



ALÜMİNYUM VE BAKIR ÇUBUKLARIN SÜRTÜNME KAYNAĞI

A. Naci OTMANBÖLÜK

*Dokuz Eylül Üniversitesi Buca
Meslek Yüksekokulu Makina Böl.
İzmir-Türkiye*

İrfan AY

*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-
Mimarlık Fak. Makina Muh. Böl.
10100, Balıkesir-Türkiye*

İbrahim ÇELİK

*Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Makina Müh. Böl.
10100, Balıkesir-Türkiye*

ÖZET

Sürtünme kaynağı, malzeme katı halde iken, kısa sürede sürtünme basıncı ile yapılabilen bir kaynak yöntemidir. Farklı iki malzeme çubuğu olan alüminyum ve bakır bu yöntemle birleştirilmişlerdir. Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirme, sürekli tahrikli sürtünme kaynak tezgahında yapılmıştır. Kaynaklanan alüminyum-bakır çubuk, çekme testine tabii tutulmuştur. Çekme testi sonucunda kaynaklanmış parçanın kopma bölgesi, birleşme yerinin alüminyum

tarafında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen kopma dayanımı, saf alüminyum malzemenin kopma dayanımına eşit bulunmuştur. Kaynak esnasında oluşan intermetalik fazlar, birleşme bölgesindeki sertliği arttırmıştır. Yığına basıncı, sırasındaki sıcaklık ve yüksek deformasyon, bu fazları alüminyum tarafına ittiğinden, birleşme bölgesinin alüminyum tarafındaki sertliğin arttığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Alüminyum, bakır, sürtünme kaynağı

FRICION WELDING OF ALUMINIUM AND COPPER BARS

ABSTRACT

Friction welding is a welding method which can be done by friction pressure while materials are in a solid - state and in a short time. Copper and aluminium material couples being two dissimilar materials are joined by this welding method. The joint process done by friction welding method is carried out in conventional friction welding machine. The tension test has been used for the welded aluminium and copper bars. In results of tension test, fracture zone of welded part has been

determined in aluminium side of joined place. The tensile strength of a friction welded joint is about the same as that of pure aluminium specimens. The intermetallic phases occurred during the welding process have the hardness in the joined place increased. The hardness at the side of the aluminium in the joined place has increased because of the temperature and high deformation occurred during the forging pressure push the these phases to the side of aluminium.

KEY WORDS : Aluminium, copper, friction welding

GİRİŞ

Sürtünme kaynağı tanımı DIN 16930 standardında plastik malzemeler için şu şekilde verilmiştir ; *Genellikle yuvarlak malzemelerin temas eden alın yüzeylerini sürtünme enerjisinin ısıya dönüşen kısmı ile gerekli kaynak yapma sıcaklığına kadar ısıtarak, herhangi bir ilave malzeme kullanmadan, basınç etkisi ile birleştirme işlemine "sürtünme kaynağı" denir* (Gürleyik, 1982). Bu tanım bugün için biraz eksik sayılır. Çünkü dönele kesitli olmayan parçaların da ilave malzemeler kullanılarak birleştirilebilir olması, yüzey kaplama kaynağı yapılabilmesi, bu kaynak yönteminde yeni gelişmelerdir.

Sürtünme kaynağı yöntemi, ülkemizde henüz pek alışılmamış bir kaynak yöntemi olmamakla beraber, yapılarındaki kolaylık, kaynak yüzeylerinde tam bir birleşme sağlaması ve enerji yönünden daha tasarruflu olması gibi avantajları vardır. Bundan dolayı kullanımı gittikçe artan ve tercih edilen bir birleştirme yöntemidir. Bilinen kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi zor olan veya hiç mümkün olmayan titan-çelik, çelik-zirkonyum, zirkonyum-zirkonyum gibi malzeme çiftlerinin kaynaklanması, bu yöntemle kolaylıkla yapılabilmektedir (Gürleyik, 1982), (Gürleyik, 1988a). Birleşecek parçalardan en az birisinin dönele ve simetri olma ön koşulu, bu yöntem için bir dezavantajdır.

Matkap ve freze gibi işleme takımlarının sapları, hidrolik silindir kolları, konveyör milleri, karıştırıcı çubukları, otomobil endüstrisindeki supaplar, bendiks dişlileri, turboşarj pervane milleri gibi parçalar, bavyerlik ve uzay endüstrisindeki yama odalarının, türbinlerin ve boruların bağlantı parçaları sürtünme kaynağı yönteminin uygulandığı alanlardır (Ank, 1993).

Bilindiği gibi alüminyum ve bakır çubuklar soğuk hava depolarında, gaz dolum tesislerinde, havacılık ve uçak sanayinde, ısı iletiminin önemli olduğu yerlerde boru bağlantısı şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik, 1997). Alüminyum ve bakır malzeme çifti, erime kaynağı ile ancak çok özel şartlarda ve koruyucu ortama ihtiyaç duyularak birleştirilebilir. Bu çalışma, sürtünme kaynak yöntemi kullanılarak, dolu kesitli alüminyum-bakır malzeme çiftinin, herhangi bir koruyucu ortama ihtiyaç duymadan, kaynaklanma kabiliyetini, birleşme bölgesinin mekanik ve iç yapı özelliklerini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

1. SÜRTÜNME KAYNAĞI VE PROSESLERİ

Sürtünme kaynağı yönteminde, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesinden yararlanılır. İki malzemenin sürtünmesi esnasında açığa çıkan ısı, sürtünen yüzeylerin kısa zamanda ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklara erişmesini sağlar. Sürtünen yüzeylerde lokal olarak birbirine değen ve sürtünen tepelikler, aniden kaynaklanır ve ardından koparlar. Sürtünme devam ettikçe, çok kısa zaman içinde yüksek sıcaklıklara erişilir. Sonunda uygulanan yığıma kuvveti altında parçalar kaynaklanır (Kahraman, 1995).

Sürtünme kaynağı yönteminde kullanılan parametreler ;

Devir sayısı	: n	(dev/dak)
Basınç	: P	(N/mm ²)
Sıcaklık	: T	(°C)
Dönme momenti	: M _d	(Nm)
Boy kısalması	: ΔL	(mm)
Kaynak süresi	: t	(saniye)

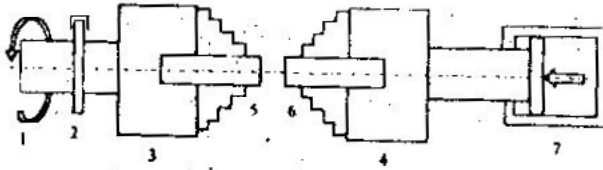
şeklinde sıralanır. Bu parametrelerin her biri bağımsız görünmekle beraber, dolaylı olarak birbirlerine bağlıdır. Sürtünme yüzeyindeki sıcaklık, oluşan mekanik enerjiye bağlıdır. Bu enerji de basınç ve devir sayısı ile ilgilidir. Sıcaklıkla sürtünen bölgede malzeme yumuşaması olacağından döndürme momenti azalacak ve basınç uygulandığında yumuşak malzeme dışa taşacaktır. Dolayısıyla boy kısalması (ΔL) daha da artacaktır. Bu parametrelerin birbirine bu şekilde bağlı olması, hepsinin ölçülmesini gerektirmez. Örneğin bir imalat işleminde devir sayısı, basınç ve boy kısalması gibi üç parametrenin ölçülmesi yeterli olacaktır (Otmanbölük, 1997).

Sürtünme kaynağı ile parçaları birleştirmenin temel iki yöntemi vardır (Tülbentçi, Yılmaz, 1989).

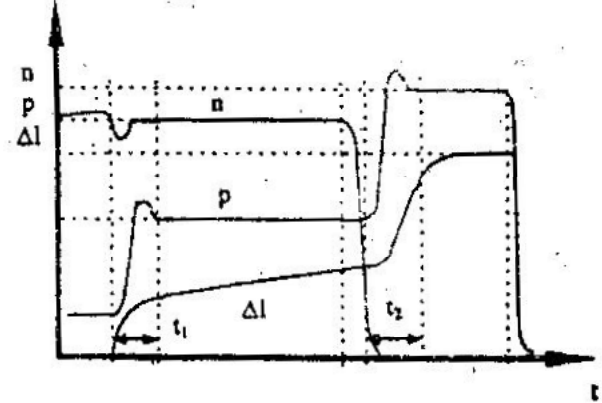
1. Sürekli tahrikli (klasik) sürtünme kaynağı
2. Volan tahrikli sürtünme kaynağı

1.1. Sürekli tahrikli (klasik) sürtünme kaynağı yöntemi

Bu yöntemde parçalardan biri döndürülür, diğeri sabitlenmiş olarak aksel yönde, dönen parçaya do bastırılır. Aradaki sürtünme ile mekanik enerji ısı enerjisine çevrilir. Belli bir süre sonra dönme ani durdurulur ve basınç artırılır. Kaynaklanmış parçalar soğumaya bırakılır (Bkz. Şekil 1).



1. Tahrik motoru
2. Fren
3. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
4. Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
5. Dönen iş parçası
6. Sabit iş parçası
7. Yığıma silindiri



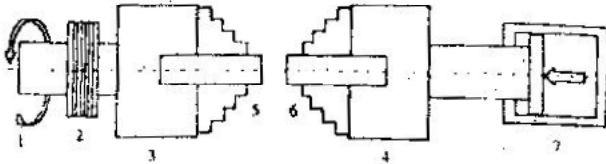
(a) (b)

Şekil 1. Sürekli tahrikli (klasik) sürtünme kaynağının ;
a) Şematik resmi b) Parametreleri

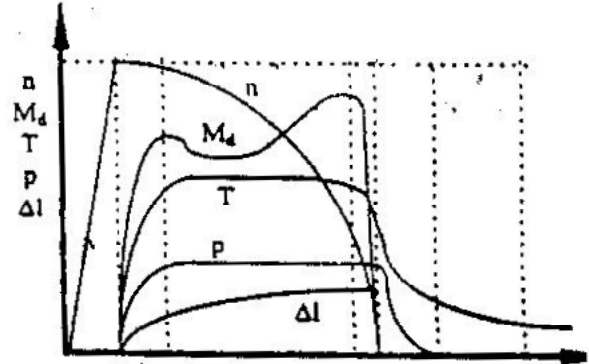
Şekil 1' de görülen (t_1) kaynak zamanından önce çok kısa bir zaman içinde bütün parametreler, belirli değerlere erişmekte ve parçalar kaynaklanma durumuna gelmektedir. Bundan sonra proses her an kesilebilir işlem durdurularak yığıma basıncı (P) uygulanabilir. (t_1) ve (t_2) zamanları kaynaklanacak parçaların boyuna g belirlenir. Böylece seri üretim ile aynı parçaların kaynak yapılabilmesi mümkün olacaktır.

1.2. Volanlı sürtünme kaynağı yöntemi

Bu yöntemde, volandaki kinetik enerjiden yararlanılır. Döndürülecek parça, volanlı tutucu çeneye bağlı (Bkz. Şekil 2). Sistem önceden belirlenen (n) devire ulaşınca, volanın tahriki kesilir ve volan serf dönmeye terk edilir. Sabit parça aksel olarak dönel parçaya yaklaştırılır ve bastırılır. Volanın kin enerjisi, kaynak yüzeyinde hızlı bir şekilde ısıya dönüşür. Volanın dönmesi bittiğinde kaynak tamamlan olur (Bkz. Şekil 2). Burada sürekli tahrikli sürtünme kaynağı yönteminde görülen yığıma zamanı yoktur. Bu nedenle volanlı sürtünme kaynağı işlemi daha kısa zamanda gerçekleşir. Bu yöntem dezavantajı ise ; dönmesi giderek yavaşlayan volanın etkisiyle, soğuyan kaynak bölgesi bir miktar buru momenti altında kalabilir. Bu nedenle volan büyüklüğü doğru seçilmelidir. Aksi halde kaynak bölgesi çatlakların olması muhtemeldir (Otmanbölük, 1997).



1. Tahrik motoru
2. Değiştirilebilir volan
3. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
4. Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
5. Dönen iş parçası
6. Sabit iş parçası
7. Yığıma silindiri



(a) (b)

Şekil 2. Volan tahrikli sürtünme kaynağının ;
a) Şematik resmi b) Parametreleri

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzeme seçimi ve numunelerin hazırlanması

Şekil 4' de sürekli tahrikli sürtünme kaynağı makinasının şematik resmi görülmektedir. Deneyde kullanılacak bakır malzeme saf ve oksijensiz olup, alüminyum malzeme ise %0.40 Fe, %0.29 Si ve %99.31 Al içermektedir. Teknik açıdan, alüminyum malzeme de saf olarak kabul edilebilir. Her iki malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1' de kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyumun ve bakır'ın fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Birim	Alüminyum (Al)	Bakır (Cu)
Yoğunluk	Gr/cm ³	2.70	8.94
Elektrik direnci	(Ω mm ² /m) $\times 10^2$	2.66	1.68
Isı iletkenliği	cal/cm ² /cm ² Cs	0.52	0.92
Isıl genişleme katsayısı	(mm/mm ² C) $\times 10^{-6}$	24.0	16.7
Erimiş sıcaklığı	°C	660	1083
Çekme dayanımı	N/mm ²	91.5	220.5
Kopma dayanımı	N/mm ²	100.06	218.1
Uzama	%	30.1	36.67
Sertlik	HV	57.98	106.9

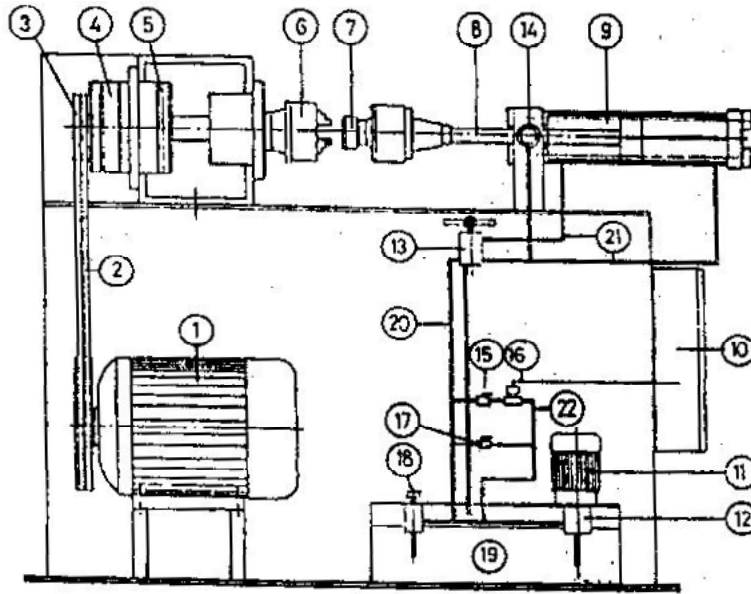
Sürtünme kaynağı ile birleştirilecek olan alüminyum ve bakır numuneler, torna tezgahında işlenerek Şekil 3' de görülen boyutlara getirildiler.



a) Aynaya bağlı dönen alüminyum numune

b) Pense bağlı sabit bakır numune (eksenel hareketli)

Şekil 3. Sürtünme kaynağı numunelerinin boyutları



1. Tahrik motoru

2. V kayışı

3. Kasnak

4. Elektromanyetik kavrama

5. Elektromanyetik fren

6. Ayna

7. Pens

8. Piston kolu

9. Çift etkili silindir

10. Elektrik panosu

11. Hidrolik motoru

12. Hidrolik pompası

13. Yön kontrol valfi

14. Manometre

15. Küresel vana

16. Selenoid ventil

17. Oğuş vanası

18. Pompa basınç ayar reglatörü

19. Yağ deposu

20. Emiş hattı

21. Basınç hattı

22. Dönüş hattı

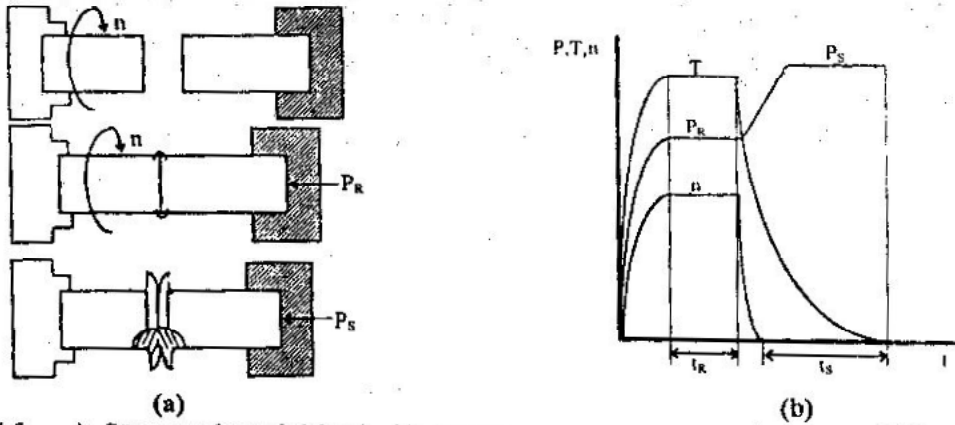
Şekil 4. Sürtünme kaynağı tezgahının şematik resmi

Numunelerin alın yüzeyleri kademeli olarak 280, 320, 400, 600, 1000, 1200 grit' lik silisyum karbür zımpara ile zımparalandı. Yüzeyleri alkol ve asetonla silinerek yağları alındı ve temizlendi. Şekil 4' de şematik resmi verilen sürtünme kaynağı makinasında numuneler kaynaklandı (Dabak, 1995). Daha önceki araştırmalara dayanılarak yapılan ön çalışmalar sonucu kaynak parametreleri aşağıda gösterildiği şekilde seçildi (Gürleyik, 1988a).

Devir sayısı	(n) = 3600 dev/dak
Sürtünme basıncı	(P_R) = 6 N/mm ²
Yığıma basıncı	(P_S) = 8 N/mm ²
Sürtünme süresi	(t_R) = 2 saniye
Yığıma süresi	(t_S) = 1 saniye

2.2. Deneyin yapılışı

Tezgaahın dönel aynasına alüminyum numune bağlandı. Bakır numune ise sabit olan pense bağlandı ve eksensel olarak hareket ettirildi. (t_R) süresince sürtünme parçalarının dönme hareketi frenlenerek durduruldu. Hemen akabinde (t_S) süresince yığıma basıncı uygulandı. Bu şekilde parçalar kaynak edildi (Bkz. Şekil 4-5).

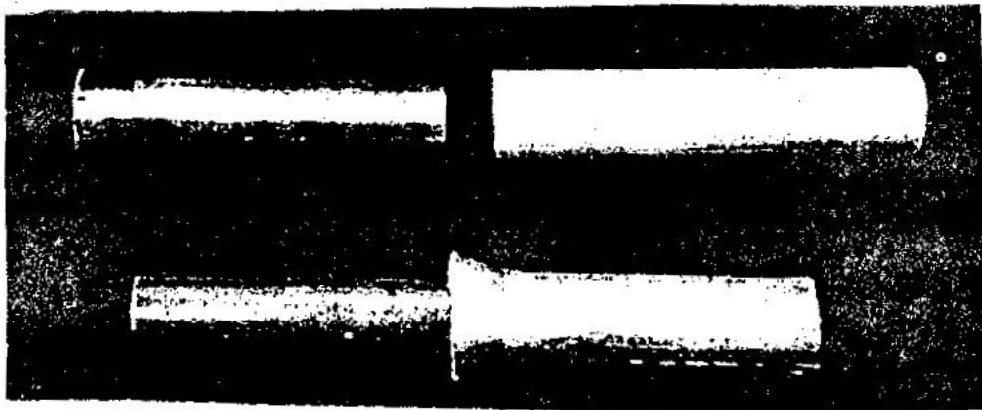


Şekil 5. a) Sürtünme kaynak işlemi b) Parametrelerin zamana göre değişim grafiği (şematik)

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Makroskopik İnceleme

Kaynaklı numuneler makro olarak gözle incelendiğinde birleşme bölgesinde *çıkıntı şeklinde taşma* gözlemlendi. Alüminyum numunede bakır numuneye nazaran dışa doğru daha fazla taşma olduğu görüldü. Ayrıca, her ik numunenin dış yüzeylerinde renk değişikliği olmadığı belirlendi (Bkz. Şekil 6).



Şekil 6. Numunelerin kaynak öncesi ve kaynak sonrası görüntüleri

2. Çekme Testi

3 138' e göre hazırlanan bir kısım kaynaklı deney numuneleri INSTRON marka çekme cihazında teste tabi tutuldular. Diğer bir kısım kaynaklı parça 1 saat süreyle 350 °C' de fırın içinde kaynak sonrası ısıtım işlemi gördükten sonra test edildi. Tavlama öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 2' de görülmektedir.

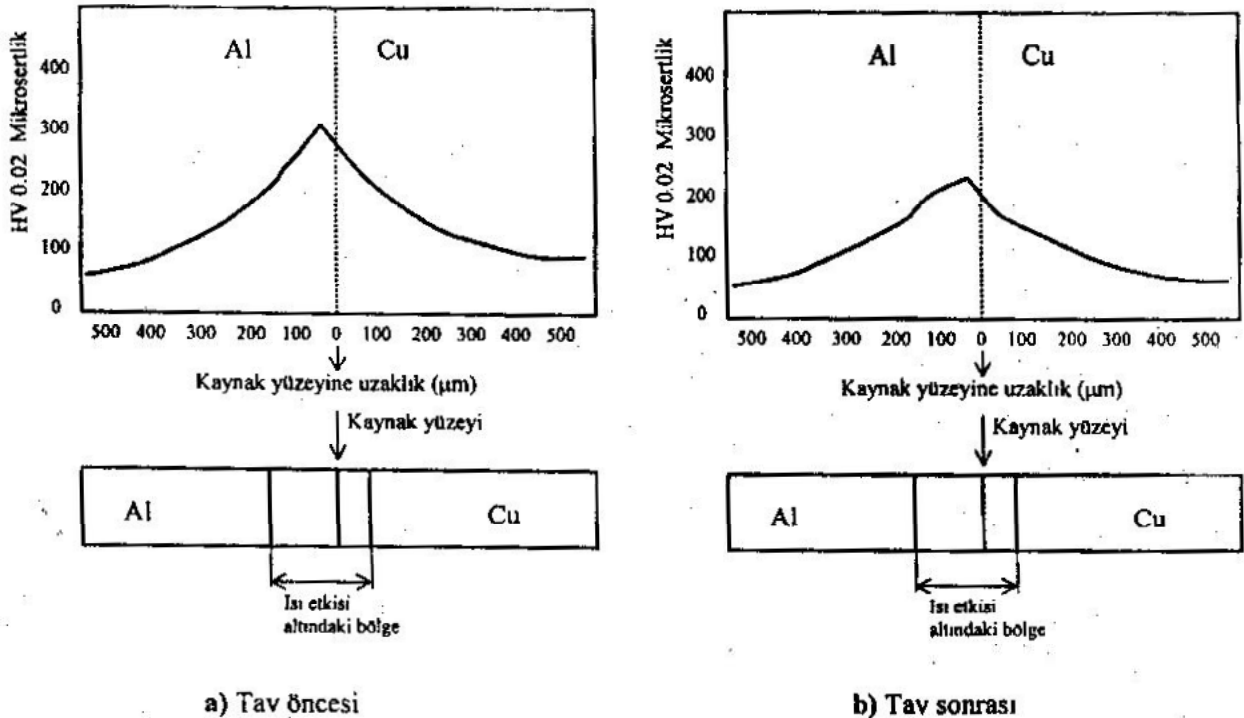
Tablo 2. Sürtünme kaynağı uygulanan (Al-Cu) numunelerin $n=3600$ dev/dak, $P_R = 6$ N/mm², $P_S = 8$ N/mm², $t_R = 2$ saniye, $t_S = 1$ saniye şartlarındaki tav öncesi ve sonrası kopma dayanımı değerleri

Deney No	Kopma dayanımı (N/mm ²)	
	Tav öncesi	Tav sonrası
1	139	79
2	177	90
3	155	107
Ortalama	157	92

Çekme deneyleri sonunda kopmaların tamamı alüminyum tarafında meydana geldi. Bunun sebebi, sürtünme sırasında yükselen sıcaklıkla beraber oluşan intermetalik fazların sert ve gevrek oluşudur. Kaynak sonrası tav işlemi yapmakla rahatlayan intermetalik fazlar kopma dayanımını düşürmüştür.

3. Mikrosertlik Deneyi

Kaynaklı parçaların birleşme bölgesindeki sertlik dağılımı, birleşme bölgesine dik kesit üzerinde Carl Zeiss Jena mikrosertlik cihazında 65 gramlık yük uygulayarak HV (Vickers Sertliği) cinsinden ölçüldü. Kaynaklı parçaların tavlama sonrası sertlik değerleri tekrarlandı (Çelik, 1997). Birleşme bölgesindeki sertlik dağılımı Şekil 7' de görüldüğü gibidir. Sertliğin yüksek olmasının sebebi, oluşan Al₂Cu, AlCu, Al₄Cu₃ gibi gayet sert intermetalik fazlar ve yığılma esnasında bu fazların alüminyum tarafına itilmesidir. Ayrıca, yığılma basıncının doğurduğu plastik deformasyon, pekleşme meydana getirerek sertliğe katkıda bulunur.

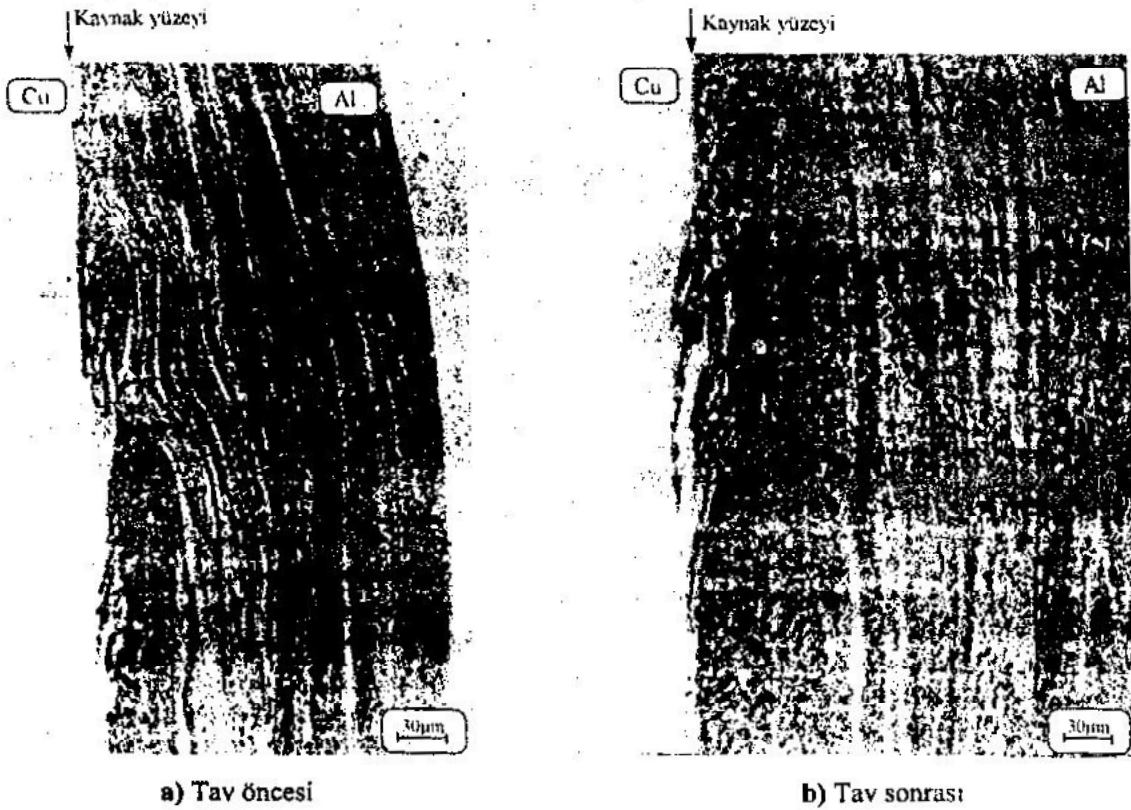


Şekil 7. (Al-Cu) numunelerin kaynak bölgesinin mikrosertlik değişimi

3.4. Metalografik İnceleme

Sürtünme kaynağı birleşme bölgesinin mikro yapısını incelemek için polyester içine gömülen kaynaklı numunelerin alüminyum tarafı Keller çözeltisi ile bakır tarafı ise bakır-amonyum klorür-amonyum hidroksit çözeltisi ile dağlandı (Schrader, 1968). Bu inceleme, tavlama öncesi ve tavlama sonrası olmak üzere iki kademedeydi. Metalografik inceleme sonucunda, sürtünme yüzeylerinde alüminyum-bakır sisteminin intermetalik fazları belirlenmiş olup, bu fazların yığılma süresi içinde alüminyum tarafına doğru itildiği gözlenmiştir (Bkz. Şekil 8a). Bu olay olurken malzemenin homojen akma gösterdiği net olarak ortaya çıkan deformasyon izlerinden görülmektedir.

Ayrıca, sürtünme kaynağı yapılan numunelere kaynak sonrası meneviş tavlı uygulayarak difüzyon tabakası genişletilmiş ve intermetalik fazların rahatlaması sağlanmıştır (Bkz. Şekil 8b). Bunun sonucunda mikrosertlikte düşme, kopma dayanımında da azalma saptanmıştır (Bkz. Şekil 7 ve Tablo 2).



Şekil 8. (Al-Cu) numunelere uygulanan sürtünme kaynağının birleşme bölgesindeki iç yapısı

İntermetalik fazlar sert ve gevrek olduklarından, kalınlıkları belirli bir genişliği aşınca ($5 \mu\text{m}$) buldukları tabak boyunca aşırı bir gevrekleşme gösterirler. Ayrıca farklı iki malzemeden ergime sıcaklığı küçük olan ötektik noktalarda bazı durumlarda, çok kısa sürede sınırlı dar bir bölgede ergime olacağından çatlaklar meydana gelebilir. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerini kötü yönde etkiler. Bu durumlar sürtünme kaynağı ile birleştirilen alüminyum-bakır çiftinin birleşme bölgesindeki mikro yapı için de aynen geçerlidir.

4. SONUÇLAR

Alüminyum ve bakır çubuklarının sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Alüminyum-bakır metal çiftinden, daha büyük şekil değiştirme kabiliyetine ve daha düşük ergime sıcaklığına sahip alüminyum numunenin çapı bakır numuneye göre %10 daha fazla tutularak, düzgün bir sürtünme kaynağı birleşmesi sağlanmıştır.
2. Kaynak sırasında sıcaklığın artmasıyla intermetalik faz oluşmaktadır.

3. Birleşme bölgesinin kesitine dik doğrultuda ölçülen mikrosertlik dağılımına bakıldığında, alüminyum tarafında sertlik artışı görülmüştür. Bunun nedeni, sert yapıdaki intermetalik fazların varlığıdır.
4. Mikroskopla yapılan optik incelemede, birleşme bölgesinde büyük deformasyon izlerine rastlanmıştır. Bu bölgede ara tabaka oluşmuştur.
5. Alüminyum ile bakırın sürtünme kaynağı sonucunda elde edilen kaynak bağlantısının kopma dayanımı, saf alüminyumun kopma dayanımına yaklaşık eşit bulunmuştur.
6. Kaynaklı parçaların çekme deneyi sonucunda kopması, birleşme yerinin alüminyum tarafında meydana gelmiştir. Kopmaya bu bölgenin sert intermetalik faz içermesi ve deformasyon sonucu doğan pekleşme neden olmuştur.
7. Kaynaklı parçalara yapılan meneviş tavi sonunda, birleşme yerinde ölçülen sertlik ve kopma dayanımlarında düşme gözlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Anık, S. ve Vural, M. "*Kaynak Teknolojisi El Kitabı*", İ.T.Ü., 1993.
2. Çelik, İ. "*Alüminyum ve bakır çubukların sürtünme kaynağı üzerine bir araştırma*", BA.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, M. Sc. Tezi, Balıkesir, 1997.
3. Dabak, S. "*Sürtünme kaynağı tezgahı imali, SAE 8620-1040 malzemelerin kaynağı ile mekanik ve metalografik incelenmesi*", M.Sc tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, 1995.
4. Gürleyik, M. "*Sürtünme Kaynağı*", Mühendislik ve Makina Dergisi, v. 16, Sf.91-100, 1982.
5. Gürleyik, M. "*Sürtünme kaynağı ile birleştirilen alüminyum ve bakırın mikroskobik yapısı ve mekanik özellikleri*", Mühendislik ve Makina Dergisi, v. 29, 1988.
6. Kahraman, N., Yılbaş, B., Odabaşı, D. "*H 2210 çeliği ile alüminyumun sürtünme kaynağı ile işlemi ve kaynak parametrelerinin kaynak üzerine etkilerinin deneysel olarak araştırılması*", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 1995.
7. Kurban, A., Kahraman, N. "*Farklı metallerin sürtünme kaynağı ve kaynak parametrelerinin kaynak üzerine etkisi*", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 1995.
8. Schrader, A., Çev., Anık, S. "*Dağlama Brosürü*", İ.T.Ü., 1968.
9. Otmanbölük, N. "*Sürtünme Kaynağı*", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 1997.
10. Tülbentçi, K., Yılmaz, M. "*Farklı Bileşimdeki Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağı*", 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 1989.