

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ELECTRODE EXTENSION DISTANCE ON MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW CARBON STEEL WELDED WITH SUBMERGED ARC WELDING

Nizamettin KAHRAMAN*

ZKU, Karabük Technical Education Faculty, Karabük
e-mail: nizamettinkahrama@hotmail.com

Behçet GÜLENÇ, Ahmet DURGUTLU

Gazi University, Technical Education Faculty, Besevler, Ankara

ABSTRACT

In this study, the effect of electrode extension distance on metallurgical and mechanical properties of low carbon steel joints welded with submerged arc welding was investigated. OP 139 flux and OE S1 welding wire were used to weld steel parts using three different electrode extension distances. It is found that electrode extension distance effected the hardness and changed the microstructure of weld metal. It was seen that increasing electrode extension distance reduced the hardness of weld metal and HAZ. Tensile tests showed that rupture occurred in the base metal of all samples. Impact tests revealed that the best toughness value was obtained from the sample welded using 24 mm electrode extension distance.

Key Words: Electrode extension distance, Submerged arc welding, Mechanical properties.

TOZALTI ARK KAYNAĞI İLE KAYNAKLANAN DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERDE SERBEST TEL UZUNLUĞUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada tozaltı ark kaynağı ile düşük karbonlu çelik malzemeler OE S1 kaynak teli ve OP 139 kaynak tozu ile üç değişik serbest tel uzunluğu kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirmenin mekanik ve metalurjik özellikleri araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda kaynak esnasında kullanılan farklı serbest tel uzunluklarının kaynak metali sertliği ve mikroyapısını değiştirdiği tespit edilmiştir. Düşük karbonlu çelik malzemelerin tozaltı ark kaynağında, serbest tel uzunluğunun artması ile kaynak metali ve ITAB'deki sertlik değerlerinin azaldığı görülmüştür. Yapılan çekme testlerinde bütün numunelerde kopma ana malzemedan gerçekleşmiştir. Çentik darbe testi sonucunda en iyi tokluğu 24 mm serbest tel uzunluğunun kullanıldığı birleştirmeler göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Serbest tel uzunluğu, Tozaltı ark kaynağı, Mekanik özellikler

1. GİRİŞ

Ergitmeli kaynak yöntemleri içinde en yüksek verimliliğe sahip olan tozaltı ark kaynak yönteminin otomatik olarak sürekli kaynak yapabilme imkanı sağlaması, derin nüfuziyet, enerji ekonomisi, kaynak teli tüketiminin az olması, düzgün görünüşlü kaynak dikişi, yüksek ergime gücü ve kaynak hızı gibi üstünlükleri bilinmektedir (1,2).

Tozaltı ark kaynağında kaynak metali, dolgu metali, ana malzeme ve kaynak tozunun kimyasal ve fiziksel reaksiyonu sonucu meydana gelir. Kaynak metali ile ana

1. INTRODUCTION

Submerged arc welding (SAW) method has some advantages such as effective welding, capable of continuous welding, deep diffusivity, energy saving, good shaped welding line, and high welding speed (1,2).

In submerged arc welding, welding metal is formed by the chemical and physical reaction among filling metal, base metal, and welding powder. Welding flux and welding wire should be chosen precisely to get a good matching between base and weld metal (3). In the submerged welding, arc effectiveness can be improved by

metalin uyumlu hale getirilebilmesi için kaynak tel ve tozunun uygun seçilmesi gerekir (3). Bu yöntemde ark verimliliği, çok telli kaynak, çok elektrotlu kaynak, sıcak tel kaynağı ve kaynağa metal tozu ilave edilerek artırılabilir (4). Tozaltı ark kaynağında kaynak arkı taneler ve eriyebilen bir toz kütlesi tarafından korunur (5,6). Burada ısı, iş parçası ile eriyebilen bir tel elektrod arasındaki ark tarafından üretilir. Ark, ergiyük toz veya curuf tarafından atmosferin olumsuz etkilerinden korunur (7,8). Kaynak metalinin çatlamaya karşı direnci ve mekanik özellikleri karışımı oluşturan alaşım elementleri tarafından iyileştirilebilir (9-11).

Tozaltı kaynağında kullanılan tane şeklindeki tozlar, örtülü elektrotla yapılan kaynakta örtünün sağladığı görevi yerine getirerek kaynak işlemine, fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir ederler (12,13). Fiziksel olarak meydana gelen curuf kaynak banyosunu havaya karşı korur, dikişe uygun bir form verir ve kaynak banyosunun yavaş soğumasını sağlayarak zararlı gazların kaynak banyosunu terk etmesi için zaman kazandırır. Metalurjik olarak da kaynak banyosuna ilave ettiği yardımcı katkı elemanları ile yanma kayıplarını ortadan kaldırır ve dengeler (8).

Kaynak dikişinin düzgün ve etkin bir biçimde curufla örtülmesi için bir katılaşma sağladığından, kaynak banyosundan gaz çıkışı kolaylaşmakta ve birim boya uygulanan akım şiddetinin yüksekliği de soğuma hızını yavaşlattığından geçiş bölgesinde sertleşme ihtimali de zayıflamaktadır (14,15).

Bu çalışmada amaç, düşük karbonlu çelik malzemelere OE S1 kaynak teli ve OP 139 aglomere kaynak tozu kullanılarak, tozaltı ark kaynağında, serbest tel uzunluğunun kaynaklı parçaların mekanik ve metalurjik özelliklerine etkilerini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen 500x80x6 mm ebatlarında düşük karbonlu çelik malzemeler tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynaklı malzemelere çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik testleri uygulanmış ayrıca mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

Table 1. Chemical composition of base metal (weight %)
Çizelge 1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

| Element/Element | C | Mn | Si | P | S | Ni | Cr | Fe |
|---------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Weight (%) / % Oran | 0,07 | 0,51 | 0,10 | 0,015 | 0,09 | 0,021 | 0,043 | 99,14 |

Kaynak uygulamalarında LINCOLN IDEAL ARC DC-1500 tipi tozaltı kaynak makinası, 3,2 mm çapında OE S1 kaynak teli ve OP 139 kaynak tozu kullanılmıştır. Kaynak esnasında kullanılan tel ve tozların kimyasal bileşimleri Çizelge 2'de verilmiştir. Kaynak işlemleri Çizelge 3'de verilen kaynak parametreleri ile üç değişik serbest tel uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

using multiple welding wire, multiple electrodes, hot wire welding and adding metal flux to the welding flux (4). In submerged welding, welding arc is prevented by a mass flux that is granular and can be melted (5, 6).

Submerged arc welding (SAW) is an arc welding process in which the arc is concealed by a blanket of granular and fusible flux. Heat for SAW is generated by an arc between a bare solid metal (or cored) consumable wire or strip electrode and the work piece. The arc is maintained in a cavity of molten flux or slag, which refines the weld metal and protects it from atmospheric contamination (7,8). Alloy ingredients in flux may be present to enhance the mechanical properties and crack resistance of the weld deposit (9-11).

Granular flux, which are used in submerged welding, affect the welding process physically and metallurgically (12-13). From the physical effect of view, slag prevents the welding bath against air, gives a good shape to the welding line, and lowers the cooling rate so that gives time undesired gases to leave welding bath. Additionals from flux equalizes the weld metal and balance the metal for the burning losses (8).

Since the covering of welding line with slag causes a stable solidification, gas release can be easier. High current to the unique length of welding wire reduces the cooling rate so that possibility of high hardness of transition zone is got smaller (14, 15).

The aim of this study is to investigate the effect of electrode extension distance on mechanical and metallurgical properties of welding. OE S1 welding wire and OP 139 agglomerated welding flux were used for the work.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The chemical composition of welding parts is given in Table 1. Dimensions of the low carbon steel are 500 x 80 x 6 mm. Tensile, bending, impact and hardness tests are applied the welding pieces to check the mechanical properties. Microstructural properties are also investigated.

LINCOLN IDEAL ARC DC-1500 type submerged arc welding machine, OE S1 welding wire with 3.2 mm diameter and OP 139 welding flux were employed for the welding process. Chemical compositions of the welding wire and flux were given in Table 2. Parameters, which are given in table 3, were used with three different electrode extension distances.

Table 2. Chemical compositions of welding wire and welding flux (16)
Çizelge 2. Kaynak tel ve tozlarının kimyasal özellikleri (16)

| Material/ Malzeme | Chemical composition/ Kimyasal Bileşimi | Properties/ Özellikleri |
|----------------------|--|---|
| OP 139 (flux/ toz) | % 20 SiO ₂ +TiO ₂ , %25 CaO+MgO, %35 Al ₂ O ₃ +MnO ₃ , %15 CaF ₂ | OP 139 is an agglomerated submerged arc welding flux with the basic characteristics. It is manufactured for welding carried out with single and multiple passes and single and multiple wires for the joining of corner and butt welding. OP 139 alümina-bazık karakterli, aglomere tozaltı kaynak tozudur. Tek pasolu ve çok pasolu, alın ve köşe kaynakları yapılan tek ve çok telli tozaltı kaynak sistemlerinde kullanım amaçlı geliştirilmiştir. |
| OE S1 (wire/tel) | Max. %0,12 C, % 0,5 Mn, Max.% 0,10 Si | This wire is used for the general structural steel which has tensile strength of 510 N/mm ² and is used for pressure vessels, pipes and construction. Electrical conductivity and corrosion resistance are high because of copper coating. Basınçlı kap, boru, gemi, çelik konstrüksiyon imalatında 510 N/mm ² çekme dayanımına sahip genel yapı çeliklerinin kaynağında kullanılan masif tozaltı kaynak telidir. Bakır kaplı olması elektrik iletkenliğini ve paslanmaya karşı direncini artırır. |

Table 3. Welding parameters
Çizelge 3. Kullanılan kaynak parametreleri

| Current/Akım | Voltage/Volt | Welding speed/ Kaynak Hızı | Heat input/ Isı girdisi |
|--------------|--------------|----------------------------|-------------------------|
| 400 | 30 | 450 mm/min. | 1,6 kJ |

Kaynatılacak malzemeler, aralarında 3 mm boşluk bırakılarak 50 mm aralıklarla puntalanmış ve numunelerin altına 5 mm kalınlığında bakır bir altlık yerleştirilmiştir. Kaynak esnasında serbest tel uzunluğu hariç diğer parametrelerin sabit olmasına özen gösterilmiştir. Açık havada soğutulup curufu temizlenen numuneler şerit testere makinası ile her bir numuneden 3 adet çekme, 3 adet eğme, ana malzeme, ITAB ve Kaynak metalinden 3'er adet olmak üzere toplam 9 adet çentik darbe (Şekil 1) ve 2 adet sertlik ve mikroyapı numunesi hazırlanacak şekilde kesilmiştir.

Samples, to be welded, are placed on a copper substrate with a thickness of 5 mm. 3 mm space is kept between parts. During the welding, all parameters are kept constant except electrode extension distance. Welded parts are cooled in the air and cleaned for the slag. As illustrated in the Figure 1, three identical parts are cut for the tensile and bending tests. From base metal, weld metal and heat affected zone (HAZ), three identical parts were also cut using a plate saw. Two parts for hardness and two parts for the microstructural investigation were also.

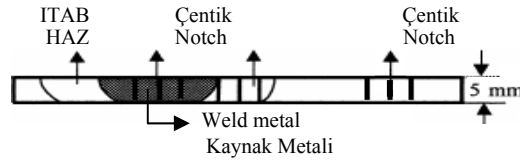


Figure 1. Illustration of cutting order for the samples of impact test
Şekil 1. Çentik darbe deney test numunesinin hazırlanış biçimi

Çekme numuneleri EN 895, eğme numuneleri 180° olmak üzere pr EN 910'da belirtilen şartlara göre ve çentik darbe numuneleri ise TS 269'a göre hazırlanmışlardır. Çentik darbe numuneleri zımparalanma, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra çentik açma işlemine tabi tutulmuşlardır. Çentik açma işlemleri Şekil 1'de görülen bölgelere olmak üzere her bir numuneye tek bir çentik açılmış ve çentiğin numunenin orta kısmına gelmesine dikkat edilmiştir. Çekme ve eğme için hazırlanan numuneler INSTRON MFL SYSTEM tipi çekme cihazı ile 1mm/dk ilerleme hızında ve çentik darbe numuneleri ise INSTRON WOLPERT PW 30 marka makine ile oda sıcaklığında teste tabi tutulmuşlardır.

Mikroyapı numuneleri, standartlara uygun olarak hazırlanmışlar ve % 3 Nital ile dağlanmışlardır. Numuneler 1000 büyütme kapasiteli PRIOR marka optik mikroskop ile görüntülenmişlerdir. Sertlik ölçümleri INSTRON WOLPERT sertlik cihazı ile 1 kg yük altında yapılmıştır. Ölçümler, eşit aralıklarla olmak üzere her bir numuneden

Tensile test, bending test and notched impact test samples are prepared in accordance with EN 895, pr EN 910 and TS 269 respectively. Notches are machined after grinding, polishing and etching of the samples. One single notch was open for each sample on the places as illustrated in Figure 1. Tensile strength and bending tests were carried out by using an INSTRON MFL SYSTEM type machine with a pulling speed of 1 mm/min. Notch impact test was carried out with an INSTRON WOLPERT PW 30 type machine at room temperature.

Standard metallographic preparation method was followed for the preparation of samples for microstructural investigation. 3% nitric acid in methanol was used as etching agent. Micropictures were taken with a PRIOR type optical microscope. Hardness measurement was done under a load of 1 kg using a INSTRON WOLPERT machine. An average value of 5 measurements was given as the hardness value.

5'er adet yapılmış olup, ortalamaları alınmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tozaltı kaynağı ile üç değişik serbest tel uzunluğu kullanılarak birleştirilmiş numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Table 4. Tensile test results
Çizelge 4. Çekme deney sonuçları

| Material / Malzeme | Yield strength/ Akma Mukavemeti (kg/mm ²) | Tensile strength/ Çekme Mukavemeti (kg/mm ²) | Extension/ Uzama (%) | Fracture zone/ Kopma Yeri |
|---|---|--|----------------------------|---|
| Base metal / Ana Malzeme | 37 | 55 | 28 | Middle of tensile length / Çekme boyu ortası |
| 24 mm electrode extension distances/ 24 mm serbest tel uzunluğu | 40 | 58 | 25 | Base metal / Ana malzeme |
| 16 mm electrode extension distances/ 16 mm serbest tel uzunluğu | 42 | 58 | 25 | Base metal / Ana malzeme |
| 8 mm electrode extension distances/ 8 mm serbest tel uzunluğu | 41 | 58 | 24 | Base metal / Ana malzeme |

Çizelge 4 incelendiğinde kopma işleminin ana malzemeden gerçekleşmesinden dolayı kaynaklı numunelerin tümünde elde edilen akma, çekme ve % uzama miktarlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Burada kaynaklı numunelerin çekme dayanımının ana malzemenin çekme dayanımından çok az yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, çekme testi sırasında kaynaklı bölgenin deformasyonu engellemesi olarak düşünülebilir. Bilindiği üzere aynı bileşim ve farklı çekme boylarında yapılan çekme testleri sonucu, eğer çekme hızı sabit ise çekme boyu kısa olan malzeme hızlı peklemeden dolayı daha yüksek dayanım gösterir. Çalışmamızda, çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesinin sert olması sebebiyle deformasyon bu bölgenin dışında meydana gelmektedir. Deformasyonun dar bir bölgede meydana gelmesi de dayanımın yüksek değerler göstermesine neden olmuştur. Kopma ana malzemeden olmasına rağmen, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin düşük çıkmasının sebebi kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan bir araştırmada da (17), kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin kaynaklı numunelerden daha az olduğu belirtilmektedir.

Tozaltı kaynağı ile üç değişik serbest tel uzunluğu kullanılarak birleştirilmiş numunelerden elde edilen eğme deneyi numuneleri 180° büküldüğünde kaynaklı bölgede göz ile yapılan incelemelerinde eğilme bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır.

Kaynaklı numunelerin kaynak metali, ITAB ve ana malzemelerinden hazırlanmış 5x10x55 mm ebatlarındaki çentik darbe deney sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Tensile test results of samples, which are welded using three different electrode extension distances, were given in Table 4.

When Table 4 is closely examined, yield, fracture and extension amounts are almost same due to fracturing from base metal area. It is understood from Table 4 that, tensile strength of welded sample is a little high than that of base metal. This high tensile strength of weld sample can be attributed to that weld zone shorten the tensile length of test sample. As it is known, when one is shorter and another one longer two identical sample are tested for tensile strength under same pulling speed, the shorter sample shows higher strength because of higher deformation hardening. Since our tensile test samples were prepared in accordance with related standard, deformation was occurred in the out of welding zone because of high hardness of welding zone. A relatively high strength was measured from the welded sample because of a shorter deformation length. Extension is relatively low because weld zone was never elongated so that a shorter length was elongated. It was reported in another research (17) that, weld samples were less elongated than unwelded samples.

When submerged arc welded samples visually examined after bending 180°, it was seen that weld zone does not show any weld defect on the area of bending.

Notch impact test results of weld metal, HAZ and base metal are given in Table 5. Dimensions of the samples are 5x10x55 mm.

Table 5. Notch impact test results (in joule)
Çizelge 5. Çentik darbe deney sonuçları (Joule)

| Electrode extension distance/ Serbest tel uzunluğu | Weld metal/ Kaynak Metali | HAZ/ ITAB | Base metal / Ana Malzeme |
|---|------------------------------|--------------|-----------------------------|
| 24 mm | 55 | 58 | 67 |
| 16 mm | 53 | 56 | 67 |
| 8 mm | 48 | 51 | 66 |

Burada en yüksek çentik darbe mukavemetini ana malzeme gösterirken bunu sırasıyla ITAB ve kaynak metali takip etmektedir. Şekil 2'deki sertlik değerleri ile kaynaklı numunelerden elde edilen tokluk değerleri kıyaslanacak olursa sertliğin artmasıyla tokluğun düştüğü görülmektedir.

Çetinkaya (18) yaptığı bir araştırmada sertliğin artmasıyla tokluğun azaldığını rapor etmektedir. Burada kaynak metalinden elde edilen çentik darbe mukavemetleri ITAB'den elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağında ITAB'nin kırılma davranışları üzerine yapılan bir araştırmada (17) ITAB'daki iri taneli bölgenin tokluğunun kaynak metalinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ITAB'ın sertliğinin kaynak metali sertliğinden düşük olması bu sonucu doğrulamaktadır.

While the base metal shows the highest notch impact resistance, HAZ and weld metal shows the second and third highest notch impact resistance respectively. A comparison of hardness and toughness values of welded samples is given in Figure 2. As it is seen from the Figure 2, toughness of welded metal reduces with increasing hardness.

It was also reported in another work (18) that toughness of welded metal reduces with increasing hardness. Notch impact test showed that the notch impact resistance of weld metal is lower than that of HAZ. Another research (17), done for fracture behavior of HAZ of low carbon steel, showed that toughness of large grained areas of HAZ was higher than that of weld metal. It is also pointed out that hardness of HAZ is lower than that of weld metal.

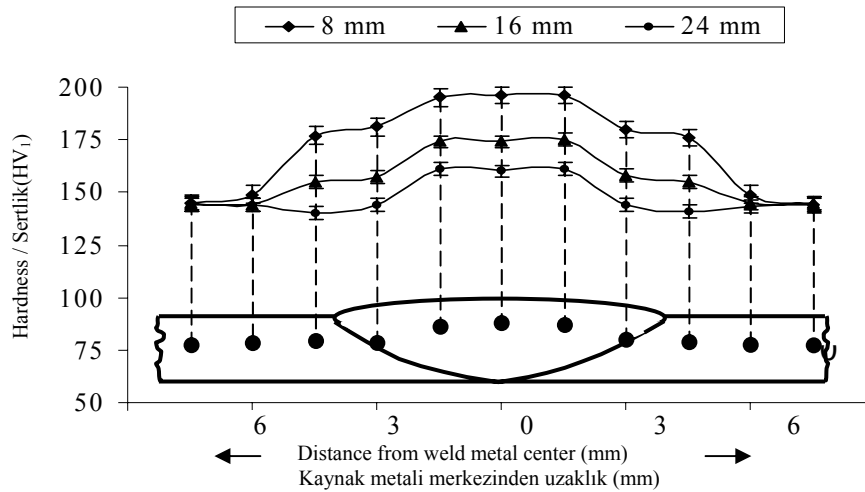


Figure 2. Hardness values of samples welded with different electrode extension distance
Şekil 2. Farklı serbest tel uzunluğunda yapılan birleştirmelerin sertlik değerleri

Şekil 2 incelendiğinde üç değişik serbest tel uzunluğu ile gerçekleştirilmiş kaynaklı numunelerin ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden elde edilmiş sertlik değerleri verilmiştir.

Serbest tel uzunluğunun 8 mm'den 24 mm'ye artması ile beraber sertlikte bir azalmanın olduğu görülmektedir. Burada 8 mm serbest tel uzunluğunda elde edilen kaynak metallerinin kaynak metali merkezinden ölçülen sertlik değeri 196 HV iken 16 mm serbest tel uzunluğundaki sertlik değeri 174 HV ve 24 mm serbest tel uzunluğundaki ise 160 HV olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi de kaynak esnasında kaynak bölgesine gönderilen toz miktarının artması gösterilebilir. Bilindiği gibi, kaynak bölgesine

The hardness values of base metal, HAZ and weld metal, welded with three different electrode extension distance, are given in Figure 2. It was examined that hardness reduced with the increasing of electrode extension distance to 24 mm from 8 mm. Hardness values of weld metal center were measured to be 196 HV, 174 HV and 160 HV for samples welded with electrode extension distances of 8 mm, 16 mm and 24 mm. This can be attributed to the increasing flux amount with increasing electrode extension distance. Increasing powder amount reduces the cooling rate so that the hardness reduces. The reason for higher hardness of weld metal than that of base metal is the carbon and alloying elements

gönderilen toz miktarının artmasıyla kaynak metalini örten curuf ve üzerindeki ergimemiş kaynak tozu da artmaktadır. Kaynak tozunun artması, kaynak sonrası kaynaklı bölgenin yavaş soğumasını sağlayacak ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca kaynak metalinin sertliğinin ana malzemeden daha sert olması, kaynak esnasında kullanılan ilave metaldeki karbon ve diğer alaşım elementlerinin oranıyla ilişkilidir. ITAB'dan ölçülen sertlik değerlerinin yüksek olmasının sebebi ise bu bölgede meydana gelen tane irileşmesidir. Qiu ve Kawaguchi (19), düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynak bölgesinde yaptıkları bir araştırmada, kaynak metali sertliğinin, ITAB'ın sertliğinden daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

of electrode. The reason of the higher hardness value of HAZ is the larger grains. Qui and Kawaguchi studied on weld metal of low carbon steel and reported (19) that hardness of weld metal is higher than that of HAZ.

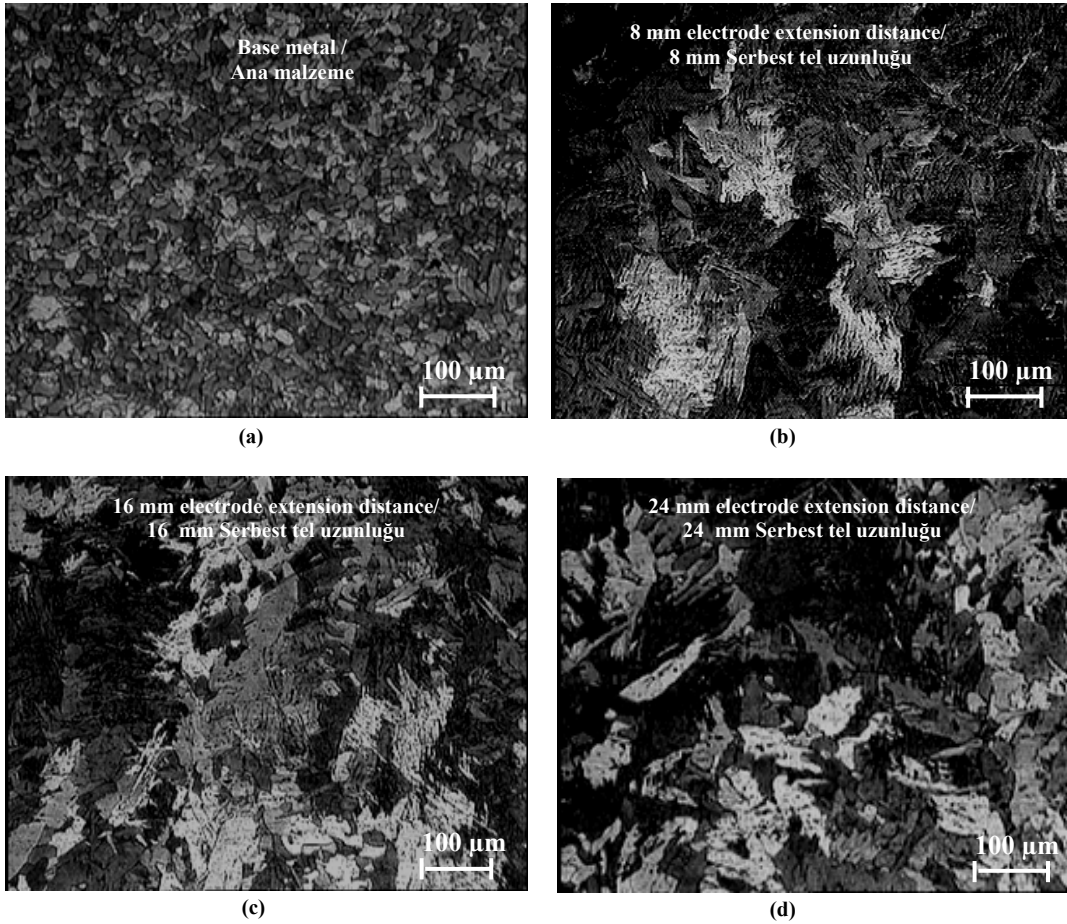


Figure 3. Optical pictures of weld metal of a) base metal, b) welded with 8 mm electrode extension distance, c) welded with 16 mm electrode extension distance and d) welded with 24 mm electrode extension distance

Şekil 3. Kaynaklı numunelerin kaynak metalinden elde edilen a) ana malzeme, b) 8 mm, c) 16 mm ve d) 24 mm serbest tel uzunluğundaki kaynakların optik mikroskop görüntüleri

Şekil 3'de (a) ana malzeme, (b) 8 mm serbest tel uzunluğu, (c) 16 mm serbest tel uzunluğu ve (d) 24 mm serbest tel uzunluğu ile kaynaklanmış numunelerin kaynak metallarının optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada esas metalin (a) düzenli bir şekilde ince ferrit ve perlit tanelerinden oluştuğu diğer üç farklı kaynak metalinde ise ferrit ve perlit tanelerinin yanında martenitik bir yapının olduğu dikkat çekmektedir. Şekil 3

In Figure 3, optical pictures of (a) base metal, (b) weld metal welded with 8 mm electrode extension distance, (c) weld metal welded with 16 mm electrode extension distance and (d) weld metal welded with 24 mm electrode extension distance are given. It is seen from pictures that base metal has ferrite and pearlite phases while weld metal zones are consisting some amount of martensite. In Figure 3-b, martensite phase can be seen clearly while it is seen

(b)'de martenzitik yapının daha belirgin olduğu (c) ve (d) de ise bu yapının iğnemi şekilden ayrılıp normal tane şeklini aldığı görülmektedir. Şekil 2 ile Şekil 3 beraber değerlendirildiğinde kaynak metalinden elde edilen sertlik değerlerinin de bu sıralama ile aynı olduğu anlaşılabilmektedir.

4. SONUÇLAR

Düşük karbonlu çelik malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile üç farklı serbest tel uzunluğunda birleştirildiği bu çalışmada sonuç olarak;

- 1- Tozaltı ark kaynağında, serbest tel uzunluğunun artmasına bağlı olarak, yığılan toz miktarının artması sebebiyle yavaş soğuma olduğundan, kaynak metali ve ITAB'deki sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.
- 2- Kaynak metali ve ITAB'de en yüksek tokluk değerleri sertliğin düşük olması nedeniyle 24 mm serbest tel uzunluğu kullanılarak elde edilen birleştirmelerde tespit edilmiştir.
- 3- Çekme testleri sonucunda kopma birleştirmelerin tümünde, ana malzemeden gerçekleşmiş ve kaynak dikişinin deformasyonu engellemesinden dolayı kaynaklı numunelerin çekme değerleri, ana malzemenin çekme değerlerinden daha yüksek
- 4- Çalışmadan elde edilen kaynak metali mikroyapılarında, artan serbest tel uzunluğu ile beraber martenzit oluşumunda bir azalma görülmüş ve bunu sertlik değerleri de desteklemiştir.

from Figure 3-c and 3-d that martensitic grains start to transform to a pearlitic grain. It is pointed out from Figure 2 and Figure 3 that hardness increases with increasing martensite phase amount.

4. RESULTS

Following statements can be pointed out for the study of submerged arc welding of low carbon steel;

- 1- In submerged arc welding of low carbon steels, hardness of weld metal and HAZ reduces with increasing electrode extension distance, because increasing electrode extension distance causes more amount of welding flux thus reduces the cooling rate.
2. The highest toughness value of weld metal and HAZ was measured from the sample welded with 24 mm electrode extension distance.
3. All welded samples fractured from the area base metal. Since weld metal zone shortens the deformation length of the tensile strength test sample, welded sample showed higher strength because shorter deformation length.
4. After 180° bending the welded samples, it was seen that weld zone does not show any weld defect on the area of bending.
5. The microstructural examination showed that, martensite phase reduces with increasing electrode extension distance.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. McPherson, N. A., Chi, K., Baker, T. N., Submerged Arc Welding of Stainless Steel And The Challenge From The Laser Welding Process, *Journal of Materials Processing Technology* 134, 174-179, (2003)
2. Çetinkaya, C., Orta Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, *Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi*, Cilt 1, Sayı 3-4, 61-67, (1998).
3. Peng, Y., Chen W., Xu, Z., Study Of High Toughness Ferrite Wire For Submerged Arc Welding Of Pipeline Steel, *Materials Characterization* 47, 67– 73, (2001).
4. Tusek, J., Suban, M., High-Productivity Multiple-Wire Submerged-Arc Welding And Cladding With Metal-Powder Addition, *Journal Of Materials Processing Technology* 133, 207–213, (2003).
5. Ogborn, J. S., Submerged Arc Welding, *ASM Handbook*, Cilt 6, 202-204, (1993).
6. Tarng, Y. S., Juang, S. C., Chang C. H., The Use Of Grey-Based Taguchi Methods to Determine Submerged Arc Welding Process Parameters İn Hardfacing, *Journal Of Materials Processing, Technology* 128, 1–6, (2002)
7. DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., *Materials And Processes In Manufacturing*. Prentice-Hall, 987, (1997).
8. Anık, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, *Gedik Yayınları*. İstanbul, 59-73, (1991).
9. Sacks, R., Welding: *Principles and Practices*, USA, 869-882 (1981).
10. Althouse A. D., Turnquist C. H., Bowditch W. A., Bowditch K. E., Submerged Arc Welding, *Modern Welding*, 459-461, (1992).
11. Gülenç B., Kahraman N., Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process, *Materials and Design*, 24, 537-542 (2003).

12. Durgutlu A., Kahraman N., Güleñ B., “Tozaltı Ark Kynağında Kaynak Tozunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, Yıl: 10, Sayı: 11, Sayfa:1-8, (2002).
13. Külahlı, M.E., Tozaltı Kaynak Yöntemi, *Oerlikon Kaynak Bilimi 2*, 82-85, İstanbul, (1985).
14. Kılınçer, S., Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1998).
15. Tülbentçi, K., Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulama Alanları, Kaynak Dünyası, *Gedik Holding Yayını*, 18-21, İstanbul, (1988).
16. www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/!PRODUCTS_PKG.product_list (25/03/2003)
17. Kim, J. H., Oh, Y. J., Hwang, H S., Kim, D. J., Kim, Jeong T., Fracture Behavior of Heat-affected Zone in Low Alloy Steels, *Journal of Nuclear Materials* 299, 132-139,(2001).
18. Çetinkaya, C., Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 12, No:2, 279-293, (1999).
19. Qiu, H., Kawaguchi, Y., Strength and Deformability of Welded Joints of 780 MPa Grade Steel Plates, *Materials Science and Engineering A*, 348, 22-28, (2003).

Received/ Geliş Tarihi: 31.03.2003 Accepted/Kabul Tarihi: 07.12.2004