

# Yakma Alın Kaynağında Yığma Akım Zamanının Bağlantının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Cemil ÇETİNKAYA , Uğur ARABACI  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Bu çalışmada 16MnCr5 zincir çeliği çifti birbirine yakma alın kaynağı yöntemiyle kaynatılmıştır. Deney çalışmaları sırasında yığma basıncı 3 bar, yığma akım zamanı ise 1,6; 1,8 ve 2 saniye olarak seçilmiştir. Deney sonuçlarının tamamında, en yüksek sertlik değerlerinin kaynak bölgelerinde meydana geldiği ancak yığma akım zamanının artmasıyla birlikte sertlik değerlerinde düşüş, çekme dayanımlarında ise önemli bir artış olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yakma alın kaynağı, direnç kaynağı, mekanik özellikler, zincir çeliği, mikroyapı.

## An Investigation of Effect of Upsetting Current Time on Mechanical Properties of 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. Experimental results of all tested materials showed that welded zone exhibited the highest hardness, however hardness in the welded zone of samples decreased and tensile strength increased considerably with increasing the upsetting current time.

**Key Words :** Flash butt welding, resistance welding, mechanical properties, chain steel, microstructure

### 1. GİRİŞ

Endüstride zincir ve rayların kaynağında en fazla kullanılan yöntem yakma alın kaynağı yöntemidir (1). Yakma alın kaynağı aslında elektrik direnç kaynak işleminin bir türüdür; ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur (2). Parçaların yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanar ve bu şekilde yanma giderek tüm kesite yayılır (3).

Kaynak sırasında ergime ve patlamalar sebebi ile meydana gelen iki parça arasındaki boşluk, hareketli tablaların yaklaşması ile kapatılır (4-5). Yanmanın bütün yüzeyi kaplaması ve birleştirilecek yüzeyin tamamının ergimesinden sonra, tablanın ani hareketi ile

Tablo 1. 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi.

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

yüksek sıcaklıktaki yüzeyler birbirine bastırılır. Böylece pürüzlerin temas dirençleri ortadan kalkar ve kıvılcımlanma da biter. Kıvılcımlanma süresi; malzemenin ısıl iletkenliğine, parçaların kesitine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır (6-7).

Bu çalışmada, sanayide büyük ölçüde zincir halkaları üretiminde kullanılan 16MnCr5 çeliğinin kaynaklanabilmesi ve önemli parametrelerden olan yığma basıncı sabit tutulup, yığma süresi artırılarak bunların kaynağa etkileri araştırılmıştır. Daha sonra kaynatılan numunelerin sertliği, mikroyapısı ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

### 2. MATERYAL VE METOD

#### 2.1. Materyal

Deneylerde, Tablo 1.'de kimyasal analizi verilen 16MnCr5 çeliği kullanılmıştır. Numunelerden 100 mm. boyunda ve 18 mm. çapında 45 adet kesilmiştir.

#### 2.2 Deneysel Metot

Numunelerin ilk önce yüzeyleri kabaca temizlenerek kaynak işlemine hazır hale getirilmiştir. Kaynak işleminin tümü OSTİM'deki YAPAŞ ZİNCİR FABRİKASI'NDA, SCHLATTER marka yakma alın

kaynak makinesi ile yapılmıştır. Kaynak işlemi süresince çeneler, sıkma yüzeylerinin temas direnci oluşturmaması için daima temiz tutulmaya çalışılmıştır. Yapılan kaynak işlemlerinde aşağıda verilen kaynak parametreleri deney süresince sabit tutulmuştur.

Voltaj.....3 Volt  
Ampermetre.....30 A  
Ön ısıtma zamanı.....3 Saniye  
Temas zamanı.....1,2 Saniye  
Çene sıkma basıncı.....3 Bar.  
Makine basıncı .....6 Bar

Tablo 2. Uygulanan Deney Parametreleri.

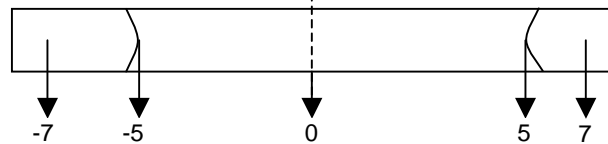
KOD	Yığma Basıncı (Bar)	Yığma akım zamanı (saniye)	Kaynak sonrası ısıtma işlem durumu	Numune Adeti
A <sub>1</sub>	3	1,6	Görmedi	15
A <sub>2</sub>	3	1,8	Görmedi	15
A <sub>3</sub>	3	2	Görmedi	15

Deney parametreleri makinenin gücü ve teknik özellikleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Birleştirme işlemlerinde yığma basıncı 3 Bar olarak sabit tutulmuştur. İki saniyenin üstündeki yığma zamanında kaynak metalinde yer yer istenmeyen yanmalar görüldüğü için bu sürenin üzerine çıkılmamıştır. Tablo 2’de verilen parametrelerde kaynatılan numunelerin, her birinden sertlik, mikroyapı ve çekme deneyleri için beşer adet ayrılmıştır. 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 yapılmıştır. Sertlik deneylerinde her bir bölgeden alınan 4 ölçümün ortalaması kullanılmıştır. Deney numunelerinin kopma yüzeyi SEM fotoğrafları ise Jeol JSM 5600 marka elektron mikroskobu ile çekilmiştir. Yine EDX ölçümleri bu elektron mikroskobuna bağlı bilgisayar yardımıyla yapılmıştır.

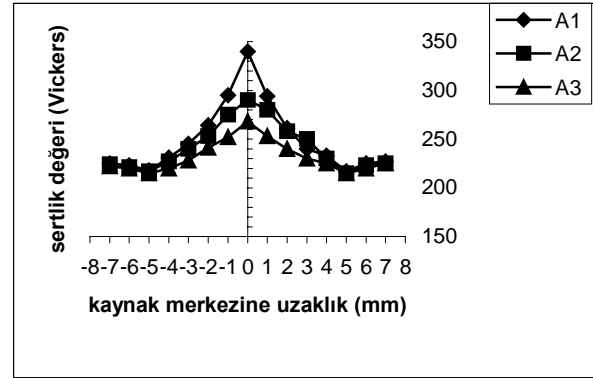
### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Sertlik Sonuçları

Kaynak metal kesiti üzerinde sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar Şekil 1’de, 3 Bar sabit basınç altında ve sırasıyla 1,6, 1,8 ve 2 saniye yığma akımlarında kaynatılan A numunelerinin sertlik grafikleri ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Kaynak metal kesiti üzerinde sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar (Burada 0 kaynak metal merkezini ifade etmektedir).

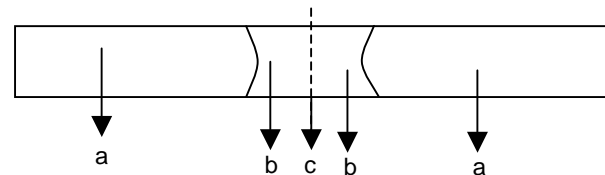


Şekil 2. A Numunelerine ait sertlik grafiği.

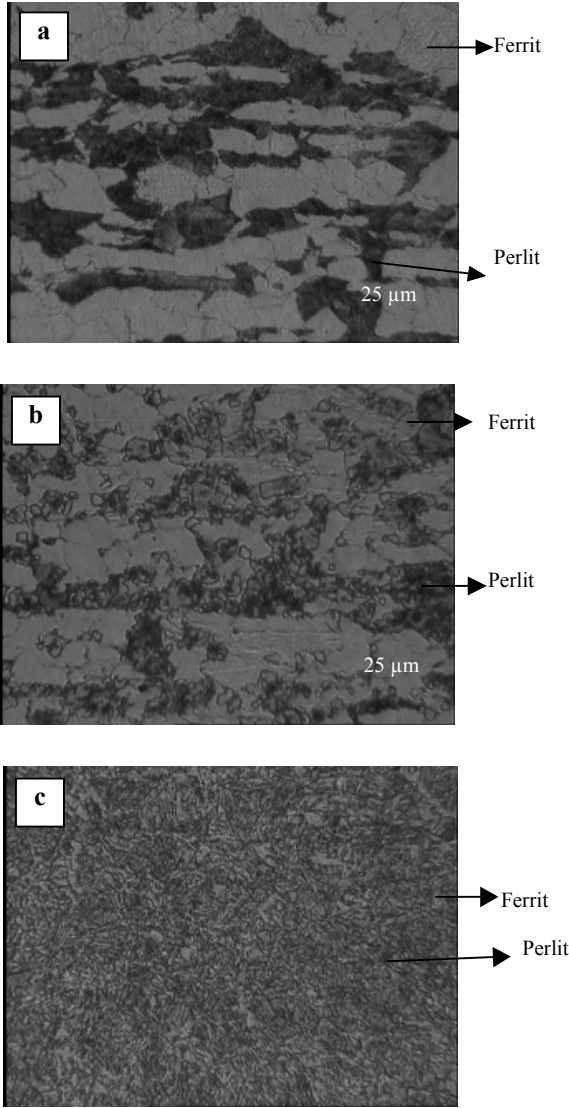
Şekil 2’de verilen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ve A<sub>3</sub> numunelerine ait sertlik grafiklerinde, en yüksek sertliğe kaynak bölgelerinde ulaşıldığı görülmektedir. Kaynak bölgesi sıcaklığının çok yüksek olması ve hızlı soğuması sertliğin artmasına sebep olmuştur. Ancak alaşım elemanları ve miktarlarının sertlikteki rolü unutulmamalıdır. Her bir bölgeden alınan 4’er sertlik ölçümünün ortalamalarında A<sub>1</sub> numunesinde 340, A<sub>2</sub> numunesinde 290 ve A<sub>3</sub> numunesinde ise 268 Vickers sertlik değerleri elde edilmiştir. Burada yığma akım zamanının artmasıyla kaynak bölgelerinin sertlik değerlerinde az da olsa bir düşüş olduğu görülmüştür. Isı girdisinin artması soğuma hızını yavaşlatmış, dolayısıyla sertliklerde giderek azalma gözlenmiştir. Yükler (8) de kaynak bölgesine uygulanan ısı miktarının sıcaklık dağılımını ve soğuma hızını etkilediğini ifade etmiştir. Yılmaz (9) katı hal kaynak teknikleri çalışmasında kaynak çizgisi boyunca HSS tarafında kaynak metalinde maksimum sertliğin oluştuğunu, ayrıca Civelekoğlu (10) yaptığı farklı metal çiftlerine yakma alın kaynağı uygulamasında da en sert bölgenin kaynak metalinde görüldüğünü ifade etmiştir.

#### 3.2. Mikroyapı Sonuçları

Aşağıda; ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgesinden çekilen fotoğraflar ile yığma akım zamanının numune mikroyapıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 3’te ise bu görüntülerin çekildiği noktalar verilmiştir.

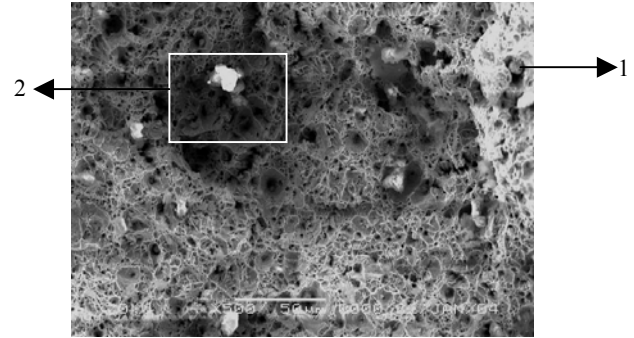


Şekil 3. Mikroyapı fotoğrafları çekilen noktalar



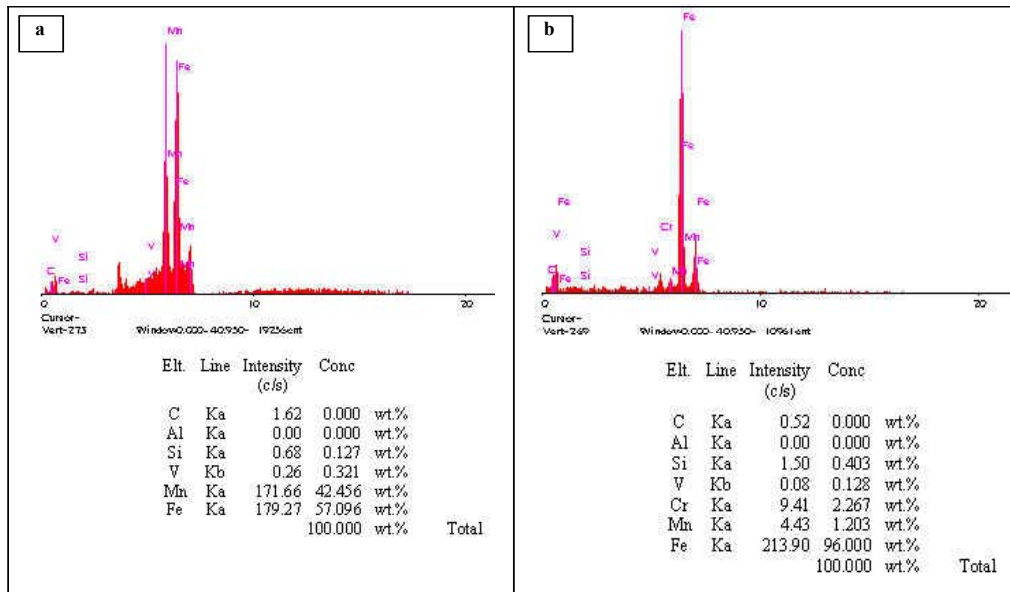
Şekil 4. A<sub>1</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak bölgesi.

Tüm mikroyapı görüntülerinde siyah bölgeler perlit, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını göstermektedir. Şekil 4-a'daki A<sub>1</sub> numunesinin ana malzeme mikroyapı fotoğrafında, iri ferrit taneleri arasında perlit kolonisinin bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, aynı zamanda bu bölgede ferrit tanelerinin daha fazla oranda olduğu görülmektedir. ITAB mikroyapı fotoğrafında (Şekil 4-b) ise ana malzemeye göre perlit kolonilerinin küçüldüğü ve ferrit fazları arasında biraz daha homojen dağıldığı, kaynak metali mikroyapı fotoğrafı (Şekil 4-c) incelendiğinde de tane yapısının ince ve uzun şekilli tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler için iğnemsî bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak ta değerlendirilebilir.



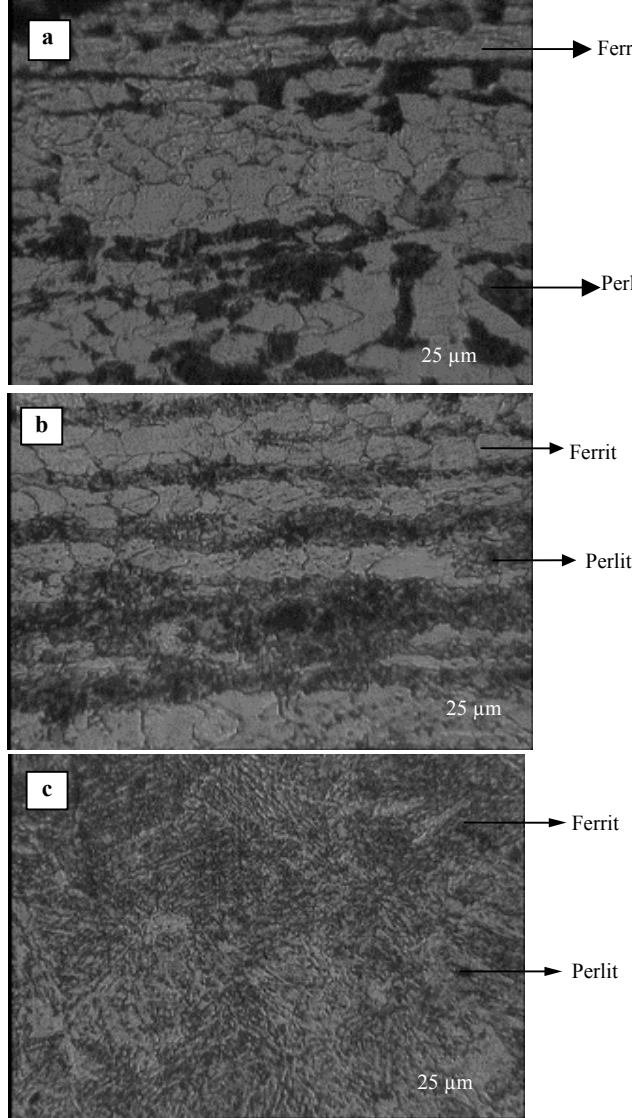
Şekil 5. A<sub>1</sub> Numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı.

Şekil 5'deki 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 görülmektedir. Ayrıca SEM fotoğrafında görülen koyu siyah bölgelerin oyuk olduğu düşünülmektedir. Bu da kırılmanın sünek kırılma modunda olduğunu göstermektedir. Şekil 5'deki 1



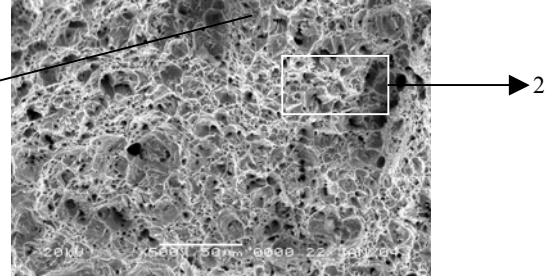
Şekil 6. A<sub>1</sub> numunesinin EDAX sonuçları. (a) 1 No'lu noktaya ait, (b) 2 No'lu alana ait.

No'lu beyaz küçük noktaya ait EDAX analizi (Şekil 6-a) incelendiğinde % 57,096 Fe, % 42,45 Mn'dan meydana geldiği görülmüştür. Aynı şekilde 2 No'lu alanın EDAX analizinde ise (Şekil 6-b) bu bölgedeki Fe ağırlık oranının % 96 olduğu, ikinci ve üçüncü sırayı da malzemenin bileşiminde yüksek miktarda bulunan Cr (% 2,267)ve Mn (% 1,203) aldığı anlaşılmıştır.



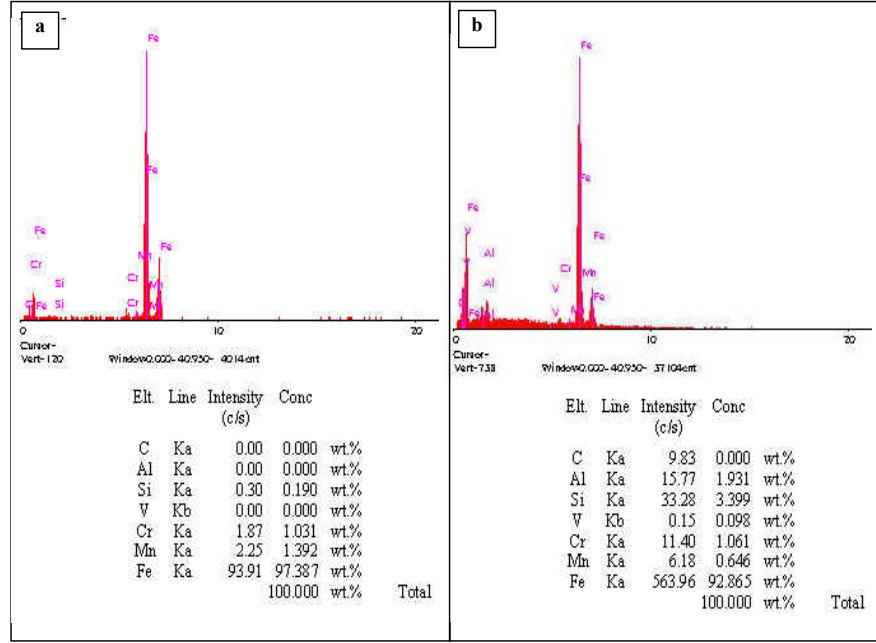
Şekil 7. A2 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak bölgesi

Yığıma akım zamanının artmasıyla birlikte malzemeye uygulanan ısı girdisi de artmıştır. Şekil 7-a'daki ana malzeme mikroyapı fotoğrafında ferrit tanelerinin geniş bir hacimde düzenli, perlit kolonilerinin ise ferrit taneleri arasında yönlendirilmiş olarak dağıldığı görülmektedir. Şekil 7-b'de ITAB mikroyapı fotoğrafında ise ferrit tanelerinin bir arada ve bir hat üzerinde yönlendiği görülmektedir. Isı girdisinin artması ile Şekil 7-c'de mikroyapı fotoğrafı görülen kaynak metal tane yapısının ince, uzun ve yönlendirilmiş halde olduğu, A<sub>1</sub> numunesine göre biraz daha eşeksenel bir hale geldiği görülmektedir.

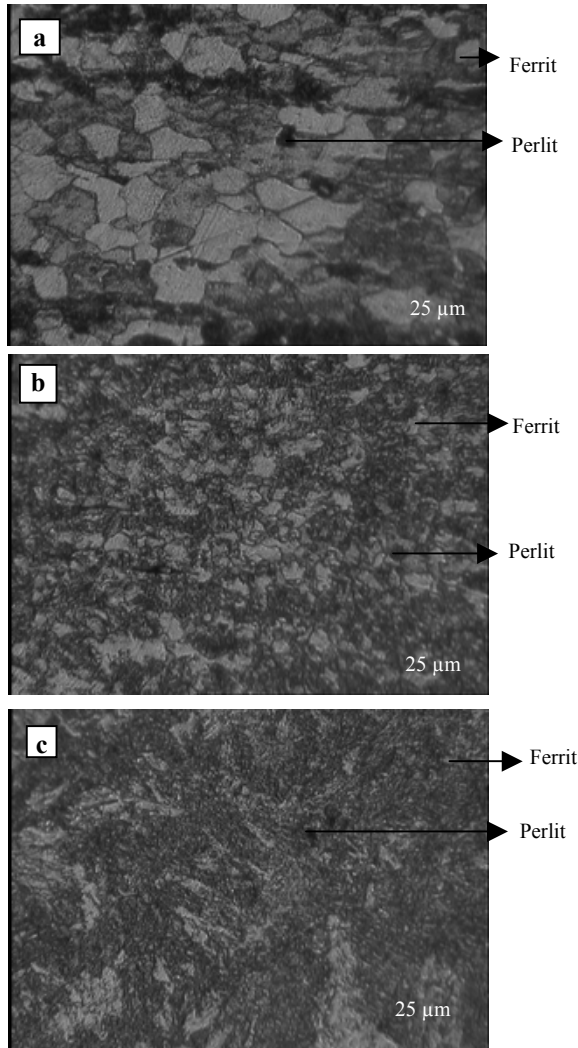


Şekil 8. A<sub>2</sub> Numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı

Şekil 8'deki A<sub>2</sub> numunesinin ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde A<sub>1</sub> numunesine göre daha gevrek ve pürüzlü bir yüzey görüntüsü vermektedir. Ayrıca Şekil 5'deki 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 8'deki 1 No'lu noktanın EDAX analizlerinde (Şekil 9-a) % 97,387 oranında Fe, % 1,392 oranında Mn ve % 1,031 oranında Cr'dan meydana geldiği, aynı malzemenin 2 No'lu bölgesinin EDAX analizi Şekil 9-b'de 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,

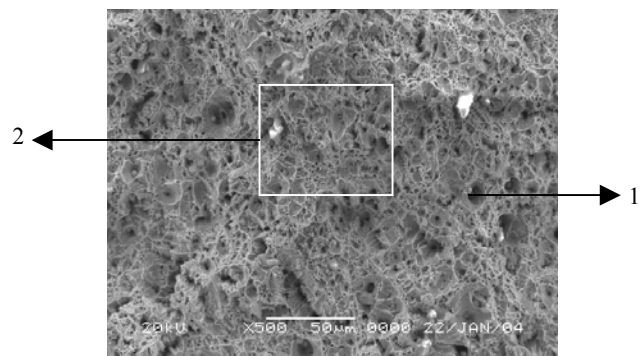


Şekil 9. A<sub>2</sub> numunesine ait EDAX sonuçları. (a) 1 No'lu noktaya ait, (b) 3 No'lu alana ait



Şekil 10. A<sub>3</sub> Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (a) Ana malzeme, (b) ITAB, (c) Kaynak bölgesi

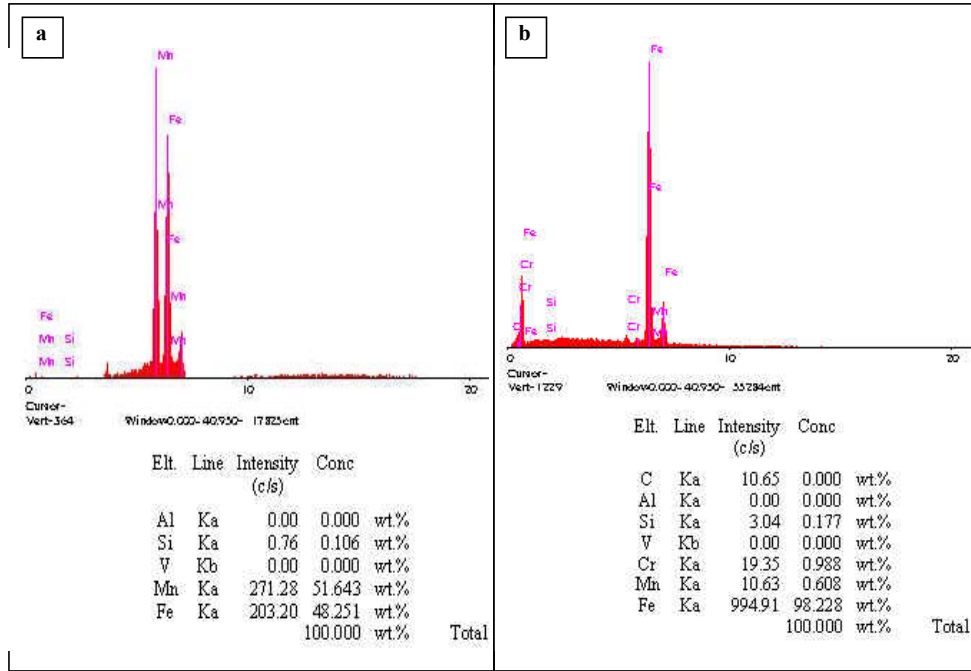
Şekil 10-a ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde düzenli ve geniş bir alana yayılmış ferrit yapının aralarında daha az miktarda ve belli bölgelerde toplanmış perlit kolonilerinin olduğu görülmektedir. ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 10-b), tane yapısının küçüldüğü, ferrit oranının 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 10-c) ise ince ve uzun asiküler ferrit tane yapısının biraz daha azaldığı buna karşılık perlit kolonilerinde ise artış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 11. A<sub>3</sub> Numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM mikroyapı fotoğrafı.

Şekil 10'daki A<sub>3</sub> numunesine ait ITAB bölgesi kopma yüzeyi SEM fotoğrafını incelediğimizde yüzeydeki çıkıntılar A<sub>1</sub> (Şekil 5) ve A<sub>2</sub> (Şekil 8) numunesinin SEM görüntülerine göre daha az olduğu görülmektedir. Burada malzemedeki perlit miktarının artmasına

dayalı olarak dayanımın,  $A_1$  ve  $A_2$  numunelerine



Şekil 12.  $A_3$  numunesine ait EDAX sonuçları. (a) 1 No'lu noktaya ait, (b) 2 No'lu alana ait .

göre

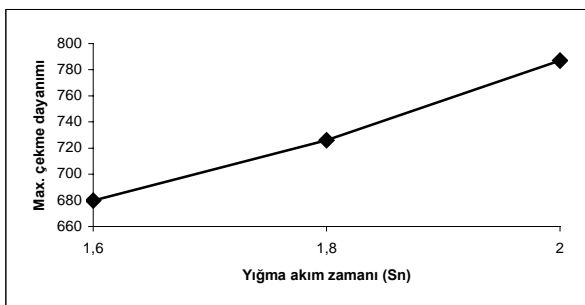
arttığı çekme sonuçlarında da görülmüştür. Şekil 11'deki 1 No'lu noktada Mn'nin (51,463%), Fe'nin ise (48,251%) ağırlığında, 2 no'lu alanda ise Fe, Cr ve Mn'nin sırasıyla 98,228%, 0,988 %, 0,608 % ağırlık oranında olduğu Şekil 12'deki EDAX sonuçlarından anlaşılmıştır.

### 3.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme hızı 2 mm/sn olarak sabit tutulan ve Tablo 3'deki parametrelere göre çekme deneyi işlemi uygulanan numunelerin sonuçları Şekil 13'de grafik halinde verilmektedir

Tablo 3. Numunelerin çekme deneyi sonuçları.

NUMUNE ADI	BASINÇ (BAR)	YIĞMA AKIM ZAMANI (SN)	ÇEKME DAYANIMI (N/MM <sup>2</sup> )
$A_1$	3	1,6	680
$A_2$	3	1,8	726
$A_3$	3	2	787



Şekil 13. Numunelerde çekme dayanımı ve yığma akım zamanı arasındaki ilişki.

Çekme deneyleri sonuçları incelendiğinde bütün numunelerde kopmanın kaynak metali dışında ITAB bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Dolayısıyla sonuçlar kaynak metali dayanımının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuçlara ait Şekil 13'deki grafik incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının en yüksek yığma akımı uygulanan malzemelerde olduğu görülmektedir. Yığma akım süresi 1,6 saniye olan  $A_1$  numunesi 670 N/mm<sup>2</sup>'de koparken, yığma akım zamanını 0,2 saniye arttırdığımızda  $A_2$  numunesinin 690 N/mm<sup>2</sup>'de koptuğu ve  $A_3$  numunesindeki dayanımın ise 731 N/mm<sup>2</sup>'ye kadar çıktığı tespit edilmiştir.  $A_1$  ve  $A_2$  kodlu numunelerde 0,2 saniyelik artışta 46 N/mm<sup>2</sup> artış gözlenirken,  $A_2$  ve  $A_3$  kodlu numunelerde de aynı süre artışında çekme kuvvetinin 61 N/mm<sup>2</sup> arttığı, dolayısıyla süre artışı aynı olmasına rağmen ısı girişindeki artışa bağlı olarak çekme kuvvetinde %50'ye varan bir artış gözlenmiştir. Ayrıca numunelere uygulanan yığma akım zamanının artması hem kaynak bölgesini genişletmiş hem de tanelerin dağılımını homojen hale getirmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan biraz daha daralmıştır. Dolayısıyla pekleşmenin meydana geldiği bu dar alanın kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

16MnCr5 çeliğine verilen parametreler doğrultusunda yakma alın kaynak uygulaması sonunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

1- Tüm numunelerde en yüksek sertlik değeri kaynak bölgelerinde elde edilmiştir

2- Yiğma akım zamanının artması çekme dayanımlarının artmasına neden olmuştur.

3- Çekme deneylerine tabi tutulan numunelerin tamamında kopma, kaynak bölgesi dışında, ITAB bölgesinde meydana gelmiştir.

#### 5. 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. Yılmaz, M. Kaluç, E. Tülbentçi, K. "C45 karbonlu çelik ile HSS 6-5-2 yüksek hız çeliğinin yakma alın kaynağında Kaynak bölgesinin incelenmesi". Science Technolofgy weld join, 286-288 (1993).
4. Sprow, D. L., "Flash-butt welding- new and future pipeline application", Proceeding of pipeline technokogj Conference, Östend, Belgium:112-118. (1990).
5. Nack, N., "Resistance and solid-state welding and joining processes", Welding handbook, AWS, Miami, 58-76, 239-262 (1980).
6. Westgate S.A.,Dunkerton, S.B., "Friction and flash welding-mechanical properties reviewed", The Welding Instute Research Bulletin, 49-53. (Feb-1985).
7. Kuchuk, S., "Experince of flash- butt welding application in pipeline construction in the USSR", Proceeding of pipeline technology Conference, Östend, Belgium, 37-39 (1990).
8. Yükler, A. İrfan., "Kaynak Metali Kitabı". Erdini Basımevi, İstanbul, 17-60 (1979).
9. Yılmaz M., Karagöz Ş., "Katı hal kaynağında Mikro analiz uygulaması", XI.Ulusal Elektron Mikroskopisi Sempozyumu, Edirne, 163-165 (1993).
10. Civelekoğlu, F., "Yükek hız çeliği (S-6-5-2) ile alaşimsız karbon çeliği (Ck60) çubuklarının yakma alın kaynağı ile birleştirilmesinde bazı kaynak parametrelerinin ve Kaynak bölgesinin etüdü", Doçentlik Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 7-59 (1971).