

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Gelis/Received</u> 03.08.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 21.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.332569	

Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi

Hande Güler Özgül^{*1}, Sıddıka Arslan²

ÖZ

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan 5000 serisi alüminyum alaşımlarından olan Al 5754-H111 malzemesi elektrik direnç kaynak yöntemi ile farklı kaynak akımı, kaynak süresi ve sıkıştırma yükü ile birleştirilmişlerdir. Kaynak işlemi uygulanmış numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kaynaklı bağlantılara çekme deneyi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre elde edilen çekme mukavemeti ve çekme uzaması değerlerindeki farklılıklar, kaynak parametrelerindeki değişimin kaynağın mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: elektrik direnç kaynağı, punta kaynağı, alüminyum alaşım, çekme mukavemeti

Investigation of the effects of different electrical resistance welding parameters on strength

ABSTRACT

In this study, Al 5754-H111 material from 5000 series aluminum alloys used in the automotive industry were combined with different welding current, welding time and compression load by electrical resistance welding method. Tensile tests were performed to determine the mechanical properties of welded specimens. The differences in tensile strength and tensile elongation values obtained from the test results have shown that the variation in weld parameters has a significant effect on the mechanical properties of the weld.

Keywords: electrical resistance welding, spot welding, aluminum alloy, tensile strength

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, handeguler@uludag.edu.tr

² s.arslan1806@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan birleştirme yöntemlerinden olan kaynak uygulaması içerisinde halen en çok kullanılan yöntem elektrik direnç kaynağıdır.

Büyük bir binek taşıtta ortalama olarak 4.000 ile 6.000 arasında elektrik direnç kaynağı uygulandığı bilinmektedir [1] ve bu durum, otomotiv endüstrisinde elektrik direnç kaynağının önemini güncel tutmayı başarmıştır.

Elektrik direnç kaynağı, basınç altında elektrotlar arasında tutulan kaynak uygulanacak parçalardan geçen elektrik akımına karşı, parçaların gösterdiği direnç yoluyla oluşan ısı ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir [2].

Bu yöntem pek çok malzeme birleştirilmesinde kullanılmakta olup başta alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları ile yüksek/ düşük dayanımlı ve paslanmaz çeliklerde oldukça yaygındır.

Literatürde elektrik direnç kaynağı ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalar aynı malzemelerin kaynağının yanı sıra farklı malzemelerin kaynağını da içermektedir.

Farklı malzemelerin kaynağı ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Demir ve ark. [3], trip ve dual fazlı çelik malzemelere direnç nokta kaynağı uygulamış ve işlem esnasında oluşan ısı etkisini mikroyapı, mekanik ve kaynak sonrası kopma yüzeyleri açısından değerlendirmiştir. Farklı malzemelerin elektrik direnç kaynağı ile ilgili bir başka çalışma Sun ve ark. [4] tarafından yapılmıştır. Çalışmada AZ31 ve AA5754 sac malzemelerin kaynak işleminde ara malzeme olarak ticari saf nikel ara tabakası yerleştirilmiş ve bu işlemin kaynak mukavemetinde önemli bir gelişme oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır. AA6022-T4 ve düşük karbonlu çelik sacın kaynak kırılma modları ve kayma mukavemetini farklı kaynak parametreleri için Chen ve ark. [5] incelemişlerdir. Yine Chen ve ark. [6] A5052 alüminyum ve DP 600 çelik malzemelerin elektrik direnç kaynağının optimum mekanik özelliklerinin hangi kaynak parametrelerinde gerçekleştirildiğini araştırmışlar ve ayrıca sertlik ölçümü, mikro yapı analizi, kırılma yüzeylerinin incelemesini yapmışlardır. Sun ve ark. [7] ise 16Mn yüksek mukavemetli çelik ve 6063-T6 alüminyum malzemelerin kaynak işlemiyle ilgili bir çalışma gerçekleştirmişler, yüksek kaynak mukavemeti elde edilmesi amacıyla kaynak

işleminde F tipi elektrot kullanıp, elektrotun optimize edilmesiyle ilgili araştırma yapmışlardır.

Alüminyum dışında aynı malzemelerin birbiri ile elektrik direnç kaynağı uygulanan çalışmalar incelendiğinde; Kaya ve Kahraman [8] ASTM grade 2 titanyum sacların elektrik direnç kaynaklarını farklı kaynak parametreleri için gerçekleştirmiş ve bu parametrelerin çekirdek çapı, elektrod dalma derinliği, kopma tipi, sertlik ve mikroyapı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Aynı malzemelerin kaynağı konusunda bir başka çalışma ise Aslanlar ve ark. [9] tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kaynak zamanının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini galvaniz kaplanmış kromatlı mikro alaşımlı çelikler için inceleyip maksimum çekme mukavemetinin ulaşıldığı parametreyi belirlemişlerdir.

Özyürek [10] östenitik paslanmaz çeliklerin elektrik direnç kaynağını farklı kaynak parametreleri ve farklı kaynak atmosferleri açısından incelerken, magnezyum alaşımlı sacların elektrik direnç kaynağının mekanik özellikler ve mikroyapı üzerindeki etkileri Sun ve ark. [11] ve kaplamasız düşük karbonlu çelik sacların kaynak akımı, kaynak zamanı, elektrot basıncı ve tutma süresi parametrelerinde kaynak statik mukavemeti ve kaynak kopma tipinin belirlenmesi ve kopma modunun tahmini için analitik model oluşturulması Pouranvari ve ark. [12] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum malzemelerin birbiri ile gerçekleştirilen elektrik direnç kaynağı ile ilgili de literatürde çalışmalar bulunmaktadır.

Florea ve ark. [13], 6061-T6 alüminyum malzemenin farklı kaynak koşulları için optimum nihai ürün sonucu elde etmeyi amaçlamışlardır. Yüksek kaynak akımı uygulandığında, kaynak izlerinin de buna bağlı olarak daha derine ineceği sonucuna varmışlardır.

Yine alüminyum alaşımlı malzeme ile ilgili bir başka çalışma Hassanifard ve Zehsaz [14] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, elektrik direnç kaynağının sonlu elemanlar simülasyonu gerçekleştirilmiş ve yorulma ömrü tahmini yapılmıştır. Nümerik sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılıp, çekirdek bölgesindeki artık gerilmelerin artan elektrot sıkıştırma kuvveti ile azaldığı ve çekirdek etrafında büyük çekme gerilmelerinin oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Bir başka çalışmada ise, alüminyum alaşım 6082-T6 malzemenin elektrik direnç kaynağı farklı kaynak parametreleri için Pereira ve ark. [15]

tarafından gerçekleştirilmiş, kaynak akımı ve süresindeki artışın kaynak mukavemeti ve birleşme boyutunun arttırdığını tespit etmişlerdir.

Wu ve ark. [16], 2 mm kalınlığındaki AA6111-T4 alüminyum alaşımlı malzemenin kendi içerisinde direnç nokta kaynağını gerçekleştirip, kopma davranışı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırırken, kaynak mikro yapısının lokal olarak incelemesini gerçekleştirip kopmayı nasıl etkilediğini belirtmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların dışında, Al 5754 malzemesinin kendisi ile elektrik direnç kaynağı uygulaması hakkında literatürde araştırması yapılmış ve Han ve ark.[17] nın, 1 mm ile 2,5 mm arasındaki sac kalınlıkları için, ana metal kalınlığı ve kaynak yığınının yönelimlerinin, kaynak kalitesi ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelediği ve farklı test geometrilerinde kopma davranışlarını araştırdıkları, Senkara ve Zhang [18] ın, 1,6 ve 2 mm kalınlığındaki elektrik direnç kaynağı yapılmış Al 5754 sacların kaynak işlemi sonucu oluşabilecek kırılma davranışı üzerine bir çalışma gerçekleştirip, önemli bir veri olan çekirdekten gelen basınçlı sıvı malzemenin kaynak esnasında oluşan çatlağı yayıp şekillendirebileceği ve Long ve Khanna [19] nın ise 2 mm kalınlığındaki Al 5754 malzemenin elektrik direnç kaynağı sonucu oluşan artık gerilmenin iki boyutlu sonlu elemanlar simülasyonunu gerçekleştirip, çekirdek merkezinde maksimum ve kenarlarında ise minimum çekme gerilmesinin oluştuğunu tespit ettikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ise 1mm kalınlığındaki AA5754-H111 alüminyum alaşımlı malzeme kullanılmıştır. AA5754-H111 alüminyum alaşımı malzemenin seçilme nedeni, bu malzemenin farklı sanayi alanlarında ve özellikle otomotiv sanayinde kullanılmasıdır. AA5754-H111 alüminyum alaşımı levhalara elektrik direnç kaynağı uygulanmıştır ve levhaların kaynak uygulaması sonucu mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Deneysel çalışmada kullanılan AA5754-H111 alüminyumun kimyasal bileşimi Tablo 1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

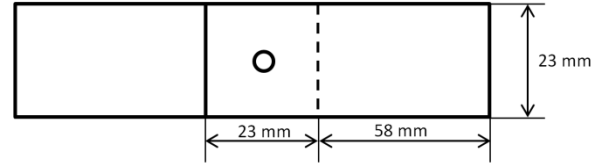
Tablo1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi (The chemical composition of material used in the experiments)

Kim. Bil.	Mg	Fe	Mn	Si	Zn	Cr	Cu	Ti	Al
(%)	2,834	0,251	0,190	0,071	0,05	0,02	0,022	0,003	Kal.

Tablo2. Deneylerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri (The mechanical properties of material used in the experiments)

Mekanik Özellikler	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama
	117 MPa	207 MPa	%21

Kaynakla birleştirilecek olan 1 mm kalınlığındaki deney numuneleri 55x22 mm boyutlarında kesilmiş ve daha sonra kenarlarında oluşabilecek çentik etkisinin önlemek amacıyla numunelerin çapakları alınmıştır. Mekanik özellikleri incelenmek üzere elektrik direnç kaynağı yöntemine tabi tutulan alüminyum alaşımın boyutları ve kaynak bağlantı şekilleri Şekil 1. de gösterildiği gibidir. Birbiri üzerine bindirme yapılan kısmın tam ortasına elektrik direnç kaynağı uygulanmıştır.



Şekil 1. Deney numunesi boyutları (Test sample dimensions)

Alüminyum levhaları birbirine bağlamak amacıyla Şekil 2 de gösterilen 125 KVA güce sahip nokta direnç kaynak makinesi kullanılmıştır. Numunelere; 2 farklı akım değeri (11 kA ve 14 kA), 2 farklı çevrim süresi (4 ve 6 çevrim) ve 3 farklı sıkıştırma yükü (400 kg, 300 kg ve 180 kg) uygulanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.



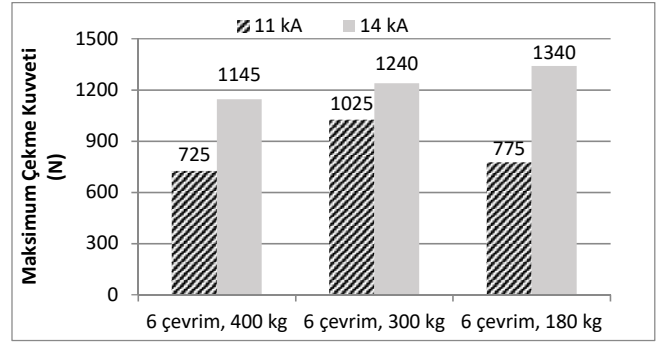
Şekil 2. Elektrik direnç kaynağı makinesi.(Electrical resistance welding machine)

Kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin dayanımlarını elde etmek amacıyla çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme işlemine tabi tutulan malzemelerde kullanılan çekme hızı 2 mm/ dk. ve kullanılan yük hücresi ise 250 kN dur.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

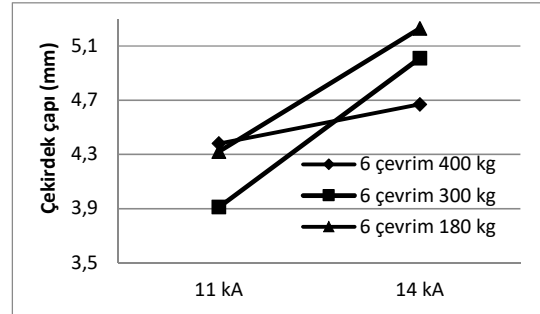
Bu çalışmada farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin, kaynak bağlantısının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla belirlenen kaynak zamanı, kaynak akımı ve sıkıştırma yükü değerleri için elektrik direnç kaynağı yapılmıştır.

Çalışmada kaynak süresi ilk olarak 6 çevrim seçilmiştir ve 2 farklı kaynak akımı (11kA ve 14 kA) ve 3 farklı sıkıştırma yükü (400 kg, 300 kg, 180 kg) için maksimum çekme yükü ve çekme uzaması değerleri elde edilmiştir. Şekil 3 te bu parametrelere bağlı olarak elde edilen maksimum çekme kuvveti değerleri görülmektedir. Buna göre aynı çevrim ve aynı sıkıştırma yükleri için kaynak akımı 11kA den 14 kA' e artırıldığında, kaynaklı parçaların maksimum çekme kuvveti de artış göstermiştir. Bu duruma sebep olarak daha önce yapılan çalışmalar göstermektedir ki, uygulanan kaynak akımı arttıkça kaynak bölgesinde oluşan ısı miktarı da artmaktadır. Böylece, kaynak nüfuziyeti de artarak daha fazla temas gerçekleşmekte ve daha büyük kaynak çapı oluşarak kaynak mukavemeti de artmaktadır [8], [20].

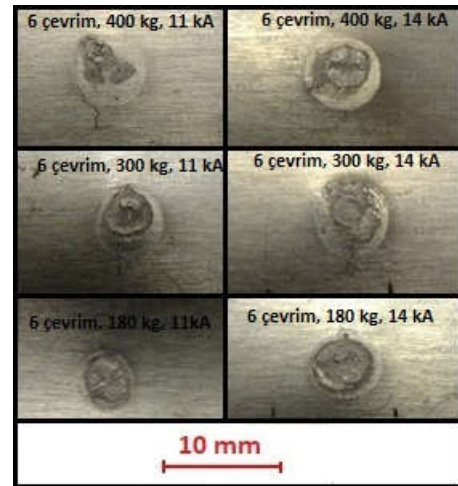


Şekil 3. 6 çevrimlik sabit kaynak süresine bağlı olarak elde edilen maksimum çekme mukavemetleri (Maximum tensile strengths obtained with 6 cycles of constant welding time)

Bu durumu gösterebilmek amacıyla çalışmada çekirdek çapı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bu durumlarda örtüştüğü sonucuna varılmıştır. Sabit çevrim süresi ve sıkıştırma miktarı için kaynak akımının artırılması çekirdek çapını da arttırmıştır (Şekil 4.a). Bu çekirdek çapı artışını gözlemek amacıyla, çalışmada belirtilen aynı çevrim ve aynı sıkıştırma yükleri için kaynak akımının 11 kA' den 14 kA' e artırılmasıyla elde edilen numunelerin kopma yüzeyleri Şekil 4.b. de gösterilmiştir. Buna göre, çekirdek çaplarının artan akım ile birlikte artmış olduğu makroyapı görüntüleri ile de gözlemlenmiştir.



Şekil 4.a. Örnek çekirdek çapı ölçümleri.(Sample core diameter measurements)

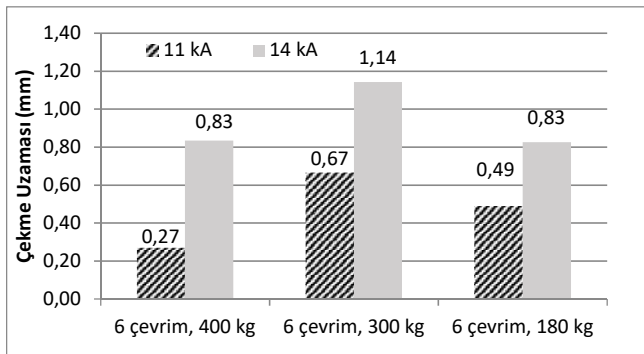


Şekil 4.b. Örnek ara yüzey kopması gösteren yüzeyler ve çekirdek bölgeleri. (Sample macro morphology of interfacially fractured surfaces and core regions)

Ayrıca Şekil 4b' de, elektrik direnç kaynağı uygulanmış numunelerin kopma tipi incelendiğinde, kırılma yüzeyi nispeten pürüzsüz ve parlak olmasından ötürü numunelerin "ara yüzey kopması" şeklinde koptukları tespit edilmiştir [21].

Yine Şekil 3 bir başka açıdan değerlendirildiğinde, kaynak akımı artırılması ile elde edilen çekme yükündeki maksimum artış yaklaşık olarak %73 lük bir oran ile en düşük sıkıştırma yükü olan 180 kg ile elde edilmiştir. Bu durumun sebebi ise; düşük baskı kuvvetinin kaynak edilen parçalar arasındaki direnci arttıracığı ve akım geçişiyle beraber patlama oluşturması gösterilebilir [2]. Ayrıca Şekil 3'e göre optimum mukavemet değerine, 6 çevrim kaynak süresi, 180 kg'lık sıkıştırma yükü ve 14 kA'lık kaynak akımı parametrelerinde ulaşılmıştır.

Diğer taraftan aynı parametrelerde elektrik direnç kaynağı yapılan parçaların çekme uzaması değerleri Şekil 5'te görülmektedir. Buna göre, aynı çevrim ve aynı sıkıştırma yüklerinde kaynak akımı 11kA'dan 14 kA'ya artırıldığında çekme uzaması da artış göstermiştir. Bu durum, maksimum çekme kuvveti ile benzer bir davranıştır. Kaynaklı yapılarda dayanım ve uzama arasındaki doğru orantı beklenen bir durumdur [4].



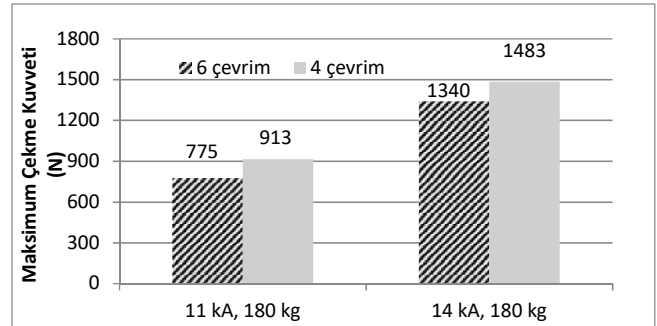
Şekil 5. 6 çevrimlik sabit kaynak süresine bağlı olarak elde edilen çekme uzamaları. (Tensile elongation obtained due to 6 cycles of fixed welding time)

Çalışmanın ikinci aşamasında, maksimum mukavemet değeri 180 kg'lık sıkıştırma yükü ile elde edildiğinden ötürü, bu kez sıkıştırma yükü ve akım değerleri sabit tutulup çevrim süresi karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla farklı kaynak süresi olarak 4 çevrim seçilerek 6 çevrim ile elde edilen mukavemet değerleriyle karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 6'ya göre sabit akım ve sabit sıkıştırma yükü için, çevrim süresi 6 çevrimden 4 çevrime

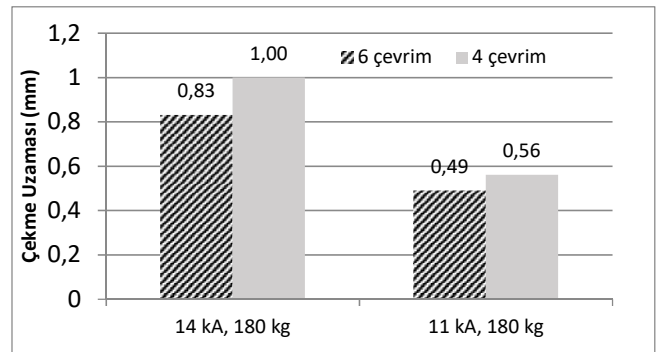
düşürüldüğünde kaynaklı parçaların maksimum çekme kuvvetlerinde artış gözlemlenmiştir.

11 kA'lık kaynak akımında 4 çevrim süresi seçildiğinde kaynak mukavemeti yaklaşık olarak % 18 artarken, 14 kA'lık kaynak akımında ise mukavemet yaklaşık olarak % 11 artarak çalışma içerisindeki en yüksek mukavemet değeri olan 1483 N'a ulaşılmıştır. Çevrim süresinin azaltılmasıyla beraber çekme mukavemetindeki azalma ile ilgili sebep olarak literatürde, kaynak edilecek malzemelerin kaynak esnasında plastik sahaya geçip uygun olmayan kaynak kalitesi oluşumu [22] ileri sürülmüştür.



Şekil 6. Sabit akım ve sabit sıkıştırma yükünde çevrim süresinin dayanıma etkisi. (The influence of cycle time on strength at constant current and compression load)

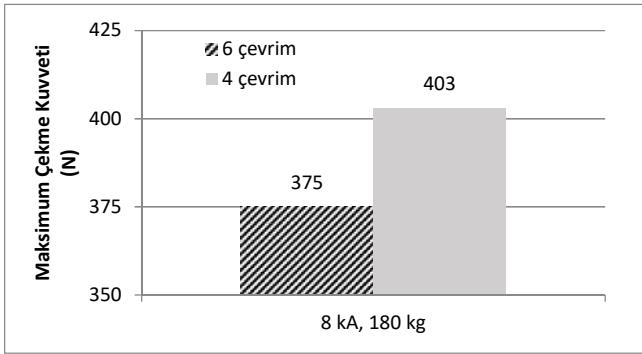
Diğer taraftan; Şekil 3 ve Şekil 5 ilişkisine benzer olarak Şekil 6 ve Şekil 7 arasında da benzer davranış görülmektedir. Yani, sabit kaynak akımı ve sıkıştırma yükü için kaynak zamanı azaldıkça maksimum çekme kuvvetinde olduğu gibi çekme uzaması da artmıştır.



Şekil 7. Sabit kaynak akımı ve kaynak yüküne bağlı olarak elde edilen çekme uzamaları (The tensile elongations obtained depending on the fixed welding current and the welding load)

Çalışmanın son kısmında ise daha düşük kaynak akımının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini incelemek amacıyla; 8 kA'lık kaynak akımı seçilerek, çalışma kapsamında en yüksek mukavemetin elde edildiği sıkıştırma yükü olan 180 kg, 4 ve 6 çevrimlik kaynak süreleri için kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre Şekil 6'da da olduğu gibi kaynak süresi 6 çevrimden 4

çevrime düşürüldüğünde çekme dayanımı yaklaşık olarak %7 lik bir artış göstererek 375 N dan 403 N a çıkmış ancak kaynak mukavemeti çok düşük seviyelerde kalmıştır. Ayrıca parçalarda önem gösteren çekme uzaması değerleri de gözlemlenmemiştir.



Şekil 8. Düşük kaynak akımı için mukavemet değerleri (Strength values for low welding current)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin AA5754-H111 malzeme üzerindeki çekme dayanımı, çekme uzaması ve çekirdek çapı etkileri incelenmiştir. Farklı kaynak parametreleri olarak; kaynak akımı (kA), çevrim süresi ve kaynak sıkıştırma yükü (kg) seçilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, çekme dayanımının tek bir parametreye bağlı olmadığı ve kaynak akımı, kaynak süresi ve kaynak sıkıştırma yükü değerlerine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, elektrik direnç kaynağı uygulamalarının farklı parametrelerle ilişkili olduğu ve yalnız tek bir parametrenin kaynak birleşmesinin daha mukavim olması için yeterli olmayacağı sonucunu göstermiştir. Kaynak parametrelerindeki değişimin kaynak mukavemetini artırabileceği ve optimum değerlerin analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada optimum kaynak mukavemetinin, 14 kA kaynak akımı, 4 kaynak çevrimi ve 180 Kg (kaynak yükü) kombinasyonu ile 1483 N olarak elde edildiği sonucuna varılmıştır.

REFERENCES

- [1] E. Doruk, M. Pakdil, G.Çam, I. Durgun, U. C. Kumru, "Otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı Tofaş uygulamaları," *Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi*, pp. 29–38, 2015.
- [2] N. Ferudun, "Akım ve basıncın direnç kaynak kalitesine etkisi," *Metalurji Dergisi*, vol. 175, pp. 32–34, 2015
- [3] YB. Demir, E. İncekar, Ö. Dincel and M. Elitaş, "İleri Dayanımlı Çeliklerde Nokta Direnç Kaynağı Etkilerinin İncelenmesi," *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 92–100, 2017.
- [4] M. Sun, S. T. Niknejad, G. Zhang, M. K. Lee, L. Wu and Y. Zhou, "Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded AZ31/AA5754 using a nickel interlayer," *Materials and Design*, vol. 87, pp. 905–913, 2015.
- [5] N. Chen, H.-P. Wang, B. E. Carlson, D. R. Sigler and M. Wang, "Fracture mechanisms of Al/steel resistance spot welds in lap shear test," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 243, pp. 347–354, 2017.
- [6] J. Chen, X. Yuan, Z. Hu, C. Sun, Y. Zhang and Y. Zhang, "Microstructure and mechanical properties of resistance-spot-welded joints for A5052 aluminum alloy and DP 600 steel," *Materials Characterization*, vol. 120, pp. 45–52, 2016.
- [7] D. Sun, Y. Zhang, Y. Liu, X. Gu and H. Li, "Microstructures and mechanical properties of resistance spot welded joints of 16Mn steel and 6063-T6 aluminum alloy with different electrodes," *Materials and Design*, vol. 109, pp. 596–608, 2016.
- [8] Y. Kaya and N. Kahraman, "Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin çekirdek oluşumuna etkisi," *Journal of Polytechnic*, vol. 14, no. 4, pp. 263–270, 2011.
- [9] S. Aslanlar, A. Ogur, U. Ozsarac and E. Ilhan, "Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding," *Materials and Design*, vol. 29, pp. 1427–1431, 2008.
- [10] D. Özyürek, "An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel," *Materials and Design*, vol. 29, pp. 597–603, 2008.

- [11] D.Q. Sun, B. Lang, D.X. Sun and J.B. Li, “Microstructures and mechanical properties of resistance spot welded magnesium alloy joints,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 460–461, pp. 494–498, 2007.
- [12] M. Pouranvari, H. R. Asgari, S. M. Mosavizadch, P. H. Marashi and M. Goodarzi, “Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12, no. 3, pp. 217–225, 2007.
- [13] R.S. Florea, K.N. Solanki, D.J. Bammann, J.C. Baird, J.B. Jordon and M.P. Castanier, “Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation,” *Materials and Design*, vol. 34, pp. 624–630, 2012.
- [14] S. Hassanifard and M. Zehsaz, “The effects of residual stresses on the fatigue life of 5083-O aluminum alloy spot welded joints,” *Procedia Engineering*, vol. 2, pp. 1077–1085, 2010.
- [15] A.M. Pereira, J.M. Ferreira, A. Loureiro, J.D.M. Costa and P.J. Bártolo, “Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy,” *Materials and Design*, vol. 231, pp. 2454–2463, 2010.
- [16] S. Wu, B. Ghaffari, E. Hetrick, M. Li, Z. Jia and Q. Liu, “Microstructure characterization and quasi-static failure behavior of resistance spot welds of AA6111-T4 aluminum alloy,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 24, pp. 3879–3885, 2014.
- [17] L. Han, M. Thornton, D. Li and M. Shergold, “Effect of governing metal thickness and stack orientation on weld quality and mechanical behaviour of resistance spot welding of AA5754 aluminium,” *Materials and Design*, vol. 32, pp. 2107–2114, 2011.
- [18] J. Senkara and H. Zhang, “Cracking in spot welding aluminum alloy AA5754,” *Welding Journal*, vol. 79, pp. 194–201, 2000.
- [19] X. Long and S. K. Khanna, “Residual stresses in spot welded new generation aluminium alloys Part B – finite element simulation of residual stresses in a spot weld in 5754 aluminium alloy,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 10, no.1, pp. 88–94, 2005.
- [20] S. A. Şafak, “Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2011.
- [21] H. Zhang, X. Qiu, F. Xing, J. Bai and J. Chen, “Failure analysis of dissimilar thickness resistance spot welded joints in dual-phase steels during tensile shear test,” *Materials and Design*, vol. 55, pp. 366–372, 2014.
- [22] O. Yıldırım, “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Nokta Direnç Kaynak Uygulamalarında İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi,” *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2010.