

# YAKMA ALIN KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN 16MnCr5 ZİNCİR ÇELİĞİNDE YIĞMA AKIM ZAMANI VE TAM TAVLAMA ISIL İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Cemil ÇETİNKAYA ve Uğur ARABACI**

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Teknikokullar, Ankara

## ÖZET

Bu çalışmada 16MnCr5 zincir çeliği çifti birbirine yakma alın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Deney çalışmaları sırasında yığma basıncı 2 Bar yığma akım zamanı ise 1,6, 1,8 ve 2 saniye olarak seçilmiştir. Belirlenen parametrelerde kaynatılan numunelerin bir grubuna kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlemi uygulanmıştır. Deney sonuçları tüm numunelerde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde meydana geldiğini ancak yığma akım zamanının artmasıyla birlikte ısıl işlem görmeyen numunelerin aynı bölgedeki sertlik değerlerinde düşüş olduğunu göstermiştir. Çekme dayanımında ise önemli bir artış olurken, kaynak sonrası uygulanan tam tavlama ısıl işlemi sertlik ve çekme dayanımında bir düşüşe yol açmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yakma alın kaynağı, yığma akım zamanı, tavlama, mekanik özellikler.

## AN INVESTIGATION OF EFFECT OF UPSETTING CURRENT TIME AND FULL ANNEALING HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF 16MnCr5 CHAIN STEEL WELDED WITH FLASH BUTT WELDING

### ABSTRACT

In this study, a pair of 16MnCr5 chain steel was welded to each other by using flash butt welding method. During the experimental study the pressure was set to 2 Bars and upsetting current times were chosen as 1.6, 1.8 and 2 seconds. The samples were welded under these test conditions. Some of the welded samples was subjected to full annealing heat treatment. Experimental results showed that, welding interface exhibited the highest hardness. However hardness in the interface of non-heat treated sample decreased with increasing upsetting current time. Tensile strength increased with increasing upsetting current time. Full annealing heat treatment reduced the hardness and tensile strength of the welded samples.

**Keywords:** Flash butt welding, upsetting current time, annealing, mechanical properties.

### 1. GİRİŞ

Kaynak; uygulandığı malzemeye, işlemlerine ve amacına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Endüstride zincir ve rayların kaynağında en fazla yakma alın kaynağı yöntemi kullanılmaktadır.

Yakma alın kaynağı aslında elektrik direnç kaynak işleminin bir türüdür; ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur [1-2]. Yakma işlemi, dirençle ısıtma işleminden farklılık gösterir. Yüzeydeki pürüzler temas anında temas yüzeyinin küçük oluşuna, bu da direncin artmasına neden olacaktır.

Temas yüzeylerinden çok yoğun bir akım geçtiğinden, pürüzler üzerinde çok kuvvetli bir ısınma meydana gelir [3-4]. Temas noktaları ani olarak ergime sıcaklığına ulaşır. Ergime halindeki bu küçük malzeme hacimleri patlar ve yanan zerrecikler dışarı doğru fırlayarak yeni krater ve çukurlar oluştururlar. Kızak hareket ettirildiğinde bu kraterlerin uç noktaları tekrar temasa geçer ve böylece olay alın yüzeyinin kaynak sıcaklığına gelmesine kadar devam eder [5-6]. Yanmanın bütün yüzeyi kaplaması ve birleştirilecek yüzeyin tamamının ergimesinden sonra, tablanın ani hareketi ile yüksek sıcaklıktaki yüzeyler birbirine bastırılır. Böylece pürüzlerin temas dirençleri ortadan

kalkar ve kıvılcımlanma da biter. Kıvılcımlanma süresi; malzemenin ısı iletkenliğine, parçaların kesimine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır [7].

Bu çalışmada, büyük ölçüde zincir halkaları üretiminde kullanılan 16MnCr5 çeliğinin kaynaklanabilmesi ve önemli parametrelerden olan yığma basıncı sabit tutulup, yığma akım zamanı artırılarak bunların kaynağa etkileri araştırılmıştır. Daha sonra kaynatılan numunelere ısı işlem uygulanmış ve bu işlemlerin sertlik, mikroyapı ve çekme dayanımına etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Deneylerde, Tablo 1’de kimyasal analizi verilen 16MnCr5 çeliğinden 100 mm. boyunda ve 18 mm çapında kesilen 90 adet numune kullanılmıştır.

### 2.2. Deneysel Metot

Yüzeyleri temizlenerek kaynak işlemine hazır hale getirilen numunelerin kaynak işlemi OSTİM’deki YAPAŞ Zincir Fabrikası’nda, SCHLATTER marka yakma alın kaynak makinesi ile yapılmıştır. Kaynak süresince çenelerin sıkma yüzeylerinde temas direnci oluşmaması için temizliğe dikkat edilmiş ve aşağıdaki parametreler sabit tutulmuştur.

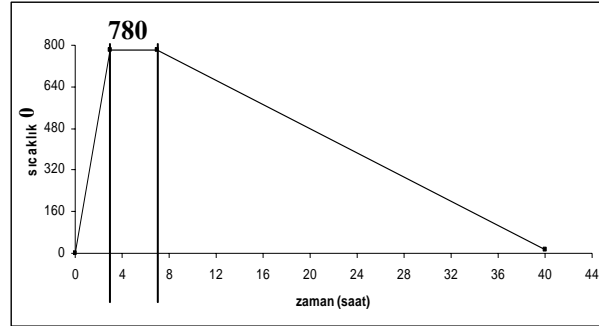
Voltaaj .....3 Volt  
Akım şiddeti.....30 A  
Ön ısıtma zamanı .....3 Saniye  
Temas zamanı .....1,2 Saniye  
Çene sıkma basıncı.....3 Bar  
Makine basıncı .....6 Bar

Deney parametreleri makinenin gücü ve teknik özellikleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Birleştirme işlemlerinde makinenin en düşük yığma basıncı olan 2 bar sabit tutulmuştur. İki saniyenin üstündeki yığma zamanında kaynak metalinde yer yer istenmeyen yanmalar görüldüğü için bu sürenin üzerine çıkılamamıştır. Tablo 2’de verilen parametrelerde kaynatılan numunelerin, her birinden sertlik, mikroyapı ve çekme deneyleri için beşer adet ayrılmıştır. Daha sonra iki gruba ayrılan numunelerin bir grubu (45 Adet) kaynak sonrası Şekil 1’de grafiği verilen ısı işleme tabi tutulmuştur. Mikroyapı fotoğrafları için % 2 Nital ile dağlanan numunelerin mikroskop görüntüleri Prior marka mikroskop ile çekilmiş, sertlik ölçümleri ise Instron Wolpert marka sertlik ölçüm cihazı ile Hv5 yük altında Vickers sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik deneylerinde her bir

bölgeden alınan 4 ölçümün ortalaması kullanılmıştır. Deney numunelerinin ITAB bölgesine ait kopma yüzeyi SEM fotoğrafları ise Jeol JSM 5600 marka elektron mikroskobu ile çekilmiştir. Yine EDX ölçümleri bu elektron mikroskobuna bağlı bilgisayar yardımıyla yapılmıştır. Tablo 2’deki (I) kodu ile verilen deney numuneleri kaynak işleminden sonra 780 °C’de 4 saat tavllanmış, daha sonra fırın içerisinde yavaş soğutulmaya bırakılmıştır.

**Tablo 2.** Uygulanan deney parametreleri

KOD	Yığma Basıncı [Bar]	Yığma akım zamanı [saniye]	Kaynak sonrası ısı işlem durumu	Numune Adeti
A <sub>1</sub>	2	1,6	Görmedi	15
A <sub>2</sub>	2	1,8	Görmedi	15
A <sub>3</sub>	2	2	Görmedi	15
I-A <sub>1</sub>	2	1,6	Gördü	15
I-A <sub>2</sub>	2	1,8	Gördü	15
I-A <sub>3</sub>	2	2	Gördü	15

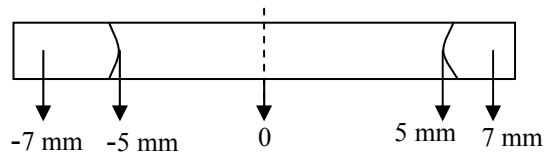


**Şekil 1.** Kaynak sonrası numunelere uygulanan ısı işlem grafiği

## 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Sertlik Sonuçları

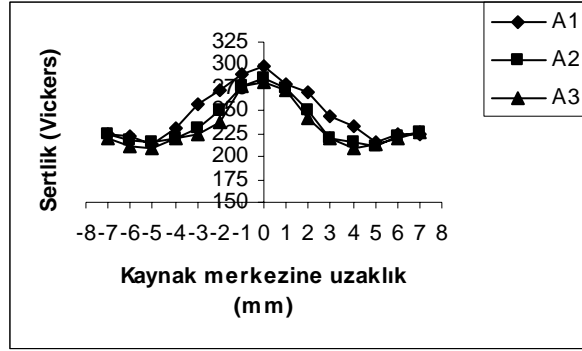
Kaynak metali kesiti üzerinde 5 Hv’lik yük altında sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar Şekil 2’de verilmektedir. Şekil 3’te verilen sertlik grafiklerinde ise A<sub>1</sub> ve I-A<sub>1</sub> numuneleri 1,6 saniye, A<sub>2</sub> ve I-A<sub>2</sub> numuneleri 1,8 saniye, A<sub>3</sub> ve I-A<sub>3</sub> numuneleri ise 2 saniye yığma akımı zamanında kaynatılmıştır.



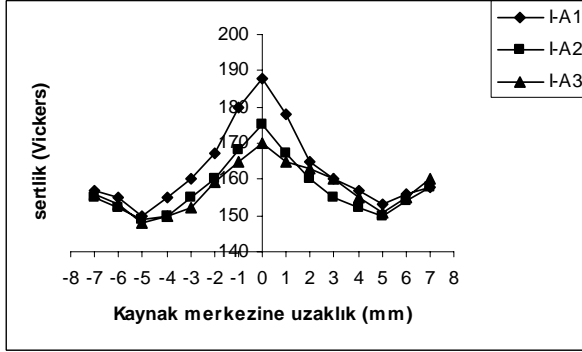
**Şekil 2.** Kaynak metali kesiti üzerinde sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar (Burada 0 kaynak metali merkezini ifade etmektedir)

**Tablo 1.** 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi

% C	% Cr	% Mn	% Si	% Mo	% Ni	% Co	% P	% Al	% S
0,143	1,04	1,17	0,188	0,0301	0,0619	0,0205	0,010	0,0234	0,019



[a]



[b]

**Şekil 3.** (a) Isıl işlem görmemiş  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  numunelerine ait, (b) Kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlemi görmüş  $I-A_1$ ,  $I-A_2$ ,  $I-A_3$  numunelerine ait sertlik grafikleri

Şekil 3-a'da verilen ve ısıl işlem görmemiş  $A_1$ ,  $A_2$  ve  $A_3$  numunelerine ait sertlik grafiklerinde, en yüksek sertliğe kaynak bölgelerinde ulaşıldığı görülmektedir. Her bir bölgeden alınan 4'er sertlik ölçümünün ortalamalarında  $A_1$  numunesinde 298,  $A_2$  numunesinde 285 ve  $A_3$  numunesinde ise 281 Hv'lik sertlik değerleri elde edilmiştir. Ancak yığıma akım zamanının artmasıyla kaynak bölgelerinin sertlik değerlerinde az da olsa bir düşüş olduğu görülmüştür. Yılmaz [8] katı hal kaynak teknikleri çalışmasında kaynak çizgisi boyunca HSS tarafında kaynak metalinde maksimum sertliğin oluştuğunu, ayrıca Civelekoğlu [9] yaptığı farklı metal çiftlerine yakma alın kaynağı uygulamasında da en sert bölgenin kaynak metalinde görüldüğünü ifade etmiştir. Kaynak metalinin merkezinden ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde düşmeler görülmüştür. Isı girdisi miktarının artması ile soğuma süresi de buna bağlı olarak uzamıştır. Şekil 2'de 5 No'lu noktada  $A_1$  numunesinde 213,  $A_2$  numunesinde 215 ve  $A_3$  numunesinde ise 210 Hv sertlik değerleri bulunmuştur. Geçiş bölgesinden esas metale doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde ortalama 3-6 Hv'lik artış gözlenmiştir. Kaynak bölgesi sıcaklığının çok yüksek olması ve hızlı soğuması sertliğin artışına sebep olmuştur. Ancak alaşım elementleri ve miktarlarının sertlikteki rolü unutulmamalıdır. Basınç ve buna bağlı olarak ısı girdisinin artması soğuma hızını yavaşlatmıştır. Dolayısıyla sertliklerde giderek azalma gözlenmiştir. Yükler [10] de kaynak bölgesine

uygulanan ısı miktarının sıcaklık dağılımını ve soğuma hızını etkilediğini ifade etmiştir.

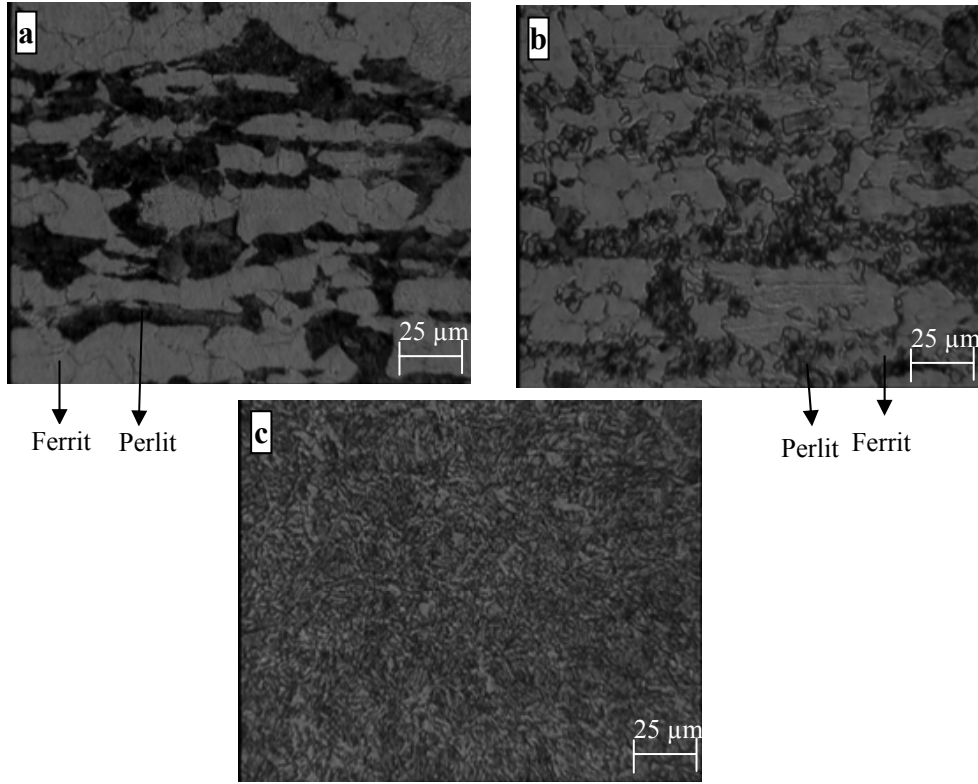
Kaynak sonrası ısıl işlem görmüş I-A kodlu numunelerin grafiği (Şekil 3-b) incelendiğinde sertlik değerlerinin tamamında bir azalma görüldüğü, fakat en sert ve en düşük sertliğe sahip bölgelerin değişmediği görülmüştür.  $I-A_1$ ,  $I-A_2$  ve  $I-A_3$  numunelerinin kaynak metali sertlikleri sırasıyla 188, 175 ve 170 Hv olarak ölçülmüştür. Isıl işlem gören ve görmeyen A numunelerindeki kaynak bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında  $A_1$  numunesinde 298 Vickers iken,  $I-A_1$  numunesinde 188 Hv'ye,  $A_2$  numunesinde 285 iken,  $I-A_2$  numunesinde 175 Hv'ye,  $A_3$  numunesinde ise 281 Hv iken,  $I-A_3$  numunesinde 170 Hv'ye düştüğü tespit edilmiştir. Aynı şekilde geçiş bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında da bu düşüş görülmektedir. Isıl işlem görmüş numunelerin kaynak geçiş bölgelerinde elde edilen sertlik değerleri  $I-A_1$ ,  $I-A_2$  ve  $I-A_3$  numunelerinde sırasıyla 150, 149 ve 148 Hv olarak bulunmuştur. Burada ısıl işlem görmeyen malzemelerde görüldüğü gibi ana metale geçildiğinde sertliklerde ortalama 3-5 Hv'lik artış gözlenmiştir. Kaynak sonrası uygulanan tam tavlama ısıl işleminin sertlik değerlerini azalttığı görülmüştür.

Yine ısıl işlem görmeyen numunelerde en yüksek ve en düşük sertlik değerleri arasındaki fark ortalama 76 Hv iken, ısıl işlem gören I-A kodlu numunelerde bu fark ortalama 26 Hv'ye düşmüştür. Uygulanan ısıl işlemin bölgeler arasındaki sertlik farkını da azalttığı görülmüştür.

### 3.2. Mikroyapı Sonuçları

Aşağıda ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden çekilen fotoğraflar ile yığıma akım zamanının ve kaynak sonrası uygulanan tam tavlama ısıl işleminin numune mikroyapıları üzerindeki etkileri incelenecektir.

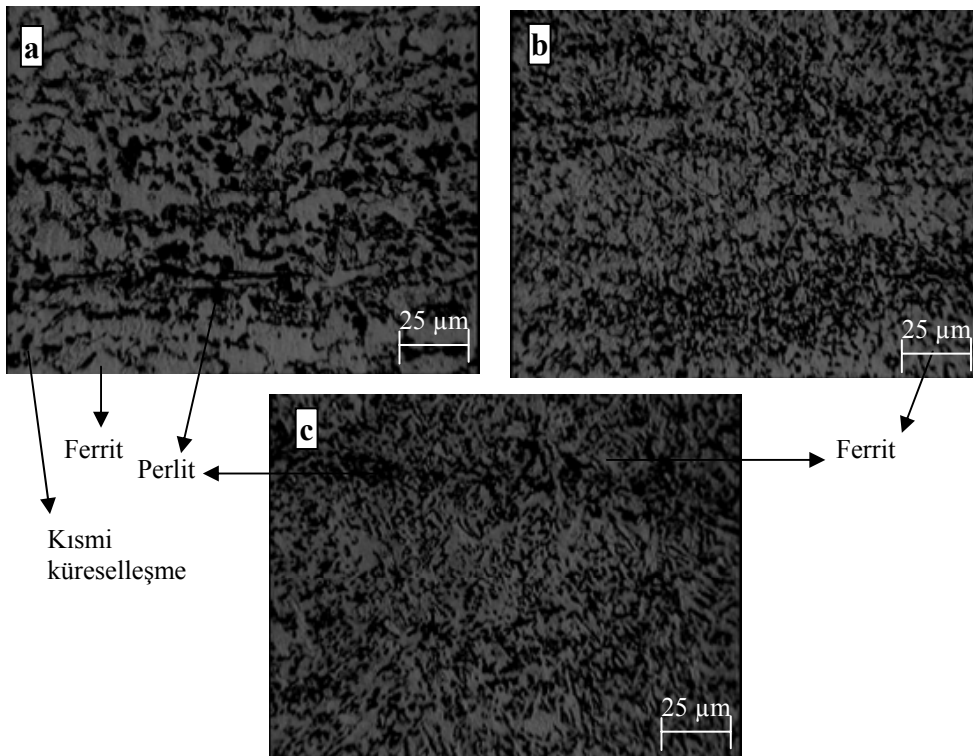
Mikroyapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlit, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını temsil etmektedir. Şekil 4-a'daki  $A_1$  numunesinin ana malzeme mikroyapı fotoğrafında, malzemenin yapısında ferrit ve perlit kolonilerinin olduğu, ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit kolonisinin bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde toplanmaların olduğu görülmektedir. Aynı numunenin ITAB mikroyapı fotoğrafında (Şekil 4-b) ise, kaynak sırasındaki sıcaklık ve basıncın etkisiyle ana malzemeye göre perlit tanelerinin küreselleşerek küçüldüğü ve ferrit fazları arasında biraz daha homojen dağıldığı, kaynak metali mikroyapı fotoğrafı (Şekil 4-c) incelendiğinde de tane yapısının diğer bölgelere göre daha ince ve uzun şekilli tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler iğnemsî bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak da değerlendirilebilir.



**Şekil 4.** A<sub>1</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak metali

Şekil 5’de aynı numunenin kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlemine tabi tutulan mikroyapı fotoğraflarının her üçü de incelendiğinde, tane yapılarındaki değişim çok açıktır. Şekil 5-a ve 4-a’daki ana malzemenin mikroyapı fotoğrafları karşılaştırıldığında ferrit ve perlit koloni

boyutlarındaki küçülmenin (sementit küreselleşmesi) çok büyük olduğu, aynı zamanda bu bölgedeki faz dağılımının da daha homojen olduğu görülmektedir. (5-b)’de görülen numunenin ITAB mikroyapı fotoğrafında da benzer yorumu yapmamız mümkündür. Bir önceki (Şekil 4-b) ITAB fotoğrafında perlitin

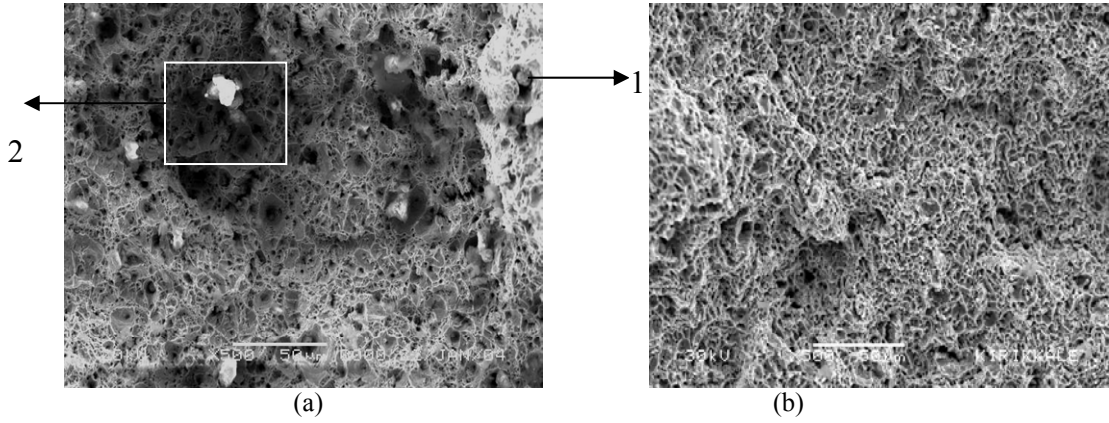


**Şekil 5.** I-A<sub>1</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak metali

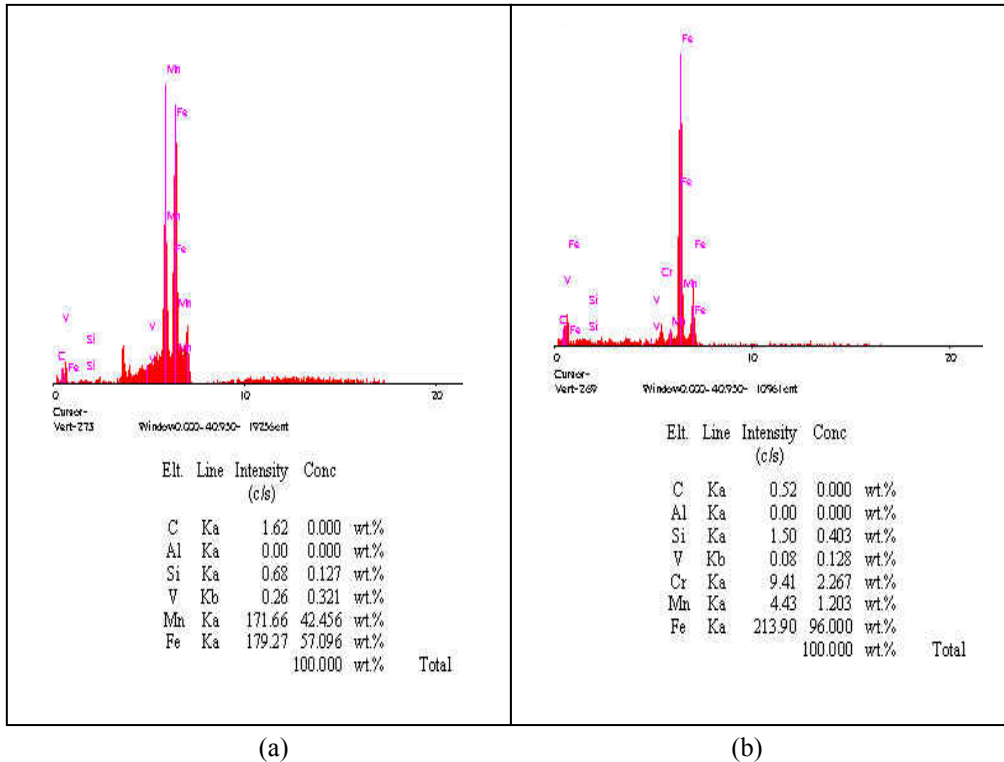
belirli bölgelerde yoğunlaştığı ve koloni boyutlarının biraz daha iri olduğu gözlenirken buradaki perlit kolonilerinin daha küçülmüş ve homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Isıl işlem kaynak bölgelerindeki mikroyapıyı da etkilemiştir. Bir önceki kaynak metali mikroyapı fotoğrafında (Şekil 4-c) daha iğnemsiz ve uzun şekilli olan yapının burada toparlandığı ve perlitin arttığı, ferrit tane yapılarında ise hem uzama hem de büyümelerin olduğu gözlenmiştir.

Şekil 6-a'da A<sub>1</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM görüntüsü incelendiğinde kopma yüzeyinin düzgün olmadığı, hatta büyük bir parça halinde ve girintili çıkıntılı sünek bir kopma yüzeyi görüntüsü verdiği, kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlemine tabi tutulmuş I-A<sub>1</sub> numunesinin aynı bölgeye ait kopma yüzeyi SEM fotoğrafı incelendiğinde ise

(Şekil 6-b) tane yapısının incelendiği görülmektedir. Mikroyapı ve kırılma yüzeyleri birlikte değerlendirildiğinde ise; Şekil 4-b'deki A<sub>1</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma mikroyapı fotoğrafında görülen fazların dağılımları ve küreselleşme durumlarına bağlı olarak Şekil 6-a'daki SEM fotoğrafında kırılma yüzeyinin düzgün olmadığı, buna karşılık yine Şekil 5-b'deki I-A<sub>1</sub> numunesine ait ITAB bölgesindeki küçük ve homojen faz dağılımına bağlı olarak kırılma yüzeyinin (Şekil 6-b) daha düzgün bir görüntü verdiği görülmektedir. Benzer değerlendirme bundan sonraki mikroyapı ve kopmalar için de yapılabileceği için tekrardan kaçınılmıştır. Şekil 6-a'da 1 no'lu beyaz küçük noktaya ait EDAX analizi (Şekil 7-a) incelendiğinde % 57,096 Fe, % 42,45 Mn'dan meydana geldiği görülmüştür. Aynı şekilde 2 no'lu alanın SEM fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6-a) bu bölgenin diğer



Şekil 6. (a) A<sub>1</sub> numunesine ait, (b) I-A<sub>1</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM fotoğrafı



Şekil 7. A<sub>1</sub> numunesinin EDAX sonuçları. (a) 1 no'lu noktaya ait, (b) 2 no'lu alana ait

bölgelere göre daha derinde veya bir boşluk olduğu izlenimini verdiği, EDAX analizinde ise (Şekil 7-b) bu bölgedeki Fe ağırlık oranının % 96 olduğu anlaşılmıştır. İkinci ve üçüncü sırayı da malzemenin bileşiminde yüksek miktarda bulunan Cr (% 2,267) ve Mn (% 1,203) almıştır.

A<sub>2</sub> numunesinde yığıma akım zamanı 1,6 saniyeden 1,8 saniyeye çıkarılmıştır. Yığıma akım zamanının artmasıyla birlikte malzemeye uygulanan ısı girdisi de artmıştır. Şekil 8-a'daki ana malzeme mikroyapı fotoğrafında ise yapıdaki ferrit tanelerinin düzenli ve daha geniş bir hacim kapladığı buna karşılık perlit kolonilerinin ise düzensiz dağıldığı görülmektedir. Şekil 8-b'de ITAB mikroyapı fotoğrafında ise ferrit tanelerinin bir arada ve bir hat şeklinde toplandığı, perlit kolonilerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir. Isı girdisinin artması ile Şekil 8-c'de mikroyapı fotoğrafı görülen kaynak metali tane yapısının A<sub>1</sub> numunesine göre biraz daha eşksenel bir hale geldiği, aynı zamanda tanelerin ince, uzun ve yönlendirilmiş halde olduğu görülmektedir.

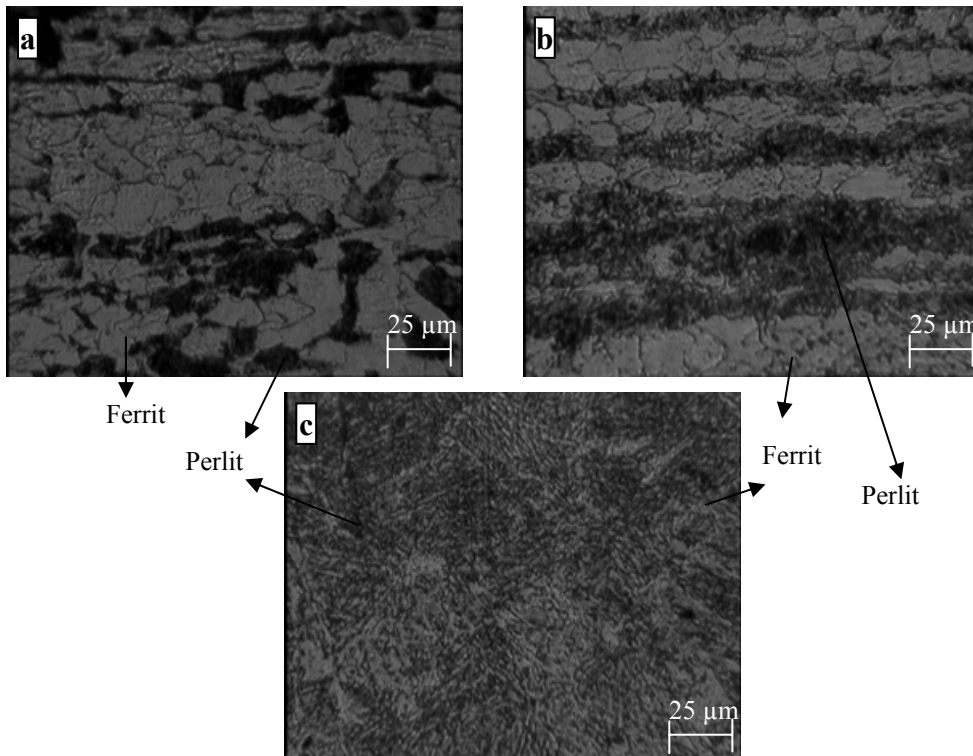
Aynı numunenin kaynak sonrası ısıl işlem görmüş mikroyapı fotoğraflarının tümünde uygulanan tam tavlama ısıl işleminin etkili olduğu ve tanelerin toparlandığı görülmüştür. Şekil 9-a ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde yapıdaki perlitlerin, ferrit taneleri arasında kaynak sonrası ısıl işlem görmemiş A<sub>2</sub> numunesine göre daha homojen olarak dağıldığı, Şekil 9-b'de ITAB mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise Şekil 8-b'ye göre perlitin daha düzenli dağıldığı görülmüştür. Kaynak metali mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise (Şekil 9-c),

ince, uzun ve yönlendirilmiş tanelerin belirli bölgelerde biraz daha fazla toplanmış olduğu görülmektedir.

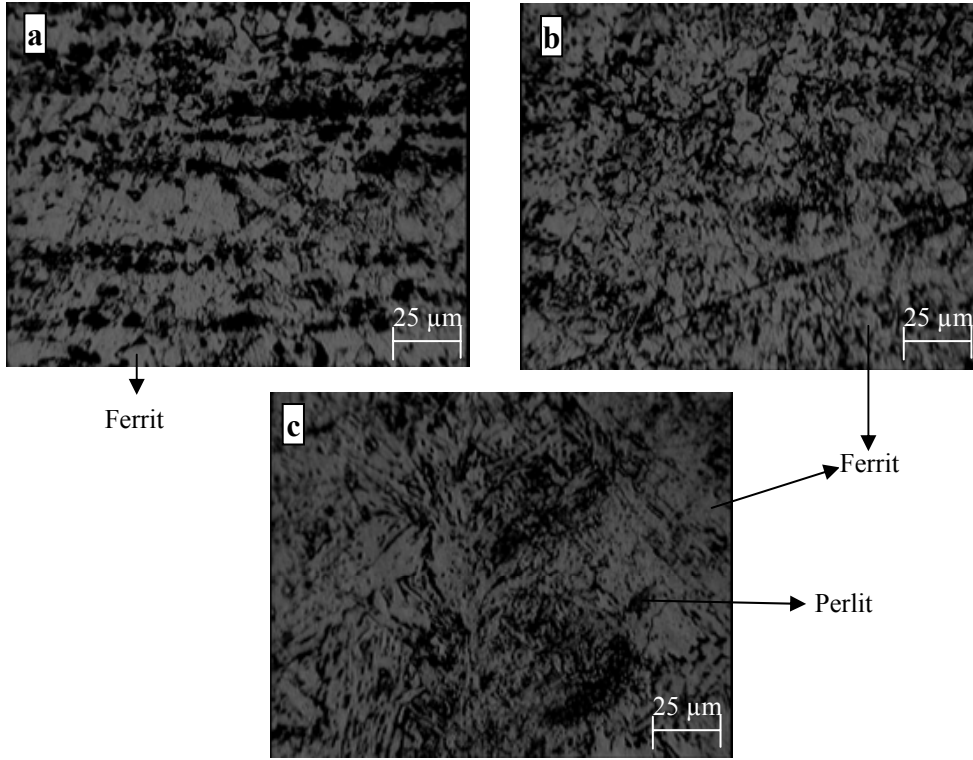
Şekil 10-a'daki A<sub>2</sub> numunesinin ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde A<sub>1</sub> numunesine göre daha pürüzlü bir yüzey görüntüsü vermektedir. Ayrıca kopan yüzeyin EDAX sonuçları Şekil 11'de incelendiğinde % 92'nin üzerinde bir oranda Fe içerdiği tespit edilmiştir. Şekil 10-b'deki kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlemi görmüş I-A<sub>2</sub> numunesine ait kopma yüzeyi SEM fotoğrafı incelendiğinde, numunelerin mikroyapı fotoğraflarında görülen ve uygulanan tam tavlama ısıl işleminden dolayı oluşan tane inceliği ve ferrit miktarındaki artış burada da görülmektedir.

Ayrıca Şekil 6'daki A<sub>1</sub> numunesinin SEM mikroyapı fotoğrafı ile karşılaştırıldığında kopma yüzeyinin daha az girintili çıkıntılı olduğu, bu da kırılmanın daha gevrek olduğu görüntüsü vermektedir. Şekil 11'deki A<sub>2</sub> numunesine ait EDAX sonuçları incelendiğinde ise Şekil 10'daki 1 ve 2 No'lu noktaların oksit veya kalıntı gibi görüldüğü oysa yapılan analizlerde derinlik olduğu tespit edilmiştir. Bu noktaların EDAX analiz sonuçlarında % 97,387 oranında Fe, % 1,392 oranında Mn ve % 1,031 oranında Cr'dan meydana geldiği, aynı malzemenin 3 No'lu bölgesi incelendiğinde bu bölgenin % 92,865 oranında Fe, % 3,399 oranında Si, % 1,931 oranında Al ve % 1,061 oranında Cr'dan meydana geldiği tespit edilmiştir.

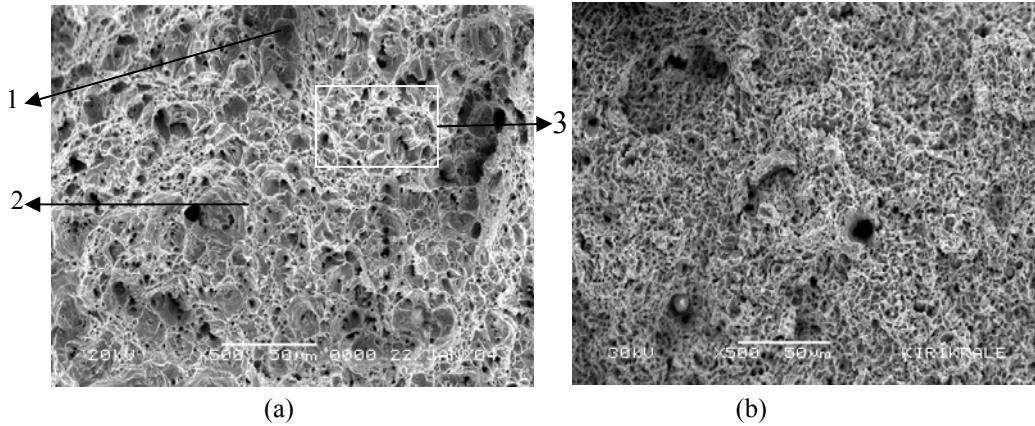
Şekil 12-a ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ferrit yapının düzenli ve geniş bir alana yayıldığı, perlit yapının ise ferrite göre daha az



Şekil 8. A<sub>2</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak metali



**Şekil 9.** I-A<sub>2</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak metali



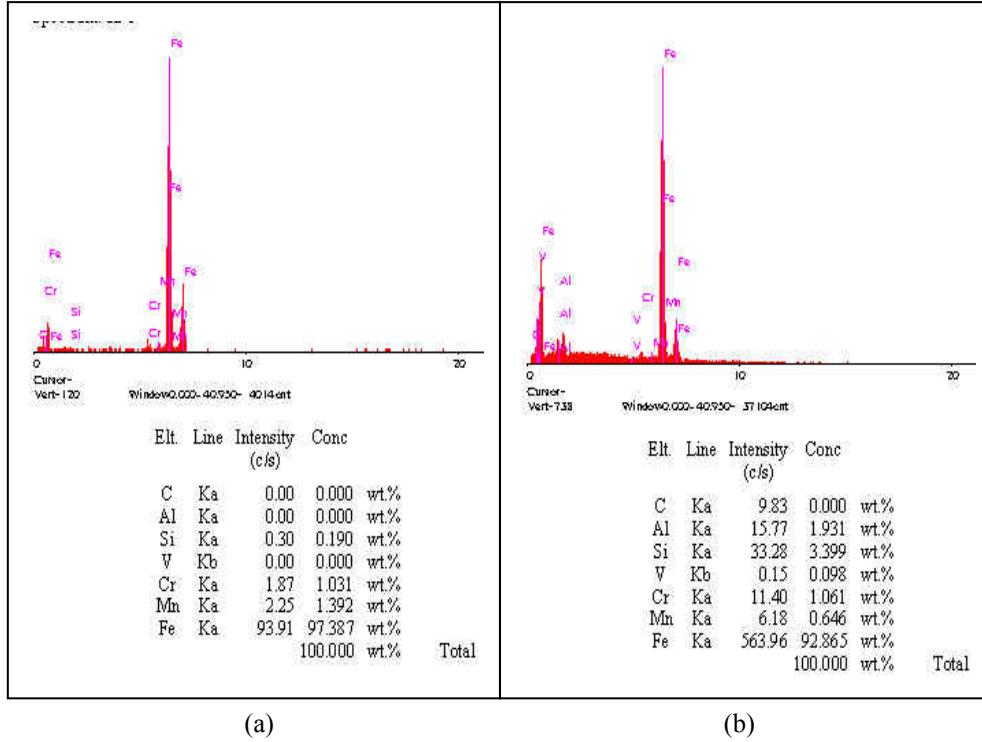
**Şekil 10.** (a) A<sub>2</sub> numunesine ait, (b) I-A<sub>2</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafları

olduğu ancak belli bölgelerde toplandığı görülmektedir. ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 12-b), tane yapısının küçüldüğü görülmüştür. Ayrıca ferrit oranının azaldığı buna karşılık perlit miktarında artış gözlenmiştir. A<sub>3</sub> numunesinde ısı girdisi arttığı için soğumanın A<sub>1</sub> ve A<sub>2</sub> numunelerine göre daha yavaş olduğu, kaynak metali mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 12-c) ise ince ve uzun asiküler ferrit tane yapısının biraz daha azaldığı buna karşılık perlit kolonilerinde ise artış gözlenmiştir.

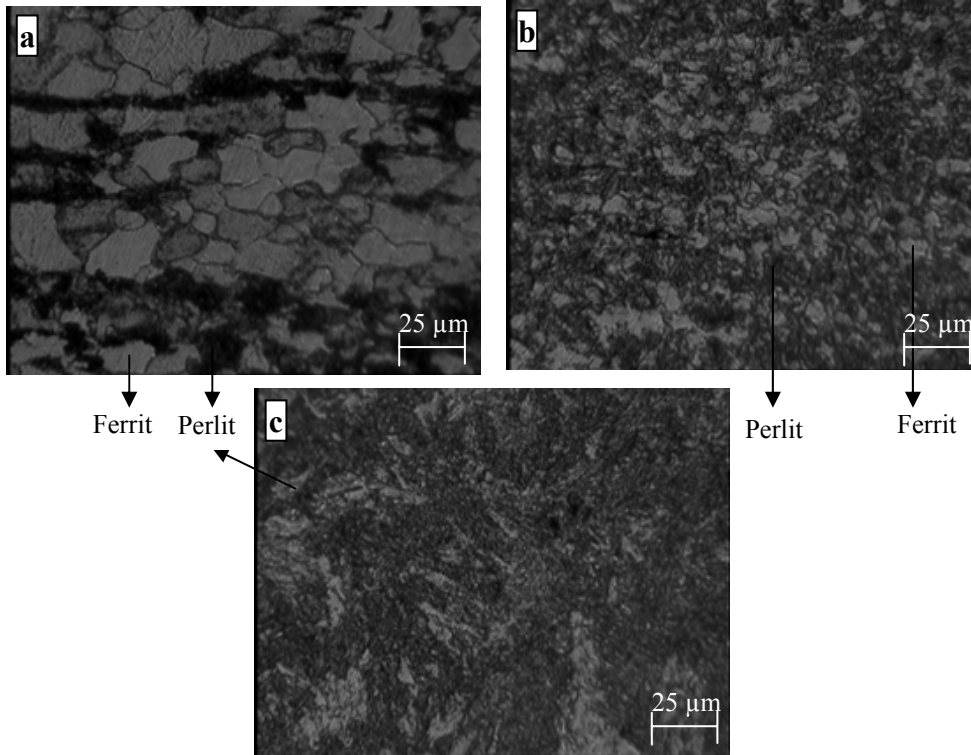
Kaynak sonrası tam tavlama ısıl işlem görmüş numunenin mikroyapı fotoğraflarının tümü incelendiğinde (Şekil 13) ısı girdisindeki artışın tane yapısında değişikliklere yol açtığı görülmüştür. Ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise

(Şekil 13-a) açık bölgelerin ferrit, koyu bölgelerin ise perlit kolonilerini meydana getirdiği ve belirli bölgelerde toplandığı, Şekil 13-b ITAB mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise tane yapısının Şekil 12-b'deki A<sub>3</sub> numunesinin ITAB mikroyapısına göre küçüldüğü ve daha da sıklaştığı görülmektedir. Kaynak metali mikroyapı fotoğrafında (Şekil 13-c) ise dendritik bir yapının varlığından söz edilebilir. Bu bölgedeki ferrit tanelerinin yer yer ince ve küçük yer yer de yönelmiş ve plaka halinde olan yapılardan meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 14-a'daki A<sub>3</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM fotoğrafını incelediğimizde yüzeydeki çıkıntıların A<sub>1</sub> (Şekil 6) ve A<sub>2</sub> (Şekil 10) numunesinin SEM görüntülerine göre daha az olduğu görülmektedir. Burada malzemedeki perlit miktarının



Şekil 11. A<sub>2</sub> numunesine ait EDAX sonuçları. (a) 1 ve 2 No'lu noktaya ait, (b) 3 No'lu alana ait

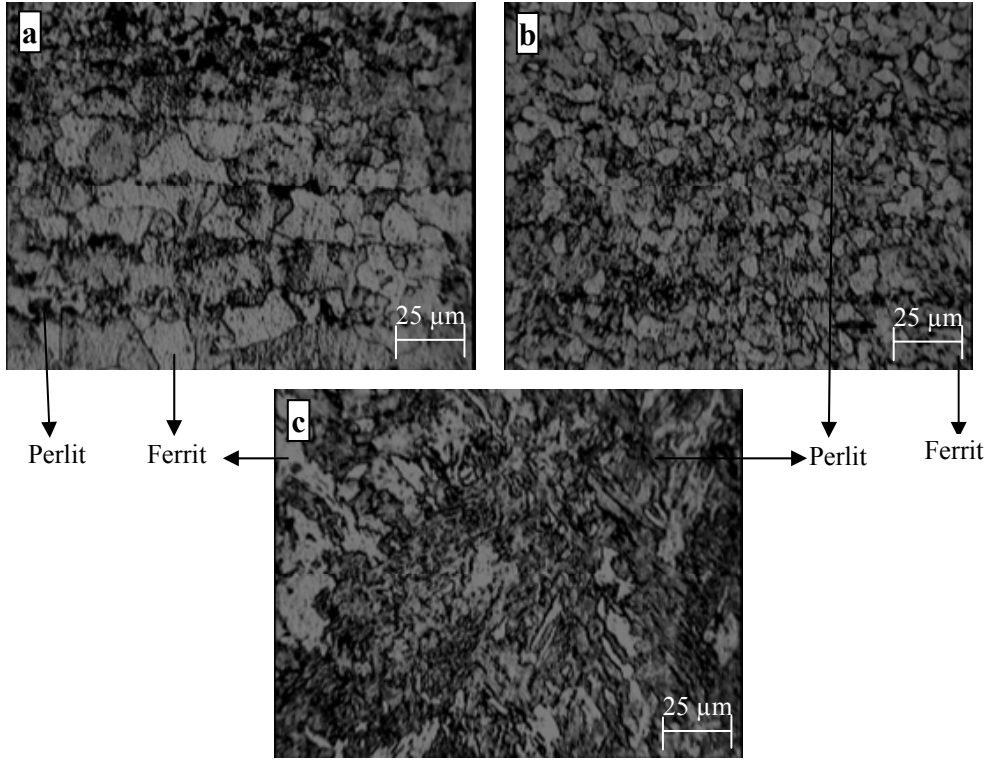


Şekil 12. A<sub>3</sub> numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) ana malzeme, (b) ITAB, (c) kaynak metal

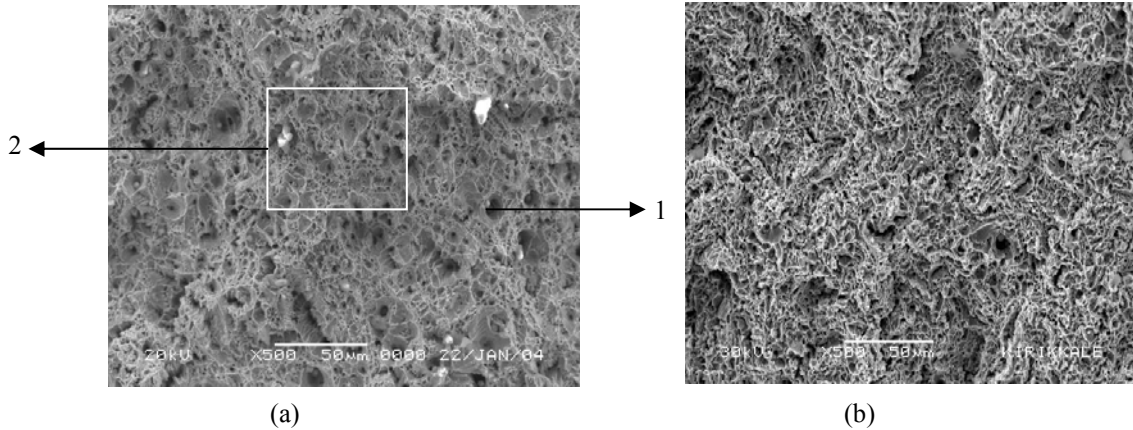
artmasına dayalı olarak dayanımın, A<sub>1</sub> ve A<sub>2</sub> numunelerine göre arttığı çekme sonuçlarında da görülmüştür. Şekil 14-b'deki I-A<sub>3</sub> numunesine ait SEM görüntüsü incelendiğinde ise uygulanan ısıl işlem nedeniyle ferrit ve perlit koloni boyutlarının biraz daha incelendiği, daha homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Şekil 14'deki 1 No'lu

noktada Mn'nin (%51,463), Fe'nin ise (%48,251) ağırlığında, 2 no'lu alanda ise Fe, Cr ve Mn'nin sırasıyla %98,228, %0,988, %0,608 ağırlık oranında olduğu Şekil 15'deki EDAX sonuçlarından anlaşılmıştır.





Şekil 13. I-A<sub>3</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları, (a) Ana malzeme (b) ITAB, (c) Kaynak metali



Şekil 14. (a) A<sub>3</sub> numunesine ait, (b) I-A<sub>3</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı

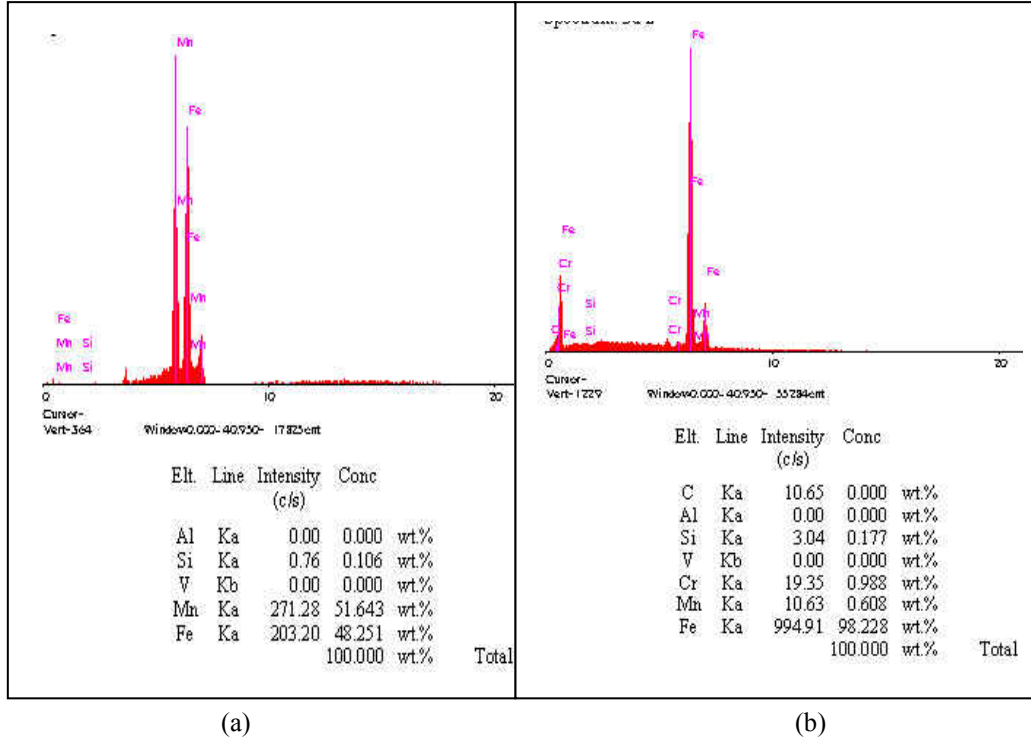
### 3.3. Çekme Deney Sonuçları

Tablo 3'te gösterilen parametrelerde kaynak yapılmış numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Deneylerde çekme hızı 2 mm/sn olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları ise Şekil 16'da grafik halinde verilmiştir.

Çekme deneyleri sonuçları göstermiştir ki bütün numuneler kaynak metali dışında ITAB bölgesinde kopmuştur. Bu sonuç kaynak metalinin dayanımının daha yüksek olduğunu gösterir. Numunelerde sabit basınç altında, yıgma akım zamanları ve çekme dayanımı arasındaki ilişki incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının en yüksek yıgma akımı uygulanan malzemelerde olduğu görülmüştür. Bu değerler A<sub>1</sub> numunesi için 670 N/mm<sup>2</sup>, A<sub>2</sub> numunesi

için 690 N/mm<sup>2</sup> ve A<sub>3</sub> numunesi için ise 731 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebi, numunelere uygulanan yıgma akım zamanının artması hem kaynak bölgesini genişletmiş hem de tanelerin dağılımını Homojen hale getirmiştir. Böylece yıgma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı artmakta, kaynak bölgesi genişlemekte ve plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu bölgede pekleşme meydana gelmektedir. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımını arttırdığı düşünülmektedir.

Kaynak sonrası ısıl işlem görmüş I-A kodlu numunelerde ise uygulanan tam tavlama ısıl işlemin

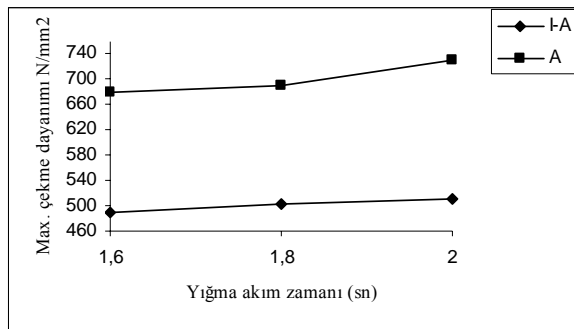


Şekil 15. A<sub>3</sub> numunesine ait EDAX sonuçları. (a) 1 No'lu noktaya ait, (b) 2 No'lu alana ait

sonucu olarak daha düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. I-A<sub>1</sub> numunesi için 489 N/mm<sup>2</sup>, I-A<sub>2</sub> numunesi için 502 N/mm<sup>2</sup> ve I-A<sub>3</sub> numunesi için de 512 N/mm<sup>2</sup> maksimum çekme dayanımı bulunmuştur. Isıl işlem görmüş numunelere uygulanan yığma akım zamanı arttıkça çekme dayanımında bir artış görülmektedir. Fakat bütün değerlerde uygulanan ısıl işlemden dolayı bir azalma görülmüştür.

Tablo 3. Numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zamanı (Sn)	Max. Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
A <sub>1</sub>	2	1,6	670
A <sub>2</sub>	2	1,8	690
A <sub>3</sub>	2	2	731
I-A <sub>1</sub>	2	1,6	489
I-A <sub>2</sub>	2	1,8	502
I-A <sub>3</sub>	2	2	512



Şekil 16. Numunelerde çekme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>) ve yığma akım zamanı (Sn) arasındaki ilişki

#### 4. SONUÇLAR

16MnCr5 çeliğinde yığma akım zamanı ve tam tavlama ısıl işleminin mekanik özelliklere etkisi ile ilgili genel sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

- 1-Tüm numunelerde en yüksek sertlik değeri kaynak bölgelerinde elde edilmiştir.
- 2-Numunelere uygulanan tam tavlama ısıl işlemi hem ana metalin hem de kaynak metalinin sertliğinin azalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla ana metal ve kaynak metali arasındaki sertlik farkı azalmıştır.
- 3-Uygulanan tam tavlama ısıl işlemi, bütün numunelerin çekme dayanımlarında azalmaya neden olmuştur.

#### KAYNAKLAR

1. Tülbentçi, K.- Yılmaz, M. "Yakma Alın Kaynağı. Kaynak Dünyası". **Birsen Basımevi**, İstanbul, 14-25 (1990).
2. Anık, S. "Kaynak Tekniği El Kitabı.", "Yöntemler ve Donanımlar", Cilt 1 **Birsen Basımevi**, İstanbul, 40-50 (1983).
3. Kalvala, P., Rao K., Kannurpatti N., "Effect of welding parameters on the quality and corrosion characteristics of flash butt welded austenitic steels", **Schweissen Und Schneiden.**, V:42, N:1, 4-6 (Jan-1990).
4. Ghosh, P. K., "Thermal cycle and microstructure of heat affected zone(HAZ) of flash butt welded Mn-Cr-Mo dual phase steel", **ISIJ International.**, V:30, N:4, P:317-324 (1990).

5. Kuchuk, S. "Experince of flash- butt welding application in pipeline construction in the USSR", **Proceeding of pipeline technology Conference**, Östend, Belgium, 37-39 (1990).
6. Trompler, Ruben Jr. "Flash butt welding of crane rail", **Iron And Steel Engineer**. Oct., V:73, N:10 P: 42-44 (1996).
7. Thomas, K.- Michailov, V. Wohlfahrt, H. "Toughness Investigations On Narrow Process-Affected Zones Of Resistance-Butt". **Welding and Cutting**, V 52, 254-262 (2000).
8. Yılmaz M., Karagöz Ş., "Katı hal kaynağında Mikro analiz uygulaması", **XI.Ulusal Elektronik Mikroskopisi Sempozyumu**, Edirne, 163-165 (1993).
9. Civelekoğlu, F., "Yükek hız çeliği (S-6-5-2) ile alaşımsız karbon çeliği (Ck60) çubuklarının yakma alın kaynağı ile birleştirilmesinde bazı kaynak parametrelerinin ve kaynak ara yüzeyinin etüdü", Doçentlik Tezi, **İTÜ**, İstanbul. 7-59 (1971).
10. Yükler, A. İ., "Kaynak Metali", **Erdini Basımevi**, İstanbul, 17-60 (1979).