



Investigation of interface microstructure properties of AISI 316L /AISI 4140 steel couple welded by friction welding process

Engin Ünal¹, Faruk Karaca^{1*}, Furkan Sarsılmaz²

¹Department of Mechanical Engineering, Firat University, Elazig, 23119, Turkey

²Department of Mechatronics Engineering, Firat University, Elazig, 23119, Turkey

Highlights:

- The assembling of AISI316L/AISI 4140 couple by friction welding
- The effect of agglomeration and friction pressure on microstructure of deformation zone due to welding parameters
- The microhardness variation due to welding parameters

Keywords:

- Friction welding
- Microstructure
- AISI 316L
- AISI 4140 steel

Article Info:

Research Article
Received: 17.10.2017
Accepted: 09.01.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.416528

Correspondence:

Author: Faruk Karaca
e-mail: fkaraca@firat.edu.tr
phone: +90 424 237 0000

Graphical/Tabular Abstract

In this study, AISI 316L / AISI 4140 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.

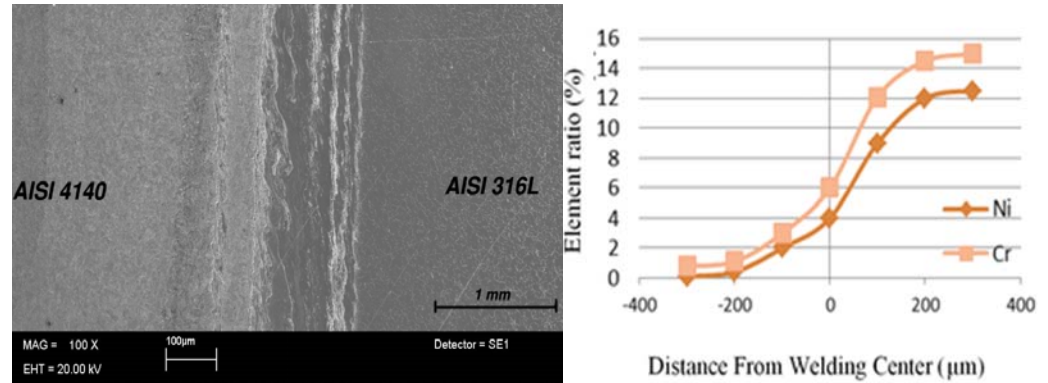


Figure A. Microstructure of welding region and element ratio

Purpose: It is aimed to determine the most ideal welding parameters by combining these pairs of alloys with the friction welding method, which is the solid state welding method.

Theory and Methods: AISI 316L and AISI 4140 samples were prepared for welding with a diameter of 12 mm and length of 70 mm. Welding operations of the samples were carried out in a continuous drive friction welding machine. Microstructure of the samples were taken in electron microscope and concentration profiles were determined with EDS. Microhardness measurements were performed with HV hardness scale in 5 mm wait time under 50 gr load with 1 mm intervals.

Results: The welds under lower rotational speeds, forging pressure and friction pressures it was seen that there was no connected regions and some defects at microstructural interface. Microhardness values were obtained lower than the other parameters. However, due to increasing rotational speeds, heat affected zone (HAZ) was extended and also microhardness value was considerably increased in the excessively deformed region.

Conclusion: It was determined that the microhardness data reached the highest values in welding region in parallel with the increasing speed, agglomeration and friction pressures parameters. In addition, it was determined that a more limited hardness increase was caused by the martensitic transformation due to the rapid cooling in AISI 4140 side and by the consolidation on the AISI 316L side.



Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AISI 316L/AISI 4140 çelik çiftlerinin arayüzey mikroyapı özelliklerinin incelenmesi

Engin Ünal¹, Faruk Karaca^{1*}, Furkan Sarsılmaz²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- AISI 316L/AISI 4140 çelik çiftinin sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmesi
- Kaynak parametrelerine bağlı olarak yığılma basıncının ve sürtünme basıncının deformasyon bölgesinde mikroyapıya etkisi
- Kaynak parametrelerine bağlı arayüzeydeki mikrosertlik değişimi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.10.2017

Kabul: 09.01.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416528

Anahtar Kelimeler:

Sürtünme kaynağı,

mikroyapı,

AISI 4140,

AISI 316L

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 316L/AISI 4140 çelik çifti, sabit sürtünme ve yığılma süreleri altında üç farklı devir, sürtünme basıncı ve yığılma 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, yığılma ve sürtünme basınçlarıyla yapılan kaynaklarda birleşme bölgesinde bağlantısız bölgelerin oluştuğu belirlenerek bu bölgelerin sertlik değerlerinin yüksek devir sayısı, yığılma ve sürtünme basıncıyla yapılan kaynaklara nazaran daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Buna karşın, artan devir sayısına bağlı olarak ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) genişleyerek ve aşırı deformasyona uğramış bölgede martenzit oluşumuyla beraber pekleşme sonucu sertliğin arttığı görülmüştür.

Investigation of interface microstructure properties of AISI 316L / AISI 4140 steel couple welded by friction welding process

H I G H L I G H T S

- The assembling of AISI316L/AISI 4140 couple by friction welding
- The effect of agglomeration and friction pressure on microstructure of deformation zone due to welding parameters
- The microhardness variation due to welding parameters

Article Info

Research Article

Received: 17.10.2017

Accepted: 09.01.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416528

Keywords:

Friction welding,

microstructure,

AISI 316L,

AISI 4140 steel

ABSTRACT

In this study, AISI 316L / AISI 4140 steel couple was welded by a continuous drive friction welding machine under constant friction and forging time with three different 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 were realized under lower rotational speeds, forging pressures and friction pressures it was seen that there were unconnected regions and some defects in microstructural interface and moreover microhardness values were obtained too lower when compared to the other higher parameters. However, concerning with increasing rotational speeds, heat affected zone (HAZ) was extended and also microhardness value was considerably increased with transforming martenzite phase and resulting work hardening in the excessively deformed region.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: enginunal@firat.edu.tr, fkaraca@firat.edu.tr, f.sarsilmaz@firat.edu.tr /

Tel: +90 424 237 0000 / 4361

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişmekte olan günümüz teknolojisi, yeni üretim ve imalat yöntemlerinin doğmasına neden olmaktadır [1]. Bu imalat yöntemleri sayesinde üretim ve şekillendirmesi çok zor olan malzemeler, daha kısa süre içerisinde minimum malzeme sarfiyatı ve minimum hata payı ile ekonomik olarak üretilebilmektedirler. Son teknolojik gelişmeleri yakından takip etmekte olan kaynak teknolojisi de bu imalat yöntemlerinden biridir. Modern endüstrinin son zamanlarda tercih ettiği katı hal kaynak teknolojisinin gelişimi ile birlikte, ergitmeli kaynak yöntemiyle birleştirilmesi oldukça zor olan ergime sıcaklıkları birbirinden farklı ya da benzer olan metaller, yeni usul ve yöntemlerle sorunsuzca kaynaklanabilmektedirler [1, 2]. Bu katı hal kaynak yöntemlerinden biri de sürtünme kaynağı yöntemidir. İlk defa imalat sektöründe 1940 yılında kullanılmaya başlanan bu yöntem, direkt elektrik enerjisi veya harici bir ısı enerjisi kullanmadan iş parçalarının ara yüzeylerinde sadece mekanik dönme hareketinin neden olduğu sürtünme vasıtasıyla ortaya çıkan ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak yöntemidir [3-5]. Bu kaynak tekniğinde ilave metal ve koruyucu gaz gerektirmez. Özellikle aynı eksen üzerinde dönebilen silindirik parçaların birleştirilmesinde kullanılan bir katı hal kaynak yöntemi olup avantajları; yüksek malzeme tasarrufu, düşük üretim zamanı ve ergitmeli yöntemde kaynağı zor olan farklı metalik malzemelerin birleştirilmesine imkân vermesidir. Sürtünme karıştırma kaynağında ara yüzeyde ergime meydana gelmemektedir. Çünkü kaynak birleşme bölgesinde ortaya çıkan yüksek ısının derecesi, çoğunlukla kaynak çiftlerinin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta bulunur. Bu metot ile aynı cinsten metaller birbiri ile kaynak yapılabildiği gibi, farklı cinsten malzemelerin de kaynatılması mümkün olmaktadır [5-7].

Bu çalışmada sanayi ve endüstrinin çeşitli kollarında kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı iki çelik (AISI 316L / AA4140) çift kullanılmıştır. AISI 316L mühendislik uygulamaları ve otomotiv endüstrisinde krom içeriği nedeniyle özellikle korozyona maruz alanlarda çok yaygın kullanılmaktadır. Östenitik paslanmaz sınıfına giren AISI 316L çelik, maliyet bakımından kendinden daha düşük alaşımlarla kaynaklanabilmesi ve ayrıca imalatı daha ucuz çeliklerle sorunsuz birleştirilmesi de malzeme sarfiyatına

olumlu katkı sağlamaktadır. Bu yöntemle üretim sonrası malzemenin mekanik özelliklerinde ergitmeli yöntemlerde ortaya çıkan gevrek ve kırılğan yapılar oluşmadığından ısı işlem ve temperlemeye ihtiyaç yoktur. Çünkü ergitmeli kaynak esnasında krom karbür çökelmeleri, ara yüzeyde yüksek ısı girdisiyle sert ve kırılğan bileşiklerin oluşumu imalatın kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı yapılan çalışmada, bu alaşım çiftleri katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilerek ara yüzeyde oluşan mikroyapısal değişimler belirlenmiş ve en ideal kaynak parametrelerinin tespiti amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL & METHOD)

Çalışmada sürtünme kaynağı işlemlerinde deney numunesi olarak kullanılmak üzere iki farklı çelik malzeme çifti kullanılmıştır. Ticari olarak temin edilen AISI 316L ve orta karbonlu AISI 4140 numuneler, sürtünme kaynağı öncesi 12 mm çapında ve 70 mm boyunda işlenerek kaynağa hazırlanmışlardır. Bu malzeme çiftlerine ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Numunelerin kaynak işlemleri, Tablo 2'de ki kaynak parametreleri göz önüne alınarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde Şekil 1. de gösterildiği düzende 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 2a'da, numune kesit boyutları ise Şekil 2b'de verilmiştir. Parlatılan numuneler nitrik %2 asit+ %98 alkol çözeltisiyle dağlanmış. Dağlanan numunelerin elektron mikroskopunda 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 5s bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal içerikleri (%Ağırlık)
(Chemical Composition of experimental materials)

Malzeme	%C	%Si	%Mn	Mo	%Cr	%Ni	%Fe
AISI 316L	0,08	0,75	2	2-3	16-18	10-14	Kalan
AISI 4140	0,41	0,25	0,85	0,20	0,8-1,1	-	Kalan



Şekil 1. Kaynak çiftlerinin birleştirme düzeni (The assemble method of welding couples)

Tablo 2. Kaynak parametreleri (The welding parameters)

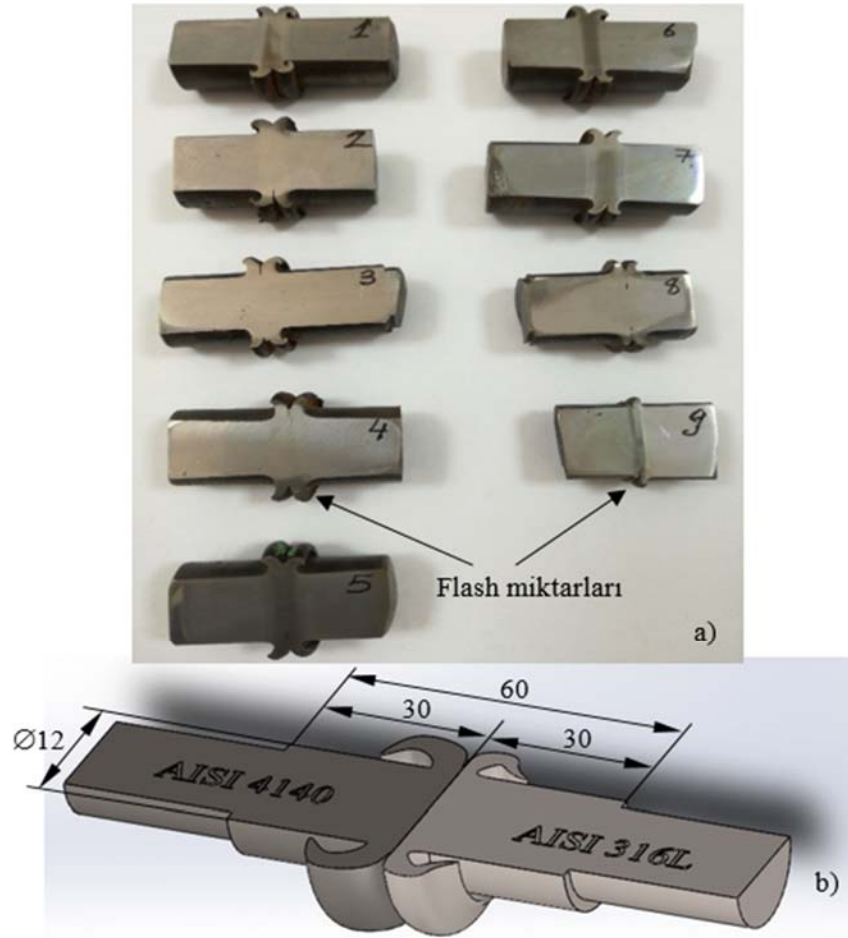
Numune no	Devir sayısı (dv/dk)	Sürtünme basıncı (MPa)	Yığıma basıncı (MPa)	Sürtünme süresi (s)	Yığıma süresi (s)
S1	2500	60	100	5	2
S2	2300	60	100	5	2
S3	2100	60	100	5	2
S4	1900	50	80	5	2
S5	1700	50	80	5	2
S6	1500	50	80	5	2
S7	1300	40	60	5	2
S8	1100	40	60	5	2
S9	900	40	60	5	2

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

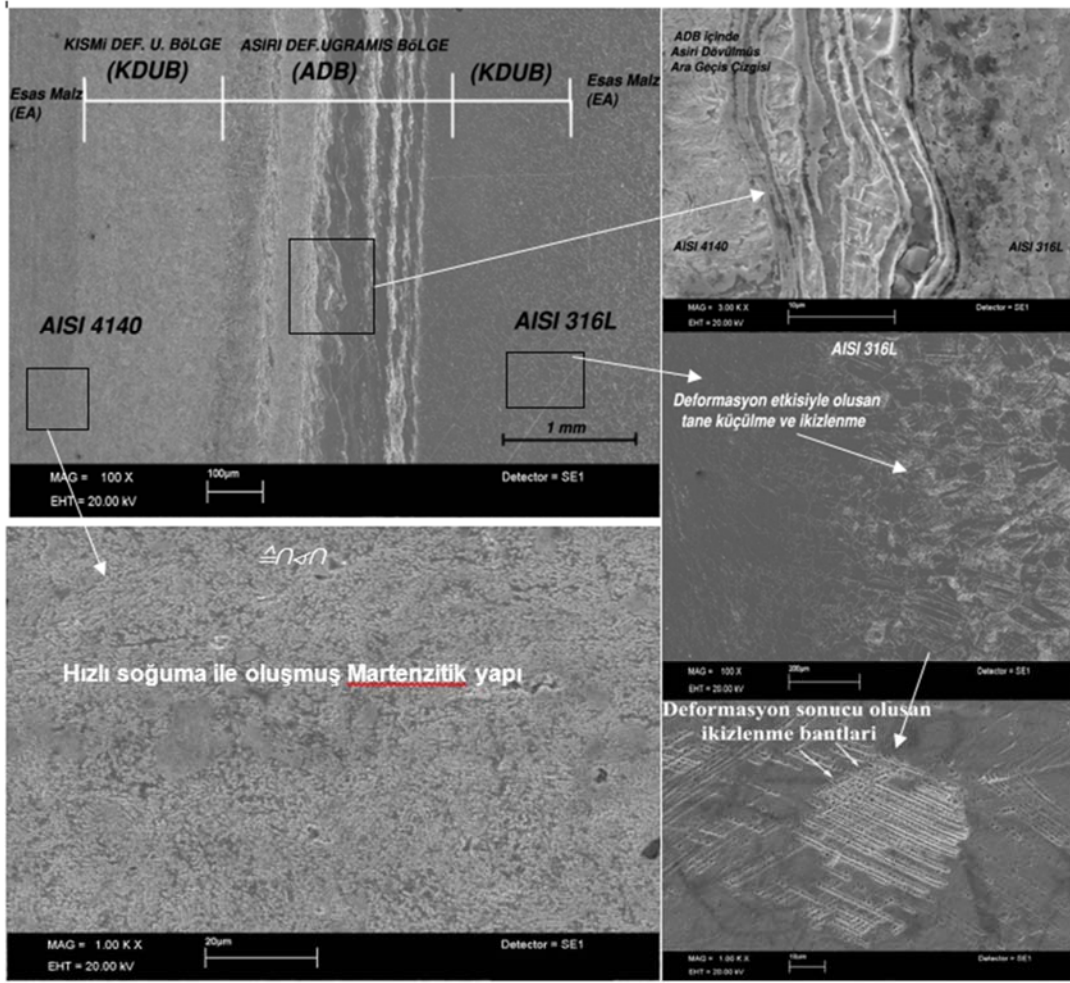
Şekil 2a'da, 900 ve 2500 dv/dak.'lık açısal hız aralığında birleştirilen S1-S9 numunelerinin kaynak sonrası birleşme bölgesinden alınan makroyapı fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, plastik deformasyonun etkisiyle birleşme ara yüzündeki oluşan kaynak flash genişliklerinde

farklılıklar gözlenmiştir. Her iki çiftin kaynak sırasında oluşan flash büyüklüklerinin, artan devir sayısının etkisiyle ara bölgeden dışa doğru arttığı görülmüştür. Bütün numunelerin ara kesitinin makro görüntülerinde herhangi bir kusur görülmemekle birlikte en iyi mekanik özellikler sergileyen S1 numunesi, mikroyapı incelemelerinde esas alınmıştır. Şekil 3'de S1 numunesinin kaynak ara bölgesindeki mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde herhangi bir çatlak, gözenek ve bağlantısız bölgeler görülmemektedir.

Bununla birlikte ara kesitte, her iki malzemenin sürtünme esnasında oluşturdukları yaklaşık 1 mm genişliğe yayılan ve yüksek büyütmelede yer yer aralıklarla oluşmuş ortalama 15 µm genişliğindeki aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB) görülmüştür. Ayrıca bu bölgenin bitişiğinde yine basıncın etkisiyle dövülmüş, kısmi deformasyona uğramış bölge (KDUB) görülmektedir. Kaynak işlemi sırasında kaynak ara bölgesinde sıcaklıklar A_{c3} sıcaklığının üzerinde seyrettiğinden AISI 4140 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 3'de



Şekil 2. a) Kaynak parametrelerine bağlı olarak ara bölgede oluşan kıvrım biçimindeki flash miktarları b) Çıkarılan arakesitin numune boyutları (a-The flash rate of interface via welding parameters b- The crosssectional size of specimen)



Şekil 3. S1 numunesinin kaynak sonrası bölgesel mikroyapı değişimleri
(The local microstructure variation of S1 specimen after welding)

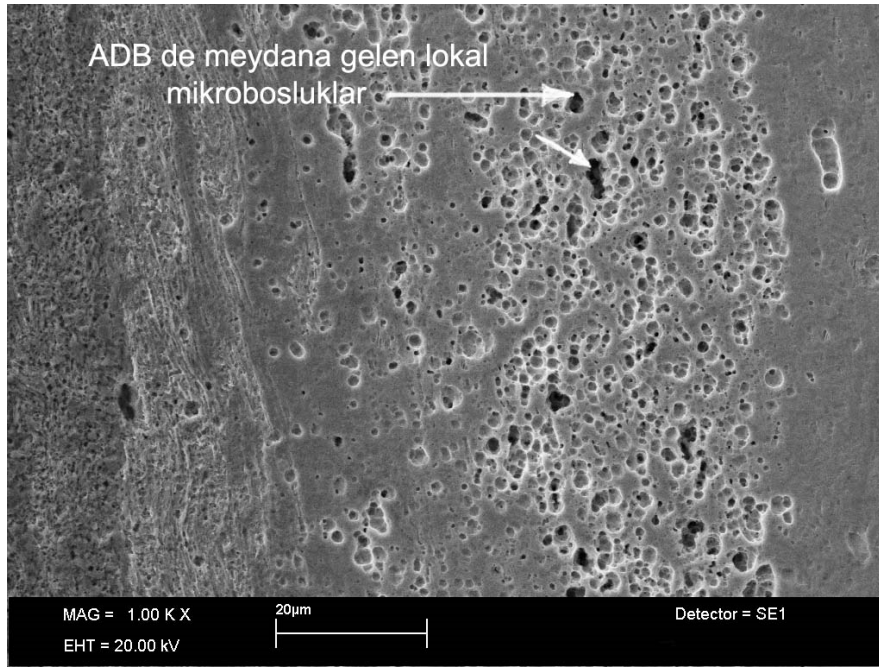
görülen tane sınırından karbon difüzyonu ile kısmen deformasyona uğramış bölgede tane yapısı değişerek 4140 tarafında martenzit meydana gelmiştir [9]. Deformasyona uğramamış bölgede ise esas malzemenin mikroyapı özelliği korunmuştur. AISI 316L tarafındaki aşırı plastik deformasyon sonucu ara bölgede tane küçülme ve ikizlenme meydana gelmiştir. İkizlenme kaymanın zor olduğu durumlarda veya yüksek deformasyon hızlarında meydana gelen bir plastik şekil değiştirme mekanizmasıdır[10]. Özdemir vd. [3, 12] yapmış oldukları çalışmalarında; Paslanmaz çelik malzeme (304) tarafında bu yapının varlığını tespit ederek bu oluşumun esas nedeninin bu malzemenin kaynak sırasında aşırı deformasyona uğrayarak dövme etkisi altında kaldığını ifade ederek artan devir sayısının plastik deformasyona uğrama süresini artırdığını paslanmaz çeliklerin plastik şekil değiştirme yeteneğinin diğer takım çeliklerine kıyasla daha yüksek olmasının da bu yapıya neden olduğunu vurgulamışlardır.

Çevresel hızı 1300,1100,900 dv/dk parametreleri ile birleştirilen S7, S8, ve S9 numunelerinde, uygulanan kaynak parametrelerine bağlı olarak, devir sayısının azalmasıyla

birlikte kaynak bölgesinde ITAB'ın daraldığı görülmüştür. Bu durumda yığılma basıncı ve sürtünme basıncının kademeli olarak azalmasının da etkili olduğu belirlenmiştir. Devir sayısının birleşmede en etkili faktör olan sıcaklığa doğrudan etki ettiğinden [3, 7, 11] düşük devirlerde (özellikle 900dv/dk gibi) birleştirilen numunelerde diğer parametrelere kıyasla yetersiz birleşmeye bağlı bölgesel mikro-boşlukların oluştuğu görülmüştür (Şekil 4). Ayrıca 1500 dv/dk ile birleştirilmiş S6 numunesinde, S9 numunesine kıyasla daha geniş ITAB ve daha düşük miktarda yerel mikro boşlukların varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 5).

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

Kaynaklı bağlantıların birleşme arakesitinin 100 µm eşit aralıklarla farklı noktalarından alınan EDS analizlerinde (Şekil 6) AISI 4140 tarafına doğru Cr ve Ni element



Şekil 4. S9 numunesinde kaynak sonrası oluşan yerel mikro boşluklar (The local microvoids of S9 specimen after welding)

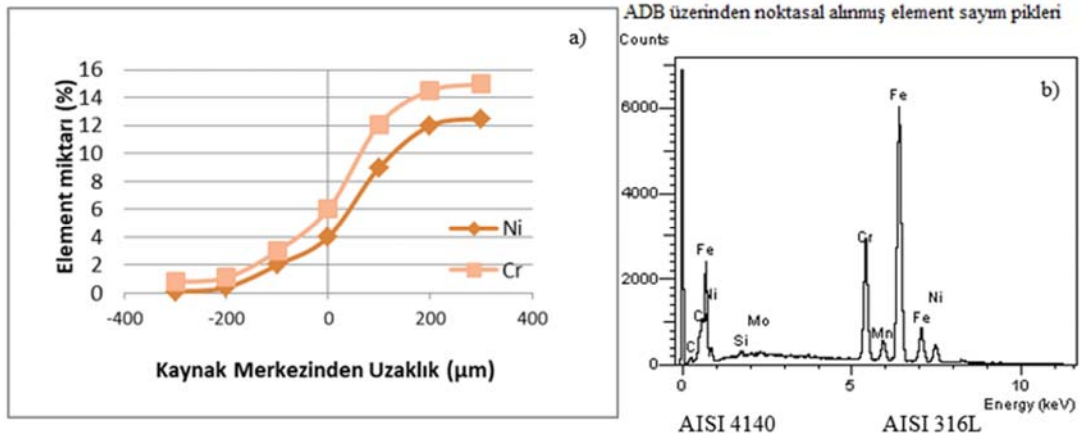


Şekil 5. S6 numunesinde kaynak sonrası oluşan kısmi yerel mikro boşluklar (The partial local microvoids of S6 specimen after welding)

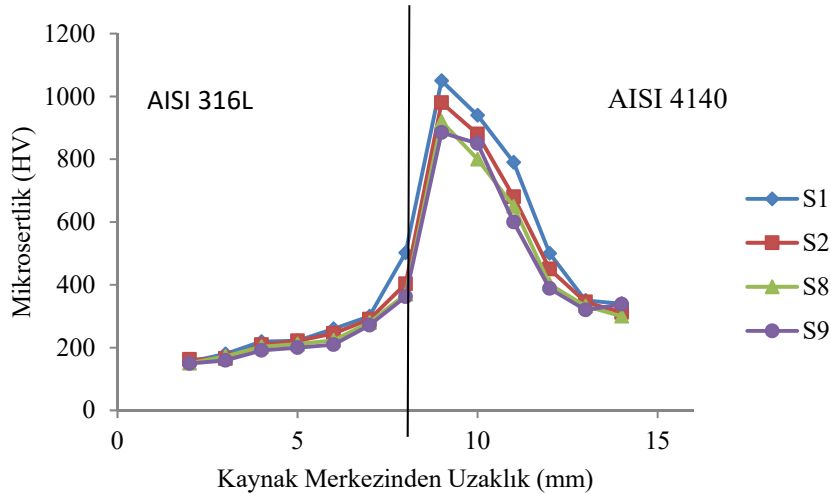
miktarlarında gözle görülür bir difüzyon tespit edilmiştir. Düşük devir ve düşük sürtünme basıncı parametrelerinde yapılan kaynaklı birleştirmelerde difüzyon oluşumu için gereken sürenin kısıtlı olması nedeniyle difüzyonun çok dar bir bölgede meydana gelmesi ve ayrıca yığılma basıncının artmasıyla da viskoz haldeki bu plastik deformasyona uğrayan bölgenin, bağlantı ara yüzeyinden basıncın etkisi ile uzaklaştığı düşünülmektedir. Şekil 6'da difüzyonun en yüksek meydana geldiği (2500 dv/dk) S1 numunesine ait

konsantrasyon profilleri grafiğine göre, AISI 4140 tarafında 300 µm luk bir uzaklık içinde % element taşınım miktarının arttığı görülmüştür.

Kaynak bağlantılarının mikrosertlik incelemelerinde, bütün parametrelerin sertlik verileri birbirine yakın elde edildiğinden sadece devir sayısı en yüksek ve en düşük iki numunenin sertlik eğrileri Şekil 7'deki grafikte sırasıyla verilmiştir. Eğriler incelendiğinde kaynaklanmış bütün



Şekil 6. a) S1 için ara bölgeden element taşınımı. b) S1 için EDS analiz pikleri
(a)The elemental transition of S1 specimen, (b) EDS analysis pigs for S1)



Şekil 7. S1, S2, S8 ve S9 numunelerinden alınan mikro sertlik sonuçları (The microhardness results of S1, S2, S3 and S9)

numunelerde benzer sertlik eğrileri görülmüştür. S1,S2,S8 ve S9 numunelerin farklı devir sayıları, yığıma ve sürtünme basınçları altında yapılan birleştirme sonuçları incelendiğinde ise, bütün kaynaklı bağlantıların ara bölgesinde esas malzemenin genel sertlik verilerine kıyasla oldukça yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği görülmüştür. En yüksek sertlik, S1 kaynaklı bağlantıda 1048 HV olarak kaydedilmiştir. Bu yükselişin nedeninin, devir sayısının artmasıyla ADB'de ulaşılan sıcaklık derecesinin artışı ve sürtünme basıncının şiddetli deformasyon etkisi yaparak deformasyon sertleşmesine ve kaynak dikişi içinde dövme etkisi ile tanelerde küçülmeye yol açmasının neden olduğu düşünülmektedir [11, 12]. Aşırı deformasyona uğrayan bölgede (ADB) sertlik değerleri maksimuma ulaşmasına karşın, tane yönelmeleriyle deformasyon çizgilerinin oluştuğu bölge ve kısmen deforme olan bölgede (KDUB) ara bölgeden yaklaşık 5mm uzaklıkta mikrosertlik değerlerinde kademeli bir düşüş söz konusudur. Her iki malzeme kendi bölgesi içine değerlendirildiğinde, AISI 316 L tarafında dar alanda etkili olan sertlik yükselişleri AISI 4140 tarafında en zirve noktaya ulaşmıştır. Baz malzemenin

yaklaşık 155 HV olduğu AISI 316L çeliği tarafında, maksimum 390 HV sertlik elde edilebilirken, AISI 4140 çeliği tarafında sertlik maksimum değerine olan 1048 HV ye ulaşmıştır. Östenitik paslanmaz çelik tarafında ara bölgede meydana gelen bu sertlik artışının temel nedeninin sıcaklığa bağlı kısmi pekleşmenin oluşumuyla açıklanabilir. Bu duruma benzer bir çalışmada orta karbonlu çeliklerde sertleşmenin martenzit yapı oluşumuyla beraber kaynağın hemen sonrasında sıcaklığın hızla düşmesi ile östenit-perlit dönüşümüne imkan verilmeden mikroyapının oda sıcaklığına ulaşılması ile martenzit fazlarının meydana geldiği ve bu duruma östenitik paslanmaz çeliklerde de plastik deformasyonla oluşan pekleşmenin eşlik ettiğini vurgulanmıştır [13]. Bununla birlikte deformasyon sertleşmesi de AISI 4140 çelik tarafında kısmen sertlik artışında önemli rol oynamaktadır. Ancak bu bölgede elde edilen sertlik değeri AISI 316L tarafına kıyasla oldukça yüksektir. Bu değer ara bölgenin yaklaşık 1 mm uzağında tespit edilmiştir. Bunun nedeninin AISI 4140 çeliğinin yüksek ısı iletimi ile oluşan sıcaklığı, kendi tarafına hızla yayabilirken AISI 316L nin düşük ısı iletkenliğe sahip

olması neticesinde ısıyı kendi üzerinden hızlı bir şekilde dağıtmadan tutması olarak düşünülebilir. AISI 4140 çelik tarafında hızlı soğuma neticesinde martenzit oluşumunun sertliği artırıcı etki yaptığı grafikte aşikârdır. 2500 dv/dk ile birleştirilen S1 numunesinin sertlik değeri en yüksek değer iken (1048HV), 900 dv/dk ile birleştirilen S1 numunesinin sertlik değeri yaklaşık 881 HV olarak ölçülmüştür. Bu iki numunede yaklaşık 167 hv'lik bir fark oluşması yığıma ve sürtünme basınçlarının düşüşü ile birlikte özellikle devir sayısının ciddi oranda azalmasının mekanik özelliklerde önemli rol oynadığını göstermiştir. Düşük devirle birleştirilmiş numunelerde daha önce tespit edilen lokal mikro boşlukların mevcut mikrosertlik değerlerinde kısmen düşüşe yol açtığı düşünülmektedir. Ayrıca artan devir sayısının, ara yüzey sürtünme sıcaklığını A_3 üzerine çıkarması ile [1] birlikte ara yüzeyde östenitik yapıdan oda sıcaklığına hızlı soğumanın yapıda martenzit oluşturacağı ve bu durumun yüksek devirle birleştirilen numunelerde sertlik değerlerini yükseltmesi sonucunu desteklemektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

AISI 316L/ AISI 4140 çiftleri farklı devir, sürtünme basıncı ve yığıma basıncı parametreleri kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Numunelerin ara yüzey mikroyapı incelemelerinde birleşme ara yüzeyinde özellikle düşük devir sayısı, yığıma ve sürtünme basınçları kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklarda, yerel mikro boşluklu bağlantısız bölgeler görülmüş, bu bölgelerin devir sayısı, yığıma ve sürtünme basınç değerlerindeki artışa paralel azaldığı tespit edilmiştir.

Bütün numunelerin ara yüzeylerinde literatüre uygun üç farklı bölgenin varlığı belirlenmiştir. Bunlar; Her iki malzemenin karışımından oluşan yaklaşık 10-20 μm genişliğindeki aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB) ve bu bölgenin bitişiğinde yine basıncın etkisiyle dövülmüş, taneleri küçülmüş ve kısmi plastik deforme olmuş bir bölge (KDUB) ile bu bölgeye yakın yönelmiş tanelerden oluşan ikizleme bantları açıkça görülmektedir. Kaynak parametrelerine bağlı olarak sürtünme basıncı ve yığıma basıncının artmasıyla aşırı deforme olan bölgenin daraldığı ve flash miktarlarının arttığı tespit edilirken, devir sayısının yüksek seçilmesiyle ITAB'ın genişlediği belirlenmiştir.

Kaynak parametrelerine bağlı olarak ara bölgede element difüzyonunun meydana geldiği belirlenmiştir. Mikrosertlik ölçümü sonuçlarına göre, en yüksek sertlik artışı S1 no'lu numunede 1048 HV ve en düşük sertlik değeri ise S9 no'lu numunede 881 HV olarak elde edilmiştir. Mikrosertlik verilerinin artan devir sayısı, yığıma ve sürtünme basınçları parametrelerine paralel olarak birleşme bölgesinde en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca AISI 4140 tarafında hızlı soğuma nedeniyle martenzitik dönüşümün etkisiyle sertlikte yükselme ve AISI 316L tarafında ise deformasyonun neden olduğu pekleşme ile daha sınırlı bir

sertlik yükselmesinin meydana geldiği belirlenmiştir. Sertliğin zirveye ulaştığı bölgelerin kaynak merkezinden 1mm uzaklıkta AISI 4140 çeliği tarafında ölçüldüğü ve bunun nedeninin AISI 316L ısı iletim kabiliyetinin düşük olmasının önemli katkı sağladığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özdemir N., Tane Küçültülmüş Düşük Alaşımli Yüksek Karbonlu Çeliklerin Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002.
2. Kahraman N., Yılbaş B., Odabaş D., H2210 Çeliği İle Alüminyumun Sürtünme Kaynağıyla Kaynak İşlemi ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkilerinin Deneysel olarak Araştırılması, 6. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli-Türkiye, 217-220, 1995.
3. Özdemir N., Sarsılmaz F., Hasçalık A., Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel, *Materials&Design*, 28, 301-307, 2007.
4. Ozan S., Çay V.V., Sürtünme Kaynak yöntemi İle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 2, 180-184, 2004.
5. Lucas W., Process Parameters and Friction Welds, *Met. Cons. and British Welding J.*, 71, 293-297, 1971.
6. Çalgılı U., Orhan A., Gür A.K., 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, 2007.
7. Kaluç E., Kaynak teknolojisi el kitabı, MMO Yayınları, 356-358, Ankara, 2004.
8. Şahin M., Friction Welding of Different Materials. 10th Anniversary International Scientific Conference (UNITECH'10), Gabrovo-Bulgaria, 131-134, 2010.
9. Gao K., Qin X., Wang Z., Zhu S., 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, 2016.
10. Savaşkan T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Seçkin Yayınları, 79-80, Trabzon, 2009.
11. Şahin M., Akata H.E., Erdoğan S., Plastik Şekil Değiştirmiş Çeliklerin Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmesi Üzerine Bir Çalışma. 9. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli-Türkiye, 9, 390-396, 2002.
12. Ozdemir N., 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, 2005.
13. Kırık I. Ozdemir N. Sarsılmaz F., Microstructure and Mechanical Behaviour of Friction Welded AISI 2205/AISI 1040 Steel Joints, *Materials Testing*, 54, 683-687, 2012.