

Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş SCR 420/AISI 1040 Çelik Çiftlerinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

Furkan SARSILMAZ,¹ İhsan KIRIK², Mustafa AY¹

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Batman Üniversitesi Mühendislik Fak, Metalurji Malzeme Müh. Bölümü, Batman, Türkiye

fursar@gmail.com

(Geliş/Received: 07.02.2017; Kabul/Accepted: 28.04.2017)

Özet

Bu çalışmada, SCR 420 ve AISI 1040 çelik çifti, sabit sürtünme ve yığma süreleri altında üç farklı devir, sürtünme basıncı ve yığma basıncı kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin, birleşme ara yüzeyinde, artan devir sayısı ve sürtünme basıncına bağlı olarak meydana gelen metalurjik değişiklikleri belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Bununla birlikte birleşme ara yüzeyine dik doğrultuda alınan numunelerin mikrosertlik ölçümleri, kaynak sonrası ara yüzeyde oluşan mikroyapı ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Mikroyapı ve mikrosertlik analizi sonuçlarından, düşük devir, yığma ve sürtünme basınçlarıyla yapılan kaynaklarda birleşme bölgesinde bağlantısız bölgelerin oluştuğu belirlenerek bu bölgelerin sertlik değerlerinin yüksek devir sayısı, yığma ve sürtünme basıncıyla yapılan kaynaklara nazaran daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Buna karşın, artan devir sayısına bağlı olarak ITAB'nin genişleyerek ve aşırı deformasyona uğramış bölgede martenzit oluşumuyla beraber sertliğin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme kaynağı, Mikroyapı, SCR 420, AISI 1040 çelik.

Investigation of Interface Microstructure Properties of SCR 420/AISI 1040 Steel Couple Welded by Friction Welding Process

Abstract

In this study, SCR 420 /AISI 1040 steel couple was welded by a continuous drive friction welding machine under constant friction and forging time with three different of rotational speeds, forging pressure and friction pressures respectively. SEM microscopy was implemented to determine the metallurgical changes in the region of interface regarding the rotational speed, friction and forging pressure. In addition, microhardness distribution across the interface was evaluated considering the metallurgical changes. From microstructure examinations and microhardness results, the welds which realized under lower rotational speeds, forging pressure and friction pressures it was seen that there was no connected regions and some defects at microstructural interface and moreover microhardness values were obtained too lower when compared to the other parameters. However, concerning with increasing rotational speeds, heat affected zone (HAZ) was extended and also microhardness value was considerably increased in the excessively deformed region.

Keywords: Friction welding, Microstructure, SCR 420, AISI 1040 steel.

1.Giriş

Son yıllarda gelişmekte olan günümüz teknolojisi, yeni üretim ve imalat yöntemlerinin doğmasına neden olmaktadır. [1]. Bu yöntem ve metotlar sayesinde üretimi zor olan malzemeler, daha kısa sürede içerisinde minimum malzeme sarfiyatı ile ekonomik olarak üretilebilmektedirler. Kaynak teknolojisi de bu imalat yöntemlerinden biri olması bakımından

uzun yıllardan beri son teknolojik gelişmeleri yakından takip etmektedir. Son zamanlarda katı hal kaynak teknolojisinin gelişimi ile birlikte, ergitmeli kaynak yöntemiyle birleştirilmesi oldukça zor olan ergime sıcaklıkları birbirinden farklı yada benzer olan metaller, yeni gelişimlere paralel sorunsuzca kaynaklanabilmektedirler [1,2]. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri de sürtünme kaynağı yöntemidir. İlk defa imalat sektöründe 1940 yılında kullanılmaya başlanan

bu kaynak yöntemi, elektriksel enerji yada diğer bir harici ısı enerjisi kaynağı olmadan çalışma parçalarının ara yüzeylerinde sadece mekanik dönme hareketinin sürtünme yoluyla oluşturduğu termal enerji dönüşümü sayesinde elde edilen ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir[3-5]. Bu kaynak tekniğinde ilave metal ve koruyucu gaza gerek yoktur. Özellikle simetrik olarak dönebilen hacimli parçaların birleştirilmesinde kullanılan bir katı hal kaynak yöntemi olup avantajları; yüksek malzeme tasarrufu, düşük üretim zamanı ve farklı metalik malzemelerin kaynağının mümkün olmasıdır. Sürtünme kaynağının uygulanması temelde oldukça basit bir işlemdir. Eksenel olarak birbiriyle karşılıklı hizalanmış temas eden iki iş parçasından en az biri belirli bir devirde dönerken, dönmesi engellenmiş sabit diğer iş parçası, bunun üzerine hidrolik basınç yardımıyla bastırılır. Dönme esnasında sürtünme sonucu parçaların temas eden yüzeylerinde ısı açığa çıkar. Normal şartlar altında ara yüzey ergimez. Çünkü kaynak birleşme bölgesinde ortaya çıkan yüksek ısının derecesi, çoğunlukla kaynak çiftlerinin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta bulunur. Isı ile akıcılık kazanan metal, uygulanan basıncın etkisiyle dışarı doğru taşmaya başlar. Kaynak bölgesinde kaynak sıcaklığına ulaşan metal çiftlerinin dönme hareketi, aniden durdurularak zaman kaybetmeden eksenel basınç kuvveti (yığıma basıncı) ile parçalar şişirilmektedir[5,6]. Bu sayede kaynak bölgesinde tüm yüzey boyunca homojen bir formda dövülmüş ve plastik deformasyona uğramış yüksek kalitede kaynak metali (kaynak dikişi) meydana gelir. Bu metot ile aynı cinsten metaller birbiri ile kaynak yapılabildiği gibi, farklı cinsten malzemelerin de kaynatılması mümkün olmaktadır [6,7]. Bu çalışmada sanayi ve endüstrinin çeşitli kollarında kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı iki çelik (SCR 420 /AA1040) çiftleri kullanılmıştır. SCR 420 mühendislik uygulamaları ve otomotiv endüstrisinde krom içeriği nedeniyle özellikle korozyona maruz alanlarda çok yaygın kullanılmaktadır.

Üretim sonrası ısıl işlem ve temperleme ile mekanik özellikleri daha fazla iyileştirilebilmektedir ve maliyet bakımından kendinden daha düşük alaşımlarla kaynak kabiliyeti oldukça yüksek olmasına karşın,

ergitmeli kaynak esnasında krom karbür çökelmeleri, ara yüzeyde yüksek ısı girdisiyle sert ve kırılğan bileşiklerin oluşumu imalatın kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz nedenlerden dolayı çalışmamızda, bu alaşım çiftleri katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilerek ara yüzeyde oluşan mikroyapısal değişimler göz önüne alınarak en ideal kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada sürtünme kaynağı işlemlerinde deney numunesi olarak kullanılmak üzere iki farklı çelik malzeme çifti kullanılmıştır. Ticari olarak temin edilen SCR 420 ve orta karbonlu AISI 1040 numuneler, sürtünme kaynağı öncesi 12 mm çapında ve 72 mm boyunda işlenerek kaynağa hazırlanmışlardır. Bu malzeme çiftlerine ait kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal içerikleri

Material	%C	%Si	%Mn	S≤%	%Cr	%Ni	%Fe
SCR 420	0.20	0.04	0.90	0.008	0.85	0.002	Kalan
AISI 1040	0.42	0.30	0.55	0.05	-	-	Kalan



Şekil 1. Kaynak çiftlerinin birleştirme düzeni

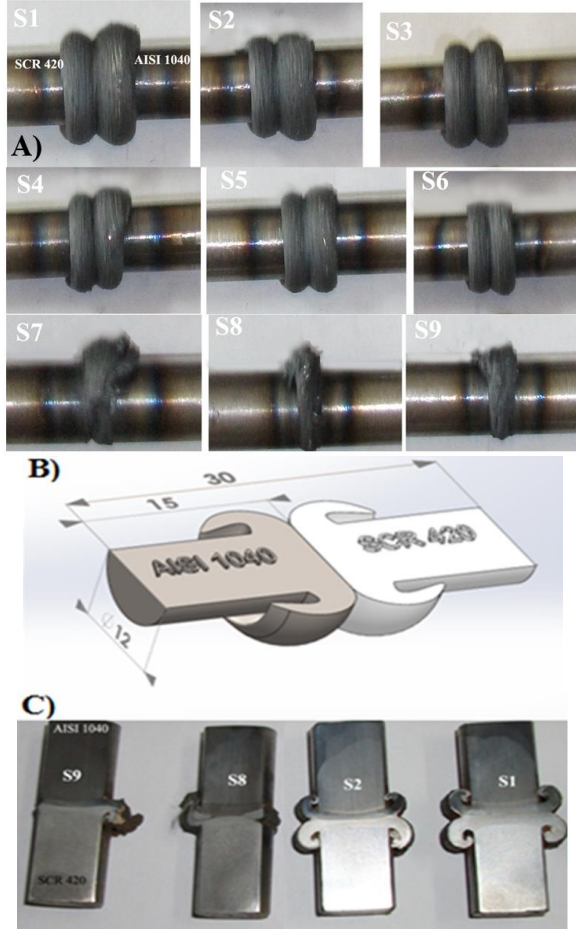
Numunelerin kaynak işlemleri, sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde Şekil 1. de gösterildiği düzende ve Tablo 2’de ki kaynak parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynak sonrası, numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimi belirlemek amacıyla; numuneler birleşme hattına dik doğrultuda kesilerek, yüzeyleri taşlanıp, 80-1200 zımpara ile temizlendikten sonra 3 µm’ lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Numunelerde meydana gelen deformasyon sonucu dış yüzeyde oluşan kıvrımlı flash miktarları Şekil 2 görülmektedir. Parlatılan numuneler nitrik %2 asit+ %98 alkol çözeltisiyle dağlanmış. Dağlanan numunelerin elektron mikroskobunda mikroyapı fotoğrafları alınmış ve EDS ile konsantrasyon profilleri belirlenmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri, LEICA MHF-10 marka test cihazında HV sertlik skalası ile 1 mm aralıklarla 50 gr'lık yük altında 5sn bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri

Numune no	Devir sayısı (rpm)	Sürtünme basıncı (MPa)	Yığılma basıncı (MPa)	Sürtünme süresi (sn)	Yığılma süresi (sn)
S1	2500	60	100	5	2
S2	2300	60	100	5	2
S3	2100	60	100	5	2
S4	1900	50	80	5	2
S5	1700	50	80	5	2
S6	1500	50	80	5	2
S7	1300	40	60	5	2
S8	1100	40	60	5	2
S9	900	40	60	5	2

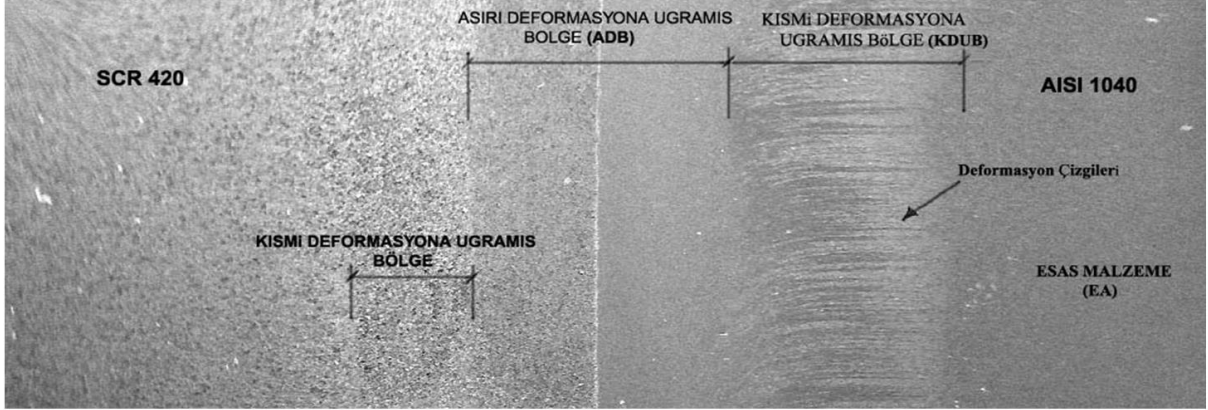


Şekil 2. a) Kaynak parametrelerine bağlı olarak ara bölgede oluşan kıvrım biçimindeki flash miktarları, b) Çıkarılan arakesitin numune boyutları, c) Birleştirilen numunelere ait kaynak ara kesit makro fotoğrafı.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

2500 ve 900 dev/dak.'lık çevresel hızlarda birleştirilen S1-S9 numunelerin kaynak sonrası birleşme bölgesinden alınan makroyapı fotoğrafları Şekil 3'de verilmiştir. Resimlerden görüldüğü gibi birleşme ara yüzeyinde plastik deformasyonun etkisiyle oluşan kaynak flash miktarlarının her numune için birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca SCR 420 çiftinin AISI 1040 malzemeye göre yüksek sertlik kabiliyetinden dolayı kaynak sırasında oluşan kıvrım şekilli flash miktarlarının, AISI 1040 malzemeye göre daha az olduğu görülmüştür. Şekil 3'de S1 numunesinin kaynak ara bölgesindeki makroyapı fotoğrafı incelendiğinde herhangi bir çatlak, gözenek ve bağlantısız bölgeler görülmemektedir. Bununla birlikte ara kesitte, her iki malzemenin sürtünme esnasında oluşturdukları yaklaşık 10 µm genişliğindeki aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB) ve bu bölgenin bitişiğinde yine basıncın etkisiyle dövülmüş, kısmi deformasyona uğramış bölge (KDUB) görülmektedir. Plastik deformasyonun etkisiyle dönme yönüne doğru oluşan deformasyon çizgileri ise net bir şekilde görülmektedir (Şekil3). Kaynak işlemi sırasında kaynak ara bölgesinde (Şekil 4) sıcaklıklar A_{c3} sıcaklığının üzerinde seyrettiğinden AISI 1040 tarafında çelik östenitten oluşan yapıya dönüşmektedir [1,7,8]. Bunun sonucunda kaynak işlemi sona erdiği esnada bu yapının yüksek sıcaklıklardan hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğumasıyla, Şekil 5 de görülen tane sınırından karbon difüzyonu ile kısmen deformasyona uğramış bölgede tane geometrisi değişerek iğneli tipte martenzitler meydana gelmiştir [9]. Deformasyona uğramamış bölgede ise baz malzemenin mikroyapı özelliği korunmuştur. AISI 1040 tarafındaki aşırı deformasyon sonucu oluşan deformasyon bantları bu malzemenin sertlik değerinin SCR 420 çeliğinden daha az olması ve plastik şekil değiştirme yeteneğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

1300,1100,900 dev/dak.'lık çevresel hızlarda birleştirilen S7, S8, ve S9 numunelerinde kullanılan kaynak parametrelerine bağlı olarak, devir sayısının azalmasıyla birlikte kaynak bölgesinde ITAB'ın daraldığı görülmüştür.

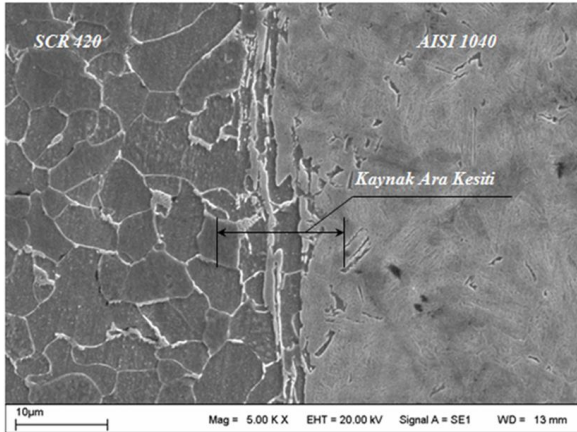


Şekil 3. S1 numunesinde kaynak sonrası ara-kesitte meydana gelen bölgeler

Buna yığma basıncı ve sürtünme basıncının kademeli olarak azalmasının da eşlik ettiği belirlenmiştir. Bu nedenle bağlantısız bölgelerin ve boşlukların diğer parametrelere kıyasla yoğun olduğu görülmüştür.

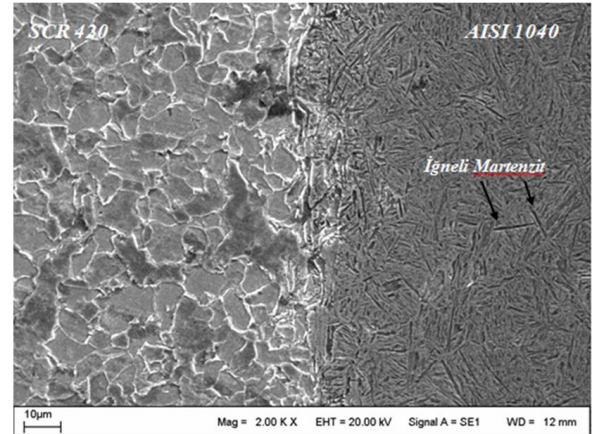
Bütün numunelerde artan yığma ve sürtünme basıncının etkisiyle viskoz hale gelmiş malzemenin daha fazla dışarıya atılmasına bağlı olarak aşırı deformasyona uğramış bölgenin daha daraldığı gözlenmiştir. Kaynak sonrası yüksek yığma ve sürtünme basıncının numune boyutunda boyca kısalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

oluşması ve ayrıca yığma basıncının artmasıyla da viskoz haldeki bu plastik deformasyona uğrayan bölgenin, bağlantı yüzeyinden basınç etkisi ile uzaklaştığı düşünülmektedir.



Şekil 4. S1 numunesi kaynak ara-geçiş bölgesi

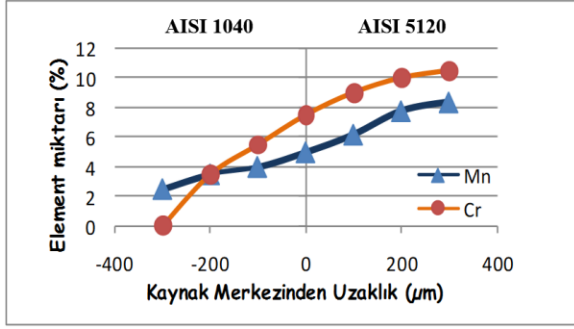
Kaynaklı bağlantıların birleşme arakesitinin 100 µm eşit aralıklarla farklı noktalarından alınan EDS analizlerinde (Şekil 4 ve 5) AISI 1040 tarafına doğru Cr ve Mn element miktarlarında hissedilir bir difüzyon tespit edilmiştir. Düşük devir ve düşük sürtünme basıncı parametrelerinde yapılan kaynaklı birleştirmelere ise difüzyonun oluşumu için gereken sürenin kısıtlı olması nedeniyle difüzyonun çok dar bir bölgede



Şekil 5. S2 numunesinde kısmen deforme olan bölgede (KDUB) oluşan martenzitik yapı

Şekil 6'da difüzyonun en yüksek meydana geldiği (2500 dev/dak) S1 numunesine ait konsantrasyon profilleri grafiğine göre, AISI 1040 tarafında 200 µm luk bir uzaklık içinde % element taşınım miktarının oldukça yükseldiği görülmüştür.

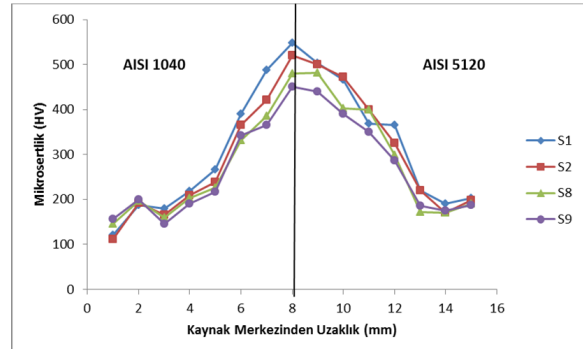
Mikro sertlik incelemeleri için en yüksek (S1,S2) ve en düşük (S8,S9) devir sayıları, yığma ve sürtünme basınçları altında yapılan kaynaklı bağlantıların ara kesiti üzerinden alınan mikrosertlik ölçüm sonuçlarıyla ilişkilendirilen eğriler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. S1 numunesinden alınan EDS analiz konsantrasyon profilleri

Sonuçlar incelendiğinde bütün kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde esas malzeme çiftlerine kıyasla oldukça yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği görülmüştür. En yüksek sertlik, 2500 dev/dak da 100 MPa yığma ve 60 MPa sürtünme basıncı kullanılarak birleştirilen S1 kaynaklı bağlantıda 548 HV olarak kaydedilmiştir. Bu değişim, devir sayısının artmasıyla ADB'de ulaşılan sıcaklık derecesini artıracak ve sürtünme basıncının şiddetli deformasyon etkisi yaparak deformasyon sertleşmesine ve tanelerde küçülmeye yol açacağı düşünülmektedir [10,11]. Aşırı deformasyona uğrayan bölgede (ADB) sertlik değerleri maksimuma ulaşmasına karşın, tane yönelmelerıyla deformasyon çizgilerinin olduğu bölge ve kısmen deforme olan bölgede mikrosertlik değerlerinde kademeli bir düşüş söz konusudur. Ayrıca diğer parametrelerde gerçekleştirilen kaynakların, sertlik dağılım profillerinin de birbirlerine yakın eğriler halinde olduğu görülmektedir. SCR 420 ve AISI 1040 tarafında kısmen deformasyona uğrayan (KDUB) bölgedeki sertlik profilleri, kendi aralarında kıyaslandığında önemli bir farklılık görülmemektedir. Ancak her iki tarafın aşırı deformasyona uğradığı bölgedeki sertlik değerlerinden baz malzemeye kadar olan sertlik dönüşümleri incelendiğinde, SCR 420 tarafında sertlik dağılımlarının KDUB bölge içinde AISI 1040 tarafına kıyasla daha geniş bir mesafede daha düzenli sertlik düşüşü gösterirken bu durum AISI 1040 tarafında ise daha kısa mesafede baz değer olan 100-200 HV arası değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu durum KDUB bölge içinde SCR 420 nin AISI 1040 a göre daha yüksek sertlik değerleri sergilediği anlamına gelmektedir. Kai Gao ve arkadaşlarının [9] çalışmasına göre SCR 420 tarafının sertlik değerinin 1040 a göre daha düzenli olmasının nedeninin alaşım

elemanlarından kromun, karbon difüzyonunu yavaşlattığı ve östenit-perlit dönüşümünü geciktirmesinin etkili olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, önceden yapmış olduğumuz çalışmalarda [3,12] demirli malzemelerin sürtünme kaynaklarında arayüzeyde ulaşılan sıcaklık derecesinin A3 sıcaklığın üzerinde olduğu belirtilmiştir. artan devir sayısına bağlı olarak arayüzeyde ulaşılan sıcaklık derecesinin çok yükselerek bu sıcaklık değerlerinden östenit-perlit dönüşümüne imkan verilmeden oda sıcaklığına ulaşılması AISI 1040 tarafında iğneli martenzit biçiminde (Şekil 5) dönüşüm, SCR 420 tarafında ise dövme sertleşmesi ve kısmen de olsa krom karbür çökmesi meydana getirerek ara bölgede kırılğan ve sert intermetalik faz tabakalarının oluşmasına neden olarak sertlik değerlerinin yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir [13].



Şekil 7. S1,S2,S8 ve S9 numunelerinden alınan mikro sertlik eğrileri

4. Genel Sonuçlar

AISI 1040/ SCR 420 çiftlerinin sürtünme kaynağı ile yapılan birleştirmelerinde, birleşme ara yüzeyinde herhangi bir çatlak, ve bağlantısız bölgeler görünmemekle birlikte her iki malzemenin karışımından oluşan yaklaşık 10-20 µm genişliğindeki aşırı deformasyon uğramış bölge ve bu bölgenin bitişiğinde yine basıncın etkisiyle dövülmüş, ve plastik deforme olmuş bir bölge ve onun bitişiğinde kısmen deforme olan ve yönelmiş tanelerden oluşan deformasyon çizgileri ve akış yönüne doğru yönelmeler açıkça görülmektedir. Kaynak parametrelerine bağlı olarak sürtünme basıncı ve yığma basıncının artmasıyla aşırı deforme olan bölgenin daraldığı ve flash miktarlarının arttığı tespit edilirken devir sayısının yüksek seçilmesiyle ITAB ın genişlediği belirlenmiştir. Ayrıca yüksek devir, artan

sürtünme basıncı ve artan kaynak sürelerinin etkisiyle, element difüzyonunun arttığı, kaynak ara bölgesinde ise sertlik değerleri, oluşması muhtemel intermetallik ve martenzit yapı nedeniyle ile en yüksek değerlere ulaşmıştır. Genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

a. Bu çalışmada, benzer olmayan AISI1040 çeliği ile SCR 420 çelik çifti üç farklı devir sayısı, yığma ve sürtünme basınçları altında başarılı bir şekilde birleştirilmiş olup birleşme ara yüzeyinde kalıntı, boşluk ve bağlantısız bölgelerin olmadığı görülmüştür.

b. Kaynaklı bağlantıların ara birleşme mikroyapı fotoğraflarının tamamında, literatüre uygun üç farklı bölgenin oluştuğu belirlenmiştir. Bunlar; aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB), kısmen deformasyona uğramış bölge (KDUB) ve esas metal (EM) dir. En çok yapısal dönüşüm kaynak birleşme çizgisine yakın ADB bölgelerinde görülmüştür. Artan devir sayısına bağlı olarak yapısal dönüşüme uğrayan bölgelerin genişliğinde artış gözlenmiştir.

c. Mikrosertlik deneyi sonuçlarına göre, en yüksek sertlik artışı S1 no' lu numunede 548 HV ve en düşük sertlik değeri ise S9 no' lu numunede 459 HV olarak elde edilmiştir. Mikrosertlik verilerinin artan devir sayısı, yığma ve sürtünme basınçları parametrelerine paralel olarak birleşme bölgesinde en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca AISI 1040 tarafında hızlı soğuma nedeniyle martenzitik dönüşümün meydana gelmesi ve SCR420 tarafında ise Cr varlığının ostenit-perlit dönüşümünü geciktirmesiyle sertlik düşüşlerinin bu bölgede AISI 1040 tarafına kıyasla daha geniş bir aralıkta düzenli bir düşüşe neden olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

1. Özdemir, N. (2002). Tane küçültülmüş düşük alaşımli yüksek karbonlu çeliklerin sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi. F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

2. Kahraman, N., Yılbaş, B. ve Odabaş, D. (1995). H2210 Çeliği İle Alüminyumun Sürtünme Kaynağıyla Kaynak İşlemi ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkilerinin Deneysel olarak Araştırılması. 6. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 217-220, Denizli.

3. Özdemir, N., Sarsılmaz, F. ve Haşçalık, A. (2007). Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel. *Materials&Design*, **28**: 301-307.

4. Ozan, S. ve Çay, V.V. (2004). Sürtünme Kaynak yöntemi İle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, **2**: 180-184.

5. Lucas, W.(1971). Process Parameters and Friction Welds, *Met. Cons. and British Welding J.*, **71**: 293-297.

6. Çalgülü, U., Orhan, A. ve Gür, A.K. (2007). Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinde Çevresel Hızın Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**: 583-592.

7. Kaluç, E.(2004). Kaynak teknolojisi el kitabı, *MMO Yayınları*, 356-358, Ankara.

8. Şahin, M. (2010). Friction Welding of Different Materials. *10th Anniversary International Scientific Conference (UNITECH'10)*, 131-134, Gabrovo, Bulgaria.

9. Gao, K., Qin, X., Wang, Z. ve Zhu, S. (2016). Effect of spot continual induction hardening on the microstructure of steels: Comparison between AISI 1045 and 5140 steels. *Materials Science and Engineering: A*, **651**: 535-547.

10. Şahin, M., Akata, H.E. ve Erdoğan, S. (2002). Plastik Şekil Değiştirmiş Çeliklerin Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmesi Üzerine Bir Çalışma. 9. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, **9**:390-396, Denizli.

11. Ozdemir, N. (2005). Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed. *Materials Letters*, **59**: 2504-2509.

12. Kırık, I., Ozdemir, N. ve Sarsılmaz, F. (2012). Microstructure and Mechanical Behaviour of Friction Welded AISI 2205/AISI 1040 Steel Joints. *Materials Testing*, **54**: 683-687.

13. Kurt, A., Uygur, I. ve Paylaşan, Ü. (2011). Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar AISI1010-ASTM B22 Joints. *Welding Journal*, **90**: 102-106.