

5754 VE 7072 FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DİRENÇ NOKTA KAYNAKLARININ MEKANİK VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Adanır¹, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Türker², *Dr. Müh. Murat Tosun³

¹Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
e-posta: huseyin.adanir@marmara.edu.tr

²Tersaneler Genel Müdürlüğü, İstanbul Tersanesi Komutanlığı,
e-posta: mehmetturker75@gmail.com

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, * co-author:
e-posta: tosunmur@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, endüstride çok yaygın olan iki farklı alüminyum alaşım 5754 ve 7072 serisi malzeme kullanılmış ve direnç nokta kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. Kaynak öncesinde fabrika şartlarında bu malzemeler tekrar haddelenerek farklı et kalınlıkları (1 ve 2 mm) elde edilmiştir. Kaynaklı imalatları sonrasında ise bu bağlantılara ait mekanik ve mikro yapısal özellikler araştırılmıştır. İncelemeler amacıyla; akım, voltaj, elektrot tipi ve elektrot geometrisi gibi parametreler sabit tutulmuş, numune kalınlığı ve nokta kaynak işlem süreleri değiştirilmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla çekme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Mikro yapısal incelemeler için metalografik analiz yöntemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Direnç nokta kaynağı, farklı alüminyum alaşımlarının kaynaklı bağlantıları, alüminyum alaşımları, mekanik özellikler*

ABSTRACT

In this study, two different aluminum alloys, 5754 and 7072, which are very common in the industry, were used and welded with resistance spot welding method. Before the welding process, these materials were re-rolled under factory conditions to obtain different wall thicknesses (1 and 2 mm). After the welding process, mechanical and microstructural properties of these joints were investigated. The mechanical and microstructural properties of welded connections were investigated. For this purpose; parameters such as current, voltage, electrode type and electrode geometry were kept constant and the sample thickness and point welding process times were changed. Tensile and hardness tests were carried out to determine the mechanical properties. As microstructural examination, metallographic analyses were done.

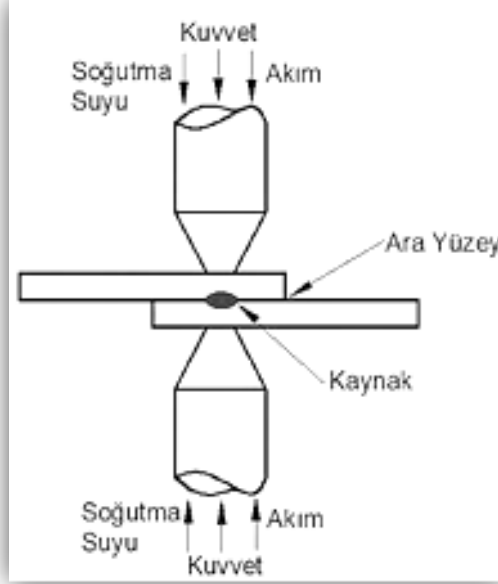
Key Words: *Resistance spot welding, dissimilar aluminum materials welding, aluminum alloy, mechanical properties*

1. GİRİŞ

İmalat sektöründe kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynaklı bağlantılarında yaşanan problemler, alternatif kaynak teknolojilerinin icadına veya mevcut olanların ilerlemesine sebep olmuştur. İnce kesite sahip malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı deformasyona sebep olmaktadır. Bu yüzden kaynaklı bağlantı işleminin minimum ısıda ve minimum zamanda gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı bir şekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak dayanımının yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaynak teknolojileri arasında önemli bir yeri olan ve endüstride yaygın olarak kullanılan elektrik direnç kaynak çeşitlerinden direnç nokta (punta) kaynak prosesi birleştirilmesi gereken malzemelerin daha sağlam bağlantılarının yapılması konusunda kayda değer başarıya sahiptir.

Direnç nokta kaynağı, ince metal levhaları birleştirmek için yaygın olarak kullanılan hızlı birleştirme tekniğidir. Saç metal imalatı için en kullanışlı ve pratik yöntemlerden biridir. Bu işlem, düşük karbonlu çelik, paslanmaz çelik ve nikel, alüminyum veya titanyum alaşımı bileşenlerini birleştirmek için ideal bir yöntemdir ve bu nedenle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu kaynak yöntemi, otomobil, kamyon, römork, otobüs ve demiryolu binek otomobilleri, dolaplar, ofis mobilyaları ve diğer birçok ürünün gövdeleri ve şasileri için kullanılabilir. Diğer geleneksel kaynak teknolojilerinden farklı olarak, bu yöntemde dolgu metali veya flaks kullanılmaz.

Nokta kaynağı, temas halindeki metal yüzeylerin elektrik akımının direncinden elde edilen ısı ile bağlantının sağlandığı bir işlemdir. İş parçaları, elektrotlar tarafından uygulanan basınç altında bir araya getirilir. İşlemden önce, kaynak akımını küçük bir noktaya yoğunlaştırmak ve aynı anda tabakaları bir araya sıkıştırmak için iki şekillendirilmiş bakır alaşımli elektrot kullanılır. Tipik olarak levhalar 0,5 ila 3 mm kalınlık aralığındadır. Kaynak edilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimiş haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimiş metal hızla soğur ve katılaştır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1 saniyeden daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 1'de görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz.



Şekil 1. Elektrik Nokta Direnç Kaynağının Şematik Görünüşü

Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır. Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak noktasından metalin kıvılcım halinde fırlamasını önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım devrelerinin meydana gelmesini önlemek veya makul bir seviyede tutabilmek için, birbirini takip eden kaynak noktaları ve hatları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır. Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir [1-11].

Bu çalışmada kullanılan malzemelerden 5754 serisi alüminyum alaşımları tüm dünyada yaygın kullanım alanına sahip bir malzemedir. Hafifliği ve atmosferik ortamdaki üstün korozyon direnci; gün geçtikçe farklı uygulamalarda (baskı plakası, gemi inşa, otomotiv, perçinler, balıkçılık ekipmanları, gıda işleme, kaynaklı kimyasal ve nükleer yapılar vb.) kullanılmasının başlıca nedenleridir. Bir diğer malzeme olan 7072 serisi alaşımın çok yüksek dayanım ve korozyon direnci özellikleri vardır. Alaşımın iyi mekanik ve anodik reaksiyonu vardır. Kullanım alanları arasında; havacılık, otomotiv, gemi inşa, boru sistemleri örnek olarak verilebilir [12-13].

Deneysel çalışmanın amacı; direnç nokta kaynak yöntemi kullanılarak 5754 ve 7072 serisi farklı alüminyum alaşımların fabrika şartlarında tekrar haddelendirmelerinin yapılması sonrası kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikro yapısal özelliklerinin araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, kimyasal bileşimi Tablo 1'de, mekanik özellikleri Tablo 2'de verilen alüminyum alaşımları deney numunesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri

Alaşım	Kimyasal bileşim (%)								
	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Zn	Al
5754	0.4	0-0,4	0-0,1	0-0,5	2.6-3,6	0.3	0.15	0.2	Kalan
7072	0.7Si + Fe		0.1	0.1	0.1	-	-	0.8-1,3	Kalan

Tablo 2. Deney Numunelerinin Mekanik Özellikleri

Alaşım	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (minimum) (%)	Sertlik (HB)
5754	60 Min.	160 - 200 MPa	12	44
7072	68	100	15	28

Başlangıçta, numuneler uygun ebatlarda kesilmiş ve kesilen numunelerin çapakları alınmıştır. Kaynak işlemi sırasında herhangi bir kaynak hatasından kaçınmak için yüzeylerdeki oksit tabakaları ve kirler temizlenmiştir. Daha sonra bu malzemeler fabrika şartlarında incelemelere hazırlık amacıyla tekrar haddelenmiştir. 5754 ve 7072 alaşım numunelere ait hadde öncesi ve sonrası boyut özellikleri ile elde edilen sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu işlemler öncesi sonrası elde edilen numuneler Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. 5754 ve 7072 Alaşım Numunelere Ait Hadde Öncesi ve Sonrası Boyut Özellikleri.

	Hadde öncesi	Hadde sonrası	Hadde öncesi	Hadde sonrası	Hadde öncesi	Hadde sonrası	Hadde öncesi	Hadde sonrası
Alaşım	5754	5754	5754	5754	7072	7072	7072	7072
Kalınlık	3.5	2	3.5	1	4.95	2	4.95	1
Genişlik	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
Uzunluk	91.5	150	91.5	260	91.5	210	91.5	340
İndirgeme oranı (%)	2.85		71.4		59.5		79.7	
Sertlik (HV)	50	54	50	58	25	27	25	30



Şekil 2. Kaynaklı Bağlantıları Yapılacak Numuneler

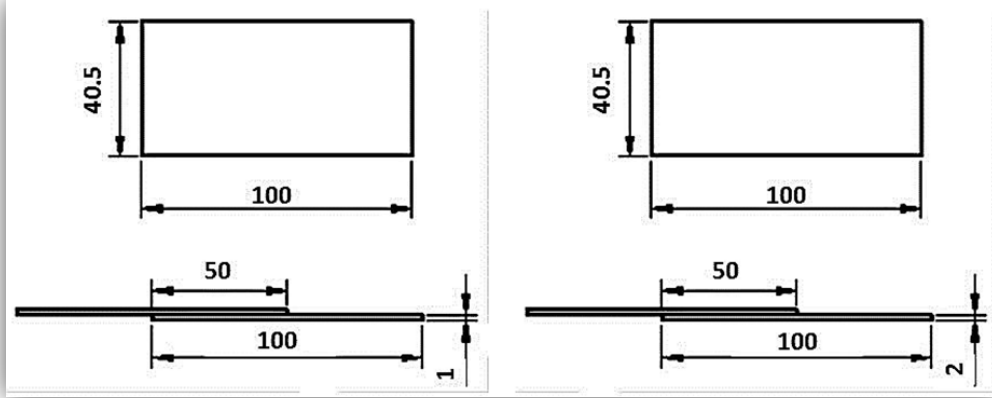


Şekil 3. Kaynaklı Bağlantıları Yapılacak Hadde Sonrası Elde Edilen Numuneler

2.2 Kaynak Yönteminin Uygulanması

Numuneler, Şekil 4’te gösterilen boyutlarda hazırlanıp temizlik işlemleri yapıldıktan sonra, 50 mm’lik kısımları üst üste bindirilerek orta noktalarından kaynaklı bağlantıları yapılmıştır. 5754 ve 7072 alaşım malzeme çiftleri, kaynaklı birleştirme sonrası normal hava şartlarında soğutulmuştur. Kaynak akımı ve basıncın azalmaması, dolayısıyla kaynak kalitesinin düşmemesi amacıyla, bakır elektrot uçlarında kalıntılar her dört kaynaktan sonra zımpara ve eğre ile düzeltilmiştir. Deneylerde, 6 mm çapında kesik konik uçlu, ticari saflıkta bakır (Cu)

elektrotlar kullanılmıştır. Uygulanan kaynak akımı, sıkıştırma kuvveti sabit tutulmuş olup sırasıyla 15kA, 5kN'dur, kaynak süresi 3 ve 5 sn olarak değiştirilmiştir (Tablo 4). Tablo 2 kaynak işlemi için kullanılan kaynak parametrelerini, Şekil 5 kullanılan direnç nokta kaynak makinesini, Şekil 6 ise kaynak işlemi sonrasında elde edilen numune bağlantıları göstermektedir.



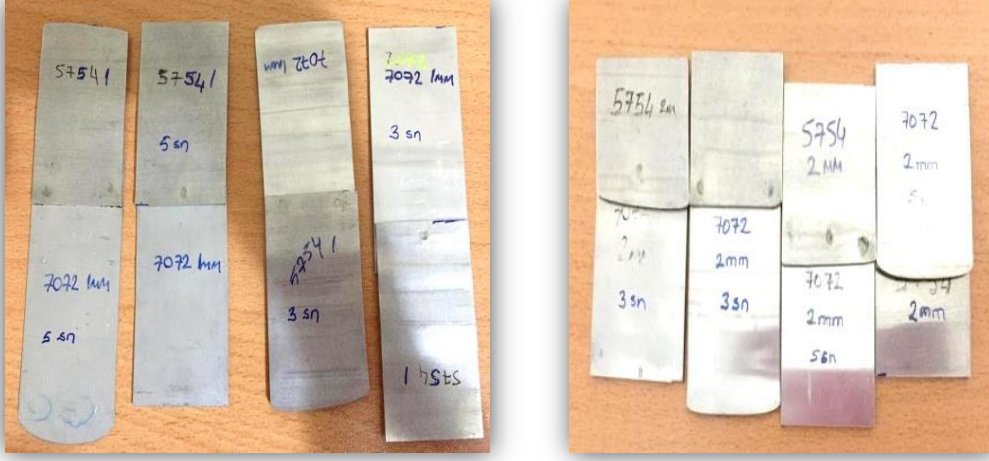
Şekil 4. Kaynaklı Bağlantıları Yapılacak 5754 - 7072 Malzeme Çifti.

Tablo 4. Direnç Nokta Kaynağı Kaynak Parametreleri.

Elektrot Çapı (mm)	Sıkma Kuvveti (kN)	Kaynak Süresi (sn)	Kaynak Akımı (kA)
6	5	3	15
6	5	5	15



Şekil 5. Deneyde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Makinesi.



Şekil 6. Kaynak Sonrası Elde Edilen Numune Bağlantılar

2.3 Metalografik İnceleme

Deney numuneleri, bağlantıları yapılmış noktalardan (kaynak çekirdeği merkezinden), birleştirmenin enine el testeresi ile kesilmiş ve bakalite gömülmüştür. Kroll dağlayıcı çözeltide numune yüzeyleri dağlanmış ve mikroyapı fotoğrafları Marmara Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarındaki Metal Mikroskobu ile çekilmiştir. Numunelere ait mikro yapılar 10x, 20x, 30x ve 40x büyütme oranları ile elde edilmiştir.

3. DENEYSSEL SONUÇLAR

3.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Sabit basınçta ve sabit akım değerinde yapılan kaynak işlemlerinde aynı elektrot baskı süresi ve 2 farklı kaynak süresi kullanılarak yapılan işlemler sonucunda hem 1 mm hem de 2 mm et kalınlığına sahip 2 nokta 5754-7072 alaşım kaynaklı bağlantıların çekme dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte bu artışın kaynak süresi ile paralellik gösterdiği görülmektedir. 1 mm'lik ve tek nokta sayısına sahip numune bağlantıda 3 sn'lik kaynak süresi sonucunda 70 N'luk dayanım elde edilmiş fakat 5 sn. kaynak süreli bağlantıdan sonuç alınamamıştır. Aynı numuneye ait 2 noktalı bağlantıların kaynak süresinin artmasıyla dayanımlarının arttığı görülmektedir. 2 mm'lik numuneler incelendiğinde 5754-7072 alaşım kullanılarak tek nokta kaynaklı ve 3 ve 5 sn. kaynak süreli elde edilen bağlantılarda yine herhangi sonuç elde edilememiştir. Ancak aynı numunenin 2 noktalı ve 5 sn. kaynak süreli bağlantısında 70 N'luk bir çekme dayanımı elde edilmiştir. Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Direnç nokta kaynağı sonrası elde edilen kaynak alanı ölçümleri ise Tablo 6'da sunulmuştur. Bu ölçümler incelendiğinde kaynak parametreleri ve kullanılan malzeme özelliklerine göre uygun sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Tablo 5. Numunelerden Elde Edilen Çekme Testi Sonuçları

1 mm					2 mm				
Malzeme Çifti		Nokta Sayısı	Kaynak Süresi (sn)	Çekme Dayanımı (N)	Malzeme Çifti		Nokta Sayısı	Kaynak Süresi (sn)	Çekme Dayanımı (N)
5754	7072	1	3	70	5754	7072	1	3	-
5754	7072	1	5	-	5754	7072	1	5	-
5754	7072	2	3	45	5754	7072	2	3	-
5754	7072	2	5	162	5754	7072	2	5	70

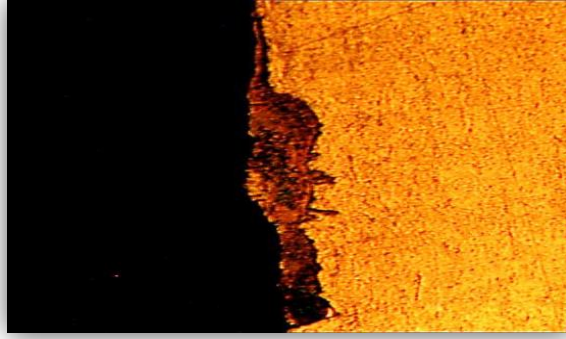
Tablo 6. Direnç Nokta Kaynağı Sonrası Elde Edilen Kaynak Alanı Ölçümleri

1 mm						2 mm					
Malzeme Çifti		Nokta Sayısı	Kaynak Süresi (sn)	Çap (mm)	Alan (mm ²)	Malzeme Çifti		Nokta Sayısı	Kaynak Süresi (sn)	Çap (mm)	Alan (mm ²)
5754	7072	1	3	4	12.56	5754	7072	1	3	3.1	7.54
5754	7072	1	5	4.5	15.9	5754	7072	1	5	3.9	11.94
5754	7072	2	3	4.2-4,3	13.85-14.52	5754	7072	2	3	3.3-3,5	8.55-9.62
5754	7072	2	5	4.8-4,9	18.09-18.85	5754	7072	2	5	3.9-4,3	11.94-14.52

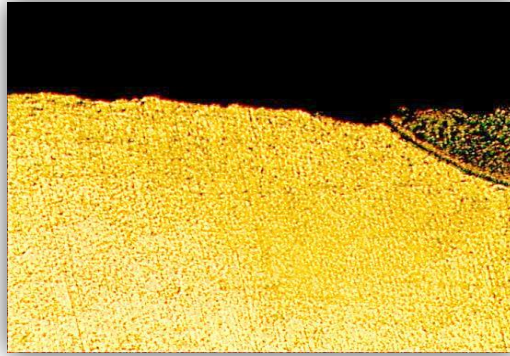
3.2 Metalografik İnceleme Sonuçları

Nokta Direnç kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bağlantılardan alınan numuneler üzerinde kaynak bölgeleri metalografik olarak detaylı bir biçimde incelenmiştir. Kaynak bağlantılarının ışık mikroskobu ile yapılan makro incelemelerinde çekme testinden elde edilen sonuçlar ile kaynak bölgelerinin paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. Çekme testinin yapılabildiği numunelere ait mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde bağlantı bölgelerinde ergimenin olduğu ve katılaşmanın ergimeyen dış kısımdan başlayıp kaynak merkezi çizgisinde son bulduğu görülmektedir. Kaynak metalinde oluşan taneler ısı akış yönüne işaret etmektedir. Isı merkezden dışa doğru hareket ederken, taneler birleşme merkezine doğru katılaşmaktadır. Sonuçların alınabildiği kaynak parametreleri ile elde edilen mikro yapı görüntülerinin aynı katılaşma sistemine sahip olduğu görülmektedir. Yine elde edilen mikro yapı analizlerinde kaynak bölgesinin tipik bir nokta kaynağı görüntüsüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlantılarda birleşme ara yüzeylerinde herhangi bir kalıntı veya ergime noksanlığının olmayışı birleştirmelerin sağlıklı olduğu kanaatini vermektedir. Ancak çekme testi sonuçlarının elde edilemediği diğer bir deyişle istenilen kaynaklı bağlantının sağlanamadığı numunelere ait mikro yapı resimleri incelendiğinde birleşme bölgelerinde yeterli ergimenin olmadığı tespit edilmiştir.

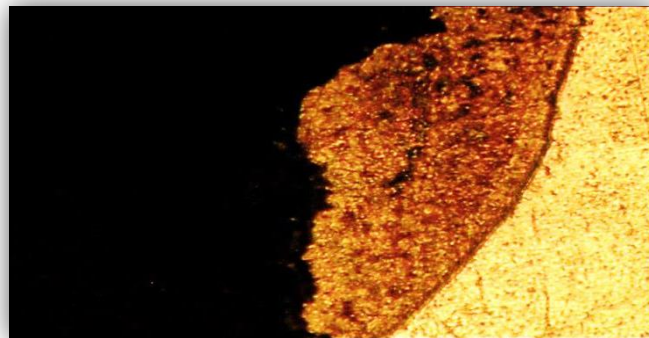
Sonuç olarak, 5754 ve 7072 alüminyum alaşımlarının bu deney için seçilmiş kaynak parametreleri ile yapılan kaynaklı bağlantılara ait mikro yapı analizlerinde görülen hataların, mukavemet üzerine etkileri tespit edilmiştir. 1 ve 2 mm kalınlığa sahip numunelere ait seçilmiş mikro yapılara ait resimler Şekil 7-10'da sırasıyla verilmektedir.



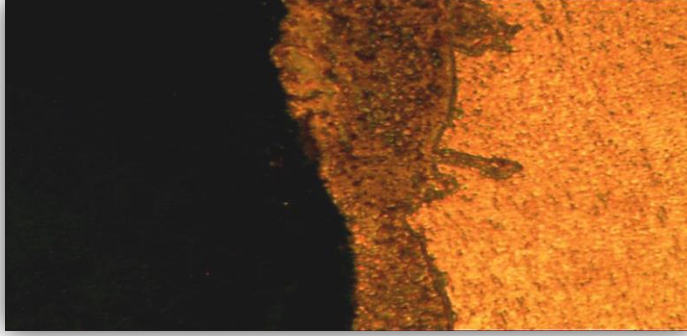
Şekil 7. 1 mm Kalınlığa Sahip Tek Noktalı ve 3 sn. Kaynak Süreli Kaynaklı Bağlantısına Ait Mikroyapı Görüntüsü



Şekil 8. 1 mm Kalınlığa Sahip İki Noktalı ve 5 sn. Kaynak Süreli Kaynaklı Bağlantısına Ait Mikroyapı Görüntüsü



Şekil 9. 2 mm Kalınlığa Sahip Tek Noktalı ve 3 sn. Kaynak Süreli Kaynaklı Bağlantısına Ait Mikroyapı Görüntüsü.



Şekil 10. 2 mm Kalınlığa Sahip İki Noktalı ve 5 sn. Kaynak Süreli Kaynaklı Bağlantısına Ait Mikroyapı görüntüsü.

4. SONUÇLAR

Tüm dünyada yaygın kullanım alanı olan, yüksek dayanım ve korozyon direnci özelliklerine sahip 5754 ve 7072 serisi alüminyum alaşımlarının fabrika şartlarında tekrar haddelemelerinin yapılması sonrası direnç nokta kaynak yöntemi kullanılarak farklı metal kaynak bağlantılarının mekanik ve mikro yapısal özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur:

1. Sabit basınçta ve sabit akım değerinde yapılan kaynak işlemlerinde aynı elektrot baskı süresi ve 2 farklı kaynak süresi kullanılarak yapılan işlemler sonucunda; 1 mm ve 2 mm kalınlığına sahip 2 noktalı 5754-7072 alaşım kaynaklı bağlantıların çekme dayanımlarının yüksek olduğu ve kaynak süresi ile paralellik gösterdiği görülmüştür. 1 mm'lik ve tek nokta sayısına sahip 3 sn'lik kaynak süresi sonucunda elde edilen bağlantıda 70 N'luk dayanım elde edilmiş fakat 5 sn. kaynak süreli bağlantıdan sonuç alınamamıştır. Aynı numuneye ait 2 noktalı bağlantıların kaynak süresinin artmasıyla dayanımlarının arttığı görülmüştür. 2 mm'lik numuneler incelendiğinde 5754-7072 alaşım kullanılarak elde edilen tek nokta kaynaklı 3 ve 5 sn. kaynak süreli bağlantılarda herhangi sonuç elde edilememiştir. Ancak aynı numunenin 2 noktalı ve 5 sn. kaynak süreli bağlantısında 70 N'luk bir çekme dayanımı elde edilmiştir.
2. Çekme testi verisinin elde edilebildiği numunelere ait mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde bağlantı bölgelerinde ergimenin olduğu ve katılaşmanın ergimeyen dış kısımdan başlayıp kaynak merkezi çizgisinde son bulduğu görülmektedir. Bu bağlantılarda birleşme ara yüzeylerinde herhangi bir kalıntı veya ergime noksanlığının olmayışı birleştirmelerin sağlıklı olduğu kanaatini vermektedir. Ancak çekme testi sonuçlarının elde edilemediği diğer bir deyişle istenilen kaynaklı bağlantının sağlanamadığı numunelere ait mikro yapı resimleri incelendiğinde birleşme bölgelerinde yeterli ergimenin olmadığı tespit edilmiştir.

3. Gelecekteki çalışmalar için SEM ve EDX analizi yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot malzemesi ve boyutları, elektrot kuvveti, kaynak noktası sıklığı, elektrot ve iş parçasının temas durumları gibi kaynak parametrelerinin değiştirilmesi daha detaylı incelemenin yapılabilmesi için bir zorunluluktur.

5. KAYNAKÇA

- [1] Y.Zhang, Y.Li, Z.Luo, T.Yuana, J.Bi, Z. M. Wang, Z. P. Wang, Y. J.Chao, Feasibility study of dissimilar joining of aluminum alloy 5052 to pure copper via thermo-compensated resistance spot welding, *Materials and Design* 106 (2016) 235–246.
- [2] J. Bi, J. Song, Q. Wei, Y.Zhang, Y Li, Z.Luo, Characteristics of shunting in resistance spot welding for dissimilar unequal-thickness aluminum alloys under large thickness ratio, *Materials and Design* 101 (2016) 226–235.
- [3] S.M. Manladana, F. Yusof, S. Ramesh, Y. Zhang, Z. Luod, Z. Ling, Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded in welding-brazing mode and resistance element welded magnesium alloy/austenitic stainless steel joints, *Journal of Materials ProcessingTech.* 250 (2017) 45–54.
- [4] B.Xing, Y.Xiao, Q. H. Qin, Characteristics of shunting effect in resistance spot welding in mildsteel based on electrode displacement, *Measurement* (2017), 2-22.
- [5] H.C. Lin, C.A. Hsu, C.S. Lee, T.Y. Kuo, S.L. Jeng, Effects of zinc layer thickness on resistance spot welding of galvanized mild Steel, *Journal of Materials ProcessingTech.* 251 (2018) 205–213.
- [6] E. Doruk, M. Pakdil, G. Çam, İ. Durgun, U. C. Kumru, Otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı uygulamaları, *Mühendis ve Makine*, 57 (2016), 49-53.
- [7] M. Ş. Çimen, A. Akkuş, Nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımının incelenmesi, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, 85-96.
- [8] M.Raut, V.Achwal, Optimization of spot welding process parameters for maximum tensile strength, *Int. J. Mech. Eng. &Rob. Res.* (2014) 506-517.
- [9] S. Aslanlar, *Direnç Nokta Kaynağı, Ders Notları, Sakarya Üniversitesi.*
- [10] M. Erik, Farklı kalınlıklarda galvaniz kaplanmış çelik sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi*, 2010.
- [11] E. Esendir, Farklı metallerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi*, 2009.
- [12] K. Spencer, S.F. Corbin, D.J. Lloyd, Notch fracture behaviour of 5754 automotive aluminium alloys, *Materials Science and Engineering A332* (2002) 81–90.
- [13] E.P. Georgiou, V.P. Cevallos, T. Van der Donck, D. Drees, J. Meersschaut, C.N. Panagopoulos, J.-P. Celisa, Effect of cathodic hydrogen charging on the wear behavior of 5754 Al alloy, *Wear* 390–391 (2017) 295–301.