şeklinde çizilmiştir. Bunun nedeni, kaplama servis koşullarından önce veya sırasında zarar görürse kaynaklı bağlantıların korozyon direncinin tahmin edilmesine olanak sağlamasıdır. Blister testi, tuz püskürtme deneyine benzer biçimde kaplanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler Belçika'nın Gent şehri merkezindeki atmosfer koşullarında test yüzeyleri yönlendirilerek standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

12 mm kalınlığındaki modifiye X2CrNi12 paslanmaz çelik tozaltı kaynaklı bağlantılardan enine yönde çıkarılan numunelerin çekme deneyi sonuçları ve tamamı kaynak metalini içerecek biçimde boyuna yönde hazırlanan silindirik numunelerin çekme deney sonuçları Tablo 2'de verilmektedir. Paslanmaz çelik esas metal yarılmaması genel olarak kalınlıktan bağımsız olarak kırılma yüzeyine yakın ve tüm numunelerin levha yüzeyine paralel olarak gözlenmiştir. Elde edilen kırılma yüzeyleri incelenerek Şekil 1'deki makrofotografılarla gösterilmiştir.

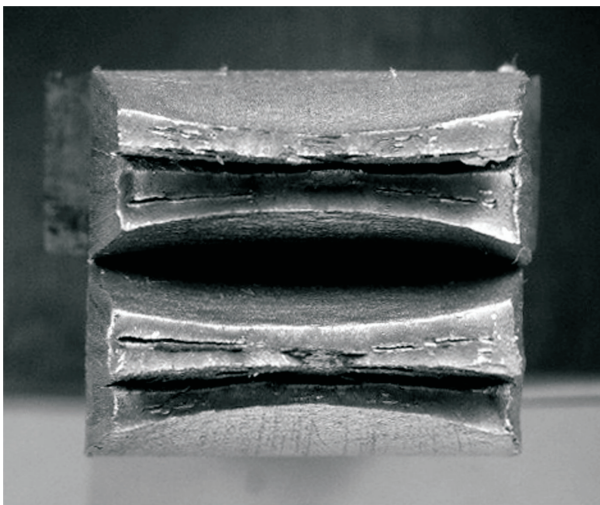
Kaynaklı levhalardan elde edilen yüz eğme ve kök eğme deney numuneleri kullanılarak gerçekleştirilen eğme deney sonuçlarında hiçbir hata gözlenmemiştir.

AISI 309L tür ek metaller kullanılarak tozaltı yöntemiyle kaynak edilen bağlantıdan çıkarılan numunelerin -20°C, -40°C

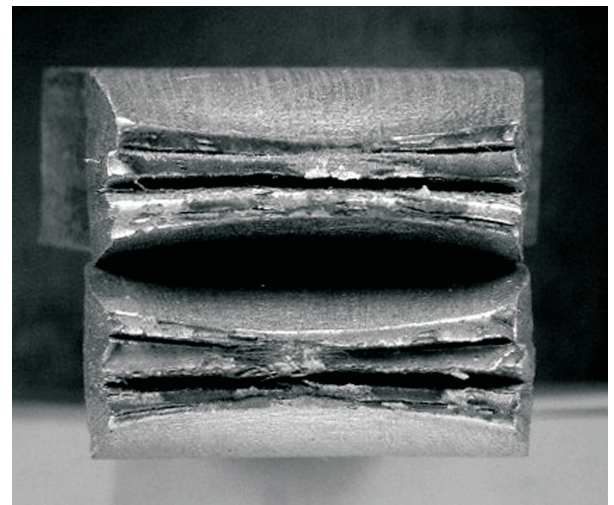
Tablo 2. 12 mm Kalınlığındaki Eş Metal Kaynaklı Bağlantının Çekme Özellikleri

12 mm kalınlığındaki eş metal kaynaklı bağlantının enine çekme özellikleri					
Kullanılan kaynak yöntemi	Kullanılan elektrod / tel	Numune kodu	R _m (MPa)	Kopma yeri	Açıklamalar
Tozaltı	ER309L	TT1	475	Esas metal	-
		TT2	471	Esas metal	-
12 mm kalınlığındaki eş metal kaynaklı bağlantının KM çekme özellikleri					
Numune kodu	R _p (MPa)	R _m (MPa)	R _p / R _m	Uzama (%)	Kesit daralması (%)
TW1	371 [430]	562 [570]	0,66	37,7	36
TW2	360 [430]	553 [570]	0,65	46,8	53

[] içindeki değerler, çözünmemiş kaynak metalini için elektrod/tel üreticisi tarafından verilen değerlerdir.

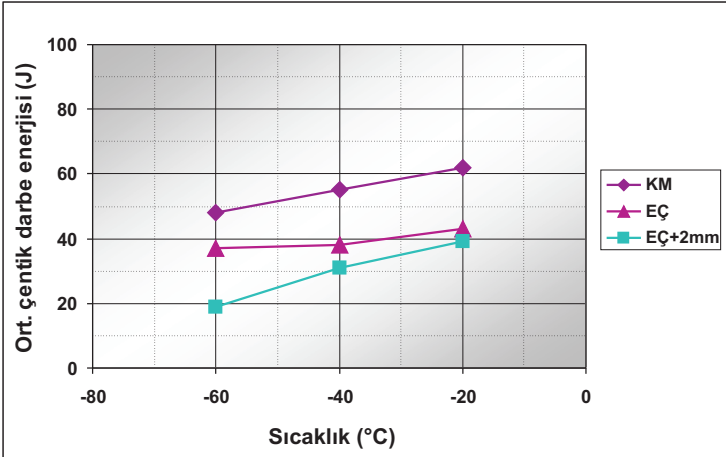


TT1

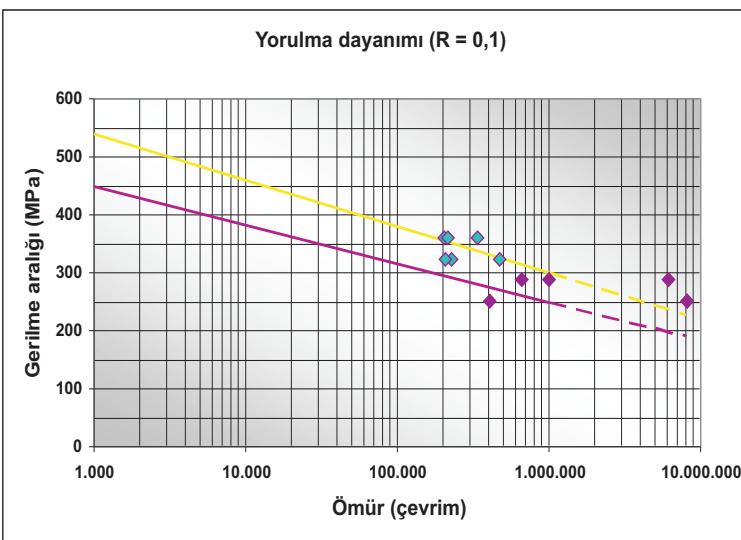


TT2

Şekil 1. TT1 ve TT2 Kodlu Numunelerin Kırılma Yüzeyleri



Şekil 2. Tozaltı Kaynaklı Modifiye 12 Cr Paslanmaz Çeliğinin Çentik Darbe Grafiği



Şekil 3. Tozaltı Kaynaklı Bağlantının Yorulma Mukavemeti

ve -60°C test sıcaklıklarında yapılan çentik darbe deneyi sonrasında elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmektedir.

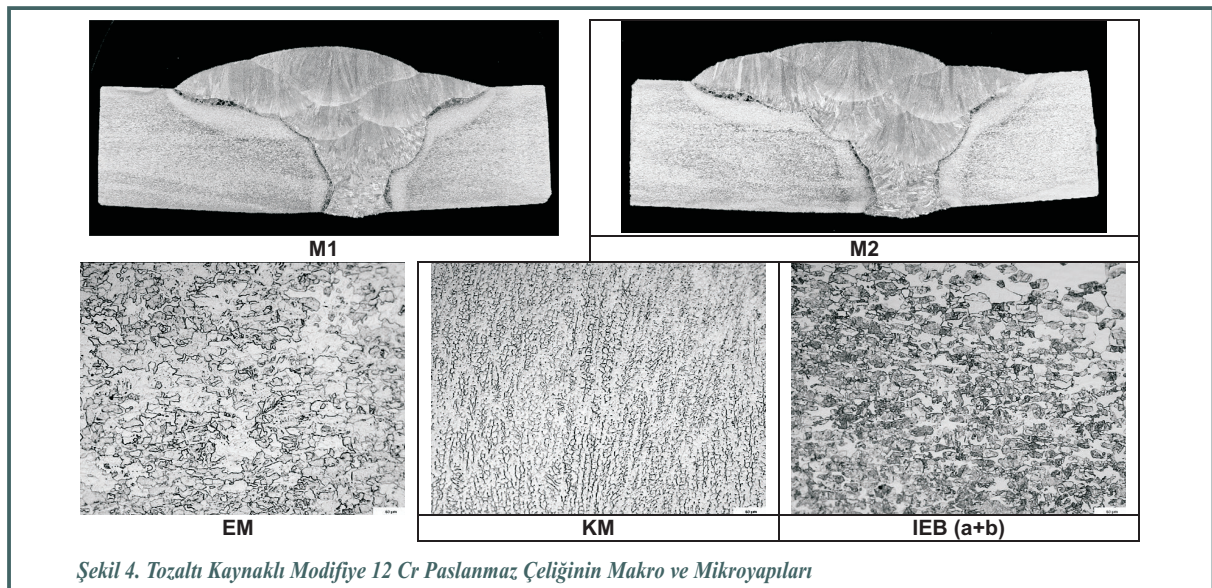
309 tür ek kaynak metali ile oluşturulan tozaltı kaynaklı bağlantının yorulma mukavemet değerleri grafik halinde Şekil 3'de gösterilmektedir.

Tozaltı kaynaklı bağlantıdan çıkarılarak hazırlanan makro kesitlerin incelendiğinde, yüz ve kök kısımlarının simetrik olmamakla birlikte IEB'de oldukça az miktarda tane büyümesi gözlenmiş ve mikroyapılarda da gösterilmiştir (Şekil 4).

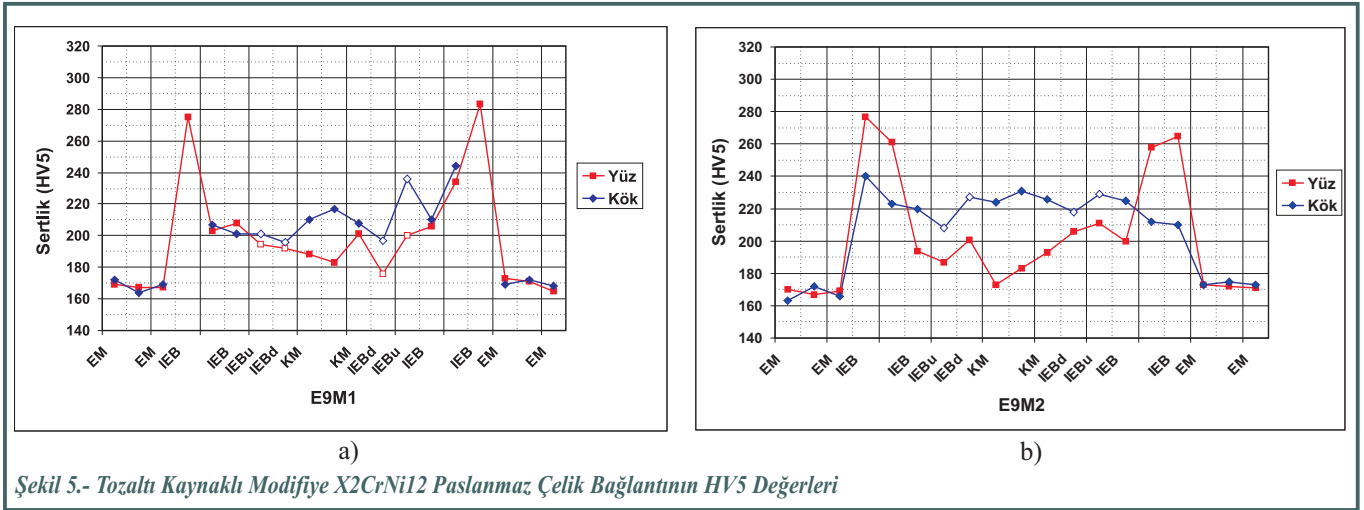
Tüm kaynaklı bağlantılardan alınan makro kesitler üzerinde gerçekleştirilen Vickers sertlik deney sonuçları (HV5) aşağıdaki grafikte verilmektedir (Şekil 5). HV5 sonuçlarını gösteren tablolarda KM ve IEB'de ölçülen maksimum değerler koyu renkte gösterilmiştir. Açık sembollerle gösterilen değerler, IEB sağ ve sol taraflarında 0,7 mm aşağıda ve yukarıda ölçülen verileri göstermektedir.

Tane boyutu analizine bağlı olarak ince taneli mikroyapı görüntülerinin yüksek ASTM tane boyutu numaraları ile belirlenirken ve iri taneli yapılarda düşük ASTM numaraları ile ifade edilmektedir (Tablo 3).

Kaynak bölgesinin ferrit miktarı analizi sonucu elde edilen ölçümler Tablo 4'de verilmektedir. Değerler, ferrit% olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Tozaltı Kaynaklı Modifiye 12 Cr Paslanmaz Çeliğinin Makro ve Mikroyapıları



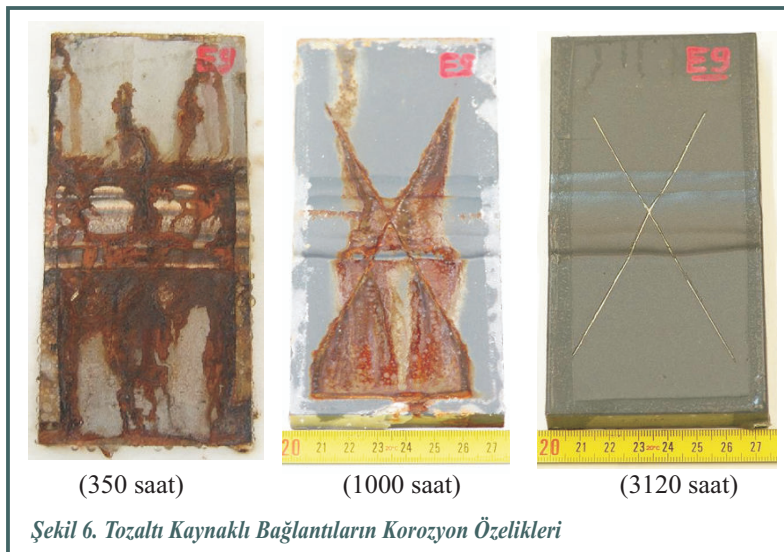
Tablo 3.- Tozaltı Kaynaklı Bağlantının Darbe Tokluğu ve Tane Boyutu Arasındaki İlişki

Kaynaklı levha kodu	Çentik pozisyonu	-20°'de darbe enerjisi (J)	Maks. Tane boyut no.su	
			IEB (Sol)	IEB (Sağ)
E9	EÇ EÇ+2mm	47 – 41 – 40 / 43 58 – 28 – 30 / 39	6 veya 7 3 - 5	5 2 - 4

Tablo 4. Tozaltı Kaynaklı Bağlantıların Km Ferrit Yüzde Analizleri

Kaynaklı levha kodu	KM sol	KM orta	KM sağ	KM alt orta	KM alt orta2
E9M1	11,19	11,85	12,72	12,19	17,08
E9M2	13,08	12,59	11,67	15,56	16,48

Tozaltı kaynaklı 12 mm kalınlığındaki modifiye 12 Cr ferritik paslanmaz çeliğinin kaplanmamış koşulda 350 saat sonunda ve kaplanmış koşulda 1000 saat sonunda elde edilen tuz püskürtme deney numuneleri ve 3120 saat sonunda blister numunesinin görüntüleri Şekil 6'da verilmektedir.



SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu çalışma sonucunda tozaltı kaynaklı modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliğinin özellikleri hakkında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

Oldukça düşük karbon, arayer elementi ve katışkı içeren modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliği, AISI 309L tür ek kaynak metalleri kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile emniyetli ve ekonomik olarak kaynaklı bağlantılar oluşturulabilmektedir.

Çekme ve eğme deneylerinde de öngörülen değerler elde edilmiş ve herhangi bir hata gözlenmemiştir.

Kaynaklı levhalar -60°C gibi oldukça düşük sıcaklıklara kadar, yeterli ve oldukça iyi IEB darbe özellikleri gösterdiğini kanıtlamıştır. Yapılan mikroyapı ve tane boyutu analizleri bu üstün kaynaklı bağlantıların ASTM no'ları 5 veya daha büyük tane boyutu özellikleri göstererek tane büyümesinin sınırlandırılabilceği gösterilmiştir.

Modifiye X2CrNi12 ferritik paslanmaz çeliğinin

kaynaklı bağlantılarında yorulma numuneleri hazırlanırken, kaynak metali taşkınlığı uygun biçimde temizlenebilmiş ve kaynak metalinden esas metale geçiş oldukça dikkatli yapılabilmiş ve kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımı mükemmel durumda bulunmuştur.

Isıdan etkilenmiş bölgedeki sertlik değerleri ise standartlarda izin verilen 300HV5 maksimum değerinin çok altındadır.

Kaplanmış koşulda kaynaklı numuneler, yapay olarak hasara uğratıldığı durumlarda oldukça zor koşullar altında bile oldukça iyi atmosferik korozyon direnci göstermişlerdir. Saf atmosfer koşullarında, tüm numuneler bir kere başladıktan sonra daha ileri korozyon oluşumunu önleyebilmişlerdir.

% 12 Cr'lu paslanmaz çelikler, doğası gereği üretiminde kontrol gerektirmekte ve bu nedenle bu tür çeliklerin üretilmesinde deneyimli, sıkı kalite kuralları ile çalışan ve güvenilir firmalarla işbirliği yapılması gerekmektedir. Zira bu da üretim sırasındaki ısı işlemlerden ve çeliğin mikroyapısal özelliklerinin yeterince anlaşılmasından dolayı oluşabilecek mekanik özelliklerdeki sapmayı önlemek ve düşük seviyelerde katışkı ile çeliğin üretilmesini sağlamak açısından çok önemlidir.

Bu modifiye çelik, alaşımsız yapı çelikleri, martenzitik türler ile daha pahalı ostenitik ve dupleks paslanmaz çelikler arasındaki ilginç konumu sayesinde, verimlilik ile nispeten daha düşük yatırım ve bakım giderleri ile uzun dönemde cazip çözümler sunmaktadır.

Bu nedenlerle, alışılmış kalitesine göre artırılmış mekanik özellikleri ve iyileştirilmiş kaynak kabiliyeti özellikleri ile modifiye X2CrNi12 paslanmaz çeliği, atmosferik korozyona karşı da korunarak onlarca yıl boyunca 350 MPa garanti edilmiş akma dayanım özellikleri ile alaşımsız yapı çelikleri yerine kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın ortaya çıkmasında katkısı bulunan Belçika Kaynak Enstitüsü'ndeki tüm meslektaşlarına ve IWT ile çalışmayı destekleyen tüm endüstriyel kuruluşlara teşekkür etmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Lippold, J.C., Kotecki, D.J.**, John Wiley&Sons, USA, 87, (2005).
2. **Karlsson, L.**, Svetsaren, 1, 47- 52, 2004.
3. **Oates, W.R., SaItta, A.M.**, - Editors, AWS, Ohio, USA, 621 p, (1998).
4. **J.R. Davis**, Davis & Associates, Editors, OH: American Society for Metals Materials Park; 1994.
5. **Kaluç, E., Tülbentçi, K.**, Seminer Notları, KOÜ KATAEM, 240 sayfa, Kocaeli, Mart (1998).
6. **Kaluç, E., Taban, E.**, Seminer Notları, TMMOB MMO Ankara Şubesi, Ankara, 56 s, 16 Mart (2007).
7. **Marshall, A.W., Farrar, J.C.M.**, "IIW Doc: IX-1975-00, IXH-494-2000".
8. **Greef, M.L.**, du Toit, M., Welding Journal, 85, 11, 243s-251s, (2006).
9. **du Toit M.**, Van Rooyen G.T., Smith D, IIW Doc IX-2213-06, IIW Doc IX-H-640-06, (2006).
10. **Taban, E.**, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, FBE, Makina Müh. AnaBilim Dalı, Kocaeli, 2007.
11. **Meyer, A. M.**, du Toit, M., Welding Journal, 80, 275s- 280s, December, (2001).
12. **Woollin, P.**, Welding and Metal Fabrication, 62, 18- 26, (1994).
13. **Karjalainen, P., Kyröläinen, A., Kauppi, T., Orava, U.**, Applications of Stainless Steels, 225-234, Stockholm, (1992).
14. **Gooch, T.G., Ginn, B.J.**, TWI Members Report 373/1988, 32 pages, July (1988).
15. **Folkhard, E.**, Wien- New York: Springer-Verlag, (1984).
16. **Castner, H.R.**, Welding Journal, 193s- 199s, July (1977).
17. **Irvine, K.J., Crowe, D.J., Cantab, M.A., A.I.M.**, Pickering, F.B., Journal of the Iron and Steel Institute, 386-405, August, (1960).
18. **Kotecki, D.J.**, Welding Journal, 84, 9, 14, (2005).
19. **Maxwell, D.K.**, Materials Australia (Australia), 2022, November- December, (1997).
20. **Moore, P.**, Australasian Welding Journal (Australia), Third Quarter, 42, 22-23, (1997).
21. **Marini, A., Knight, D.S.**, Corrosion and Coatings SA, 4- 11, March (1995).
22. **van Lelyveld, C., van Bennekom, A.**, Stainless Steel, 16- 17, September/October (1995).
23. **Mc Ewan, J.J., Kincer, M.U., Scheers, P.V.T., White, R.T.**, Corrosion Science, 35, 1-4, 303-315, (1993).
24. **Eckenrod, J.J., Kovach, C.W.**, Lula R.A (ed): ASTM STP 706, 273 290, (1980).
25. **Ball A, Chauhan Y, Schaffer G.B.**, Materials Science and Technology, 3, 189-196, March (1987).
26. **Tullmin, M.A.A., Robinson, F.P.A.**, Corrosion Engineering, 44, 9, 664-670, September (1988).
27. **Dhooge A., Deleu, E.**, Stainless Steel World 2005 Conference&Expo, Maastricht, Netherlands, 160, 8-10 November, (2005).
28. **Lahti, K.E., Hanninen, H., Niemi, E.**, Journal of Constructional Steel Research, 54, 161172, (2000).
29. **Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., Kaluc, E.**, Kovove Materialy-Metallic Materials, 45, 2, 67- 73, (2007).
30. **Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., Kaluc, E.**, DVS GST 2006, Schweissen und Schneiden, 74- 79, Germany, September (2006).
31. **Taban, E., Deleu, E., Dhooge, A., Kaluc, E.**, Metal Dünyası, 166, 68- 72, Mart (2007).