



Yakma Alın Kaynağıyla Birleştirilmiş S355JR Yapı Çeliklerinde ITAB'ın Karakterizasyonu

Gazi Emre Kocamanoğlu^{*1}, Uğur Arabacı² ve Uğur Özdemir³

^{1*} Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7125-425X),
g.kocamanoglu@hotmail.com

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4850-3275), uarabaci@gazi.edu.tr

³ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0521-4617), uozdemir@gazi.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082837)

ATIF/REFERENCE: Kocamanoğlu, G. E., Arabacı, U., Özdemir, U. (2022). Yakma Alın Kaynağıyla Birleştirilmiş S355JR Yapı Çeliklerinde ITAB'ın Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 354-359.

Öz

Kaynak, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu nedenle kaynak yapılacak parçaların güvenliği, kaynaklı birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapının güvenilirliği için büyük önem taşımaktadır. Termal dönüşümler ITAB'ın geometrisi ve kaynak nüfuziyetindeki bilgileri sağlar. Bununla birlikte termal dönüşümlerin kontrolü kaliteli bir kaynağın kritiğidir. Bu çalışmada kaynak işlemi için kaynak yöntemi olarak yakma alın kaynağı seçilmiştir. Kaynak işlemi için uygun boyutlara getirilen numunelere belirli aralıklarla delikler açılarak kaynak işlemi esnasında termokupl ve datalogger yardımıyla kaynak işlemi boyunca sıcaklık değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda kaynak esnasında termal kamera kullanılarak kaynak bölgesinin ulaşabildiği maksimum sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen deney parçalarının birleştirme bölgelerinde meydana gelen mikroyapısal değişiklikler, ışık mikroskopunda ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi adına mikro sertlik ölçümleri alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yakma alın kaynağı, Kaynaklanabilirlik, Termal analiz, Kaynak metalurjisi, Yapı çelikleri.

HAZ Characterization of S355JR Structural Steels Joined by Flush-Butt Welding

Abstract

Welding is one of the most widely used joining methods today. Therefore, the safety of the welded parts is of great importance for the reliability of the entire structure in which welded joints are used. Thermal conversions provide information on the geometry and weld penetration of the ITAB. However, control of thermal conversions is critical for the weld quality. In this study, flash butt welding was chosen as the welding method for the process. Holes were drilled at regular intervals in the samples to place thermocouples, which were brought to the appropriate dimensions for the welding process. During the welding process, the changing temperature values during the welding process were measured and recorded with the help of thermocouples and a datalogger. At the same time, the maximum temperature reached by the welding and HAZ region was measured by using a thermal camera during welding. The microstructural changes in the joining regions of the welded test pieces were examined under light microscope and scanning electron microscope (SEM). Microhardness measurements were taken to determine the mechanical properties.

Keywords: Flash-butt welding, Weldability, Thermal analysis, Welding metallurgy, Structural steels.

* Sorumlu Yazar: g.kocamanoglu@hotmail.com

1. Giriş

Kaynak, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu nedenle kaynak yapılacak parçaların güvenliği, kaynaklı birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapı güvenirliliği için büyük önem taşımaktadır [1].

Yakma alın kaynağı günümüzde sık kullanılan bir kaynaklı birleştirme yöntemidir. Yakma alın kaynağında aynı kesit ölçülerine sahip olan birleştirilecek parçalar öncelikle hareketli çenelere sıkıştırılır. Kaynak akımı hareketli çeneler üzerinden malzemeye iletilir. Malzemeler birbirine temas ettirilerek, yüksek yoğunluktaki akımın geçişi sağlanır. Parçalar birbirlerine alın alına birleştirilir. Alın bölgesi denilen kısmın yakın çevresinde kaynak işlemi esnasında ortaya çıkan yüksek ısıdan etkilenerek belli başlı değişimlere uğrayan bir bölge meydana gelir. Bu bölge ısının tesiri altında kalan, ana malzemeden daha farklı özelliklere sahip olabilen ITAB bölgesidir [2,3].

Genellikle kaynaklı yapıda ITAB bölgesinin mekanik özellikleri çok etkilememesi adına dar olması istenir. Kaynak bölgesinin özellikle de kaynaklı yapının güvenliği için çok önemli olan ITAB'ın mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için kaynak yöntemi olarak yakma alın kaynağı seçilmiştir.

Yapı çelikleri bulunabilirliği ve kaynak kabiliyeti açısından önemlidir. Yapı çeliklerinin kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Bu amaçla kaynak işlemi numune olarak S355JR yapı çeliği seçilmiştir.

Günümüzde birçok kaynak uygulamasında ısının tesiri altındaki bölgenin ve kaynak edilen malzemede ısı enerjisi girdisinin kaynak kalitesine etkileri söz konusu olmaktadır. Kaynak esnasında kaynak bölgesi üzerindeki sıcaklık dağılımları kaynağın yapılmasına bağlı olarak ihtiyaçlar doğrultusunda önceden belirlenmesi gerekebilmektedir. Kaynaklı birleştirmelerdeki sıcaklık değişimine bağlı olarak oluşabilecek sorunlardan imalat aşamasına geçmeden önce haberdar olmak hem zaman hem maliyet hem de yapılan işin kalitesi yönünden oldukça önemlidir [4,5].

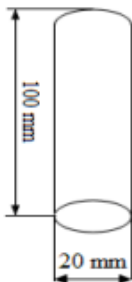
2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

DeneySEL çalışmalar için Ø20x100 mm boyutlarında S355JR yapı çeliği malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 1. S355JR malzemesine ait kimyasal bileşim

Malzeme	(%) Kimyasal Bileşim					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355JR	0,24	0,16	1,30	0,045	0,0020	0,004

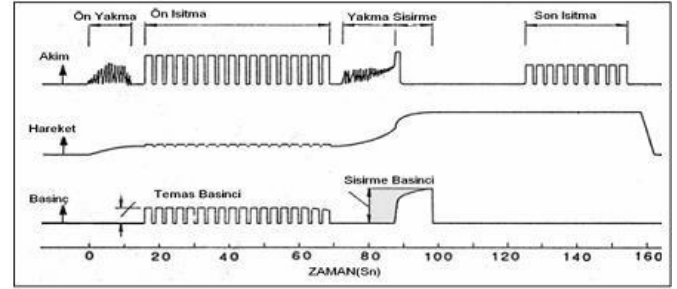


Şekil 1. Kaynak numunesinin ölçüleri

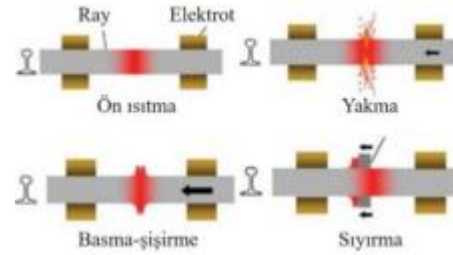
2.2. Metot

Numuneleri birleştirmek için yöntem olarak yakma alın kaynağı kullanılmıştır.

Yakma alın ray kaynağı yöntemi, kaynaklanacak ray uçlarının elektrik yardımıyla ısıtılıp ergitilerek birleştirilmesine dayanır. Ergiyene kadar ısıtılan ray uçları daha sonra birbirine doğru basınç yardımıyla birleştirilir. Bu yöntem hizalama, ilk yanma, ön ısıtma, yakma, basma-şişirme ve sıyırma işlemlerinden oluşur. Bu kaynak yönteminde kullanılan ekipmanlar ise transformatör, elektrotlar, basma ve hidrolik düzeltme aparatlarıdır [6].



Şekil 2. Yakma alın kaynağı prensibi [7].

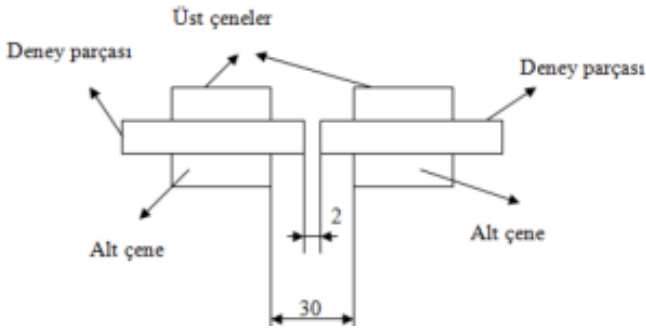


Şekil 3. Yakma alın kaynağı işlem basamakları [8].



Şekil 4. Yakma alın kaynağında örnek yanma işlemi [9].

Numuneler Şekil 1'de gösterildiği ölçülerde hazırlanarak, kaynak makinesine Şekil 5'de gösterildiği şekilde bağlanarak, Tablo 2'de verilen parametreler altında birleştirme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5. Numunelerin çeneye bağlanması

Tablo 2. Kaynak işlemi için kullanılan parametreler

Ön ısıtma zamanı (sn)	3
Voltaj (V)	3
Ampermetre (A)	30
Vuruş Basıncı (Bar)	2
Yığıma Basıncı (Bar)	3
Çene Sıkma Basıncı (Bar)	3
Yığıma Akın Zamanı (sn)	2

3. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar

3.1. Sıcaklık Ölçümü

Kaynak işlemine başlamadan önce malzeme makine haznesine uygun şekilde yerleştirildikten sonra önceden açılmış olan deliklere termokupl uçları yerleştirilmiştir. Kaynak esnasında ve kaynak gerçekleştikten sonra yani soğuma esnasında uygun datalogger ile sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir.

Kaynak işlemi esnasında termokupllar ve datalogger ile sıcaklık ölçümü yapılırken eş zamanlı olarak termal kamera yardımıyla kaynak bölgesinin ulaştığı maksimum sıcaklığın tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Kullanılan termal kamera ile kaynak işlemi boyunca video çekimi yapılmıştır.

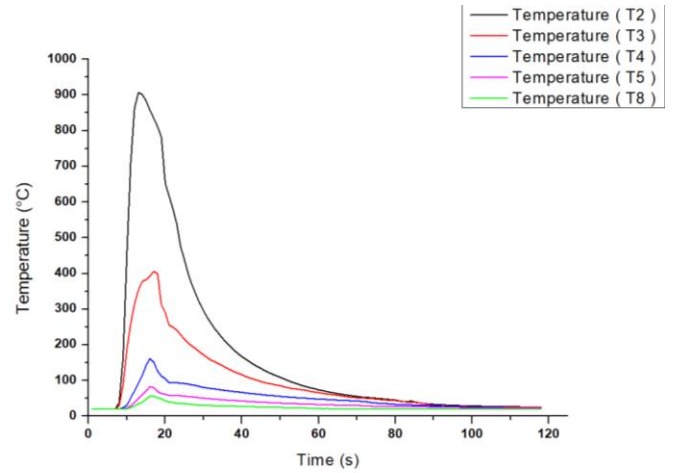


Şekil 6. Termokuplların numune üzerindeki dizilimleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere kaynak yapılacak olan bölgeye yani alın bölgesine en yakın termokupl T2 ve en uzak olan termokupl T8 termokuplıdır. Grafiklerde bunlar göz önünde bulundurulurken inceleme yapılmalıdır.

Kaynak bölgesine en yakın termokuplın ölçebileceği maksimum sıcaklığın daha yüksek olması beklenmektedir.

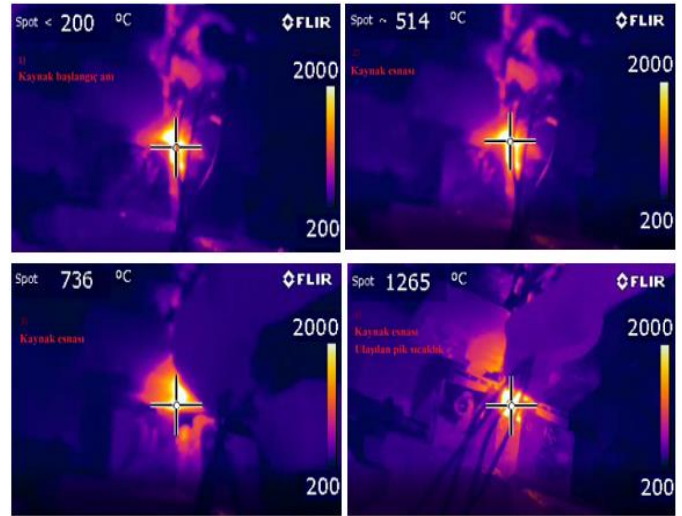
Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ölçülen maksimum sıcaklık değerleri doğal olarak daha azdır.



Şekil 7. Termokupllar ile ölçülen sıcaklık grafikleri

Şekil 7' de görüldüğü üzere kaynak bölgesine en yakın olan T2 termokuplu en yüksek sıcaklık değerlerini ölçmüştür ve soğuması daha fazla zaman almıştır.

Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ulaşılan pik sıcaklık değeri düşmüştür ve soğuma süresi kısalmıştır. Kaynak bölgesinden en uzak olan T8 Termokuplunda ise sıcaklık değişimi çok az olmuştur. O bölgede herhangi bir dönüşüm olup olmadığının yorumlanması ise mikroyapı incelemeleri esnasında tespit edilecektir.



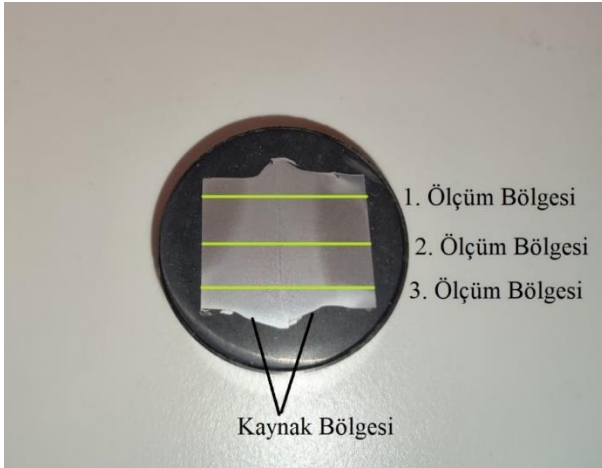
Şekil 8. Termal kamera görüntüleri

Termal kamera ile çekilen ekran görüntülerinden 4 adet görüntü Şekil 8'de gösterilmiştir. Alınan ekran görüntüleri kaynak esnasında çekilen videodan sırası ile alınmıştır. 4. Ekran görüntüsünden anlaşıldığı üzere kaynak bölgesi maksimum sıcaklığının 1265°C olduğu tespit edilmiştir. Ulaşılan bu pik sıcaklıktan sonra kaynak işlemi tamamlanarak soğuma süreci başlamıştır.

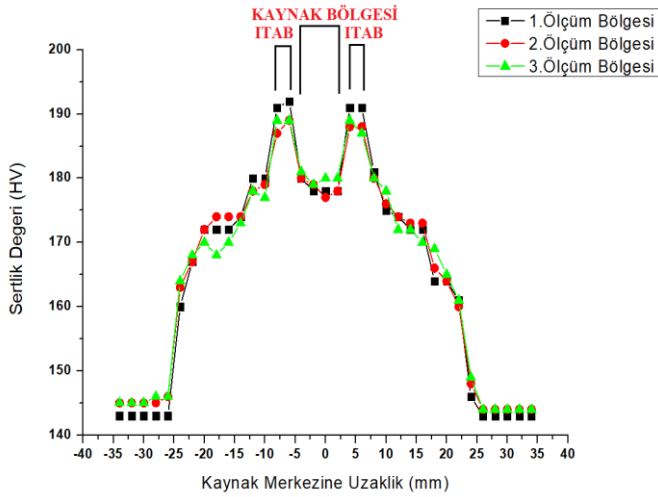
3.2. Sertlik Ölçümü

Bu çalışmada sertlik ölçümleri için hazırlanan test numuneleri, mikro sertlik ölçüm cihazında 5 kgf yük altında 3 farklı bölgeden olmak üzere kaynak bölgesi "0" (referans) kabul edilerek her iki taraftan ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek

şekilde 2 mm aralıklarla ölçümler yapılarak HV cinsinden sertlik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 9. Sertlik testinin yapıldığı bölgeler



Şekil 10. Sertlik testi sonuçlarının grafiği

Şekil 10'da görüldüğü üzere sıcaklık etkisinden en az etkilenen bölge de yani numunenin en uç bölgelerinde sertlik değerleri düşük çıkmıştır. Bu bölgeler dönüşüme uğramamıştır yani malzemenin kendi sertlik değerleridir. Kaynak bölgesine yaklaştıkça hızlı ısınma ve soğumanın etkisiyle malzeme yapısı değişerek sertleşme durumu meydana gelmiştir. Kaynak bölgesinde meydana gelen ısı türbülansı ve tane irileşmesinden dolayı sertlik değeri ITAB bölgesine göre daha düşük fakat ana metale göre daha yüksek çıkmıştır. Kaynak bölgesine yakın olan kısımda yani ısı etkisi altında kalan bölgede (ITAB) sertlik değeri kaynak bölgesine ve kaynak metaline göre daha yüksek çıkmıştır.

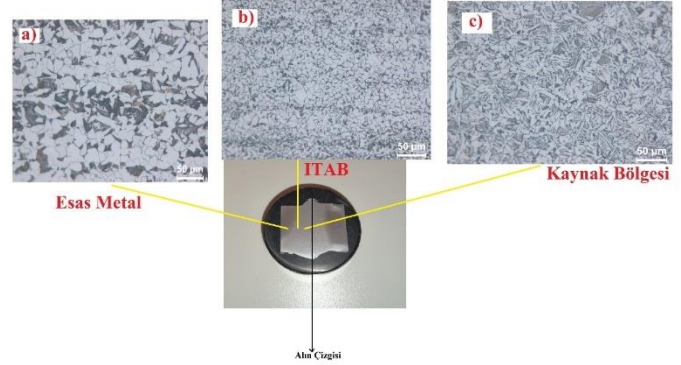
3.3. Mikroyapı Sonuçları

Malzemelerin iç yapılarının incelenmesini konu alan bilim dalına metalografi denir. Kalite kontrol, hasar tespiti gibi işlemler için malzemenin iç yapılarını incelemek gerekir. Metalografik muayene ile malzemenin üretim yöntemini, ısıl işlem görüp görmediğini, mikro yapısını, mikro yapı kusurları incelenebilir. Metalografi deneylerinde malzemelerin mikro yapılarına 4 aşamada ulaşılır;

- Numune alma
- Zımparalama

- Parlatma
- Dağlama

Yapılan metalografi işlemlerinin sonucunda optik mikroskop altında numunelerden elde edilen mikro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir. Mikroyapı görüntülerinin alındığı bölgeler ayrıca Şekil 11'de numune üzerinden gösterilmiştir.

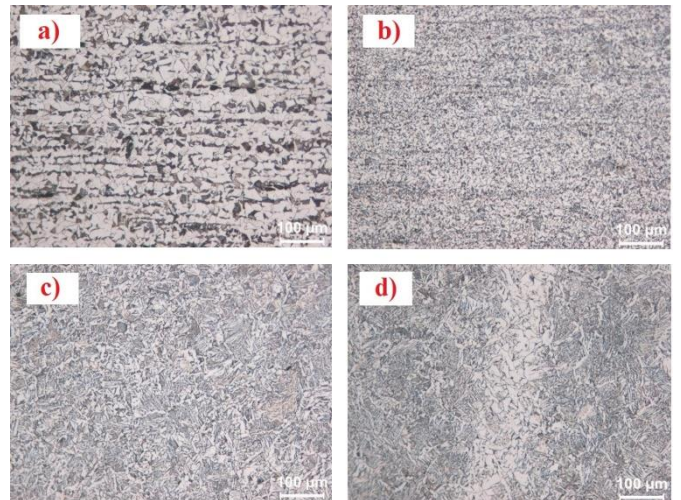


Şekil 11. Mikroyapıların alındığı bölgelerin numune üzerinden gösterimi (20x büyütme) a) Esas metal b) ITAB c) Kaynak bölgesi

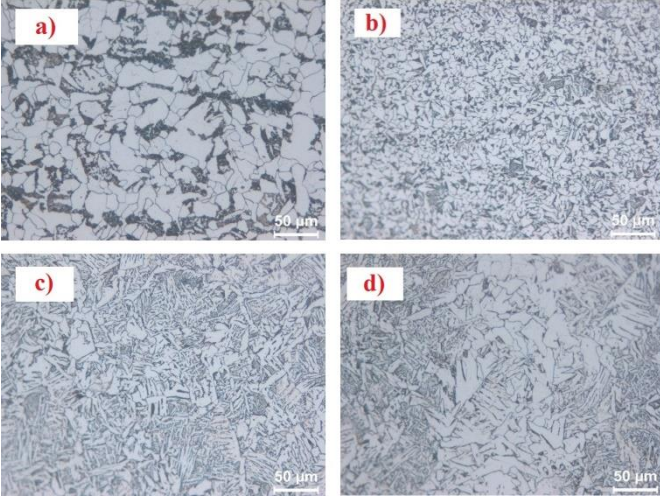
Şekil 11'de görüldüğü üzere a bölgesinde sıcaklık değişimi olmadığı için mikroyapı değişikliği olmamıştır. Yani herhangi bir dönüşüm meydana gelmemiştir.

B bölgesinde kaynak bölgesine yakın ısıdan etkilenen bölge olan ITAB bölgesidir. Ana malzemeye göre perlit kolonilerinin küçüldüğü ve ferrit fazları arasında biraz daha homojen dağıldığı görülmektedir.

C bölgesi kaynak bölgesidir. Bu bölge incelendiğinde de tane yapısının ince ve uzun şekilli dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler iğnemişi bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak değerlendirilebilir.

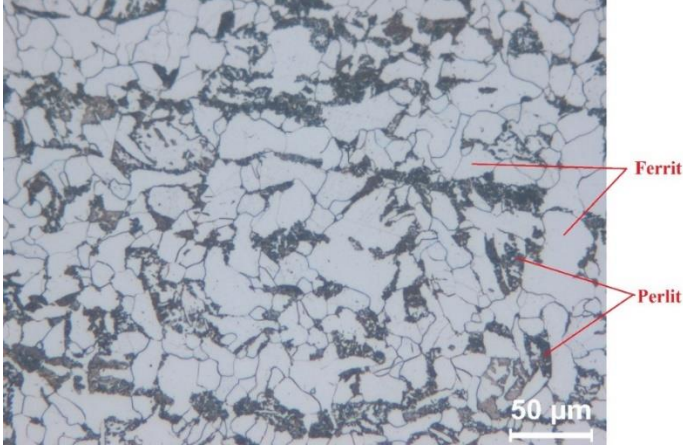


Şekil 12. Numune üzerinden alınan 10x büyütme görüntüleri a) Esas metal b) İnce taneli bölge c) İri taneli bölge d) Kaynak bölgesi



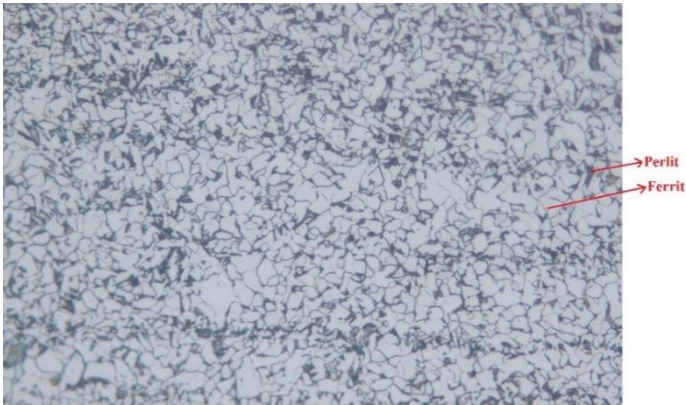
Şekil 13. Numune üzerinden alınan 20x büyütme görüntüleri a) Esas metal b) ITAB c) Kaynak bölgesi d) Kaynak bölgesi

Elde edilen mikroyapı analizlerinde oluşan yapıların daha detaylı görülebilmesi adına 20x büyütmede incelenerek, oluşan yapılar aşağıda gösterilmiştir.



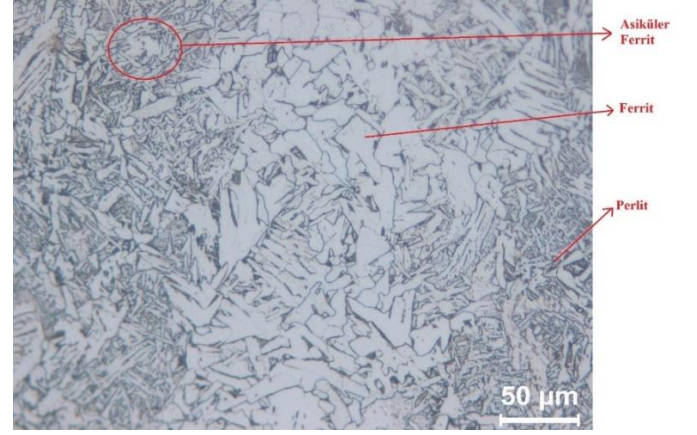
Şekil 14. Isı değişimine uğramamış bölgenin (esas metal) 20x büyütmedeki görüntüsü

Şekil 14'de görüldüğü üzere kaynak bölgesinden en uzakta olan bölgede herhangi bir mikroyapı değişimi olmamıştır. Malzeme ana metalin mikroyapısı olan Ferrit ve Perlitik yapı karışımından oluşmaktadır.



Şekil 15. Isının tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) 20x büyütmedeki görüntüsü

Şekil 15'de görüldüğü üzere kaynak bölgesinde oluşan yoğun ısıdan ve hızlı soğumadan dolayı iç yapı değişikliğine uğrayan bir bölge meydana gelmektedir. Bu bölgede ana malzemeye göre perlit kolonilerinin daha küçüldüğü ve ferrit fazları arasında ana metale göre biraz daha fazla homojen dağıldığı görülmektedir.

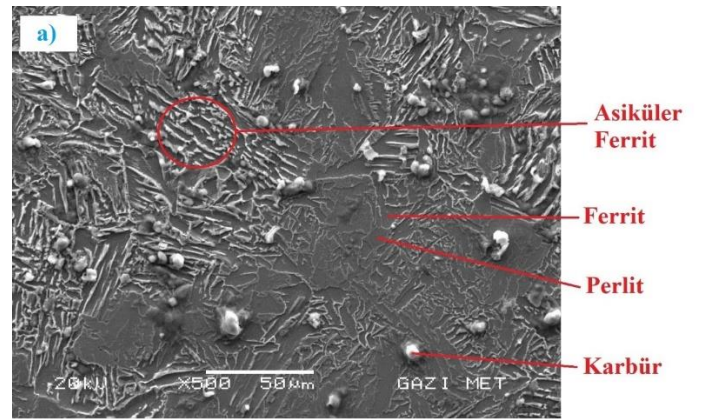


Şekil 16. Kaynak bölgesinin 20x büyütmedeki görüntüsü

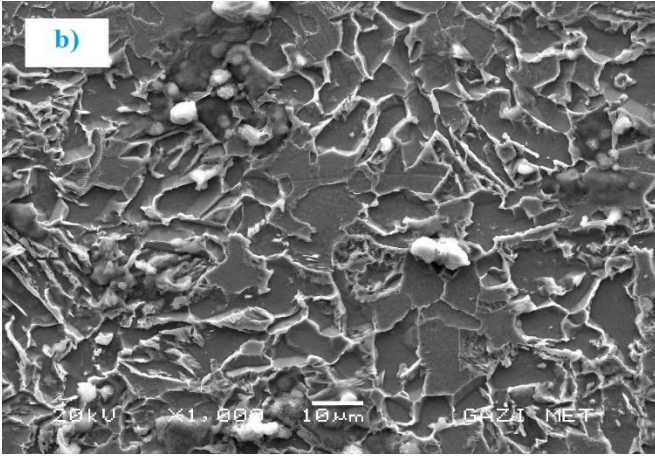
Şekil 16'da görülen kaynak bölgesinin mikroyapısı incelendiğinde birleşme yüzeylerinde, yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında yer yer asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli bir yapı mevcuttur. Tane yapısının bu bölgelerde ince ve uzun şekilli dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler iğnemsî bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak da değerlendirilebilir.

3.4. Sem Görüntüleri

Deneyisel çalışmalarda yakma alın kaynağı yöntemiyle birleştirilen parçalardan standartlara uygun olarak tüm kaynak bölgesini ve ana metali temsil edebilecek şekilde olan numunelerden, mikroyapı değişikliklerini incelemek amacıyla farklı büyütme görüntü alabilen Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) (Scanning Electron Microscope) kullanılmıştır.



Şekil 17. Kaynak bölgesinin 500x büyütmedeki görüntüsü



Şekil 18. Kaynak bölgesinin 100x büyütmedeki görüntüsü

Bölüm 3.3' de incelenen mikroyapı görüntülerinin daha net görünümü taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilmiştir. Kaynak bölgesindeki dendritik yapı bu görüntülerde net olarak görülmektedir.

4. Genel Sonuçlar ve Tartışma

4.1. Genel Sonuçlar

ITAB bölgesinde oluşan taneler ısı akış yönünün tersine olacak şekilde kaynak metali merkezine doğru yönelmektedir.

Kaynak metalinde oluşan taneler farklı bir birleşim materyali kullanılmadığı için ana malzeme tanelerinin bir devamı şeklinde oluşmaktadır ve kaynak metali çok fazla gözenek, oksit vb. gibi olumsuzluk içermemektedir.

Malzemede meydana gelebilecek olan gözeneklilik gibi süreksizlerin yığılma bölgelerine doğru ilerlediği ve işlem sonucunda uygun temizleme işlemlerinin yapılması halinde giderilebilecek şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynak bölgesine etki eden basınç, direnç ve soğuma şartlarına bağlı olarak oluşan etkiler sebebiyle herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamaktadır.

Kaynak merkezine ait bölge incelendiğinde birleşme yüzeyinde yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli yapı mevcuttur. Geçiş bölgesinde yine bu yapılar varlığını korurken, daha homojen bir görünüme sahip olduğu görülmektedir.

4.2. Öneriler ve Tartışma

Deneysel çalışma kısmında kaynak parametrelerini sabit tutarak kaynak sırasının planı değiştirilmeden deney tamamlanmıştır. Bu çalışma farklı kaynak parametreleri kullanılarak karşılaştırma şeklinde bir çalışma yapılabilir.

Bu çalışmada numuneler herhangi bir açı olmadan direkt olarak birleştirme yapılmıştır. Farklı açılarda birleştirme yapılarak inceleme sağlanabilir.

Farklı malzemeler (paslanmaz çelik, yüksek karbonlu çelik, alaşımli çelikler, vb.) kullanarak benzer çalışmalar yapılabilir.

Makine tasarımlarında sıkça karşılaşılan; farklı malzemelerin ve farklı geometrilerin kaynak edilme durumu göz önüne alınarak tasarım değiştirilebilir.

Malzemelerin kalınlıkları ile orantılı ısı girdisi ve değişen kaynak parametreleri baz alınarak deney tekrarlanabilir.

Kaynaklı birleştirmelerin eğme, kırma gibi mekanik testleri için modeller oluşturulup analizi yapılabilir.

5. Teşekkür

Yapılan bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: FGA-2021-7011) teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Kökçe, Y. (2002). *Demiryolu taşıt ve raylarının üretim ve tamir-bakımında uygulanan kaynak yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [2] Onay, M. (2011). *Demiryollarında Alüminotermit Kaynak ile Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*, (yüksek lisans tezi), Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [3] Fischer, S., Eller, B., Kada, Z. and Nemeth, A. (2015). *“Railway construction”*, ISBN: 978- 615-5298-69-1.
- [4] Kудay, N. ve Ertürk, İ. (1997). *Raylarda Yakma Alın Kaynağı*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi, 13-15 Kasım 1997, Ankara, Türkiye.
- [5] Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*, MRT Productions, Hollanda.
- [6] M. Fujii, H. Nakanowatari and K. Nariai, *“Rail flash butt welding technology”*, JFE Technical Report, no. 20, pp. 159-163, 2015.
- [7] E. Turan, M. Dursunlar and H. Çuğ, *“Investigation of welding residual stress in flash-butt joint of R260 grade rail”*, Fourth International Railway Systems Symposium (ISERSE'18), Karabük, Türkiye, 2018, pp. 735-733.
- [8] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [9] M.E. Turan, *“R260 kalite tren raylarında kalıntı gerilmenin belirlenmesi ve bunun mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”*, M.Sc. dissertation, Dept. Metallurgy and Materials Eng., Karabük Univ., 2015.