

YKBDD / ORTA KARBONLU ÇELİK ÇİFTİNİN NİKEL ARA TABAKA KULLANILARAK SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Tanju TEKER¹, Eyyüp Murat KARAKURT^{2*}

^{1,2}Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş tarihi: 09.09.2019 Kabul tarihi: 26.11.2019

ÖZET

Bu çalışmada; nikel ara tabakalı orta karbonlu çelik ile yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD), farklı sürtünme süreleri (8, 10 ve 12 s) kullanılarak sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak morfolojisi; optik mikroskop (OM), enerji dağılım spektrometresi (EDS), X-Işını kırınımı (XRD) ve mikrosertlik analizleri ile incelenmiştir. Buna göre, kaynaklı bağlantılar aşırı plastik deforme olmuş bölge, plastik deforme olmuş bölge, kısmi plastik deforme olmuş bölge ve esas metal olmak üzere dört bölgeye ayrılmıştır. EDS sonuçlarından anlaşılmaktadır ki; tüm kaynaklı bağlantıların birleştirme bölgelerinde atom geçişleri gerçekleşmiştir. En yüksek mikrosertlik değeri ise 12 s sürtünme süresine maruz kalan kaynaklı bağlantıda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme kaynağı, YKBDD, Orta karbonlu çelik, EDS, XRD

COMBINATION OF HCrWCI/ MEDIUM CARBON STEEL COUPLE BY FRICTION WELDING USING NICKEL INTERLAYER

ABSTRACT

In this study; medium carbon steel with nickel interlayer and high chromium white cast iron (HCrWCI) were combined by friction welding method using different friction times (8, 10 and 12 s). Welding morphology was analyzed by optical microscope (OM), energy dispersion spectrometer (EDS), X-Ray diffraction (XRD) and microhardness. Accordingly, the welded joints were divided in to four zones, the full plastic deformed zone, the plastic deformed zone, the partially plastic deformed zone, and the base metal. The results of EDS analysis indicated that the atomic transitions were performed at the weld interface of all weld joints. The highest microhardness value was obtained in welded joint which was subjected to the friction time of 12 s.

Keywords: Friction welding, HCrWCI, Medium carbon steel, EDS, XRD

1. Giriş

Sürtünme kaynağı yöntemi; sürtünme sırasında meydana gelen hareket enerjisinin termal enerjiye dönüşümüne bağlı olarak elde edilen birleştirme yöntemidir [1,2]. Kaynak edilecek parçalardan biri sabit tutulurken, diğeri açısız bir hızla dönmeye başlar. Aynı eksenel yönde bir basınç uygulanır [3]. Böylece sabit olan malzemeden, eksenel dönme hareketine sahip olan diğeri malzemeye doğru bir ısı transferi gerçekleşir [4]. Meydana gelen bu sıcaklık artışı, temas bölgelerini lokal ergime sıcaklıklarına çıkarır. Böylece bu bölgelerde kalıcı plastik deformasyonlar meydana gelir [5]. Genellikle, burada oluşan sıcaklık artışı, kaynak edilecek olan malzemelerin ergime sıcaklığından düşük olarak ölçülür [6].

* e-mail: tteker@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7293-0723>

eyyupmuratkarakurt@gmail.com ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7293-1742>

Temas eden bölgelerde meydana gelen plastik deformasyonları takiben uygulanan aksel basınç kuvvetiyle malzemeler tam ergime olmadan birleştirilmiş olur [7,8].

Parçaların birleştirilmesi sırasında kaynak bölgesinde tam olarak bir ergime havuzu oluşmadığından ve ilave malzeme kullanılmadığı için bu yöntem bir kaynak işleminden daha çok, dövme işlemine benzemektedir [9]. Sürtünme sonrası aksel basıncının etkisiyle dışarı taşması, yığılma fazının bir sonucudur [10]. Bu dışarı taşan malzeme; sürtünme ısı tarafından mikroyapısında değişiklik olan kısımlar olduğu için dar bir ITAB alanı meydana gelir [11]. Madhusudhan ve diğ., maraging çeliği ile düşük karbonlu çelik çiftlerine, hem nikel ara tabakasız hem de nikel ara tabakalı sürtünme kaynak işlemi yapmışlardır. Buna göre; nikel ara tabaka kullanılmadan yapılan sürtünme kaynak işleminde kaynaklı çiftin çekme mukavemeti, çentik darbe direnci esas metallere göre daha düşük çıkmışken, nikel ara tabakalı kaynaklı numunelerde böyle bir durum ortaya çıkmamıştır. Bu da göstermektedir ki; nikel ara tabakanın malzeme çiftleri arasında difüzyon bariyer oluşturarak karbon ve mangan gibi kolay difüze olan atomların göçüne izin vermeyerek kırılma ve sert fazların oluşumunu engellediğinden başarılı bir kaynaklı birleştirme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır [12].

Bu çalışmada; nikel ara tabakalı orta karbonlu çelik ile yüksek kromlu beyaz dökme demirin, farklı sürtünme süreleri kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği incelenerek en optimum sürtünme kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen Ø12x75 mm ölçülere sahip olan silindir şekilli içi dolu olan yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) ile yine aynı ölçülere sahip orta karbonlu çelik (AISI 1030) çifti kullanılmıştır. Ayrıca bu iki malzeme arasına sürtünme kaynağı sırasında yerleştirilecek olan yine ticari olarak temin edilen Ø8x2 mm ölçülere sahip olan nikel pullar, ara tabaka olarak kullanılmıştır. Sürtünme kaynağı deneylerinde kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği (%ağ.).

Malzeme	Fe	Ni	C	Cr	Si	Mn	P	S	Mo
YKBDD	Kal.	0.5	3.2	27.4	1.16	2.3	0.01	0.02	2.3
AISI 1030	Kal.	-	0.36	-	0.25	0.8	0.02	0.04	-
Nikel	0.3	Kal.	0.06	0.02	0.6	-	0.006	-	0.68

Sürtünme kaynak işleminden önce orta karbonlu çelik çubukların kaynak edilecek yüzeylerinde, Ø8x2 mm ölçülere sahip oluklar açılmıştır. Açılan bu oluklara Ø8x2 mm ölçülere sahip nikel pullar yerleştirilerek, sürtünme kaynağı için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra sürtünme kaynağı için Çizelge 2’de verilen düzende deneysel program belirlenmiştir.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan sürtünme kaynak parametreleri.

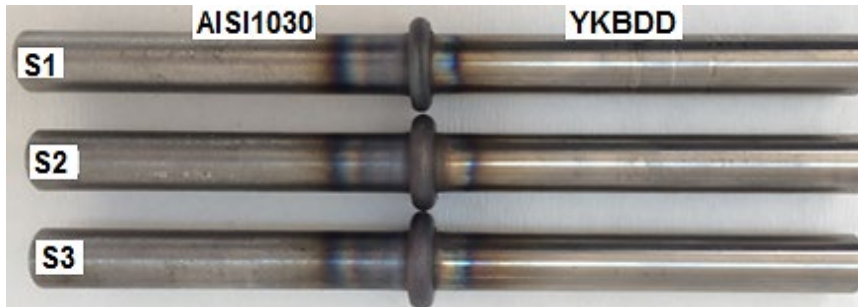
Numune No	Devir Sayısı (dev dak ⁻¹)	Sürtünme Süresi (s)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığılma Basıncı (MPa)	Yığılma Süresi (s)
S1	2000	8	80	150	8
S2	2000	10	80	150	8
S3	2000	12	80	150	8

Sürtünme kaynak sonrası, meydana gelen mikroyapısal değişimi tespit etmek amacıyla hazırlanan deney numunelerinin, ara kesit yüzeyleri 80-1200 mesh'lik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalandıktan sonra YKBDD tarafı; vilella çözültüsü (1 g pikrik asit, 5 ml HCl ve 100 ml etil alkol) ile dağlanırken, orta karbonlu çelik tarafı ise nital (%2 HNO₃ +%98 etil alkol) çözültüsü kullanılarak 3-5 s dağlandı. Kaynaklı bağlantıların mikroyapısal değişimi Leica marka optik mikroskop (OM) ile incelenmiştir. Kaynak sonrası atomik geçişleri net görmek adına, enerji dağılım spektrometresi (EDS) (Zeiss marka EVO LS 10) analizleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçüm analizleri Qness Q10 marka test cihazında 100 g'lık yük altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Bruker marka XRD (X-ray diffractometer RadB-DMAX II) cihazı, kullanılarak Cu K_α radyasyonu, $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ dalga boyu ile 2 θ olarak 2° den 80° ye kadar bir aralıkta testler yapıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Makro ve Mikroyapı Analiz Sonuçları

Farklı üretim parametreleri ve nikel ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiş olan tüm kaynaklı bağlantıların, makro fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir. S1-S3 no'lu kaynaklı bağlantılar için, YKBDD tarafında dar bir termomekanik etkilenmiş bölge oluşurken, orta karbonlu çelik tarafında ise daha geniş bir termomekanik etkilenmiş bölge oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, karbonlu çelik tarafının termal iletkenlik katsayısının YKBDD'e göre daha yüksek olmasıdır. Ayrıca S1, S2 ve S3 numunelerinde flanş oluşumu yalnız orta karbonlu çelik tarafında tespit edilmiştir. Çünkü YKBDD içerisindeki alaşım elementleri, yüksek sıcaklıklarda dahi plastik şekil değiştirme yeteneği üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Bu durum YKBDD'nin yüksek sıcaklıktaki plastik şekil değiştirme yeteneği üzerinde negatif bir etki oluşturmaktadır. Buna ek olarak artan sürtünme süresine bağlı olarak dışarı taşan malzeme miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Buna göre en fazla flanş oluşumu S3 no'lu kaynaklı bağlantıda elde edilmiştir.



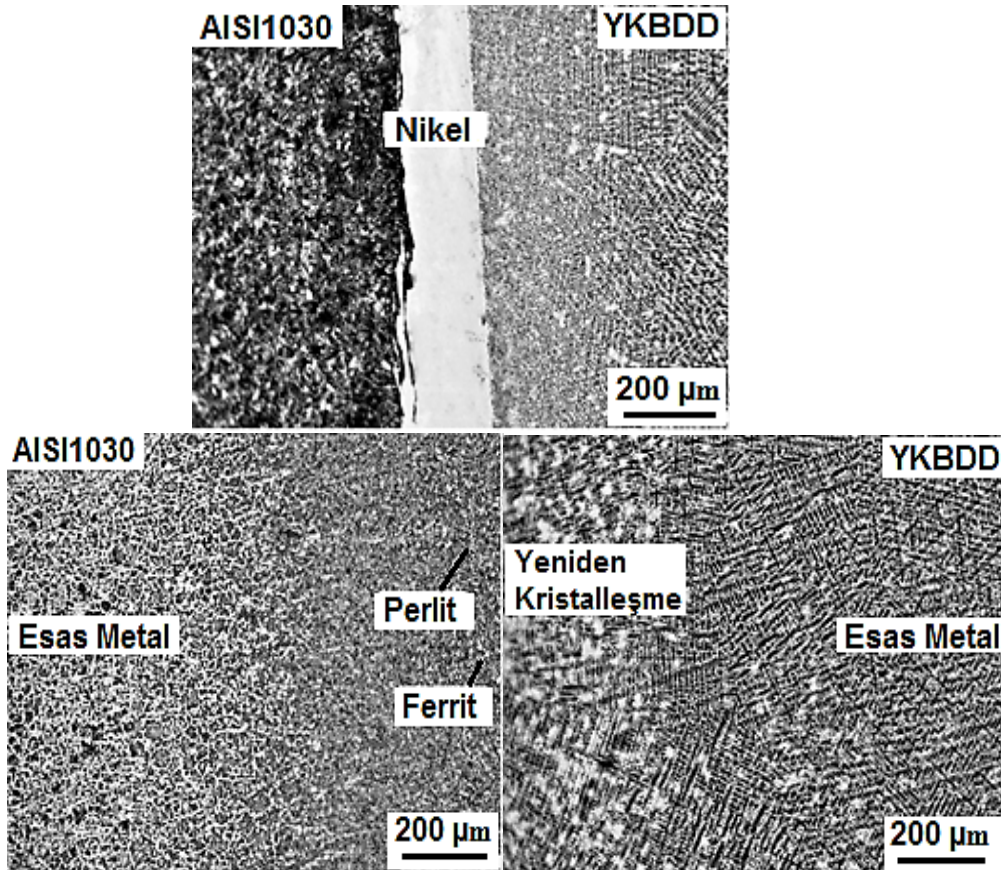
Şekil 1. S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı birleştirmelerin makro görüntüleri.

YKBDD ile orta karbonlu çelik çiftinin nikel ara tabaka kullanılarak, sürtünme süresi (8, 10 ve 12 s), devir sayısı (2000 dev dak⁻¹), sürtünme basıncı (80 MPa), yığılma basıncı (150 MPa) ve yığılma süresi (8 s) kullanılarak birleştirilen S3 no'lu kaynaklı bağlantının ara yüzey optik fotoğrafı Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, sürtünme kaynak sonrası S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılarda aşırı soğuma hızına bağlı olarak, gözenek ve çatlakların oluşmadığı ve kaynaklı birleştirmelerin başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. YKBDD ile orta karbonlu çelik kaynak malzemeleri arasında kalan nikel tabakası, bir örtü gibi iki malzeme arasındaki bağlantısız bölgeleri ve gözenekleri doldurarak, iyi bir metalurjik bağın oluşmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, artan sürtünme süresine bağlı olarak kaynak malzemeleri arasında kalan nikel ara tabakasının kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir. Optik fotoğraflarından yapılan ölçeklendirme ile S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılar için ölçülen nikel

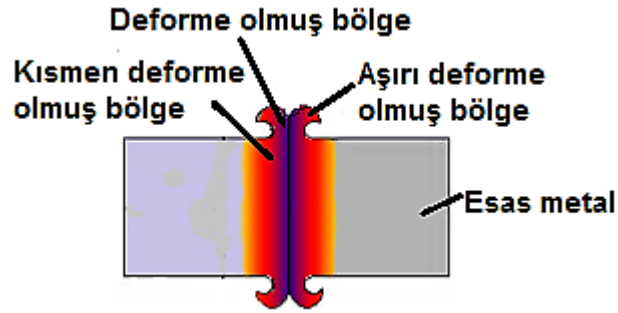
ara tabakanın kalınlıkları; 52, 44 ve 27 μm olarak ölçülmüştür. Buna göre en kalın nikel ara tabakası S1 no'lu numunede ölçülmüşken, en ince nikel ara tabakası S3 no'lu numunede ölçülmüştür. Çünkü artan sürtünme süresi, merkez kaç kuvvetini arttırmış olup, nikelin dışarı flanş olarak taşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. YKBDD tarafındaki nikel ara yüzü daha pürüzsüz bir yapıya sahip iken, orta karbonlu çelik tarafındaki nikel ara yüzü daha pürüzlü bir yapıya sahiptir. Buna sebep olarak sürtünme YKBDD tarafındaki nikel ara yüzünde meydana gelmesinden dolayı o bölgedeki nikeli lokal olarak ergitmesi gösterilebilir.

Ayrıca her iki malzemenin de ısı tesiri altında kalan bölgesinde (ITAB) soğuma hızlarına bağlı olarak farklı mikroyapısal oluşumların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun şematik gösterimi Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre malzeme çiftlerinde aşırı deforme olmuş bölge (ADB), deforme olmuş bölge (DB), kısmen deforme olmuş bölge (KDB) ve esas metal (EM) olmak üzere dört farklı bölge tespit edilmiştir [13, 14]. Buna göre, orta karbonlu çelik ve YKBDD tarafındaki aşırı deforme olmuş bölge; sürtünme kaynağı sırasında çıkılan yüksek sıcaklıktan dolayı, kısmen ergimiş ve viskoz hale gelen malzemenin dışarı atılması sonucu oluşmaktadır. Bu bölgenin genişliği artan sürtünme süresiyle orantılı olarak artmıştır.

Bu bölge, düzensiz bir katılaşma sonucu bir kaynak ergime havuzunda meydana gelmektedir. Deforme olmuş bölgede ise özellikle nikelin varlığı bu bölgede meydana gelen krom-karbür veya martenzit gibi fazların oluşumunu kısmen engellemiştir. Artan sürtünme süresiyle birlikte bu bölgenin genişliği azalma eğilimine girmiştir. Kısmi deformasyona uğramış bölgede ise, karbonlu çelik tarafında yüksek sıcaklıktan sonra meydana gelen hızlı soğutma, eş eksenli iri perlit taneciklerinin oluşumuna sebep olmuştur. YKBDD tarafında ise alaşım elementlerin varlığından dolayı yeniden kristalleşmeye maruz kalan taneler tespit edilmiştir.



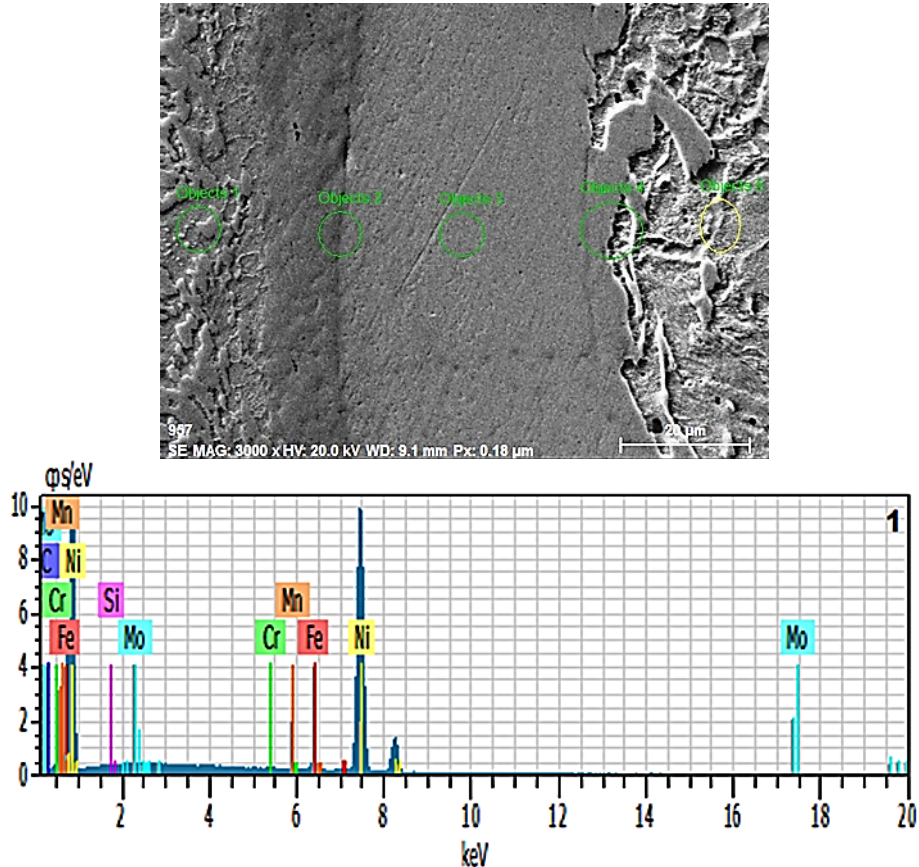
Şekil 2. S3 no'lu kaynaklı bağlantının optik mikroskop görüntüleri.

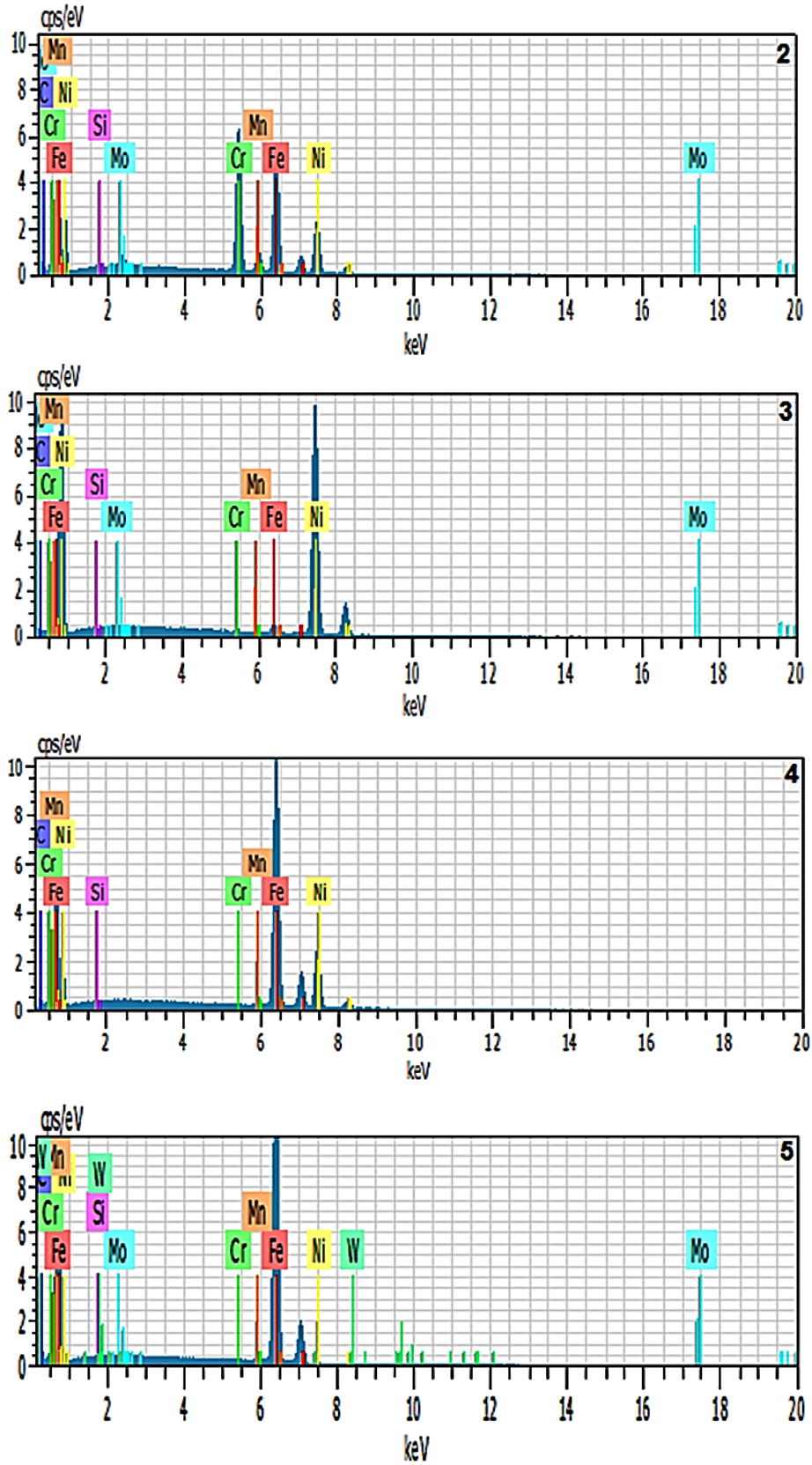


Şekil 3. Sürtünme kaynak sonrası oluşan ITAB'ın şematiği.

3.2. EDS Analiz Sonuçları

S3 no'lu kaynaklı bağlantıya ait EDS sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Sürtünme ısısından kaynaklanan ara yüzlerdeki sıcaklık artışı orta karbonlu çelik ve YKBDD arasındaki malzeme difüzyonunu kolaylaştırmıştır. Fakat esas metale doğru gidildikçe element difüzyonunun azaldığı ve malzemelerin kendi içyapılarında bulunan orijinal elementel yüzdelere yaklaşıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca; orta karbonlu çelik ile YKBDD'nin sürtünme kaynağında ara tabaka olarak kullanılan nikelin, kaynak bölgelerine yakın olan iki tarafa da difüze olduğu tespit edilmiştir. Nikel ara tabaka kısmından alınan EDS sonuçlarında ise beklendiği gibi en yüksek nikel oranı çıkmıştır (S1: %90, S2: %91 ve S3: %91). S3 no'lu kaynaklı bağlantının EDS analizi göstermiştir ki; Cr, C, Mn, Si ve Mo gibi YKBDD tarafında alaşım elementi olarak bulunan atomların orta karbonlu çelik tarafındaki kaynak bölgesine yakın yerlerde rastlanmıştır.

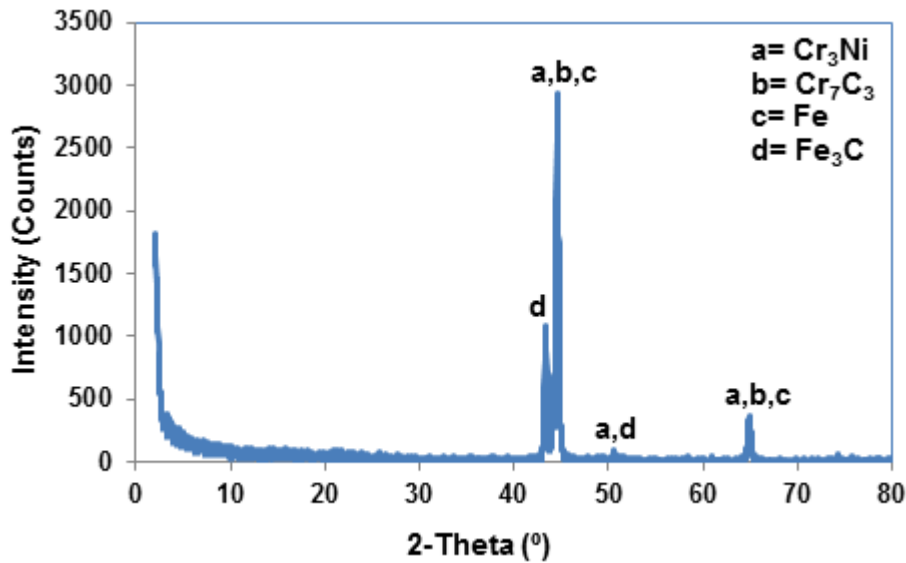




Şekil 4. S3 no'lu kaynaklı bağlantının EDS analiz noktalarını gösteren SEM görüntüsü ve EDS analiz grafikleri.

3.3. XRD Faz Analiz Sonuçları

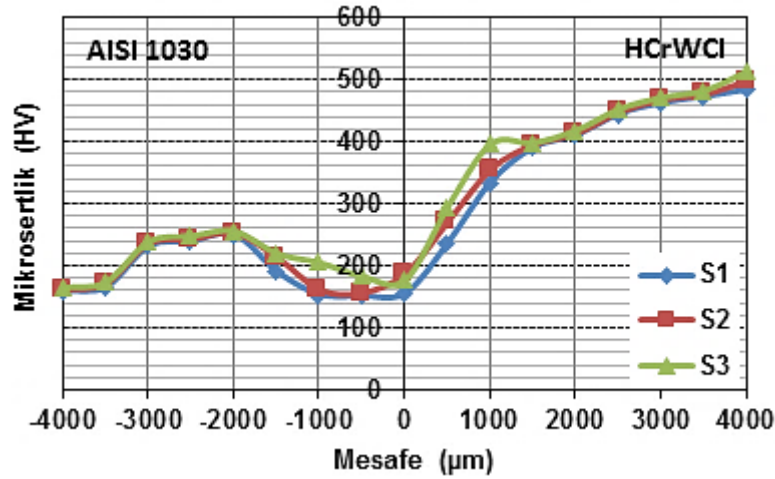
S3 no'lu kaynaklı bağlantının birleşme ara bölgesinde oluşan fazları ve bileşikleri tespit etmek amacı ile yapılan XRD analizinin grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Sürtünme kaynak sonrası S3 no'lu kaynaklı birleştirmede Cr_3Ni_2 , Cr_7C_3 , Fe ve Fe_3C bileşenlerine rastlanmıştır. YKBDD ile orta karbonlu çeliğinin nikel ara tabakalı sürtünme kaynağı esnasında, kaynak bölgesindeki elementler, kaynak bölgesi ve termomekanik etkilenmiş bölge içerisinde bazı faz dönüşümleri gerçekleşmiştir. Bu dönüşümler sonucunda krom ve demirin farklı faz kristalleri açığa çıkmıştır. Ayrıca ara tabaka olarak kullanılan nikel, sürtünme kaynak sırasında meydana gelen sıcaklık artışı neticesinde YKBDD tarafında bulunan krom ile birleşerek Cr_3Ni_2 fazını meydana getirmiştir. Artan sürtünme süresine bağlı olarak, farklı ısı girdisinden kaynaklanan sebeple, fazların şiddetlerinde değişme meydana gelmektedir.



Şekil 5. S3 no'lu kaynaklı bağlantının XRD analiz grafiği.

3.4. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılara ait mikrosertlik-mesafe eğrileri Şekil 6' da verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantıların mikrosertlik eğrileri incelendiğinde, S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılardaki en yüksek mikrosertlik ölçümleri sırasıyla; 483, 498 ve 519 HV olarak YKBDD tarafında kaydedilmiştir. Buna göre; en yüksek sertlik değeri S3 no'lu kaynaklı bağlantıda ölçülmüştür. En yüksek mikrosertlik değerleri kaynak malzemelerinin ITAB'larında meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise ani soğumaya maruz kalan bu bölgeler; krom karbür gibi sert ve kırılğan olan bileşenlerin oluşmasına müsaade etmiştir. Miktar olarak artan bu fazların sertlik artışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu aşikârdır. Kaynak bölgesinde bulunan nikel ara tabakası ise bir astar görevi görerek, kaynak bölgesinde bu fazların oluşmasına izin vermediğinden dolayı, mikrosertlik değerleri bu bölgelerde düşüş eğilimi göstermiştir.



Şekil 6. S1-S3 no'lu kaynaklı bağlantılara ait mikrosertlik-mesafe eğrileri.

4. Sonuçlar

YKBDD ile orta karbonlu çelik çifti farklı üretim parametreleri (sürtünme süresi) ve nikel ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

YKBDD ile yine aynı ölçülere sahip orta karbonlu çelik malzeme çifti sürtünme kaynağı ile nikel ara tabaka kullanarak başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir.

YKBDD tarafında dar bir termomekanik etkilenmiş bölge oluşurken, orta karbonlu çeliğin tarafında ise daha geniş bir termomekanik etkilenmiş bölge gözlenmiştir.

YKBDD ile orta karbonlu çelik kaynak malzemeleri arasında kalan nikel tabakası, bir battaniye gibi iki malzeme arasındaki bağlantısız bölgeleri ve gözenekleri doldurarak, iyi bir metalurjik bağın oluşmasına yardımcı olmuştur.

Kaynaklı bağlantıların EDS analizleri incelendiğinde; YKBDD tarafından orta karbonlu çeliğine doğru Cr, C, M, Si, Mn ve W elementlerinin geçişi, mekanik karışıma bağlı plastik deformasyon ve difüzyonla gerçekleşmiştir.

XRD analiz sonuçlarına göre; nikel ara tabakalı sürtünme kaynağı ile birleştirilen birleştirmelerde Cr_3Ni_2 , Cr_7C_3 , Fe, Fe_3C gibi fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılardaki en yüksek mikrosertlik ölçümleri sırasıyla; 483, 498 ve 519 HV olarak kaydedilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFYL/2016-0002 no'lu proje kapsamında desteklenmiş olup katkılarından dolayı ADYUBAP'a teşekkürlerimizi borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Sapate SG, RamaRao AV. Erosive wear behaviour of weld hard facing high chromium cast irons: effect of erodent particle. *Wear* 1999; 39: 441–447.
- [2] Teker T. Evaluation of the metallurgical and mechanical properties of friction-welded joints of dissimilar metal combinations AISI 2205/Cu. *Journal of Advanced and Manufacturing Technology* 2013; 66: 303–310.

- [3] Bedolla JA, Correa R, Quezada JG, Maldonado C. Effect of titanium on the as cast microstructure of a 16% chromium white iron. *Material Science and Engineering* 2005; 452: 297–308.
- [4] Sare Ç, Ersözlü İ. Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels. *Materials and Design* 2008; 30: 970–976.
- [5] Paventhan R, Lakshminarayanan PR, Balasubramanian V. Fatigue behaviour of friction welded medium carbon steel and austenitic stainless steel dissimilar joints. *Materials and Design*, 2011; 32: 1888–1894.
- [6] Sawai T, Ogawa K, Yamaguchi H, Ochi H, Yamamoto Y, Suga Y. Evaluation of joint strength of friction welded carbon steel by heat input. *Welding International* 2002; 16: 432–441.
- [7] Arivazhagan N, Senthilkumaran K, Narayanan S, Devendranath RK, Surendra S, Prakash S. Hot corrosion behavior of friction welded AISI4140 and AISI304 in K₂SO₄-60% NaCl mixture. *Journal of Material Science Technology* 2012; 28: 895–904.
- [8] Teker T, Yilmaz SO, Karakurt EM. Effect of different rotational speed on mechanical and metallurgical characterization of friction welded dissimilar steels. *Materials Testing* 2018; 60: 135–141.
- [9] Damodaram R, Raman SGS, Rao PK. Microstructure and mechanical properties of friction welded alloy 718. *Materials Science and Engineering* 2013; 560: 781–786.
- [10] Muralimohan CH, Muthupandi V, Sivaprasad K. Properties of friction welding titanium stainless steel joints with a nickel interlayer. *Procedia Materials Science* 2014; 5: 1120–1129.
- [11] Kumar R, Alasubramanian M. Experimental investigation of Ti6Al4V titanium alloy and 304L stainless steel friction welded with copper interlayer. *Defence Technology* 2015; 11: 65–75.
- [12] Madhusudhan RG. Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2012; 212: 66-77.
- [13] Meshram SD, Reddy GM. Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer. *Defence Technology* 2015; 11: 292–298.
- [14] Reddy GM, Ramana PV. Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2012; 212: 66–77.