

DÜŞÜK KARBONLU BİR ÇELİĞİN KAYNAĞINDA TERMOMEKANİK İŞLEMİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Kubilay KARACIF* ve **Burhanettin İNEM****

Metalurji Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi
Teknikokullar 06500 Ankara, *kkaracif@tef.gazi.edu.tr, **binem@tef.gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada düşük karbonlu bir çelik sacın kaynak bölgesi özelliklerinin geliştirilmesi, kaynak dikişine uygulanan termomekanik işlem yoluyla denenmiştir. Kaynak işleminin devamında, yüksek sıcaklıklardaki kaynak dikişi haddeleme işlemine tabi tutularak sıcak plastik deformasyon sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar ile numunelerde, mikroyapı, sertlik ve darbe direnci özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda; mikroyapıda tane boyutunda küçülme, kaynak metali sertliğinde artış tespit edilmiştir. Darbe direnci, kaynak metalinde azalırken, ısı tesiri altındaki bölgede artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termomekanik işlem, tane inceltme, kaynak.

THE EFFECT OF THERMOMECHANICAL PROCESSING ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF A LOW CARBON STEEL WELD

ABSTRACT

The microstructural refinement of weld zone in a low carbon steel by thermomechanical processing have been studied. The steel specimens were welded using MAG (Metal Active Gas) technique. With the heat of weld zone hot plastic deformation was applied on weld metal by rolling. The thermomechanical processing resulted in a significant grain refinement in both weld metal and heat affected zone. The hardness of weld metal increased. Impact resistance of specimens increased in heat affected zone whereas that of weld metal decreased slightly.

Keywords: Thermomechanical processing, grain refinement, welding.

1.GİRİŞ

Mikroyapı ve tane boyutu malzemelerin mekanik özelliklerini belirleyen önemli faktörlerdir. Küçük tane boyutuna sahip malzemeler, yüksek dayanım, yüksek tokluk ve yüksek yorulma ömrü gibi avantajlara sahiptir. Malzemelerde küçük tane boyutu elde etmek için, döküm yapılarında hızlı soğutma, aşılama, titreşim ve elektromanyetik karıştırma teknikleri uygulanmaktadır [1-3].

Kaynak yapıları kaba tanelerle karakterize edilmekte ve kaynak metallерinde de tane boyutunun küçültülmesi diğer malzemelerde olduğu gibi kaynak metalinin dayanım, tokluk, süneklik gibi mekanik özelliklerini geliştirmekte ve ince, eşeksizli tanelerden oluşan kaynak metalinde sıcak yırtılma eğilimi de azalmaktadır [1,2,4].

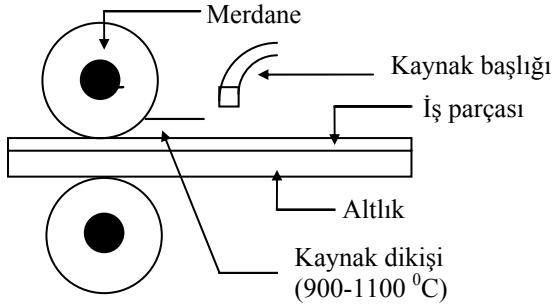
Döküm işleminde uygulanan tane inceltme teknikleri, kaynak işleminde sınırlı bir başarı ile uygulanabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların başlıcaları şunlardır: Petersen [3], kaynak metalinin tane yapısını inceltmede aşılama yöntemini mikrodubleks paslanmaz çelik malzemenin kaynağında denemiş ve iyi katılma özelliği sonucu, ince, eşeksizli bir tane yapısı elde etmiştir. Garland [5], başka bir tane inceltme tekniği olan başlık veya elektrod vibrasyonunun etkisini incelemiş ve gerekli kritik şartları tespit ederek, küçük tane boyutuna sahip kaynak metali oluşumunu sağlamıştır. Kou ve Le [4], Tseng ve Savage [6], Sharir ve diğerleri [7], ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda kaynak işleminde manyetik ark osilasyonunun tane yapısı ve katılma çatlama üzerindeki etkisini araştırmışlar ve bu metodla tane inceltmesi ve katılma çatlama azalması tespit etmişlerdir. Tewari ve Shanker [8], titreşimle hazırlanmış kaynaklarda mikroyapı değişimleri üzerine yaptıkları çalışmada, değişik genlik ve frekanslarda titreşimler uygulayarak, tane inceltmesinde farkedilir değişimler olduğunu göstermişlerdir. Pearce ve Kerr [9], manyetik karıştırma yöntemi ile alüminyum alaşımlarının kaynağında mikroyapıda tane inceltmesi ve kaynak metali özelliklerinde gelişme elde etmişlerdir.

Bu çalışmada ise termomekanik işlem ile aynı amaçlara ulaşmaya çalışılmıştır. Termomekanik işlem terimi; malzemenin tane boyutunu küçülterek mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, mekanik işlem (plastik deformasyon) ve ısıtma işleminin kontrollü bir şekilde bir arada uygulandığı işlemleri belirtmektedir ve bu işlemlerin ayrı ayrı uygulanması ile elde edilemeyen özellikler elde edilebilmektedir. Termomekanik işlem ile malzemelerde genellikle dayanımın artması ile birlikte süneklik ve tokluk özellikleri de artmaktadır.

2. MALZEME VE DENEYSEL METOD

Bu çalışmada 4x40x300 mm ebatlarında düşük karbonlu çelik (% 0.0356C) malzemeler ikişerli yanyana getirilerek MAG kaynak yöntemi ile alın kaynağı yapılmıştır. Kaynak işleminde tek pasoda parça kalınlığının tamamına nüfuziyet olacak şekilde ve 1.2 mm çapında SG2 kaynak teli kullanılarak kaynak işlemi yapılmıştır [10].

Deneysel çalışmalarda numunelerden bir kısmına yalnız kaynak işlemi uygulanırken, diğer kısım numunelere kaynak işlemi yapıp, bu işlemin devamında kaynak dikişi yüksek sıcaklıklarda iken (yaklaşık 900-1100 °C) merdaneler arasından geçirilerek plastik deformasyon uygulanmıştır. Kaynak edilen parçaların altında ayrıca altlık bulunmaktadır. Burada termomekanik işlem için yüksek derecelerdeki kaynak ısısından yararlanılmış, ayrıca bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Uygulanan deformasyon oranı kaynak dikişi kesiti boyunca % 20 oranında olmuştur [10]. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 1’de verilmektedir.



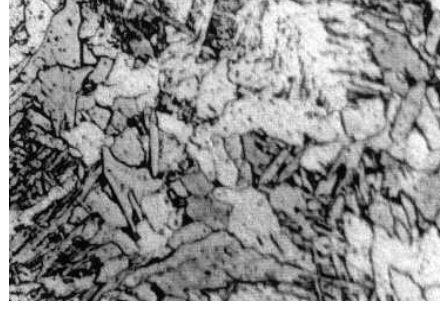
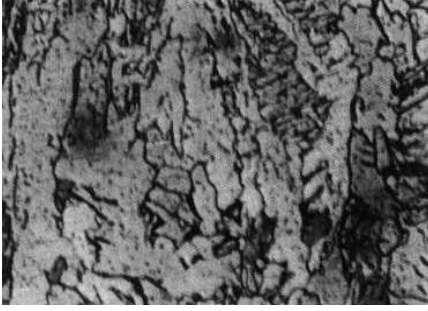
Şekil 1. Şematik deney düzeneği

Belirtilen şekilde termomekanik işlem uygulanan tipteki numunelerde ve termomekanik işlem uygulanmayan normal numunelerde mikroyapı, sertlik ve darbe direnci özellikleri karşılaştırılmıştır. Numunelerde yapılan sertlik ölçümleri Vickers yöntemi ile 10 kg yük kullanılarak ve her bir bölge için üçer adet numune üzerinde toplam 54 sertlik ölçümü yapılmıştır. Darbe direnci deneyi yapılırken numunelerden bir kısmında kaynak metali merkezinde, diğer kısmına ise kaynak metali-ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) birleşme yerinde 1 mm derinlikte çentik açılmıştır. Numune kalınlığı 4 mm’dir. Darbe direnci deneyleri oda sıcaklığında ve beşer adet olmak üzere toplam 20 numune kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca termomekanik işlem görmüş ve işlem görmemiş numunelere 180° eğme testi uygulanmıştır.

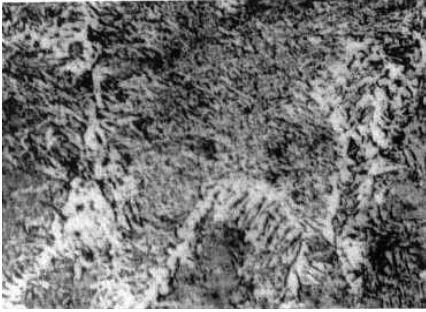
2. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Şekil 2’de işlem görmemiş normal numunenin kaynak metali mikroyapı fotoğrafları, Şekil 3’de ise kaynak işlemi devamında termomekanik işlem görmüş numunenin kaynak metali mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Aynı şekilde iki farklı tip numunede ITAB’den alınan mikroyapı fotoğrafları Şekil 4’te gösterilmektedir.

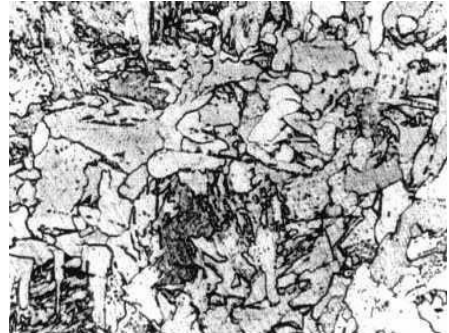
Mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, termomekanik işlem görmüş numunelerde tane boyutunda küçülme olduğu görülmektedir. Numunelerin ASTM tane boyu



Şekil 2. İşlem görmemiş numunede kaynak metali mikroyapısı, (x 150)



Şekil 3. Termomekanik işlem görmüş numunede kaynak metali mikroyapısı, (x 150)



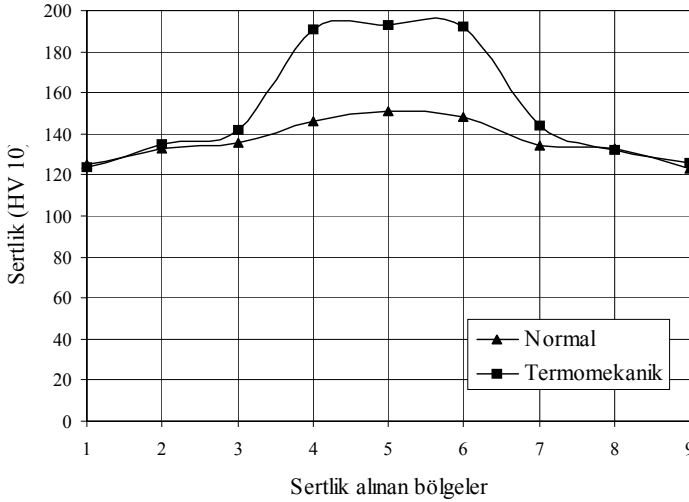
(a)

(b)

Şekil 4. (a) İşlem görmemiş (b) Termomekanik işlem görmüş numunelerde ITAB mikroyapısı, (x 150)

numaraları, $N=(\text{Büyütme oranı}/100)^2$. (1mm^2 'deki tane sayısı) $=2^{n+3}$ bağıntısından bulunmuştur [11]. Bu bağıntıya göre işlem görmemiş numunenin kaynak metali ASTM tane boyu numarası (n) 4.4 iken, bu değer termomekanik işlem görmüş numunede 5.8 olmuştur. ITAB'da ise işlem görmemiş numunenin ASTM tane boyu numarası 5 iken, termomekanik işlem gören numunede 5.4 olarak belirlenmiştir. Burada tane boyutundaki değişimin gerçek anlamda belirlenebilmesi amacıyla tane boyu numarası değerleri, tamsayıya dönüştürülmemiştir. ASTM tane boyu numarası arttıkça birim alana düşen tane sayısı artmakta, dolayısıyla tane boyutu küçülmektedir. Kaynak metalinin tane boyutunda meydana gelen bu küçülme, kaynak dikişine uygulanan termomekanik işlem esnasında gerçekleşen muhtemel dinamik yeniden kristalleşme ile olabilmektedir. Normal kaynak numunesi ve termomekanik işlem görmüş kaynak numunesinde sertlik ölçülen bölgeler ve ölçüm sonuçları Şekil 5'te görülmektedir.

Grafikte görüldüğü gibi, normal kaynak numunelerinde kaynak metali sertliği 150 HV civarında ölçülürken, termomekanik işlem görmüş numunelerde kaynak metali sertliği 190 HV civarında ölçülmüştür. Yani termomekanik işlem görmüş numunede kaynak metali sertliği, işlem görmemiş numuneye göre 40 HV civarında artış göstermiştir. Sertlikte meydana gelen bu artışa paralel olarak dayanımın da arttığını söylemek mümkündür. Sertlik ve dolayısıyla dayanımda meydana gelen bu artışın



Şekil 5. Sertlik ölçülen bölgeler ve ortalama sertlik dağılımı

sebebi, termomekanik işlem görmüş numunelerde dinamik yeniden kristalleşme ile daha küçük tane boyutuna sahip bir mikroyapının oluşmasıdır.

Darbe deneyleri sonucunda beşer adet numunenin ortalamasına göre, işlem görmemiş numunede kaynak metali darbe direnci 29 J, termomekanik işlem görmüş numunede 23 J olarak tespit edilmiştir. ITAB'da ise işlem görmemiş numunede 24 J, termomekanik işlem görmüş numunede 36 J olarak darbe direnci tespit edilmiştir. Yani termomekanik işlem ile kaynak metali darbe direncinde azalma olurken, ITAB'da gelişme tespit edilmiştir. Malzemelere uygulanan 180° eğme testi sonucunda ise hem işlem görmemiş hem de termomekanik işlem görmüş numunelerde 0 dereceye yaklaşılmamasına rağmen kaynak bölgesinde herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır.

Kaynak işleminin devamında kaynak dikişine uygulanan termomekanik işlem ile kaynak metali mikroyapısında tane boyutu küçülmesi tespit edilmiştir. Ergime sınırının hemen bitişiğindeki ITAB'da ise tane boyutu küçülmesi daha az oranlarda olmuştur. Mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü gibi herhangi bir işlem görmemiş kaynak numunelerinde kaynak metali mikroyapısı, katılma yönünde uzamış oldukça kaba tanelerden oluşurken, termomekanik işlem görmüş numunelerin mikroyapıları daha ince tanelerden oluşmuştur. Tane boyutunda meydana gelen küçülme termomekanik işlem esnasında oluşan muhtemel dinamik yeniden kristalleşme ile açıklanabilmektedir.

Kaynak metali sertliği ve buna paralel olarak da dayanımı termomekanik işlem ile artış göstermiştir. Bu artış, termomekanik işlem ile oluşan küçük tane boyutuna sahip bir mikroyapı oluşmasının bir sonucudur. Bilindiği gibi küçük tane boyutuna sahip malzemelerde dayanım daha yüksek değerlerde olmaktadır.

Darbe direnci özelliği iki değişik şekilde değişme göstermiştir. Kaynak metali darbe direncinde termomekanik işlem ile 5-6 J'lük bir azalma tespit edilirken, ITAB'da 10-12 J civarında bir gelişme olmuştur. Kaynak metali darbe direncinde, uygulanan termomekanik işlem ile küçük tane boyutuna sahip mikroyapı oluşmasının sonucu olarak gelişme beklenirken bir miktar azalmanın olması bu çalışmada beklenilmeyen bir sonuç olmuştur. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde termomekanik işlem görmüş numunelerin mikroyapılarında fazla miktarda bulunan ince asiküler ferrit tanelerinin çentik etkisi yapması ile ilişkilendirilmiştir [12]. İşlem görmemiş numunelerin kaynak metali mikroyapılarında bu tip çentik etkisi yapabilecek tanelere rastlanmamıştır. ITAB'da ise tane boyutunun küçülmesi ile birim hacimdeki tane sınırı ve tane yüzey alanı artmakta ve bunun sonucu olarak malzemenin dayanımında ve darbe direncinde gelişme olmaktadır.

Kaynak metali tane boyutunu küçültürken kaynak özelliklerini geliştirmek için yapılan diğer çalışmaların hepsinde [3-9] temel mekanizma katılma sırasında etkili

olurken, bu çalışmada uygulanan termomekanik işlem ise, kaynak metali katılaştıktan sonra yüksek sıcaklıklarda etkili olmuştur.

Bu çalışmada uygulanan termomekanik işlem, haddeleme işleminin yapılabileceği düz parçaların kaynağında gerektiğinde kullanılabilir bir işlemdir. Termomekanik işlem için kaynak esnasında oluşan yüksek ısıdan faydalanılması ayrıca bir ısıtma işlemine gerek olmaması da bir avantaj olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Kaynak ısısından faydalanılarak yapılan termomekanik işlem ile kaynak metali mikroyapısında tane boyutunda küçülme olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak metali sertliği uygulanan termomekanik işlem ile artmıştır.

Termomekanik işlem sonucunda kaynak metali darbe direnci bir miktar azalırken, ITAB-kaynak metali sınırında darbe direncinde bu bölge için önemli sayılabilecek bir gelişme olmuştur.

Termomekanik işlem görmüş ve işlem görmemiş numunelerde 180° eğme testi sonucunda kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama görülmemiştir.

KAYNAKLAR

1. Cerjak, H. ve Easterling K.E., **Mathematical Modelling of Weld Phenomena**, The Institute of Materials, Londra, 1992.
2. Yükler, İ., **Kaynak Metali**, Marmara Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1986.
3. Petersen, W.A., "Fine Grained Weld Structures", **Welding Journal**, Cilt 52, 74-79, 1973.
4. Kou, Y. ve Le, Y., "Grain Structure and Solidification Cracking in Oscillated Arc Welds of 5052 Aluminium Alloy", **Metallurgical Transactions A**, 16 A, 1345-1352, 1985.
5. Garland, J.G., "Weld Pool Solidification Control", **Metal Construction and British Welding Journal**, 121-127, Nisan 1974.
6. Tseng, C.F. ve Savage, W.F., "Effect of Arc Oscillation", **Welding Journal**, Cilt 50, 777-786, 1971.
7. Sharir, Y., Pelleg, J. ve Grill, A., "Effect of Arc Vibration and Current Pulses on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Tantalum Welds", **Metals Technology**, 190-196, Haziran 1978.
8. Tewari, S.P. ve Shanker, A., "Microstructural Changes Associated with Vibratory Prepared Weldments", **Journal of Materials Science Letters**, Cilt 12, 1335-1336, 1993.

9. Pearce, B.P. ve Kerr, H.W., “Grain Refinement in Magnetically Stirred GTA Welds of Aluminum Alloys”, **Metallurgical Transactions B**, Cilt 12 B, 479-486, 1981.
10. Karacif, K., Kaynak Bölgesi Özelliklerinin Termomekanik İşlem İle Geliştirilmesi (Modifikasyon), Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü.F.B.E.**, Ankara, 1998.
11. Askeland, D.R., **The Science and Engineering of Materials**, Second Edition, 1990.
12. Heine, R.,W., Loper, C.,R. ve Rosenthal, P.,C., **Principles of Metal Casting**, McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 1979.