



Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh Plakalarında Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Birleşim Mukavemetine Etkisinin Araştırılması

Sedat Kara¹ Mehmet H. Korkut²

Öz

Bu çalışmada zırhlı muharebe araçlarında kullanılan ARMOX 500T zırh çelikleri MIG kaynak yöntemi ile kaynak edildi. İlave metal olarak zırh çeliklerinin MIG kaynağı için önerilen 307Si MIG kaynak teli kullanıldı. Kaynaklı parça kesilerek iki eşit parçaya ayrıldı. Parçalardan birine 650 °C'de 4 saat gerilim giderme ısıl işlemi uygulandı. Isıl işlemlenmiş ve ısıl işlemlenmemiş parçaların mikroyapısı SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) ile incelendi. Numunelerin mekanik özellikleri mikrosertlik ve çentik darbe deneyleri ile belirlendi. Sonuç olarak zırh çeliklerinin kaynaklı birleşimleri için gerilim giderme ısıl işleminin kaynak mukavemetine etkisi tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Zırh Çeliği, MIG Kaynağı, Gerilim Giderme Tavlaması.

Investigation the Effect of Heat Treated After Welding on Strength of Joint which in Used Armored Combat Vehicles

Abstract

In this study, ARMOX 500 T armor steels were welded by MIG welding method in used armored combat vehicles. 307 Si MIG welding wire was used as an additional metal which was suggested for MIG welding of armor steels. Welded piece was divided in two equal parts by cutting. Stress relief annealing was performed to one of the parts within 4 hours- 650 °C. Microstructure of heat treated part and non heat treated part was investigated by SEM (Scanning Electron Microscopy). Mechanical properties of the specimens were determined by microhardness tests and impact tests. As a result, the effect of stress relief annealing to welding strength was identified for weld joints of armor steels.

Keywords: Armor steel, MIG welding, Stress relief annealing.

Giriş

Standart kimyasal bileşim esas alınarak döküm yöntemiyle ingotlar haline getirilen zırh çelikleri, döküm sonrası sıcak haddeleme ile istenilen kalınlıkta plakalar şeklinde üretilir (Karagöz, Atapek, Yılmaz, 2008). Bu üretim prosesinden dolayı zırh malzemeleri içerisinde homojen haddelenmiş

¹ Yazışma adresi: Yüksek Lisans Öğc. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, sedatkara29@gmail.com

² Prof. Dr. Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı.

zırh (Rolled Homogenous Armor – RHA) olarak da bilinir (<http://www.ssab.com>). Haddelenerek şekillendirilen zırh çelikleri östenitleştirme, su verme ve temperleme ile istenilen mukavemet, sertlik ve tokluk değerlerine ulaştırılır. Uygulanan ısı işlemlerle mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi de çeliklerin zırh malzemesi olarak kullanılmasında tercih sebebi olmaktadır (Manganello, Wilson, 1993).

Savunma amacına yönelik geliştirilen zırhlı muharebe araçlarında kullanılan zırh malzemelerinden beklenen özelliklerden biri hafif olmalarıdır. Zira hafiflik zırhlı aracın engebeli arazi koşullarındaki çok yönlü hareket ve manevra kabiliyetini önemli derecede etkilemektedir. (AMCP, 1962). Bunun için zırh malzemelerinin ağırlığını azaltmak ya da daha iyi balistik performans sağlamak için alüminyum, seramik veya kompozit malzemeler de kullanılmaktadır (Demir, Übeyli, Yıldırım, 2008). Ancak düşük fiyat, temin edilebilirlik ve yüksek şekillendirilebilirlik gibi özelliklerden dolayı zırh çelikleri diğer zırh malzemelerine göre daha fazla tercih edilmektedir (Şimşir, Yıldırım, Ögel, 2002). Ayrıca zırh çeliklerinin sahip olduğu iyi kaynak edilebilirlik özelliği de onları daha fazla tercih edilebilir kılmaktadır. Örneğin çelik esaslı zırhlar alüminyum alaşımlı zırhlara göre daha yüksek mukavemet potansiyeli teşkil etmekle birlikte daha iyi kaynak edilebilirlik özelliğinden dolayı daha avantajlıdır (Sun, Gu, Liu, Xuan, 2005). Buradan da anlaşılacağı üzere zırh malzemeleri ne kadar yüksek balistik başarıma sahip olursa olsun ancak araç gövdesine montajının yapılabildiği durumda işlevini yerine getirebilir (Kara, 2012). Bu da zırh teknolojisinde kaynağı mümkün olan çelik ve alüminyum esaslı zırh malzemelerini ön plana çıkarmaktadır. Ancak kaynaklı birleştirme işleminde ısı tesiri altında kalan bölgeler ve kaynak bölgelerinden ileri gelen mikroyapısal değişimlerin bir sonucu olarak esas metale nazaran daha düşük mukavemet ve balistik performans söz konusudur. Bu da zırh malzemelerinde kaynak bölgelerinin mekanik, metalurjik ve balistik açıdan araştırılması gerektiğini göstermektedir.

Zırh çeliği plakasının örtülü elektrod ark kaynağı ile kaynak edildiği bir çalışmada mikroyapısal değişimin deneysel analizi yapılmıştır (Unfried, Garzón, Giraldo, 2009). Bunun için MIL A46100 çelik plaka AWS E11018M elektrod ile kaynak edilmiştir. Analiz çalışması kaynağın merkezinden, ısıdan etkilenmeyen esas metale doğru gerçekleşmiştir. Kaynak metalinin mikroyapısının neredeyse tamamen iğnemsiz ferrit olduğu görülmüştür. İri taneli bölgede yüksek oranda temperlenmemiş martenzit ve az bir miktar bainit olduğu, ince taneli bölgede de yine bainit ve martenzit olduğu anlaşılmıştır. Kısmen dönüşüme uğramış bölgede martenzit, bainit

ve poligonal ferrit olduğu ve içyapı değişikliğine uğramamış bölgede de tamamen temperlenmiş martenzit olduğu saptanmıştır.

Gerçekleştirilen bir çalışmada üç farklı kaynak yöntemi ile kaynak edilmiş bir çeliğin kaynak bölgelerinin mermi nüfuziyetine karşı direnci araştırılmıştır (Madhusudhan, Mohandas, Papukutty, 1996). Kaynak yöntemi olarak gaz tungsten ark kaynağı, örtülü elektrod ark kaynağı ve özlü telle gazaltı kaynağı yöntemleri seçilmiştir. Sonuç olarak kaynak metali bazında en iyi balistik performansı örtülü elektrod ark kaynak yöntemi sergilerken özlü telle gazaltı kaynağı en kötü balistik performansı göstermiş ve gaz tungsten ark kaynağı orta düzeyde balistik başarımla sergilemiştir. Isı tesiri altında kalan bölge (ITAB) açısından değerlendirildiğinde kaynak metaline yakın iri taneli bölgelerde örtülü elektrod ark kaynağı en yüksek ve özlü telle gazaltı kaynağı en düşük balistik performans göstermiştir. ITAB'ın orta kısmı ve esas metale yakın kısımlarında ise örtülü elektrod ark kaynağı diğer kaynak yöntemlerinden daha üstün balistik başarımla gösterirken gaz tungsten ark kaynağı en düşük direnci sergilemiştir.

Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda Tablo 1' de kimyasal analizi ve Tablo 2' de mekanik özellikleri belirtilen, zırhlı muharebe araçlarında özellikle tavan sacı olarak tercih edilen İsveç menşeli 5,5 mm kalınlığında ARMOX 500 T zırh çelikleri kullanılmıştır. ARMOX 500 T zırh çeliği metalurjik açıdan martenzitik karakterli olup ıslah çeliği kategorisinde yer almaktadır (<http://www.ssab.com>).

Malzemeye ait standart bileşim maksimum değerleri belirttiğinden deney sonuçlarının daha güvenilir olması için malzemeye spektral analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yine Tablo 1' de yer almaktadır. Spektral analiz sonucunda karbon oranının standart bileşimdeki maksimum üst değerinin altında olması kaynak edilebilirliğe olan yatkınlığı artırmıştır.

Tablo 1. ARMOX 500 T ve 307 Si kaynak teline ait kimyasal bileşim

Alaşım Elementleri	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Armox 500T Standart Analiz (max %)	0,32	0,4	1,2	0,015	0,01	1,00	1,8	0,70	0,005
Armox 500T Spektral Analiz (%)	0,14	0,22	0,81	0,003	0,002	0,5	0,94	0,34	0,0008
307Si (%)	0,08	0,8	7	P+S= 0,035		19	8,5	0,5	-

Tablo 2. ARMOX 500 T ve 307 Si kaynak teline ait mekanik özellikler

Mekanik özellik	Sertlik (HB)	Darbe dayanımı* (Joule)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
ArmoX500T	480-540	25 (-40 ⁰ C)	1250	1450-1750	8
307Si	-	80 (+20 ⁰ C)	420	620	40

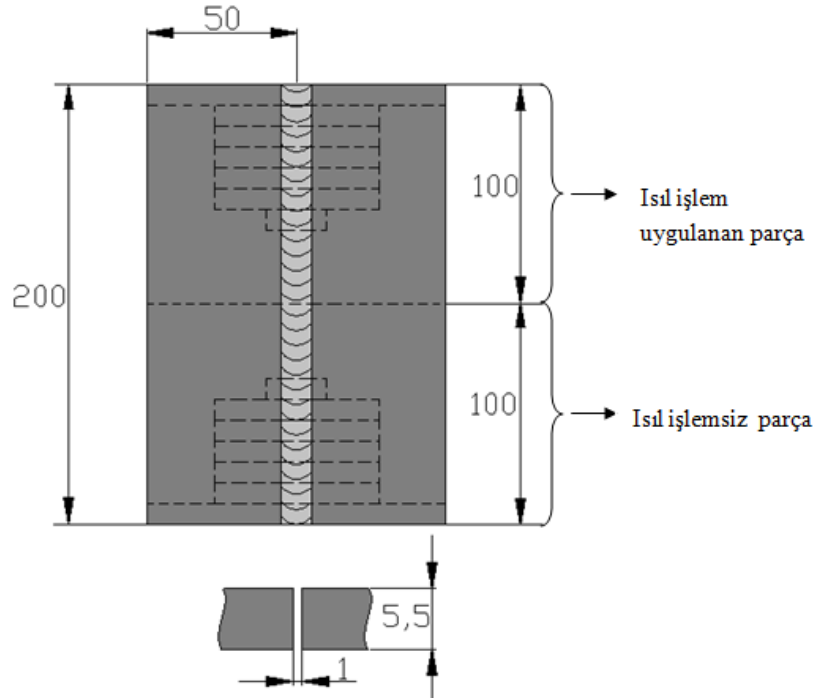
* 10x10 test numunesine göre

Zırh çeliğinin kaynağı için Tablo 1’ de kimyasal bileşimi ve Tablo 2’de mekanik özellikleri verilen 307Si östenitik paslanmaz çelik MIG kaynak teli kullanılmıştır. 307Si bileşimi, zırh çeliğinden imal edilmiş plakaların birleştirilmesinde ve sert dolgu uygulamalarından önce tampon tabaka oluşturmak amacıyla kullanılır. İçerdiği yüksek orandaki silisyum sayesinde erimiş metalin yüzey gerilimi iyileştirilmiş ve bunun sonucunda dolgu metalinin ana metale mükemmel bir şekilde yayılması sağlanmış olur (<http://www.askaynak.com.tr>).

MIG kaynağı prensip olarak metallerin, elektrik arkı oluşturularak ergitilmesi esasına dayalı bir kaynak yöntemidir. Oluşan ark, kaynak teli ile esas metal arasında süreklilik arz eder. Yani ark, aynı zamanda ilave metal görevini icra eden bir tel elektrod ile iş parçası arasında oluşur (Eryürek, 2007). Kaynak bölgesi atmosferin olumsuz etkilerine karşı bir koruyucu gaz ile korunur. Koruyucu gaz olarak argon ve helyum gibi asal gazlar kullanılır (<http://www.millerwelds.com/>). Ancak çeliklerin kaynağında daha optimum sonuçlar elde etmek için bu gazlara ilave olarak belirli oranlarda O₂ veya CO₂ gazları ilave edilir (<http://www.lincolnelectric.com>). CO₂ gazı kaynak bölgesine daha fazla ısı girdisi sağlayarak daha yüksek nüfuziyet profiline imkan tanır. Aşırı CO₂ katkısı ise kaynak esnasında sıçramalara sebebiyet verdiği için tercih edilmez (Tülbentçi, 1998). Tablo 3’de deney parçasına ait kaynak parametre değerleri yer almaktadır. Burada belirtildiği gibi kaynak işlemi % 5 CO₂ + % 95 Ar atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Böylece kaynaklı birleşime ait nüfuziyet artışı sağlanırken yüksek oranda CO₂ kullanımı olmadığından sıçrama oluşumu engellenmiştir.

Tablo 3. Birleşime ait kaynak parametre değerleri

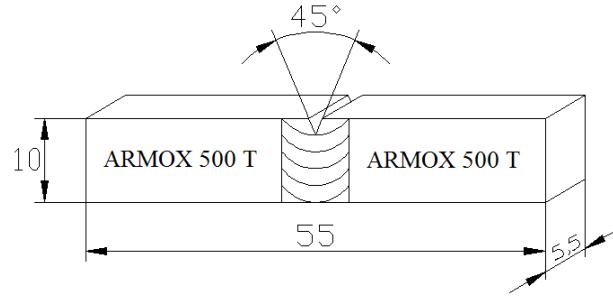
Kaynak akımı (A)	Kaynak voltajı (V)	Tel sürme hızı (mm/s)	Tel elektrod çapı (mm)	Gaz akış debisi (lt/dk)	Gaz karışımı	Kaynak hızı (mm/s)
300	20	130	1,2	15	% 5CO ₂ + %95Ar	11,11

**Şekil 1.** Kaynak edilen deney numunesinin boyutları

Zırh plakaları Şekil 1’de görüldüğü gibi 5,5 x 50 x 200 boyutlarında hazırlanıp alın birleştirme türü uygulanarak kaynakla birleştirilmiştir. Kaynaklı parça kaynak dikişine 90° açıda kesilerek iki eşit parçaya bölünmüştür. Parçalardan biri 650 °C de 4 saat gerilim giderme ısıl işlemine tabii tutulmuştur. Böylece ısıl işlemlili ve ısıl işlemsiz numuneler arasında yapılacak karşılaştırma için kaynak parametreleri aynı kalmıştır. Bu da deney sonuçlarından daha güvenilir veriler elde edilmesine katkı sağlamıştır. Mikroyapı incelemeleri ve çentik darbe deneyleri için gereken test numuneleri ısıl işlemlili ve ısıl işlemsiz parçalardan kesilerek çıkarılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler sırası ile

200-1200 mesh' lik zımparalarda zımparalanarak $3 \mu\text{m}$ ' lik elmas pasta ile çuhalanıp parlatılmıştır. Dağlama işlemi iki kademedede gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı numunelerinde zırh çeliğine ait bölgeler % 3 Nital çözeltisi kullanılarak kimyasal olarak dağlanmıştır. Östenitik paslanmaz çelik olan kaynak metali için % 60 HNO_3 ve % 40 saf sudan oluşan solisyonda elektrolitik dağlama yapılmıştır. Elektrolitik dağlama 3V ve 30 sn koşullarında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlemli ve ısıl işlemsiz numunelere ait mikroyapısal değişim JEOL JSM 7001F marka SEM mikroskobunda incelenmiştir.

Numunelerdeki mikrosertlik dağılımını belirlemek için ısıl işlemli ve ısıl işlemsiz numunelerde kaynak metalinden 2, birleşim ara yüzeyinden 1 ve esas metal tarafından 9 adet olmak üzere 12 adet ölçüm yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri LEICA MHF-10 marka mikrosertlik cihazında 50 gr yük altında 5 sn beklenerek gerçekleştirilmiştir. Vickers (HV) sertlik skalasının kullanıldığı mikrosertlik ölçümleri numune yüzeyinden 2 mm derinlikte ve 1 mm aralıklarla yapılmıştır.

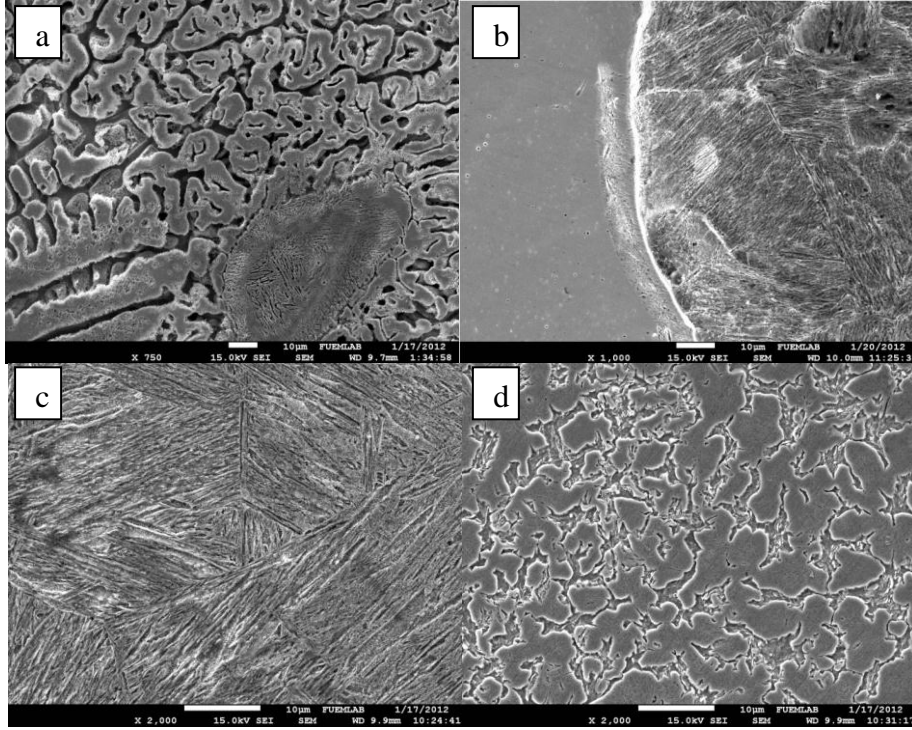


Şekil 2. Çentik darbe deneyi numunesine ait standart ölçüler

Çentik darbe deneyleri ısıl işlemli ve ısıl işlemsiz deney parçalarından çıkarılan test numunelerine oda sıcaklığında uygulanmıştır. Test numuneleri Şekil 2'de görüldüğü gibi BS EN 875 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Isıl işlemli ve ısıl işlemsiz her bir deney parçası için beşer adet test numunesinin aritmetik ortalaması alınarak darbe enerjileri tespit edilmiştir. Deneyler 300 Joule kapasiteli Instron Wolpert PW30 marka çentik darbe test cihazında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerde meydana gelen kırılma mekanizmasını daha yakından tahlil edebilmek için kırık yüzeyler SEM mikroskobunda görüntülenerek incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada (Şimşir vd, 2002) zırh çeliği plakalarının çekiç düşürme testi ile balistik davranışları incelenmiş, sonuçların gerçek balistik deney sonucunda elde edilen verilerle tutarlı olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda çekiç düşürme testinin malzemeye ait balistik karakteristiklerin

belirlenmesinde iyi bir yöntem olduğu kaydedilmiştir. Dolayısıyla yapılan çalışmada, kaynak edilen ve kaynak sonrası ısıl işlem uygulanan zırh çeliği plakalarına çekiç düşürme testi ile aynı prensibe dayalı çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Zira kaynak bölgesinin sergilediği darbe enerjisi bu bölgelerin balistik davranışı ile ilgili de fikir yürütülmesine imkan tanımaktadır.

Bulgular ve Tartışma



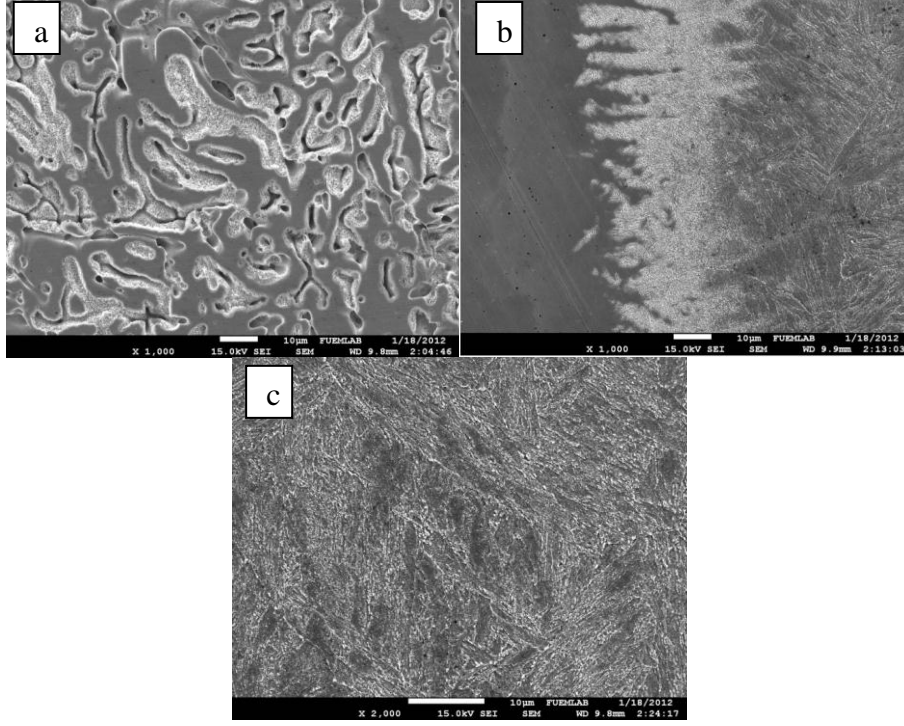
Şekil 3. Isıl işlemsiz kaynaklı numuneye ait mikroyapıların SEM görüntüsü; a: Kaynak metal, b: Geçiş bölgesi, c: İri taneli bölge, d: İnce taneli bölge

Şekil 3’de ısıl işlemsiz deney numunesine ait mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Isıl işlemsiz numunenin kaynak metalinde yoğun dentritik yapıların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bu bölgede düzensiz katılaşmadan ileri gelen düzensiz tane yapısı ve lokal olarak erken katılaşmış bölgelere rastlanmaktadır. Kaynak metalinin mikroyapısı morfolojik olarak östenitik bir matris içerisinde gömülü delta ferrit yapıdan meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Kaynak işleminde sıcak çatlak oluşum riski, kaynak teli ile esas metale ait kimyasal bileşimin östenitik matriste düşük miktarda ferrit içeren bir mikroyapı oluşacak şekilde ayarlanmasıyla önlenabilir. Bunun için yapıdaki ferrit oranının en az % 4 olması önerilir (Odabaş, 2004). 307 Si kaynak teli Schaeffler diyagramına göre % 1 ferrit içeren östenitik yapıya sahiptir. Ancak kaynak metalinde sıcak çatlak oluşumunun gözlenmemesi ihtiyaç duyulan ferrit oranının esas metal ile yapılan alaşım sayesinde telafi edildiğini göstermektedir.

Ferrit oranının sıcak çatlak oluşumunu engelleyecek aralıkta olması gerekmektedir. Çünkü yüksek ferrit oranı malzemenin korozyon dayanımına olumsuz yönde etki etmektedir (Odabaş, 2004). Ayrıca yapıdaki aşırı ferrit, süneklik ve tokluğu azalttığından zırh uygulamalarında beklentilerin ihtiyaçlara cevap verememesine neden olabilir. Dolayısıyla zırh çeliklerinin kaynağı için östenitik kaynak teli veya elektrod kullanımı bu malzemelerden beklenen birleşim mukavemeti ve performans açısından yarar sağlamaktadır. Özellikle östenitik yapı içersindeki yüksek orandaki Ni, karbür oluşturmeyen bir element olduğundan kaynak metalinde sertliğin yükselip tokluğun azalmasını engellemektedir. Bilhassa zırh çeliklerinin kaynağında ferritik yapıda kaynak teli kullanımı ön tav problemini de beraberinde getirmektedir. Ancak östenitik kaynak teli kullanımı bu problemi ortadan kaldırmaktadır.

Isıl işlemsiz deney numunesinin geçiş bölgesinde herhangi bir çatlak oluşumu veya kaynak hatasına rastlanmamıştır. Bu da kullanılan kaynak parametrelerinin ve uygulanan kaynak yönteminin birleşim için yeterli şartları sağladığını göstermektedir. Isıl işlemsiz numunede ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) iri taneli bölgenin iğnemsiz martenzit içerdiği görülmektedir. Ayrıca bu bölgede tanelerin poligonal (köşeli) görünüme sahip olduğu ve keskin köşelerle birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgede olası darbe yükü karşısında oluşabilecek çatlaklar daha kolay ilerleyeceğinden bu bölgelerin kullanım amacına yönelik beklentileri karşılaması hususunda yetersizliğe düşeceği düşünülmektedir. Isıdan etkilenmeyen esas metal yönüne doğru iri taneli bu bölgenin ince taneli ve daha homojen bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. İnce taneli bölgede iri taneli bölgenin aksine taneler kavisli bir yapıya sahiptir. Ancak ince taneli bir yapıda darbe yükü karşısında oluşabilecek çatlakların alacağı yol mesafesi azalacağından bu bölgeler de kaynaklı birleşim için dezavantaj teşkil etmektedir.

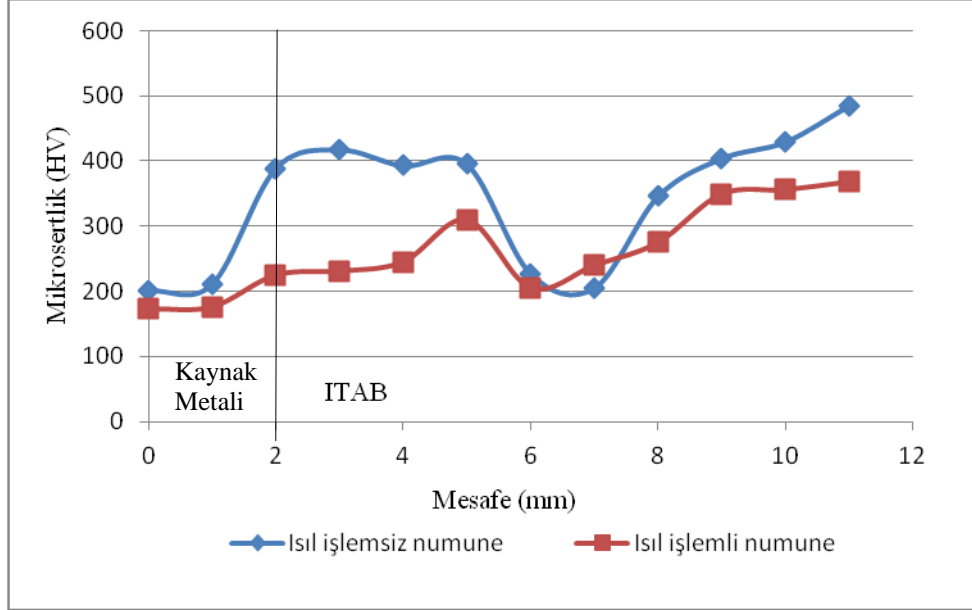


Şekil 4. Isıl işlemlenmiş kaynaklı numuneye ait mikroyapıların SEM görüntüsü;
a: Kaynak metal, b: Geçiş bölgesi, c: İri taneli bölge

Şekil 4’de ısıl işlem sonucu zırh çeliği plakasına ait kaynak bölgesinin mikroyapı fotoğrafları yer almaktadır. Kaynak metalinde ısıl işlemsiz numuneye nazaran yoğun dentrit kolları ve düzensiz katılardan ileri gelen kusurların kısmen azaldığı anlaşılmaktadır. Geçiş bölgesinde herhangi bir kusura rastlanmazken esas metal içersine yer yer difüze olmuş kaynak metal daha belirgin bir biçimde görülmektedir. Isıl işlemlenmiş deney numunesine ait iri taneli bölgede ısıl işlemsiz numuneye göre tane yapısının değiştiği ve bu değişimin bilhassa karmaşık bir yapıdan daha homojen bir yapıya dönüşüm olarak gerçekleştiği görülmektedir. Tanelerin keskin köşeli sınırlarla birbirinden ayrıldığı ısıl işlemsiz numunede bu durumun kısmen azaldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 5’de numunelerin mikrosertlik dağılımı görülmektedir. Isıl işlemsiz numunede kaynak metalinde sertliğin ısı tesiri altında kalan iri taneli bölgeden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kaynak metal içersindeki yüksek Ni oranı olduğu düşünülmektedir. Çünkü Ni karbür oluşturmeyen bir element olduğundan kaynak metalinde sertliğin yükselmesini engellemiştir. Isıl işlemsiz numunede ısı tesiri altında kalan iri

taneli bölgede en yüksek 417,8 HV sertliğine ulaşılırken ince taneli bölgede bu sertliğin 205,1 HV değerine düştüğü görülmektedir. Isıdan etkilenmeyen bölgeye doğru ise sertlik değerinin zırh çeliğinin orijinal sertliği olan 480-540 HB (506-570 HV) değerine yaklaştığı kaydedilmiştir.

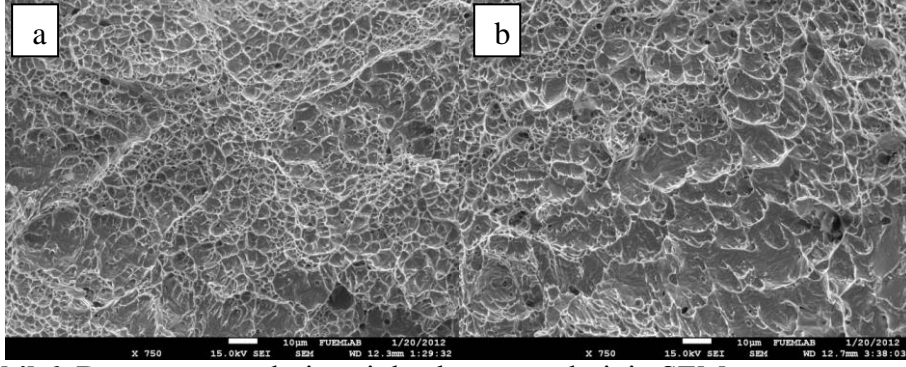


Şekil 5. Numunelere ait mikrosertlik dağılımı

Isıl işlem sonucu kaynak metalinde sertliğin düştüğü görülmektedir. Ancak bu düşüş ısı tesiri altında kalan iri taneli bölgede daha belirgin bir biçimde görülmektedir. Nitekim bu bölgede en yüksek sertlik 309,9 HV değerine düşmüştür. ITAB' dan esas metal yönüne doğru sertlik tekrar artmaya başlamıştır. Ancak bu artış zırh çeliğine ait orijinal sertliğe ulaşmamıştır. Çünkü uygulanan ısıl işlem sadece kaynak bölgesine değil parçanın bütününe uygulandığından kaynak ısısından etkilenmeyen zırh çeliğine ait bu bölgelerde ısıl işlem sonucu sertlik düşüşü meydana gelmiştir. Sonuç olarak kaynak dikişinden esas metal yönüne doğru sertlik değerlerindeki bu düzensizliğin ısıl işlem sonucu kısmen giderildiği görülmektedir.

Çentik darbe deneyi sonucunda ısıl işlemsiz numune 38,5 Joule darbe dayanımı sergilerken ısıl işlemlili numune 43 Joule darbe dayanımı göstermiştir. Dolayısıyla uygulanan ısıl işlemin kaynak dikişinde darbe dayanımını yükselttiği görülmektedir. Mikrosertlik dağılımında ısıl işlem sonucu kaynak metalinde sertliğin azalması da bunu desteklemektedir.

Çünkü azalan sertlik, sünekliğin artırmasını sağlamış ve darbe dayanımının yükselmesine neden olmuştur.



Şekil 6. Deney numunelerine ait kırılma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a: Isıl işlemsiz numune, b: Isıl işlemlili numune

Şekil 6’da ısı işlemsiz ve ısı işlemlili deney parçalarına ait çentik darbe deneyi sonrası oluşan kırılma yüzeylerinin SEM görüntüsü yer almaktadır. Bu fotoğraflarda kırılma yüzeylerinde girinti ve çıkıntı oluşumu kırılma türünün sünek olduğunu belirtmektedir. Isıl işlemlili numunede ısı işlemsiz numuneye göre girinti ve çıkıntı yoğunluğunun daha az olduğu görülmektedir. Girinti ve çıkıntılarının oluşumunun sebebi kırılma yüzeyinde belirli bir derinliğe ulaşmış olan dentrit kollarının yüzeyden ayrılması sonucu oluşan boşluklardır. Nitekim meydana gelen kırılmanın tane sınırlarından tanelerin birbirinden ayrılması şeklinde gerçekleşmiş olması bu kanıyı doğrulamaktadır. Bu tür kırılma mekanizması taneler arası kırılma veya intergranüler kırılma olarak ifade edilmektedir (Kayalı, 1983).

Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmada zırhlı muharebe araçlarında kullanılan ARMOX 500 T zırh çeliğinin kaynak sonrası gerilim giderme ısı işleme bağlı mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak bölgelerinin mikroyapısal değişimi ve sergilediği darbe dayanımı araştırılmış, darbe sonrası meydana gelen kırılma mekanizması tahlil edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

(1): *Isıl işlem sonucunda mikroyapısal olarak ısı işlemsiz numuneye göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle kaynak metalinde düzensiz soğumadan ileri gelen kusurların kısmen azaldığı ve ısı tesiri altında kalan bölgelerdeki istenmeyen mikroyapının kısmen giderildiği görülmüştür.*

(2): Gerilim giderme ısıl işleminin kaynak metalinin darbe enerjisinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Darbe enerjisindeki bu artışın kaynak dikişindeki mekanik ve metalurjik değişimin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu değişim bilhassa kaynak metalinde azalan sertlikle birlikte artan süneklik olarak kendini göstermiştir.

(3): Kaynak sonrası zırh çeliğine ait ısı tesiri altında kalan iri taneli bölgelerde martenzit oluşumu gözlenmiştir. Nitekim mikrosertlik dağılımında bu bölgelerdeki yüksek sertlik değerleri de bunu doğrulamaktadır.

(4): Gerilim giderme ısıl işlemiyle kaynak dikişinden esas metal yönüne doğru mikrosertlik dağılımındaki düzensizliğin kısmen giderildiği kaydedilmiştir.

(5): Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlenmiş numunelerde meydana gelen kırılma türünün sünek, kırılma mekanizmasının taneler arası veya intergranüler kırılma olduğu görülmüştür.

Kaynakça

- AMCP (1962). Elements of terminal ballistics, part II, *Collection and Analysis, Washington D.C., US Army Material Command*, 161-706.
- ARMOX protection plate (2001). 10 Şubat 2011'de <http://www.ssab.com> adresinden alınmıştır.
- Demir, T., Übeyli, M. ve Yıldırım, R.O. (2008). Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys against 7,62 mm armor piercing projectile, *Mater. and Des.* 29, 2009–2016.
- Eryürek, B.İ. (2007) . *Kaynak Teknolojisi, Gazaltı ark kaynağı*. İstanbul: Askaynak Yayını.
- Guidelines For Gas Metal Arc Welding. (2010). 20 Mayıs 2011. 'de http://www.millerwelds.com/pdf/mig_handbook.pdf adresinden alınmıştır.
- Kara, S. (2012) *Çelik esaslı zırh malzemesinin 307Si elektrodu ile kaynak edilebilirliğinin ve mikroyapı üzerindeki etkisinin deneysel araştırılması*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Karagöz, Ş., Atapek, H.Ş. ve Yılmaz, A. (2008). Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. *Metal Dünyası*, 182, 102-107.
- Kayalı, E. S. (1983). *Metalik malzemelerin mekanik deneyleri*. İstanbul: İTÜ Matbaası.

- Kobatek 307 Si MIG kaynak teli (2010). 10 Mart 2012'de http://www.askaynak.com.tr/contents/515/20111009200312_kob_mig_307si.pdf adresinden alınmıştır.
- Madhusudhan, R.G., Mohandas, T. ve Papukutty, K.K. (1996). Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments, *Defence Metallurgical Research Laboratory, India*, 74(1), 27-35.
- Manganello, S.J. ve Wilson, A.D. (1993). Direct quenching and its effects on high-strength armor plate. İçinde *Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90's*, Ed. R. Asfahani, G. Tither, *The Minerals, Metals & Materials Society*, 235-241.
- Nadzam, J. (2011) Gas metal arc welding guide. http://www.lincolnelectric.com/assets/en_US/Products/literature/C4200.pdf adresinden alınmıştır.
- Odabaş, C. (2004). *Paslanmaz çelikler; Temel özellikleri, Kullanım alanları, Kaynak yöntemleri*. İstanbul: Askaynak Yayını.
- Sun, D.Q., Gu, X.Y., Liu, W.H. ve Xuan, Z.Z. (2005). Welding consumable research for austempered ductile iron, *Materials Science and Engineering*, 402(1-2), 9-15.
- Şimşir, C., Yıldırım, R. O. ve Ögel, B. (2002). *Çelik zırh plakaların çekiç düşürme deneyi ile düşük hızlarda balistik karakterizasyonu*. Savunma Teknolojileri Kongresi, 24-25 Ekim, Ankara, 35-43.
- Tülbentçi, K. (1998). *MIG-MAG Gazaltı kaynak yöntemi*. İstanbul: Arctech Yayını.
- Unfried J.S., Garzón, C.M. ve Giraldo, J.E. (2009). Numerical and experimental analysis of microstructure evolution during arc welding in armor plate steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(4), 1688-1700.