

## Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi

**Ahmet DURGUTLU, Behçet GÜLENC**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Metalurji Bölümü, Ankara-TÜRKİYE*

**Kutsal TÜLBENTÇİ**

*İstanbul Teknik Üniversitesi,  
Metalurji Mühendisliği Bölümü İstanbul-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 06.07.1998

### Özet

Bu çalışmada, düşük karbonlu bir çelikte gazaltı (MAG), tozaltı ve manuel ark kaynaklarında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi araştırılmıştır. Deney çalışmaları sonucunda kaynak hızının optimum değerden daha az veya daha fazla olması durumlarında nüfuziyetin azaldığı tespit edilmiştir. Düşük kaynak hızlarında, dikiş kenarlarında kaynak metali yığılmaları, yüksek hızlarda ise dikiş kenarlarında yanma oyuklarının oluştuğu belirlenmiştir. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda kaynak metali mikroyapısının kaba, yüksek hızlarda ise kaynak metali mikroyapısının daha ince tanelerden meydana geldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Ark Kaynağı, Kaynak Hızı, Düşük Karbonlu Çelik.

### The Effect of Welding Speed on the Microstructure and Penetration in Arc Welding

#### Abstract

The effect of welding speed on the microstructure and penetration in MAG, SMAW and MMA welding was investigated in a low carbon steel. Experimental results revealed that the penetration decreased when the welding speed was lower or higher than the optimum speed. It was also observed that when the welding speed was high, undercuttings occurred at the edge of welding bead and microstructure of weld metals consisted of fine grains, but when the welding speed was low, at the edge of welding bead weld metal piled up and the microstructure of weld metal consisted of large grains.

**Key Words:** Arc Welding, Welding Speed, Low Carbon Steel.

### Giriş

Kaynaklı birleştirmelerde birleştirmenin istenen mekanik özellikleri yerine getirebilmesi için kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) ana malzemeye uyum sağlaması gerekmektedir. 1800lü yıllardan günümüze kadar geliştirilen kaynak yöntemleri ile ideale yakın kaynak metalleri elde edilmiştir [Tülbentçi (1990), Gülenç (1995)].

Ark kaynaklarında, yöntemin karakterine bağlı olarak kaynak metalindeki özellikler de

değişmektedir. Kaynak hızı, kaynak metalinin mikroyapısına ve nüfuziyetine önemli ölçüde etki etmektedir. Kaynak hızının artması veya azalması durumlarında kaynak edilen malzemeye değişik oranlarda ısı girdisi uygulanmaktadır. Isı girdisinin bir sonucu olarak mikroyapıda ve nüfuziyette bir takım değişiklikler olmaktadır.

Ergiyik havuz sıcaklığı düşmeye başladığı zaman ergiyik atomları enerjilerini kaybederler. Sıcaklık, metal tabaka tarafından kaynak merkezinden uzak-

laştırıldığı yani ısı, katı-sıvı ara yüzeyinden aktığı için bu bölgedeki atomlar mevcut sıvıya doğru akma meyline sahiptirler. Ara yüzeydeki katı atomlar boş bağlara sahip olan atomlara kendilerini tuttururlar ve böylece katılaşma sıvı havuza doğru ilerler [Gourd (1986), Porter ve Easterling (1981), Thomasson (1975), Cebekan (1988)]. Kaynak işlemi sonunda katılaşmış durumdaki kaynak metalinin mikroyapısı incelendiğinde iki değişik bölge ile karşılaşılır. ITABye yakın olan kaynak metali kolonsal bir tane yapısı, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metali ise ısı dağılımının karmaşıklığından dolayı eşksenel ve dendritik taneler içerir [Savage ve arkadaşları (1965)].

Kaynak metalinin yapısı, malzemenin kimyasal bileşimi ve soğuma esnasındaki dönüşümün bir sonucudur. Az alaşımli, düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynak metali ana yapısı ferrittir ve östenit-ferrit faz dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak birçok ferrit morfolojisi oluşabilir [Easterling (1992), Garland (1974), Hill ve Passoja (1974)]. Orta karbonlu çelik malzemelerin kaynak metali, hızlı soğuma sonucunda çoğunlukla kolonsal martenzitik bir yapı oluşturur. Kaynak metalinde oluşan kolonların uzunluğu boyunca olan yönelme, kaynak havuzundan ısı akışının yönüne işaret eder [Heintze ve Pher-son (1986)].

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi yada birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak bilinmektedir. Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne

doğru akar, düzgün ark oluşumunu etkiler. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla ana metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikişi iletmesini olumsuz yönde etkiler [Durgutlu (1997), Ertürk (1994)].

Kaynak dikişinin formu üzerine tesir eden faktörlerden olan kaynak hızı yükseldikçe veya azaldıkça, nüfuziyette ve mikroyapıda bir takım değişiklikler olmaktadır. Bu değişiklikler kaynaklı parçanın kullanım anındaki mekanik davranışlarını etkilemektedir. Aynı zamanda kaynak hızı ekonomik yönden de (Elektrod, koruyucu gaz, toz, zaman, vs.) önem arz etmektedir. Bu çalışmada, üç değişik kaynak tekniğinde kaynak hızının, mikroyapı ve nüfuziyete etkisi araştırılmıştır.

### DeneySEL Metod ve Malzeme

Deneylerde Tablo 1de verilen parametreler çerçevesinde, deney parçaları üzerine, gazaltı ark kaynağında 15, manuel ark kaynağında 11 ve tozaltı ark kaynağında 6 adet değişik kaynak hızında olmak üzere kaynak dikişleri çekilmiştir. Gazaltı ark kaynağında, 400 amperlik, hava soğutmalı, yatay karakteristikli, ESAB 400 tipi bir akım üretici ve tertibatı kullanılmıştır. Manuel ark kaynağı tekniğinde çekilen kaynak dikişleri, 60-210 amper değerleri arasında akım üretebilen bir kaynak jeneratörü ve avadanlıkları kullanılmıştır. Tozaltı ark kaynağı tekniğinde ise 1500 amper değerine kadar akım üretebilen, HOBART marka seyيار tozaltı kaynak makinası kullanılmıştır. Her üç kaynak tekniğinde de devreye ray üzerinde hareket edebilen bir otomatik hız arabası ilave edilerek kaynak torcu bu arabaya bağlanmıştır.

Tablo 1. Kaynak parametreleri

Kaynak yöntemi	Akım şiddeti (A)	Kaynak gerilimi (V)	Tel, elektrod çapı (mm)	Kaynak hızları (cm/dk)
Gazaltı (MAG)	245±5	30±2	1.2	10,14,19,24,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80
Manuel	140±5	20±2	3.25	7,8,9,11,12,16,18,21,24,30,35
Tozaltı	300±10	40±2	3.20	15,25,35,45,55,65

Deney parçalarından kaynak dikişinin bitiş ucuna yakın bölgelerden, kaynak metalini incelemek amacıyla her kaynak hızından üç değişik tipte olmak üzere metalografik inceleme numuneleri

hazırlanmıştır. Birinci tip numuneler; kaynak metaline alından bakmak için kaynak dikişine dik yönde kesilerek hazırlanan, ikinci tip numuneler; kaynak metaline üstten bakmak için hazırlanan,

üçüncü tip numuneler; kaynak metaline yandan bakmak için kaynak dikişi merkez çizgisinden kesilerek hazırlanan numunelerdir. Hazırlanan numunelerin inceleme yapılacak yüzeyleri zımparalanıp parlatıldıktan sonra % 2lik nital ile dağlanmış ve gerekli yerlerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Nüfuziyet profillerinin belirlenmesi için hazırlanan numuneler, zımparalama işlemi bittikten sonra % 5lik nital ile dağlanmıştır.

### Ana malzeme

Deneysel çalışmada, 200 X 80 X 10 mm ebatlarında hazırlanan malzemeler, 10 mm kalınlığında ve 80 mm genişliğinde bir platinadan kesilmiştir. Kaynak dikişlerinin çekileceği ana malzemeler daire testerede kesildikten sonra üzerindeki oksit, yağ, vb. gibi yabancı maddelerden temizlenmiştir. Kullanılan ana malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ana malzeme kimyasal bileşimi.

Element % Oran	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu
	0.095	0.743	0.035	0.042	0.138	0.092	0.120	0.303

### İlave malzemeler

Deneylerde, gazaltı kaynak tekniğinde 1.2 mm çapında SG2 kaynak teli, koruyucu gaz olarakta karbondioksit gazı kullanılmıştır. Tozaltı ark kaynağı tekniğinde 3.2 mm çapında yumuşak çeliklerin

tozaltı kaynağı için bakır kaplı OE S1 kaynak teli, koruyucu toz olarak ise OP-1100 tipinde kaynak tozu kullanılmıştır. Manuel ark kaynağı tekniğinde 3.25 mm çapında rutil tip kaynak elektrodu kullanılmıştır. Kullanılan kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri Tablo 3te verilmiştir.

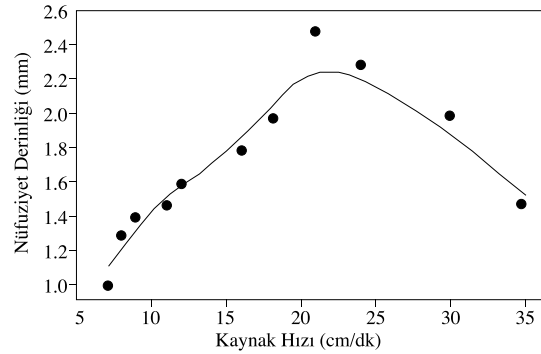
**Tablo 3.** Kaynak telleri kimyasal bileşimleri .

Alaşım Kaynak tekniği	C (%)	Mn (%)	Si (%)
Gazaltı kaynak tekniği	0.068	1.41	0.763
Tozaltı kaynak tekniği	0.12	05	0.10
Manuel kaynak tekniği	0.08	0.5	0.4

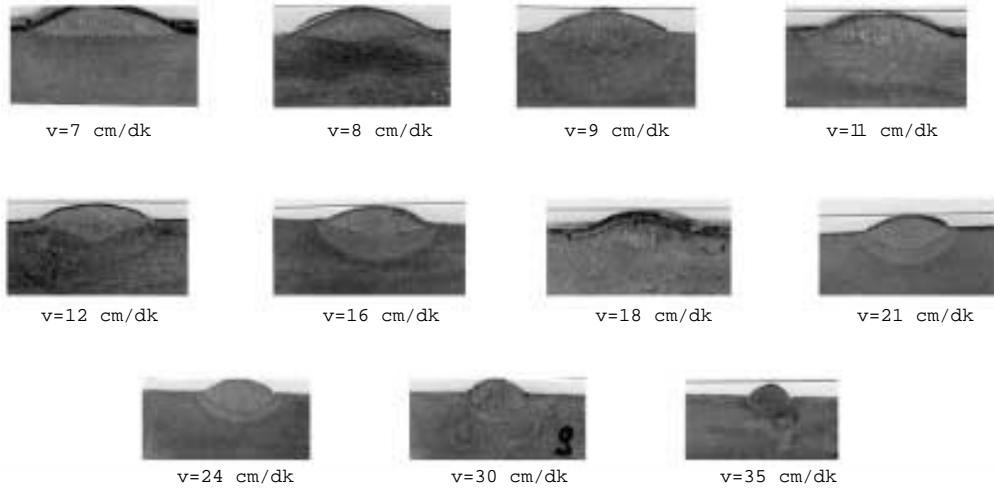
### Deney Sonuçları

#### Manuel ark kaynağı

Manuel ark kaynağı tekniğinde kaynak hızı 7-35 cm/dk aralığında değiştirilmiştir. En düşük hız olarak seçilen 7 cm/dk kaynak hızında nüfuziyet derinliği 1 mm olarak belirlenirken, 21 cm/dk da 2.5 mm ve 35 cm/dk da 1.5 mm nüfuziyet derinliği tespit edilmiştir. Manuel ark kaynağı tekniğinde kaynak hızına göre nüfuziyetin değişimi Şekil 1de ve nüfuziyet profilleri Şekil 2de gösterilmiştir. Nüfuziyet derinliği, 21 cm/dk kaynak hızına kadar artma gösterirken bu hızdan sonra nüfuziyette azalma görülmüştür.



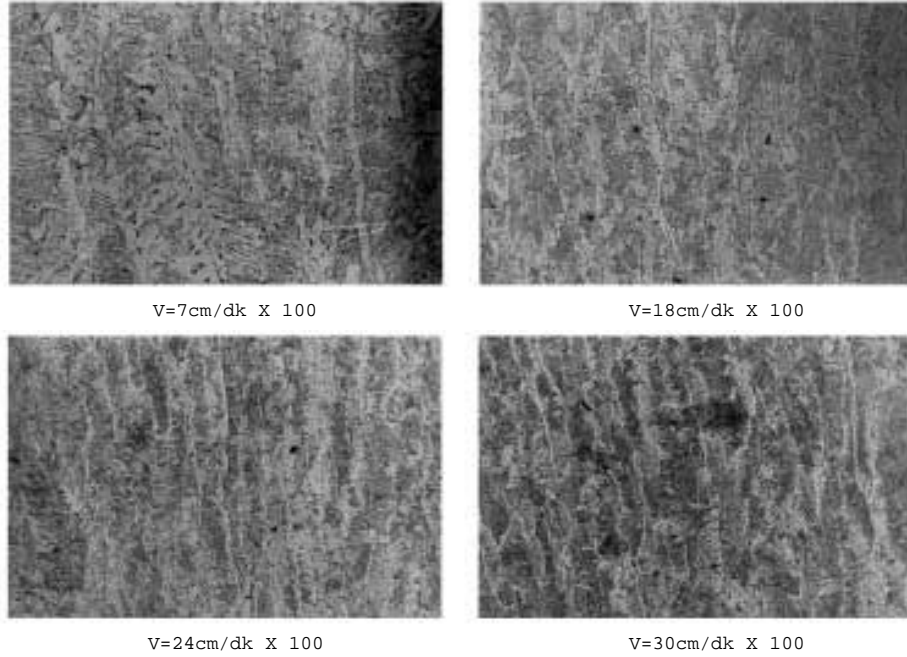
**Şekil 1.** Manuel ark kaynağı kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



**Şekil 2.** Manuel ark kaynağı nüfuziyet profilleri

Manuel ark kaynağı tekniği ile çekilen kaynak metallerinin Şekil 3teki mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, kaynak hızının düşük seçildiği durumlarda kaynak metali, kaba ve kolonsal tanelerden meydana gelmiştir. En düşük hız olan 7 cm/dk kaynak hızında kaynak dikişinin geçiş bölgesi ince-

lendiğinde tanelerin yönlendiği ve belli bölgelerde dendritik bir yapı bulunduğu gözlenmiştir. Kaynak hızı artışıyla beraber mikroyapı da incelmeye gözlenmiş olup, özellikle 18 cm/dk ile 35 cm/dk hızları arasında elde edilen kaynak metallerinde çok ince yapılar tespit edilmiştir.

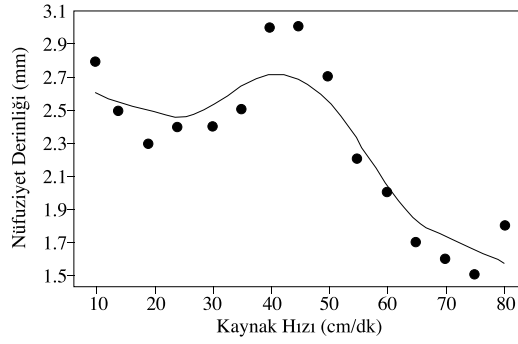


**Şekil 3.** Manuel ark kaynağı mikroyapı fotoğrafları

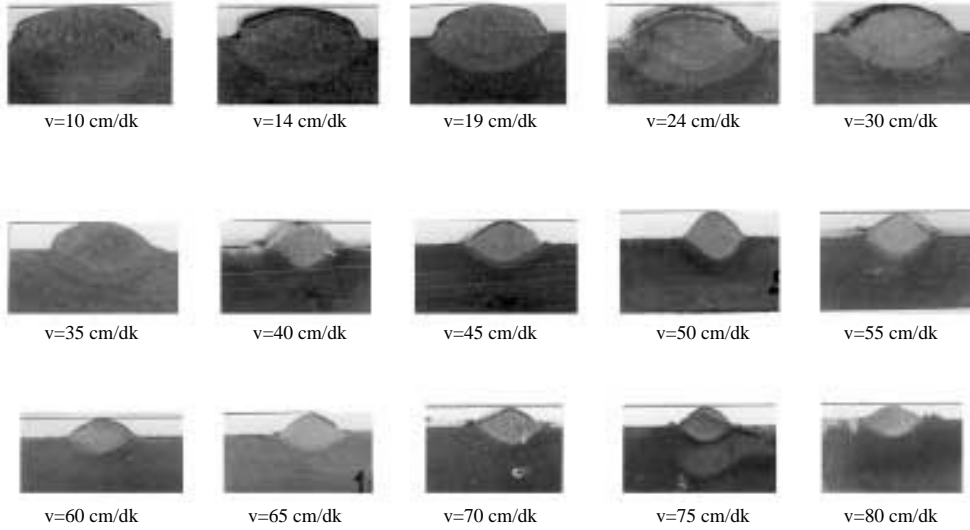
**Gazaltı ark kaynağı**

Gazaltı ark kaynağı tekniğinde 10 cm/dk ile 80 cm/dk değerleri arasında değişik hızlarda kaynak dikişleri çekilmiştir. Kullanılan parametreler dahilinde en ideal kaynak dikiş 40 cm/dk ve 45 cm/dk olan kaynak hızlarında elde edilmiş ve bu hızlarda nüfuziyet 3 mm olarak tespit edilmiştir. Aynı hızlarda kaynak metalinin ana metali ıslat-

masıda en iyidir. Kaynak hızı optimum olan bu değerlerden daha hızlı veya yavaş olduğunda nüfuziyet azalmaktadır. Kaynak hızı arttıkça kaynak dikiş çok ince bir hal almakta ve dikiş kenarlarında yanma oyukları meydana gelmektedir. Gazaltı ark kaynağında kaynak hızına göre nüfuziyetin değişimi Şekil 4te ve nüfuziyet profilleri Şekil 5te gösterilmiştir.



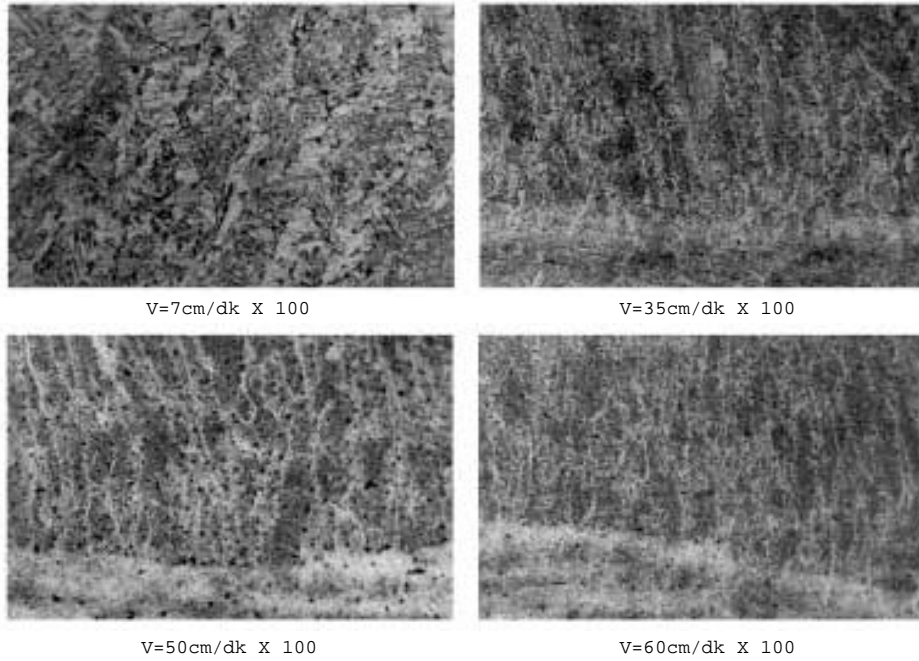
Şekil 4. Gazaltı ark kaynağı kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



Şekil 5. Gazaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri

Gazaltı ark kaynağı tekniği ile çekilen kaynak metallerinin Şekil 6daki mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, kaynak hızının düşük olduğu durumlarda iri, kolonsal tanelerin kaynak merkez çizgisine doğru yönlendiği göze çarpmaktadır. Kaynak

hızının optimum değerlerden yüksek olması durumlarında tanelerin ince yapılı ve uzunlamasına kaynak merkez çizgisine yönlendikleri, en yüksek hızlarda ise yönlendirmenin az olduğu ve tanelerin daha karmaşık bir hal aldığı gözlenmiştir.

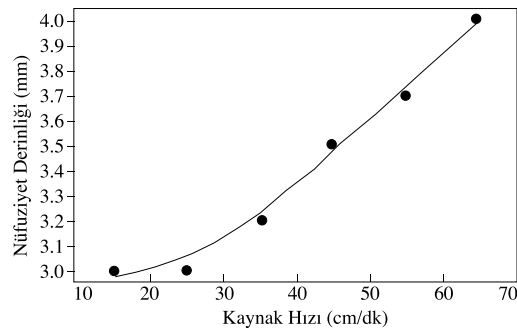


Şekil 6. Gazaltı ark kaynağı mikroyapı fotoğrafları

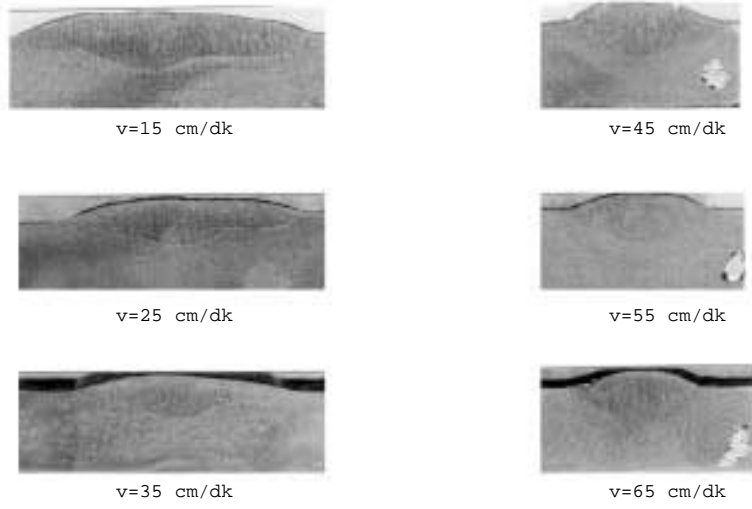
#### Tozaltı ark kaynağı

Tozaltı ark kaynağı tekniği ile 15 cm/dkdan 65 cm/dkya kadar değişik hızlarda kaynak dikişleri çekilmiştir. Bu yöntemde 15 cm/dk kaynak hızı ile elde edilen kaynak dikişinde çok geniş bir kaynak dikişi elde edilmesine rağmen nüfuziyetin minimum olduğu (3 mm), kaynak hızının artmasıyla beraber nüfuziyetinde arttığı tespit edilmiştir. Kullanılan tel elektrodun çapının kalın olmasına karşılık

yüksek akım değerleri kullanılması sebebiyle, kalın olan tel elektrod 65 cm/dk'lık bir kaynak hızında daha derinlere nüfuz etmiş fakat dikiş kenarlarında yanma oyukları meydana gelmiştir. Kullanılan parametreler dahilinde en kaliteli kaynak dikişleri 45 cm/dk ile 55 cm/dk kaynak hızlarında elde edilmiştir. Tozaltı ark kaynağında kaynak hızına göre nüfuziyetin değişimi Şekil 7de ve nüfuziyet profilleri Şekil 8de gösterilmiştir.



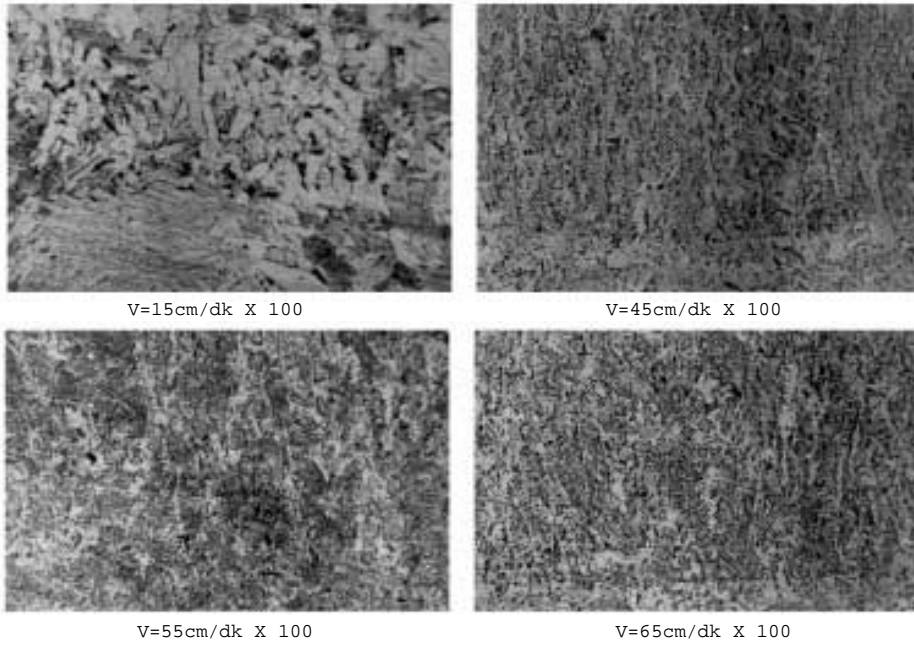
Şekil 7. Tozaltı ark kaynağı kaynak hızı - nüfuziyet ilişkisi



Şekil 8. Tozaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri

Tozaltı ark kaynak tekniği ile çekilen kaynak metallerinin Şekil 9daki mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında manuel ve gazaltı kaynak tekniğine nazaran ısı girdisinin fazla olmasından dolayı daha

iri tanelerin oluştuğu görölmektedir. Bu kaynak tekniğinde de düşük hızlarda kaba ve kolonsal taneler elde edilirken, yüksek hızlarda daha düzensiz ve ince yapılı taneler elde edilmiştir.



Şekil 9. Tozaltı ark kaynağı mikroyapı fotoğrafları

## Sonuçların Tartışılması

### Nüfuziyet sonuçları

Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artmış ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olmuştur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak arkının önüne doğru akmış, bu da nüfuziyetin azalmasına, kaynak dikişinin geniş olmasına neden olmuştur. Kaynak hızının artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da ana metalin eriyen miktarının azalmasına neden olup, nüfuziyeti azaltmıştır. Düşük kaynak hızlarında kaynak metalinin büyümesi elektrod kaybını ve birim mesafede harcanan koruyucu gaz ve toz miktarını artırmıştır. Kaynak hızının yüksek seçildiği durumda ise kaynak metalini kaplayan cüruf tabakası süreksizlik arzemiş ve koruyucu gaz görevini tam olarak gerçekleştirememiştir. Sonuç olarak kaynak metalinin korunması tam anlamıyla sağlanamamış, yüzeyde oksitlenmeler görülmüştür. En derin nüfuziyet ve en ideal kaynak dikişi iletmesi, kaynak hızının optimum olduğu değerlerde elde edilmiştir. Literatürde [Durgutlu (1997), Lebedev ve arkadaşları (1980)], kaynak hızı düşük tutularak yapılan kaynak dikişlerinde birim mesafeye yığılan kaynak metalinin arttığı, yüksek hızlarda ise dikiş kenarlarında yanma oyuklarının meydana geldiği belirtilmektedir.

Bu çalışmada da kaynak hızının optimum değere yaklaştığında nüfuziyetin arttığı, dikiş geometrisinin düzgün olduğu, bu değerden ayrıldıkça da nüfuziyetin azaldığı ve dikiş geometrisinin bozulduğu görülmüştür. Araştırmada en ideal nüfuziyet profillerinin manuel ark kaynağında 20 cm/dk ile 25 cm/dk arası, gazaltı (MAG) ark kaynağında 40 cm/dk ile 45 cm/dk arası, tozaltı ark kaynağında 45 cm/dk ile 55 cm/dk arası olduğu tespit edilmiştir.

### Mikroyapı sonuçları

Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda iri,

kolonsal taneler oluşmuş ve kaynak merkez çizgisine doğru yönelmişlerdir. Kaynak hızının optimum değerlerden yüksek olduğu durumlarda taneler ince yapılı ve uzunlamasına olarak kaynak merkezine yönelme eğilimi göstermişlerdir. En yüksek kaynak hızlarında yönelmenin az olduğu ve tanelerin daha karmaşık bir hal aldığı gözlenmiştir. Buna kaynak dikişinin çok dar olması ve ısı girdisinin az olması sebebiyle katılmanın çok çabuk meydana gelmesi, dolayısıyla yönelmenin gerçekleşmemesi sebep olarak gösterilmiştir. Literatürde [Easterling (1992), Durgutlu (1997)], ergitmeli kaynaklarda katılma, ana metalin mevcut tanelerinden ilk kristallerin meydana gelmesi olarak tarif edilmiştir. Bundan dolayı kaynak metalinde oluşan tanelerin, mevcut olan tanelerin bir devamı olduğu bilinmektedir. İri taneli mikroyapıdan iri, ince taneli mikroyapıdan da ince taneler meydana gelmektedir. Yüksek kaynak hızlarında, ana metalin tanelerinin aşırı irileşmemesi sonucunda ince yapılı bir kaynak metali oluşmuştur. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda ise ana metalin taneleri aşırı irileşmiş ve kaynak metali de buna bağlı olarak iri tanelerden meydana gelmiştir. Tozaltı ark kaynağındaki tanelerin, diğer kaynak tekniklerine nazaran iri olması, bu yöntemdeki fazla ısı girdisine, dolayısıyla ana metalin tanelerinin aşırı irileşmesine bağlıdır.

### Genel Sonuçlar

1-) Çok düşük ve yüksek kaynak hızlarında nüfuziyet azaldığından kaynaklı birleştirmelerde optimum kaynak hızları kullanılmalıdır.

2-) Yüksek kaynak hızlarında dikiş kenarlarında yanma oyukları meydana gelmekte ve bu oyuklar kaynaklı bağlantıda çentik etkisi yapmaktadır.

3-) Düşük kaynak hızlarında aşırı tane irileşmesi görülmekte, yüksek hızlarda küçük taneler elde edilmektedir.

4-) Düşük kaynak hızlarında aşırı elektrod, koruyucu gaz ve toz kaybı olmakta ve maliyet artmaktadır.

5-) Yüksek kaynak hızlarında kaynak metali yeterli derecede korunamamaktadır.

### Kaynaklar

Cebekan, F., "Kaynak Banyosunun Katılma, G.Ü., Ankara, Kasım 1997.

Durgutlu, A., "Ark Kaynağı Yöntemlerinde Kaynak Hızının Mikroyapı ve Nüfuziyete Etkisinin

İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Ankara, Kasım 1997.

Easterling, K.E., Introduction To The Physical Metallurgy of Welding, 2. Edition, London, 1992.



- Ertürk, İ., "MİG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, G.Ü., Ankara, Nisan 1994.
- Garland, J.G., "Weld Pool Solidification Control, Metal Construction and British Welding Journal, 121-127, April 1974.
- Gourd, L.M., Principles of Welding Technology, Colchester- London, 1986.
- Gülenç, B., "MİG-MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, G.Ü., Ankara, Mayıs 1995.
- Heintze, G.N., Pherson, R., "Solidification Control of Submerged Arc Welds In Steels By Inoculation With Ti, Welding Journal, 140-151, March 1986.
- Hill, D.C., Passoja, D.E., "Understanding The Role of Inclusions and Microstructure In Ductile Fracture, Welding Journal, 481-485, November 1974.
- Lebedev, B.D., Steklov, O.I., Tsygan, B.G., "The Effect of The Conditions of Arc Welding Using Granulated Filler on The Structure of Weld Metal", The British Library Document Supply Centre, No. 12, 26-28, 1980.
- Porter, D.A., Easterling, K.E., Phase Transformations In Metals and Alloys, 1981.
- Savage, W.F., Lundin, C.D., Aronson, A.H., "Weld-metal Solidifications Mechanics, Welding Journal, 175-181, April 1965.
- Thomasson, H., "Heat Effects In Arc Welding, Canadian Welder and Fabricator, Volume 66, No. 2, 6-17, February 1975.
- Tülbentçi, K., MİG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, İstanbul, 1990.