



**Makale
(Article)**

Sürtünme Kaynaklı Bakır ve AISI 1040 Çeli inin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin ncelenmesi

Sare ÇEL K¹

¹Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Bölümü, 10145, Balıkesir, TÜRK YE
scelik@balikesir.edu.tr

Geli Tarihi: 27.12.2012

Kabul Tarihi:03.03.2013

Özet

Uygulamada farklı metal ve ala ımlarının kayna ına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak farklı metallerin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeniyle ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birle tirilmesi hemen hemen imkânsızdır. Bu ihtiyacı gidermek için yapılan çalı malar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi geli tirilmi ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalı mada, elektrolitik bakır ve AISI 1040 karbonlu çelik çifti sürtünme kayna ı ile birle tirilmi tir. Kaynaklı parçaların çekme ve sertlik deneyleri yapılmı , içyapıları optik mikroskopla incelenerek, kaynak parametreleri ile içyapı arasındaki ili kiler yorumlanmı tır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Kayna ı, Bakır, AISI 1040 çeli i, Mekanik özellikler, Mikroyapı

Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welding of Copper and AISI 1040 Steel

Abstract

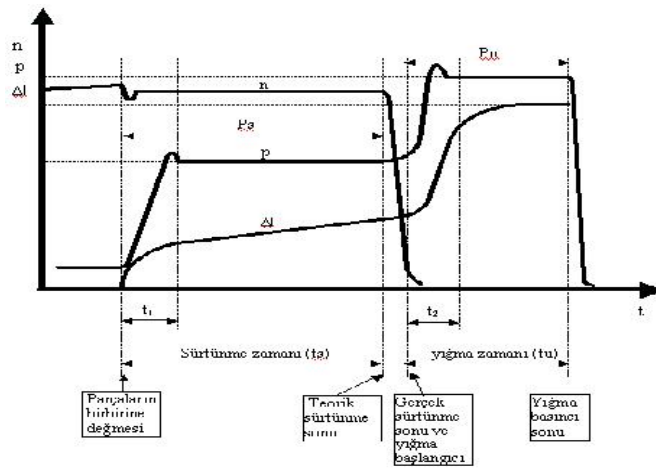
In application, welding of different metals and alloys are needed. However, the physical properties and chemical composition of different metals using a combination of methods is almost impossible because of the melting welding. As a result of efforts to overcome these needs was developed and is now widely used as friction welding method. In this study, joining of copper and AISI 1040 carbon steel is achieved. Tensile and hardness experiment, macro and micro structural research of materials joined with this process is completed; joint strength is tested and proper welding parameters are obtained.

Key words: Friction welding, Copper, AISI 1040 carbon steel, Mechanical properties, Microstructure

1. G R :

Sürtünme kayna ı elektriksel enerji veya di er enerji kaynaklarından yararlanmaksızın, çalı ma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak olu turulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönü türülmesiyle elde edilen ısıdan faydalanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekni idir [1,2]. Parçaların temas yüzeyleri arasında genellikle bir parçanın döndürülmesiyle rölatif bir hareket meydana gelir. Aynı zamanda etkili olan basınç yerel sıcaklık yükselmeleri olu turur. Bu olaylar, ısı iletimiyle çok kısa sürede tüm temas yüzeylerinde bir sıcaklık dengelenmesi meydana gelecek ekilde tekrar eder [3,4]. Rölatif hareketin durdurulmasından sonra genellikle basınç yükseltilir. Plastik hale gelen malzeme bir flan halkası olu turacak ekilde bastırılır. Bu arada birle tirilen parçalar aksenal yönde kısalır. Böylece ilave malzeme kullanmaksızın, genellikle ısının tesiri altındaki bölgesi (ITAB) çok dar olan bir kaynak ba lantısı elde edilmi olur [5,6].

Sürtünme kayna ı ile ilgili yapılan çalı malar yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yı ma basıncı ve yı ma süresi oldu unu göstermi tir. Bunun yanında dikkat edilmesi gereken parça geometrisi, malzemenin ekil de i tirme kabiliyeti, malzemenin ısıl kapasitesi, parça boyutunda meydana gelen kısalma gibi parametrelerde vardır [3, 7, 8].



P_s = Sürtünme basıncı

t_1 = Sürtünme basıncı olu um zamanı

n = Sürtünme devir sayısı

P_u = Y_1 ma basıncı

t_2 = Y_1 ma basıncı olu um zamanı

Δl = Boy kısalması

ekil 1.Sürtünme Kayna ı Parametreleri

Bu konudaki ilk çalı malar oldukça eskilere dayanmaktadır. Dönel sürtünme kayna ı çalı maları 1940 yıllarında yapılmaya ba lanmı tır [8]. Son yıllarda aynı ya da farklı malzemelerin sürtünme kayna ı kolay otomasyonu yapılabildi i ve farklı malzemelerin kayna ı mümkün oldu u için özellikle farklı çeliklerle ile geni çalı malar yapılmı tır [9-13].

Bakır yumu ak, sa lam ve çekmeye elveri li bir metaldir. Isıl i lem uygulanmaz, so uk biçimlendirme sonucu sertle me özelli ine sahiptir. Bakırın ısıl iletkenli i farklı çelik tiplerinde en az on kat daha fazladır. Ekonomiklik, uygun mekanik ve fiziksel özellikleri nedeni ile karbonlu çelik ya da paslanmaz çelik ve bakırın geni kullanım alanları vardır. Özellikle bakır ve demir esaslı malzeme çiftleri so utma sistemlerinde istenmeyen ısınmalarından kaçınmak için boru ba lantılarında ve elektrik de arj makinelerinde elektrod olarak kullanılmaktadır [14]. Ergitme kaynak yöntemleri ile

bakır ve ala ımları, aynı ekilde dü ük ve orta karbonlu çelikler kolaylıkla kaynak edilebilmelerine ra men birlikte kaynak edilebilirli i çok zordur. Farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden dolayı kaynak esnasında intermetalik fazlar ve kaynak hataları olu tu undan iyi bir kaynak kalitesi elde edilemez. Difüzyon kayna ı [15, 16] ve sürtünme kayna ı [17] gibi katı hal kaynak yöntemleri kullanılarak bakır ve çelikle çelik çiftlerinin birleştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Kurt ve arkadaşları, AISI 1010 ile ASTM B22 pirinç malzeme çiftinin sürtünme kaynaımının mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır [18].

Bu çalışmada da, ergitme kaynak yöntemleri ile zor olan saf bakır ve AISI 1040 çelikinin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kayna ı gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin, çekme deneyi, mikrosertlik deneyi, makro ve mikro yapı incelemesi yapılarak kaynaklı parçaların bağlantı dayanımları tespit edilmiş ve uygun kaynak parametreleri belirlenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM:

Kaynak işleminde kullanılan bakırın ve AISI 11040 çelikinin kimyasal analizleri ve mekanik testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir. Numuneler 10 mm çapında, 80 mm boyunda i lenerek hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, bilgisayar kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi kullanılmıştır.

Tablo 1. Ana Malzemeleerin Kimyasal Bileşimi (% A ırlık)

AISI 1040	% C	% Mn	%P	%S	% Fe
	0.39	0.72	0.016	0.035	98.51
Bakır	% Cu	%Fe	% Zn		
	99,87	0.13	0,06		

Tablo 2. Ana Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Sertlik (HV30)
AISI 1040	915,10	230
Bakır	218.50	107.44

Literatür çalışmasından elde edilen sürtünme kayna ı parametreleri [14, 18] ve ön çalışma sonuçları dikkate alınarak bakır ile AISI 1040 çelikinin sürtünme kayna ıyla birleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynaklanması esnasında ayna devri 3000 dev/dak ‘ da ve sürtünme basıncından yavaş yavaş basıncına geçiş işlemindeki frenleme süresi 2 saniyede sabit kalmıştır. Diğer parametreler Tablo 3’de belirtilmiştir gibi seçilmiştir.

Kaynaklı numunelerin çekme testleri TS 287 EN 895 ölçülerine göre hazırlanmış ve “Instron Corporation” marka çekme cihazında 2 mm/dak hızında yapılmıştır.

Sertlik ölçümü için kaynaklı numuneler, ısınmasına izin verilmeyerek ekilde freze ile kesilmiş, zımparalama ve parlatma işleminden sonra numune yüzeyleri metil alkol ile temizlenmiştir. Mikrosertlik testinde 30 gr’ lık yük 20 saniye süre ile uygulanmış ve HV (Vickers) sertlik ölçümü yapılmıştır.

Mikro yapı incelemesi için numuneler yarıçapa kadar yatay olarak freze ile i lendikten sonra bakalıte alınarak zımparalama ve parlatma yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin bakır ve çelik tarafı farklı

çözeltilerle da lanmı tır. Bakır tarafı için 20ml HNO₂ + 10ml H₂SO₄ +20ml H₂O karı ımlı çözeltili kullanılmı tır. Bakır tarafı da landıktan sonra çelik kısmında meydana gelen yanma alkol ile temizlenmi ve %4'lük Nitrik Asit (HNO₃) ile çelik kısmı da lanmı tır.

Tablo 3. Cu-AISI 1040 Çeli i Sürtünme Kaynak Parametreleri

Deney No	Sürtünme Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (s)	Y1 ma Basıncı (MPa)	Y1 ma Süresi (s)
1	65	2	160	4
2	65	2	120	2
3	120	1	160	4
4	120	1,5	160	4
5	160	1	160	4
6	80	1,5	80	2
7	80	1,5	160	4
8	120	1	160	2

3. SONUÇ VE TARTI MA

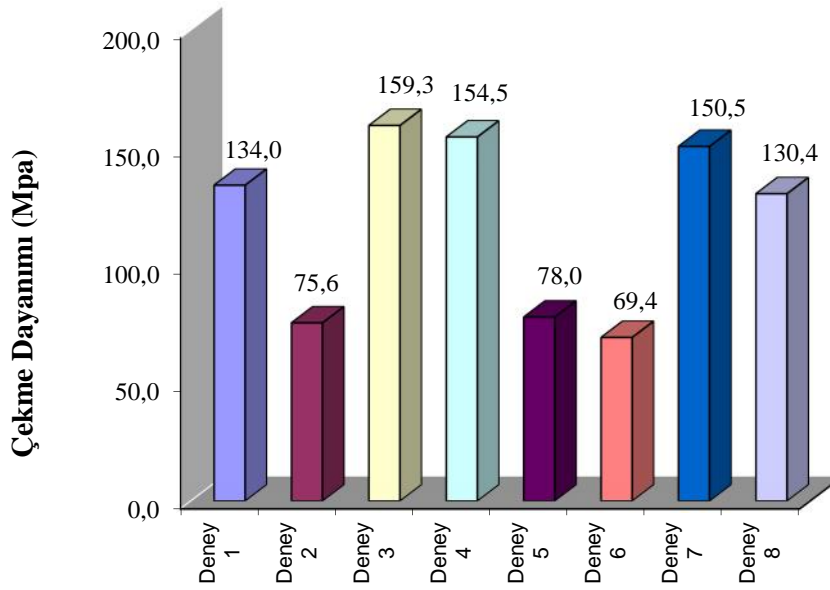
Belirlenen kaynak parametreleri ile bakır ve AISI 1040 çeli i sürtünme kaynak yöntemi ile ba arıyla kaynaklanmı tır. ekil 2' de görüldü ü gibi kaynaklı numunelerde bakır tarafında ısıl iletkenli inin yüksek olması hızlı bir sıcaklık artı ı ile flan olu umuna sebep olurken çelik tarafında yeterli sıcaklık sa lanamadı ından dolayı flan olu mamı tır. Özellikle sürtünme süresi çok kısa seçilmı tır. Uzun sürtünme sürelerinde, bakırın iletkenli inin yüksek olması sebebiyle çabuk ısınmı ve malzemede deformasyonlar gözlenmi , iki malzeme arasında kaynaklanma yerine çelik malzeme bakır malzeme içine gömülmü tür. Çekme testi için hazırlanan numunelerin resmi ekil 3'de, kaynaklı numunelere yapılan çekme testi sonuçları grafik olarak ekil 4'de görülmektedir.



ekil 2. Sürtünme kayna ı ile kaynaklanmı bakır-AISI 1040 çeli inin görüntüsü



ekil 3. Kaynaklı parçaların çekme numuneleri



ekil 4. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımları grafi i

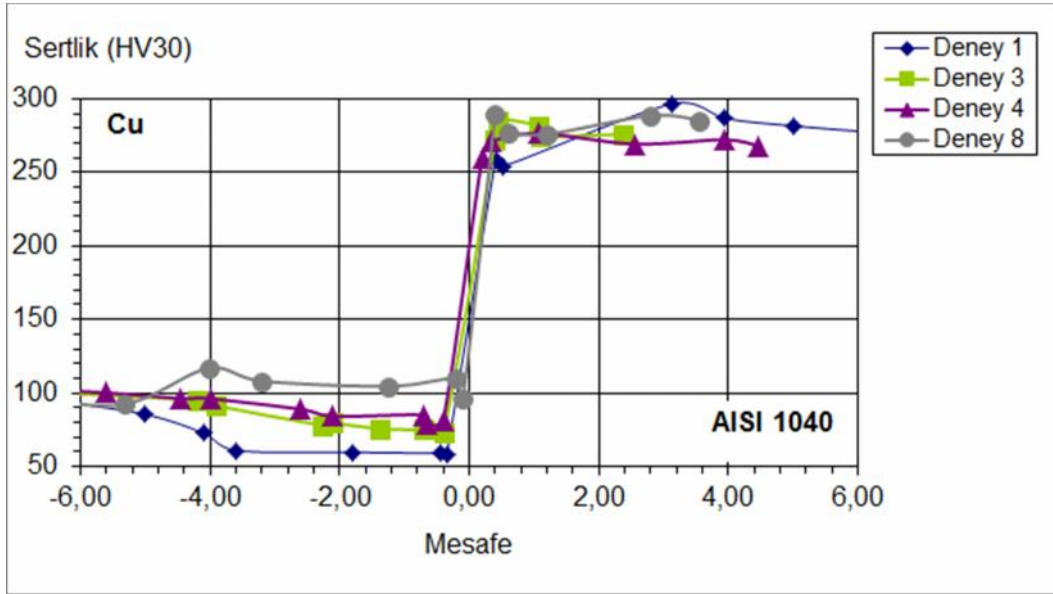
Kopma yüzeylerinin makro incelemesinden numunelerin ço unda kopmanın gevrek oldu u, kopmanın genellikle bakır tarafında ısı etkisi altında kalan alandan gerçekleşti i görülmü tür. Çekme dayanımı dü ük olan 2, 5 ve 6 numaralı numunelerde ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmi ve kopma kesitlerinde oksitlenme oldu u tüm yüzeyde birle menin gerçekleşmedi i görülmü tür.

Kaynaklı numunelere uygulanan çekme deneyleri sonunda çekme dayanımları incelendi inde sürtünme basıncının fazla artırılması (160 MPa) ve yeterli yı ma basıncının olmaması (80 MPa) kaynak dayanımını olumsuz yönde etkilemi tir. Yı ma süresinin 2 s alınması ise difüzyonun gerçekleşmesi için bakırın hızlı so umasına ra men kaynak bölgesindeki difüzyon ve mekanik ba lantı için yeterli gelmemi tir. Sürtünme süresinin artması ise bakırın fazla ısınmasından dolayı çok fazla deformasyona neden olmu kaynaklanma yerine çelik malzemenin bakırın içine gömülmesine neden olmu tur. En yüksek çekme dayanımı 159,30 MPa ile 3 numaralı deney numunesinde görülmü tür. Ana malzemenin çekme gerilmesi de erine göre bakıldı ında % 73' lük bir kaynak performansı elde edilmi tir. Deney 3 'ün kaynak parametreleri; 3000 dev/dk dönme hızında, 120 MPa sürtünme basıncı, 1 s sürtünme süresi, 160 MPa yı ma basıncı ve 4 s yı ma süresi optimum kaynak parametreleri olmu tur.

Kesit olarak bakalite alınarak zımparalama ve parlatma i leminden sonra (ekil 5) 1, 3, 4 ve 8 nolu numunelere sertlik ölçümü yapılmı tir. Sertlik ölçüm sonuçları grafik olarak ekil 6' da verilmi tir.



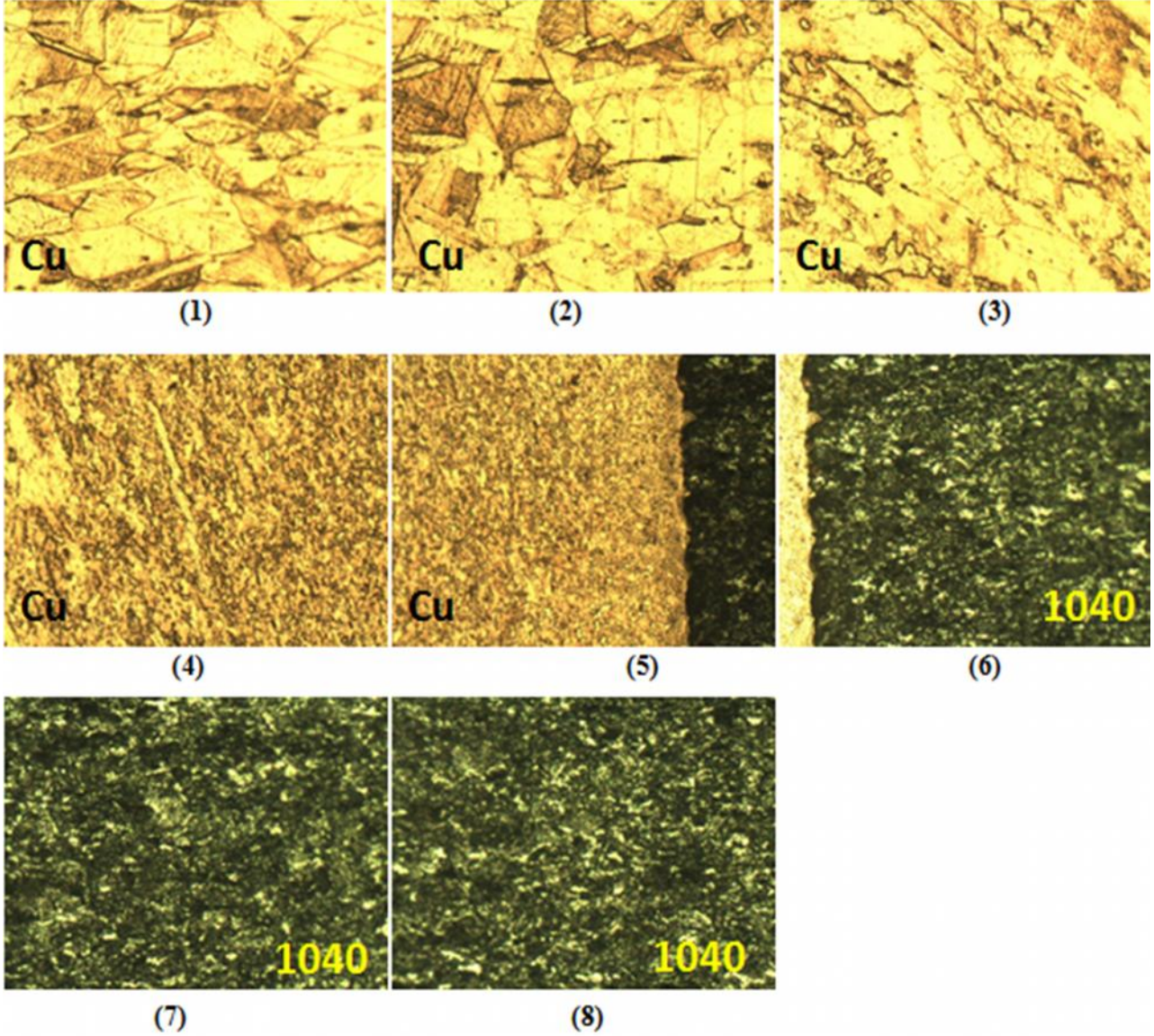
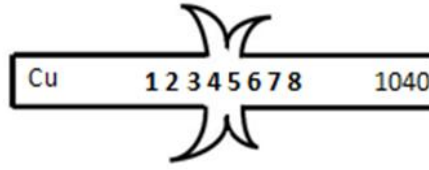
ekil 5. Sertlik ölçümü ve mikro yapı incelemesi için bakalite alınımı kaynaklı numuneler



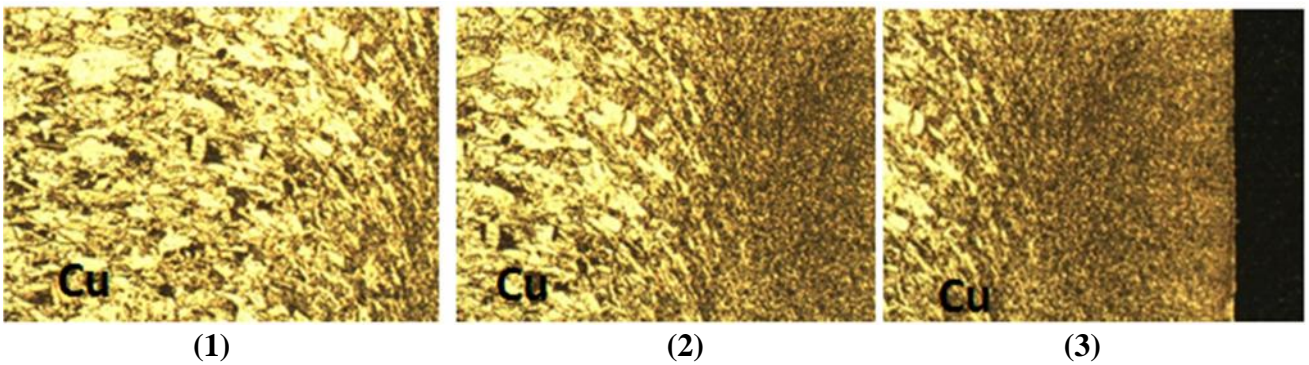
ekil 6. Kaynaklı numunelerin sertlik de i imi

Mikrosertlik grafiklerine bakıldı nda, büyük ölçüde sertlik de i iminin olmadığı ancak, kaynak bölgesinde hem çelik hem de bakır tarafında bir miktar sertlik de erlerinde azalma olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesindeki bu sertlik düşümlerinin malzemelerin tavlama sıcaklığına ula tı ndan dolayı olduğu düşünülmü tür. Çünkü tavlama ile malzemelerin sünekliği artarken, sertlik ve mukavemetinde düşme olmaktadır. Kaynak bölgesindeki sertlik düşümlerinin sürtünme basıncının azalması ve sürtünme süresinin artmasıyla (deney 1) daha da arttığı görülmektedir. Genel olarak, sertlik profilindeki bu de i melere kaynak parametrelerine ba lı olarak ısı girdisinin de i iminin sebep olduğu söylenebilir.

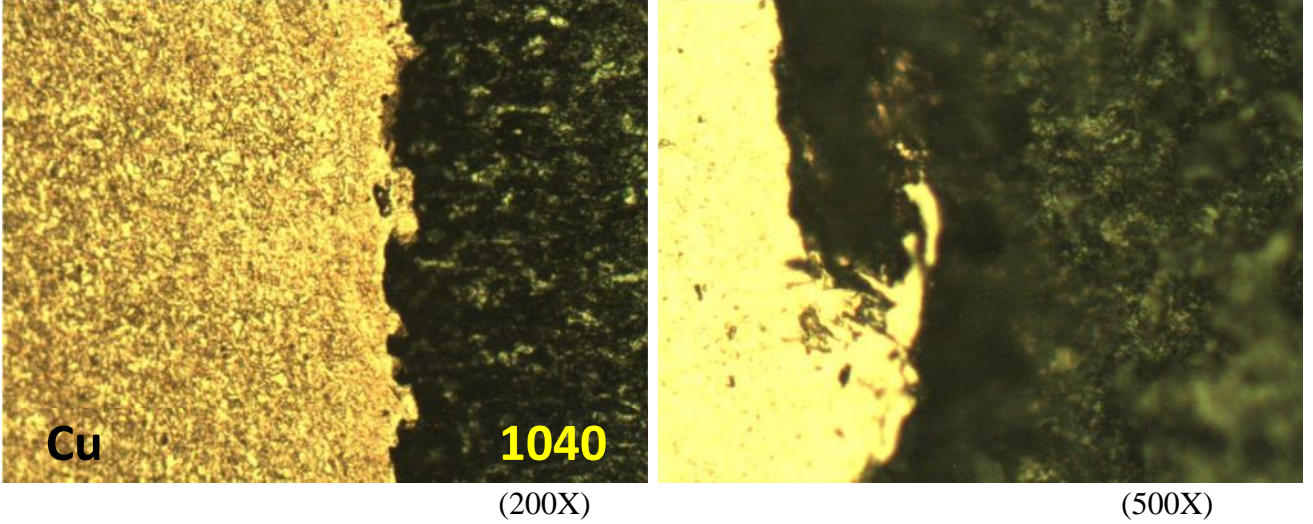
Kaynaklı numunelerin d lama sonrasında mikro yapıları incelendi inde ısıdan etkilenmi bölgelerde basıncın etkisiyle tane küçülmesi meydana geldi i gözlemlenmiştir. Ana malzemeye do ru tane boyutunun artması ve belli bir mesafeden sonra ana malzemelerin mikro yapılarına ula ıldığı gözlemlenmiştir. Tane boyutlarındaki de i im 3 no'lu deney numunesinin 200X resimlerinde ekil 7'de görülmektedir.



ekil 7. 3 Nolu kaynaklı numunenin mikro yapı de iimleri (200X)



ekil 8. Kaynaklı parçanın bakır tarafındaki tane yönlenmeleri (50X)



ekil 9. Cu-AISI 1040 çeli i kaynak bölgesi malzeme geçi leri

Mikro yapı incelendi inde numunelerin bakır kısmında tane yapısındaki küçülmeler ve yönelmeler gözlemlenmiştir. Sürtünme ve yı ma süresinin dü ük olmasından dolayı AISI 1040 çeli i deformasyona ve tane yapısında de i ikli e sebep olacak sıcaklı a yükselmedi i mikro yapı incelemelerinden de açıkça görülmektedir.

4. SONUÇ:

Bakır ve AISI 1040 çeliklerinin farklı deney parametrelerde sürtünme kayna ı ile birleştirilmi mekanik özellikleri ve mikro yapıları araştırılmıştır. Kullanılan bütün parametrelerde başarılı birleştirilmeler elde edilmiştir.

Kaynaklanma sonucunda, bakır malzemede ısı iletkenli inin ve ekil verilebilirli inin yüksek olması nedeniyle flan olumu gözlenmiştir. AISI 1040 çeli inde ise sürtünme süresinin kısa olmasından dolayı deformasyona sebep olabilecek sıcaklı a ula ılamamıştır. Kaynaklı numunelere yapılan çekme deneyleri sonucunda 3 numaralı deney numunesinin ($P_s=120$ MPa, $P_u=160$ MPa, $t_s=1$ s, $t_u=4$ s) en yüksek çekme mukavemetine (159,30 MPa) sahip olduğu görülmüştür. Sürtünme ve yı ma basıncının, sürtünme ve yı ma süresinin kaynak i leminin sağlıklı olabilmesi için önemli olduğu görülmüştür. Sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin yüksek deformasyona neden olmayacak ancak difüzyona izin verecek şekilde, özellikle bakır malzemenin yüksek ısı iletkenli inden dolayı, ısı girdisinin optimum de erde olması gerekmektedir.

Sertlik ekillerinden görüldü ü gibi; merkezde ana malzemelere doğru gidildikçe sertlik hafifçe artmış ve ana malzemelerin sertli ine ulaşmıştır. Kaynak bölgesinde malzemelerin sertliklerinde azalmanın sebebi, kaynak i lemi süresince tavlama sıcaklı na ulaşmasıyla açıklanabilir. Çünkü tavlama ile malzemelerin sünekli i artarken, sertlik ve mukavemetinde dü me olmaktadır. Mikro yapı incelemelerinden, bakır malzemede sıcaklık ve basıncın etkisiyle tane küçülmesi meydana gelmiş ve malzeme akı ı ve ısı kaçı yönünde tane yönelmesi meydana gelmiştir.

Bu çalışmada, çekme ve sertlik deneyleri, mikro yapı incelemeleri sonucunda 3 numaralı deney numunesinin ($P_s=120$ MPa, $P_y=160$ MPa, $t_s=1$ s, $t_y=4$ s) en iyi kaynak olduğu dü ünülmüştür. Bakır ve AISI 1040 malzemelerinin birlikte kullanılması gereken yerlerde birleştirme yöntemi olarak sürtünme kayna ının kullanılması; ergime sıcaklı ının altında çalış ılarak kayna ın çok kısa sürede

gerçekle tirilmesini sa lamı , di er kaynak yöntemleri ile birle tirilmesi zor olan bu malzeme çiftlerinin sürtünme kaynak yöntemi ile birle tirilmesinin mümkün oldu unu göstermi tir.

5. KAYNAKÇA

1. Meshram S.D., Mohandas T., Madhusudhan Reddy G., “Friction welding of dissimilar pure metals”, **J Materials Processing Technology**, 184:330-7, 2008.
2. Welding handbook, **Welding Processes**, Volume 2, Eighth edition, Copyright by the American Welding Society Inc., Miamis 739-761, 1997.
3. Chalmers R.E., “The Friction Welding Advantage”, **Manufacturing Engineering**, 126:64-5, 2001.
4. Spindler D.E., “What Industry Needs to Know Friction Welding”, **Welding Journal**, 37-42, 1994.
5. Boyer, H.E., Gall, T.L., “Joining, Metals Handbook”, Desk Edition, Metals Park, Ohio 44073, pp 30.58, 1988.
6. Jenning, P., “Some Properties of Dissimilar Metal Joints Made by Friction Welding”, The Welding Institute, Abington Hall Cambridge, pp 147-153, 1971.
7. Sathiya P., Aravindan S., Noorul Haq A., “Some experimental investigations on friction welded stainless steel joints”, **Materials and Design**, 29:1099-109, 2007.
8. Uday, M.B., Ahmad Fauzi, M.N., Zuhailawati H., Ismail, A.B., “Advances in friction welding process: a review”, **Science and Technology of Welding and Joining**, vol 15, no 7, 534-558, 2010.
9. Fauzi M.N.A., Uday M.B., Zuhailawati H., Ismail A.B., “Microstructure and Mechanical Properties of Alumina-6061 Aluminum Alloy Joined by Friction Welding”, **Materials and Design**, 31:670–67, 2010.
10. Arivazhagan N., Singh S., Prakash S., Reddyb G.M., “Investigation on AISI 304 austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding” **Materials and Design**, 32:3036–50, 2011.
11. Domblesky, J., Kraft, F.F., “Metallographic evaluation of welded forging preforms”, **Journal of Materials Processing Technology**, 191, 82–86, 2007.
12. Celik S, Ersözlü I., “Investigation of the Mechanical Properties and Microstructure of Friction Welded Joints Between AISI 4140 and AISI 1050 Steels”, **Materials and Design**, 30:970–6, 2009.
13. Celik S., Dinc D., Yaman R., Ay I., “An Investigation on Weldability of AISI 304 and AISI 1040 Steels on Friction Welding”, **Practical Metallography**, 47:4, 2010.
14. Ochi, H., Kawai, G., Yamamoto, Y., Suga, Y., “Tensile Strength of Friction-Welded Joints of Copper Alloys to Steels”, **Proceedings of the eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada, July 6-11, 2008**

15. Kara, R., Virdil, H., Çolak, F., Ta getiren, S., “Difüzyon Kayna ı le Birle tirilen Fe- Cu Çiftinin Mekanik Özelliklerinin ncelenmesi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006 (4) 45-52
16. Kurt, A., Uygur, I., and Mutlu, E., “The Effect of Allotropic Transformation Temperature in Diffusion-Welded Low Carbon Steel and Copper”, Metallofiz., Noveishie Tekhnol. 28(1): 2006, 39–52.
17. Imani, Y., Besharati, M. K., Abdi, R., “Friction Stir Welding between Copper and 304L Stainless Steel”, Conference for Materials Science and Technology 2009, Joining of Advanced and Specialty Materials 2009 (JASM XI)
18. Kurt, A., Uygur, I., Paylasan, U., “Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar AISI 1010-ASTM B22 Joints”, Welding Journal, Vol. 90, pp 102s-106s, May 2011