

Nokta Kaynaklı Birleştirmelerde Kaynak Parametrelerinin Bağlantı Dayanımına Etkileri

Melih Bayramoğlu
Doç.Dr.

Uğur Eşme
Arş. Gör.

Çukurova Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Balcalı / ADANA

Bu makalede, 1010 çeliğinin elektrik direnç kaynağı ile birleştirilmesi üzerine yapılan deneysel bir çalışma sunulmuştur. Kuvvet ve akım şiddeti gibi kaynak parametreleri ile parça kalınlığı arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla değişik şartlarda deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda, maksimum çekme-makaslama mukavemetini veren optimum kaynak parametreleri belirlenmiş ve iş parçasında oluşan iç yapı değişiklikleri mikrosertlik ölçümleri ile analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direnç Nokta Kaynağı, Kuvvet, Akım, Mikrosertlik.

GİRİŞ

Elektrik direnç kaynağının en basit şekli olan nokta kaynağı hızlı ve otomasyana kolayca adapte olabilmesi açısından özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Üst üste konmuş parçalar uçları inceltmiş ve su soğutmalı elektrotlar arasına yerleştirilir. Elektrotlar arasında sıkıştırılmış iş parçaları arasından akım geçirilir. Kaynak için gerekli ısı birleştirilecek parçaların geçen akıma karşı gösterdiği direncin etkisi ile elde edilir. Üretilen ısı miktarı, akım şiddetine, akımın geçiş süresine ve birleştirilecek parçalar arasındaki dirence bağlıdır [1].

Direnç kaynağında maksimum sıcaklığın birleştirilecek parçalar arasında olması istenir. Ancak, açığa çıkan ısı, aynı zamanda elektrotlar ve iş parçasında da sıcaklık artışına neden olur. Neticede kaynak bölgesinde ve civarında malzeme iç yapısında dolayısıyla özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Genellikle, kaliteli bir kaynaktaki amaç ısıdan etkilenmiş bölgenin mümkün olduğunca dar olmasını sağlamaktır [2,3]. Diğer taraftan, elektrotlarda oluşan sıcaklık artışı da elektrotların özelliklerini ve ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, genellikle, elektrotlar iç kısımlarında açılmış kanallardan su geçirilmek yoluyla soğutulmaktadır. Yapılan çalışmalar su sıcaklığı ve debisinin elektrot ömrü ve kaynak kalitesine etki ettiğini göstermiştir [4].

Direnç kaynağında kaliteli bir bağlantının elde edilebilmesi için, parçalar arasında oluşan sıcaklığın çok kısa bir süre için maksimum seviyede ve diğer kısımlardaki sıcaklık artışının ise minimum seviyede tutulması gerekir. Bu amaca ulaşabilmek için, ısının üretilmesinde kullanılan enerjinin, enerjinin uygulama süresinin ve elektrotlar vasıtası ile

uygulanan basıncın optimum bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir [5].

Uygulanan basınç, kaynak süresi boyunca değişim gösterir. Belirli orandaki basınç, başlangıçta iş parçalarını bir arada tutmak ve ara yüzeydeki elektrik direncini kontrol etmek amacıyla uygulanır. Uygun sıcaklığa erişildiği anda ise, bağlantıyı sağlamak amacıyla basınç artırılır. Bu konuda yapılan çalışmalar, uygulanan basıncın şiddetinin ve zamanlanmasının, kaynak kalitesi ve elektrot ömrü açısından oldukça önemli olduğunu göstermektedir [6,7].

Elektrot ve kaynak edilecek malzemelerin geometrisi, mekanik ve fiziksel özellikleri de kaynak parametrelerinin seçiminde oldukça önemlidir. Bu anlamda metaller, alüminyum, bakır gibi yüksek elektrik iletkenliğine ve çelik, nikel, titanyum gibi düşük elektrik iletkenliğine sahip metaller olmak üzere kabaca iki guruba ayrılabilir. Bu tip sınıflandırma hem iş parçası hem de elektrot malzemeleri için geçerlidir. Bilindiği gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip metallerin ısı iletkenliği de yüksektir. Farklı kalınlıkta ve farklı iletkenlikte iki malzeme kaynak edileceği zaman, kalın parçaya ve daha yüksek iletkenliğe sahip parçaya karşılık gelen elektrotun daha büyük boyutlu veya daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olması gerekmektedir. Birleştirilecek parçaların yüksek elektrik direncine, dolayısıyla düşük ısı iletkenliğe sahip olması halinde ısının kaynak bölgesinde odaklanması sağlanarak daha iyi kaynak elde edilir [1,8,9].

Nokta kaynaklı bağlantılarda kaynak kalitesini belirlemek için daha çok tahribatlı muayene metotları uygulanır. Çekme-sıyırma, çekme-makaslama, burma, darbe, metal yorulması, sertlik gibi testler bu amaç için uygulanan tahribatlı muayene

yöntemleridir. Ancak pratikte daha çok, direnç kaynaklı bağlantıların mukavemetinin tespitinde çekme-sıyırma ve çekme-makaslama testleri kullanılır [3,10,11]. Bu çalışmada, kaynak akım şiddeti, basınç, malzeme kalınlığı, kaynak zamanı ve sıkıştırma zamanı gibi parametrelerin nokta kaynağı ile birleştirilmiş SAE 1010 çelik sac malzemelerinin çekme-makaslama mukavemetine etkileri araştırılmıştır.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Malzemeler

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1 de verilen farklı kalınlıklarda sıcak haddelenmiş 1010 çelik sac malzemeler kullanılmıştır. İş parçası üzerindeki oksit tabakaları yüzey direncinin yüksek olmasına ve dolayısıyla ısının yüzeyde toplanmasına neden olmaktadır [12]. Bu nedenle, numuneler üzerindeki oksit tabakaları kaynak öncesi mekanik yöntemlerle temizlenmiştir.

Kaynak işlemi, Şekil 1'de görüldüğü gibi, üst üste binen sac çiftinin bindirme mesafesinin orta noktasına gelecek şekilde yapıldı. Kullanılan numune boyutları malzeme kalınlığına bağlı olarak Tablo 2'de verilen ölçülerde hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, bakır elektrotlar kullanıldı. Çalışmalarda kullanılan elektrot geometrisi Şekil 2'de verilmiştir.

Kaynak Makinası

Deneylerde SPP 60 marka, 60 KVA gücünde, elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma

sistemli elektrik direnç nokta kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak akım şiddeti 5.5 kA'den 18.8 kA'ya kadar elektronik olarak ayarlanabilmektedir. Basınç ayarı ise 1 ile 8 bar arasında basınç ayar valfi ile yapılabilmektedir. Kaynak zamanı, sıkıştırma ve tutma zamanları makinanın kendi elektronik donanımları aracılığı ile kademeli şekilde ayarlanabilmektedir. Deneyler öncesinde kaynak akımı, elektrot basıncı ve akımın geçiş süresi kaynak makinası kullanım kılavuzunda belirtildiği şekilde kalibre edildi [13].

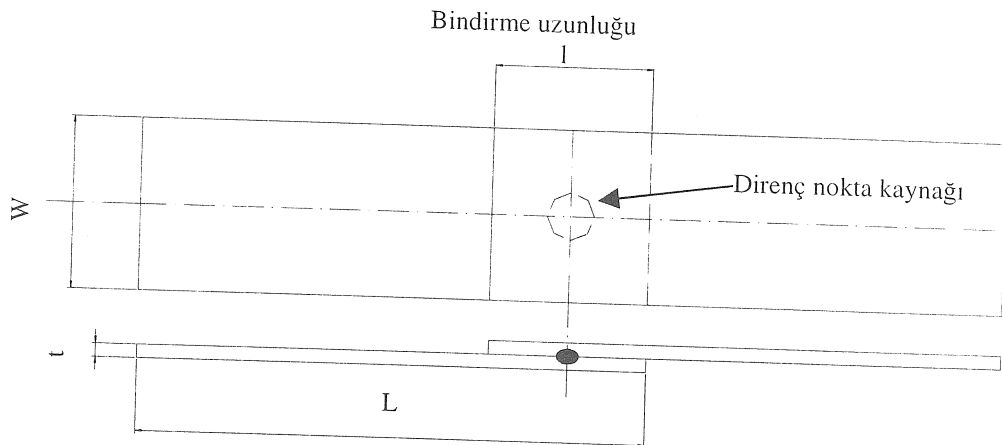
Kaynak Parametreleri

Deneyler esnasında, elektrot geometrisi, elektrot ve iş parçası malzemesi ve soğutma suyu debisi sabit tutulurken elektrot baskı kuvveti ve akım şiddeti gibi diğer kaynak parametreleri birleştirilecek parça kalınlığına göre değiştirildi. Noktasal kaynak işlemi, Tablo 3'de gösterildiği gibi, her kalınlık için üç farklı kuvvet ve farklı akım değerleri kullanılarak yapıldı. Ayrıca, sıkıştırma, kaynak ve bekleme zamanlarının etkilerini görebilmek için diğer parametreler sabit kalmak şartı ile bu parametrelerin her biri ayrı ayrı değiştirilerek 2 mm kalınlığındaki numuneler değişik periyotlarda kaynak edildi.

Değişik şartlar altında kaynak edilmiş numuneler laboratuvar koşullarında maksimum 60 ton kapasiteli ALŞA marka çekme cihazında, Şekil 3'de gösterildiği gibi, çekme-makaslama deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler esnasında çekme hızı sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

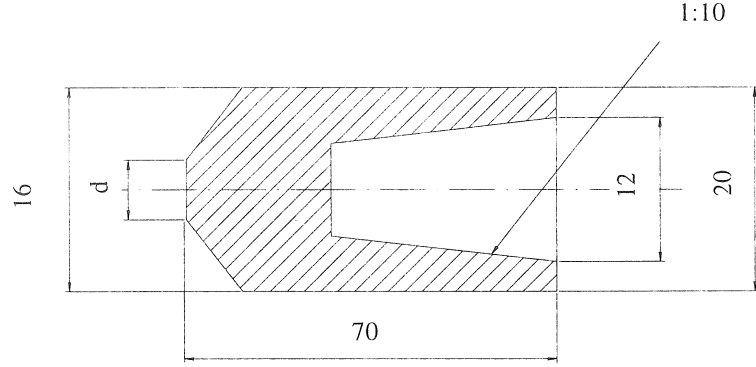
Bileşim (% Ağırlık)	C	Mn	Si	P	S
	0.0823	0.621	0.181	0.0129	0.0162
Mekanik Özellikler	Akma (Mpa)	Çekme (MPa)	% Uzama	% Kesit Daralması	Sertlik (HRB)
	327	418	33.5	63	68



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme boyutları ve kaynak konumu

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan numune boyutları

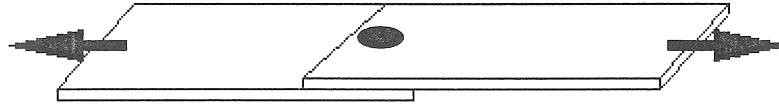
t (mm)	W (mm)	L (mm)	l (mm)
1	19	76	19
1.5	25	101	25
2	25	101	25
3	25	127	25



Şekil 2. Elektrot geometrisi

Tablo 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak parametreleri ve değerleri

Kalınlık (mm)	Akım şiddeti (kA)	Elektrot Baskı Kuvveti (kg)	Sıkma Süresi (periyod)	Kaynak Süresi (periyod)	Bekleme Süresi (periyod)
1.0	6.2 - 8.2 - 10.8 - 12.6	153 - 295 - 330	10	14	8
1.5	9 - 11 - 12.6 - 14.4	295 - 360 - 384	20	16	10
2.0	11 - 13.5 - 14.4 - 16.2	360 - 460 - 500	10-20-...50	8-12-16-...36	10-20-.....100
3.0	14.4 - 16.2 - 17 - 17.5	500 - 800 - 900	40	30	18



Şekil 3. Çekme-makaslama deneyinde uygulanan malzeme yükleme durumu

Mikrosertlik Deneyi

Mikrosertlik ölçümlerinde Vickers (HV_{30}) sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, Tablo 4'de verilen koşullar altında birleştirilen parçalardan hazırlanan numunelerde yapılmıştır.

Mikrosertlik ölçümleri ısıdan etkilenen bölgeden başlayarak kaynak metalini de içine alacak şekilde esas malzemeye doğru 1mm'lik aralıklarla yapılmıştır.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Kaynak Akım Şiddeti

Akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkilerini incelemek amacıyla 1.5 ve 3 mm kalınlıklardaki parçalar değişik değerler altında kaynak edildikten sonra çekme testine tabi tutulmuş ve test sonuçları Şekil 4'de grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 4. Mikrosertlik ölçümünde kullanılan numunelerin kaynak parametreleri

Kalınlık (mm)	Kuvvet (kg)	Akım (A)	Kaynak Zamanı (periyod)
1.0	295	8200	10
2.0	360	11000	18

Grafiklerde de görüldüğü gibi, belli bir değere kadar akımdaki artış çekme-makaslama mukavemetinin artmasına daha sonra ise mukavemette düşüşe neden olmaktadır. Bunun sebebi, üst üste binen yüzeyler arasında metal fişkırması ve metalin yüzeyindeki derin elektrot izleridir. Aşırı yüksek akımlarda kaynak edilmiş numunelerde kopma tipi metalden yırtılma olarak gözlenmiştir.

Düşük akım şiddetinde, kaynak mukavemeti kaynak bölgesine verilen ısının yetersiz ve dolayısıyla kaynak çekirdek çapının küçük olmasından dolayı çok düşük akım seviyelerinde bağlantı dayanımı da düşük olmaktadır. Düşük akım şiddetinde birleştirilen numunelerde kopma tipi direkt olarak kaynak çekirdeğinden bırakma olarak gözlenmiştir.

Elektrot Baskı Kuvveti

Kaynak için gereken baskı kuvveti, iş parçası üzerinde elektrotların dinamik kuvveti olarak düşünülür ve kaynak boyunca uygulanıp, üst üste binen yüzeyler ve malzemenin cinsine, kalınlığına göre kontrol edilir [7].

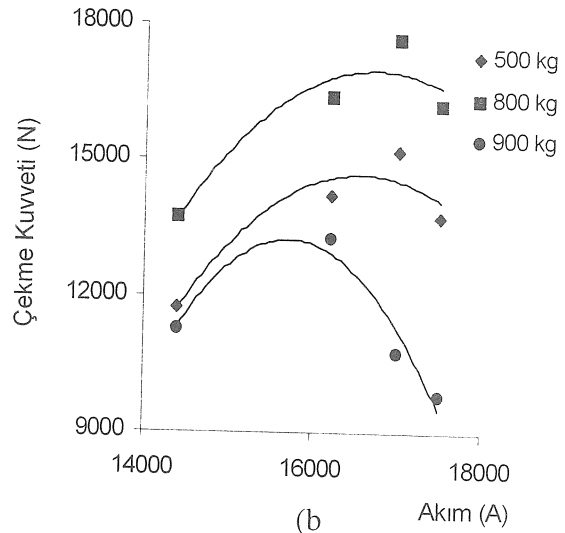
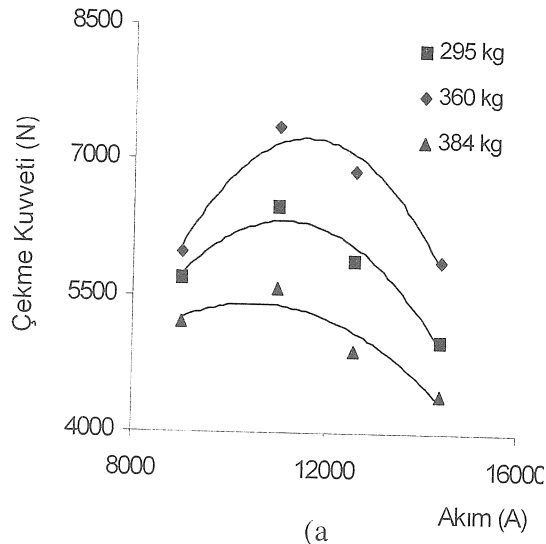
Kuvvetin en önemli etkisi parça yüzeyleri ve iş parçasıyla elektrot arasındaki dirençlere olan etkisidir. Düşük elektrot baskı kuvveti uygulanarak yapılan kaynaklı birleştirmelerde iş parçası ile elektrot arasında oluşan yüksek direnç ve yüksek

ısıdan dolayı parça yüzeyinde yanma ve elektrot yüzeylerinde de hasar gözlenmiştir. Isının istenilen bölgede konsantre olamamasından dolayı, elde edilen grafiklerde de görüldüğü gibi, düşük elektrot baskı kuvveti, çekme-makaslama mukavemetinde düşüşe sebep olmuştur.

Baskı kuvvetindeki artış ile, uygun akım şiddetlerinin kullanılması halinde, belli bir değere kadar çekme-makaslama dayanımında artış gözlenmiştir. Kuvvetin, optimum değer üzerinde olması metal miktarını azaltarak, kesit alanını küçültüp buna bağlı olarak yumuşak metalin kaynak bölgesi dışına fişkırmasına ve parça yüzeyinde derin elektrot izinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı da kaynaklı bağlantının dayanımında düşüş olmaktadır (Şekil 4 (a) ve (b)).

İş Parçası Geometrisi

İş parçasının kalınlığı direnç kaynağında önemli bir parametredir. Aynı şartlar altında yapılan kaynak işlemlerinde, kalınlığın artması ısının yayılması ve azalmasına neden olduğundan kaynak mukavemeti zayıf olmaktadır. Kalınlığın az olması halinde ise yüksek ısıdan dolayı kaynak bölgesinde iş parçası malzemesinde yığılmalar gözlenmiştir. Bu gibi nedenlerden dolayı, kaynak akım şiddetinin parça kalınlığına göre ayarlanması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar parça kalınlığı ile akım şiddeti arasında lineer bir ilişkinin olmadığını

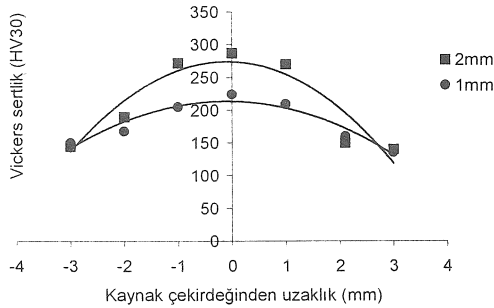


Şekil 4: (a) 1.5 mm'lik ve (b) 3mm'lik saclarda akım şiddetinin değişik baskı kuvvetlerinde çekme-makaslama mukavemetine etkileri

göstermektedir. Bunun nedeni, malzemelerin ısı özelliklerinde kimyasal bileşimin yanı sıra iş parçası kütlesinin ısı miktarında etkili olmasıdır [1]. Özellikle kalın parçaların nokta kaynağında, akımın ve ısının istenilen bölgede odaklanmasını sağlamak amacıyla projeksiyon direnç kaynağı kullanılabilir [9].

Mikrosertlik

Tablo 4 de verilen değerler altında birleştirilen 1 ve 2mm kalınlığındaki numuneler üzerinde yapılan mikrosertlik ölçümleri Şekil 5’de verilmiştir. Sertlik değeri artan kalınlık, ile beraber artış göstermektedir. Bunun nedeni, kalın parçaların birleştirilmesinde kullanılan baskı kuvvetinin yüksek olmasıdır. Kaynak esnasında ve sonrasında artırılan baskı kuvveti parça yüzeyinde dövme etkisi yaparak deformasyon sertleşmesine sebep olmaktadır. Bunun neticesinde, özellikle nokta kaynak ile birleştirilmiş düşük karbonlu çelik sac malzemelerin, kaynak çekirdeğindeki sertlik değerleri daha yüksek



olmaktadır.

Şekil 5: Farklı kalınlıklarda ölçülen mikrosertlik değerleri

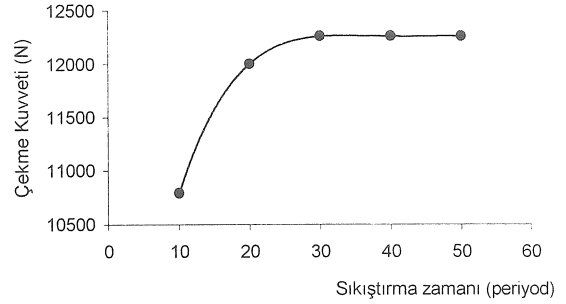
Sıkıştırma Zamanı

Sıkıştırma zamanı, akımın uygulanmaya başlamasından önce elektrotun malzemeyi sıkıştırarak iki malzeme arasındaki direnci düşürmeye başladığı süredir. Kontak direnci ve etkili bir sıkıştırma bakımından bu sürenin uygun seçilmesi gerekmektedir. Nokta kaynaklı bağlantılarda maksimum mukavemetin elde edilebilmesi için parçaların belirli bir süre baskı altında tutularak kaynak bölgesinde yeterli sıcaklığa ulaşılması gerekmektedir. Bu nedenle, Şekil 6 da da görüldüğü gibi bağlantı mukavemeti kaynak için yeterli sıcaklığın elde edildiği 30 periyoda kadar artmakta ve daha sonra sabit kalmaktadır.

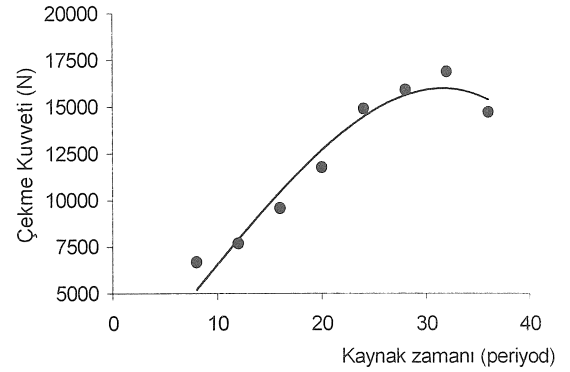
Kaynak Zamanı

Kaynak zamanı akımın kaynak süresince devrede olduğu zamandır. Kaynak zamanı tamamen oluşan toplam ısı miktarını ($Q = I^2 R t$) etkilediği için çekme mukavemeti üzerinde, Şekil 7’de

görüldüğü gibi, büyük etkileri vardır. Yüksek kaynak zamanlarında çekme kuvvetindeki düşme (32 periyoddan sonra), kaynak külçesinin malzemenin erime sıcaklığını aşması ve yüksek ısı konsantrasyonunun asimetrik olarak kaynak külçesi etrafında dağılması şeklinde düşünülebilir.



Şekil 6: Sıkıştırma zamanının çekme dayanımına etkisi (Akım:13500 A, Baskı kuvveti: 460 kg)

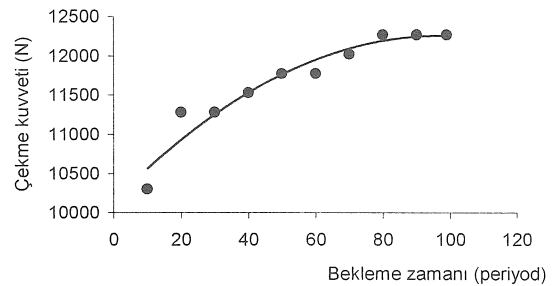


Şekil 7: Kaynak zamanının çekme dayanımına etkisi (Akım:13500 A, Baskı kuvveti: 460 kg)

Bekleme Zamanı

Bekleme zamanı kaynak akımı kesildikten sonra elektrotun kaynak üzerinde baskı yapmış şekilde beklediği süredir. Bekleme süresi boyunca uygulanan basıncın etkisi ile parçalar arasındaki birleşme tamamlanır ve elektrot kaynak metali üzerinde dövme etkisi yaparak ince taneli yapının oluşmasını sağlar.

Şekil 8. Bekleme zamanının çekme dayanımına etkisi (Akım:13500 A, Baskı kuvveti: 460 kg)



Şekil 8: Bekleme zamanının çekme dayanımına etkisi (Akım:13500 A, Baskı kuvveti: 460 kg)

Soğuma hızı bakımından düşünülürse bu sürenin uzun tutulması soğuma hızını artıracığından belli bir değere kadar mikrosertlik ve mukavemet etkilenecektir. Bu nedenle bu sürenin uygun seçilmesi gereklidir. Şekil 8'de görüldüğü gibi parçalar arasında yeterli birleşme sağlandıktan sonra (80 periyod) mukavemet sabit kalmaktadır.

SONUÇLAR

İmalat işlemlerinden sonra yapılan kalite kontrol testleri, hurda miktarının dolayısıyla üretim maliyetinin artmasına neden olur. Bu nedenle, diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi, kaynaklı birleştirmelerde de istenilen özelliklerin üretim aşamasında sağlanabilmesi oldukça önemlidir.

Nokta kaynaklı bağlantılarda yeterli dayanımı elde edebilmek için parçalar birden fazla noktalardan kaynak edilirler. İşlemi hızlandırmak ve daha

ekonomik hale getirebilmek için nokta kaynak sayısının azaltılması gerekir. Bu ise ancak uygun kaynak parametrelerinin seçimi ile her bir noktada maksimum dayanımın elde edilmesi sonucu sağlanabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar sadece kullanılan malzeme ve kalınlıklar için geçerli olup, deneyler sonucunda 1010 çelik sac malzemelerde maksimum çekme-makaslama dayanımları Tablo 5'de verilen değerlerde elde edilmiştir. Bu değerlerin kullanıldığı birleştirmelerde kopmanın kaynak bölgesi civarındaki ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu ve kaynak metalinin iş parçası yüzeyinden ayrılmadığı gözlenmiştir. Kaynak parametrelerinin optimum seçilmemesi halinde ise elektrotta ve iş parçasında hasarlar meydana gelmiş ve elektrot ömrü olumsuz yönde etkilenmiştir.

Tablo 5. Farklı kalınlıklar için maksimum dayanımları veren kaynak parametreleri.

Kalınlık (mm)	Akım(A)	Baskı Kuvveti (Kg)	Mukavemet (N)	Kaynak Çapı (mm)
1	8200	295	4050	5.5
1.5	11000	360	7350	6.7
2	13500	460	11250	7.8
3	17000	800	17650	10.2

EFFECTS OF WELDING PARAMETERS ON THE STRENGTH OF RESISTANCE SPOT WELDED JOINTS

The present paper reports experimental investigations on the spot welding of 1010 steel sheets. Experiments were carried out to study the relationship between spot welding parameters (welding current and electrode force) and sheet thickness. The experimental results have been used in selecting optimum processes parameters for obtaining maximum tensile-shear strength on the joints and to study the influence of welding parameters on the microhardness.

Keywords: Resistance Spot Welding, Electrode Force, Current, Microhardness.

KAYNAKÇA

1. Degarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., Materials and Processes in Manufacturing, Macmillian Publishing Company, New York, 1988.
2. Lantz, J., Principles of Resistance Welding, *Welding Design and Fabrication*, pp. 26-29, February 2000.
3. Tandoğan, A.B., Determination of Spot Welding Parameters Thick, Heat Treated SAE 4140 Steel Parts, MSc Thesis, METU, September 1998.
4. Hirsch, R.B., *Influence of Water Temperature and Flow on Electrodes*, Ronald Leibovitz V.P. Manufacturing Unitrol Electronics Inc, December 1997.
5. Miyachi Group, *Electrode Force Control for Foot and Air Actuated Weld Heads*, Technical Application Brief, Vol 2, No 1, May 1999.
6. Hirsch, R.B., *The Effect of Tip Force on Weld Quality and Electrode Life*, Leibovitz V.P. Manufacturing Unitrol Electronics Inc, May 1998.
7. James, P.S., Chandler, H.W., Evans, J.T., Wen, J., Browne, D.J., Newton, C.J., The Effect of Mechanical Loading on the Contact Resistance of Coated Aluminium, *Material science and Engineering*, pp. 194-201, November 1996.
8. Lantz, J., Principles of Resistance Welding, *Welding Design and Fabrication*, pp. 46-49, April 2000.
9. Miyachi Group, *Welding Material Control*, Technical Application Brief, Vol 2, No 3, September 1999.
10. Giroux, D., Resistance Welding Manual, MacGraw Hill Book Company, New York, 1989.

11. Aslanlar, S., Karabaş, V., İlhan, E., Farklı Et Kalınlığındaki Kaporta Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisi, *II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu*, Celal Bayar Üniversitesi, Kasım 2001.
12. Crinon, E., Evans, J.T., The Effect of Surface Roughness, Oxide Film Thickness and Interfacial Sliding on the Electrical Contact Resistance of Aluminium, *Materials Science and Engineering*, pp.121-128, April 1997.
13. Baykal SPP 60, Kaynak Makinası kullanma Kılavuzu, Bursa, 1996.