

Bakır Bara ve Flex Örgü Birleşiminde Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Optimizasyonu

Burak ÇAKIR^{1*} , Seyfi Ali SARIKAYA² , Hakan AVCI³ , Alparslan BAYRAKTAR⁴ 

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, g180906038@subu.edu.tr

² AR-GE, Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş. , Sakarya, sseyfisarikaya@gmail.com

³ AR-GE, Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş. , Sakarya, hakan.avci@ogr.sakarya.edu.tr

⁴ AR-GE, Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş. , Sakarya, bayraktaralparslan@yahoo.com

ÖZ

Bu çalışmanın amacı enerji iletim sektöründe ki bakır bara ve flex örgü birleşiminde kullanılan direnç nokta kaynağında parametre optimizasyonu yapmaktır. Bu sayede meydana gelebilecek olan enerji iletim kayıplarını da en aza indirmek mümkün olabilecektir. Bu kapsamda şalterlerde kullanılan bara ve flex örgülerin kaynak işlemleri 500 kVA'lık elektrik direnç nokta kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin elde edilen bağlantıların dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Sonuçta kaynak akım şiddetinin aşırı yüksek olması halinde malzemede hasar olduğu, kaynak süresinin düşük seviyede olması halinde ise yetersiz kaynak nüfuziyeti olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların çekme testleri yapılarak kopma dayanımları ile kaynak parametreleri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu çalışmalar ile birlikte Air Circuit Braker olarak bilinen 1200A 415 V şalter 'de uzun süreli çalışma koşullarında fazların çalışma sıcaklıklarının düşürülmesi hedeflenmiş ve bu amaca yönelik çalışılmıştır. Şalterin testi Uluslararası Yüksek Güç Test Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Test 1200 A de 5 V değerlerinde, ortam sıcaklığı 19,8 °C derece alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda şalterin faz giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklıklar deney öncesinde 65 °C iken yapılan araştırma ve geliştirme işlemleri ardından 50 °C değerine ulaşılmıştır. Kaynak işlemleri 340 A ile 400 A aralığında ve kaynak süresi ise 20 ms ile 30 ms arasında değiştirilerek çalışma yapılmıştır. Belirtilen aralıkta çalışma yapılmasının sebebi $Q = I^2 * R * t * K$ denklemi ile K ve R sabit alınarak 3100 Joule için değer kümesi oluşturulmuştur. Yapılan kaynak işleminin nüfuziyetinin değerlendirilmesi amacıyla yönelik birleştirilen malzemeler çekme testine tabi tutulmuş olup sonuçlar kg olarak elde edilmiştir.

Keywords: Direnç nokta kaynağı, Bakır bara, Çekme dayanımı

ABSTRACT

The purpose of this study is to optimize parameters in the resistance point source used in the copper bar and flex knit combination in the energy transmission sector. This will also minimize the energy transmission losses that can occur. In this context, welding operations for the bus and flex braids

* Corresponding Author : g180906038@subu.edu.tr

used in the switches have been carried out on the 500 kVA electrical resistance spot welder. The effects of source current and source time on the strength of the connections obtained have been studied. The result is that if the source current is too high, the material is damaged and if the source time is low, insufficient resource penetration has been observed. The relationship between the break-out resistance and the source parameters is determined by performing the pull tests of the welded connections obtained. After the operations indicated, the work has continued for optimal welding and new source parameters for assembly are being applied in production. The purpose of this study is to optimize parameters at the resistance point source used in the copper bar and flex-knit combination in the energy transmission sector. This will also minimize the energy transmission losses that can occur. In this context, welding operations for the bus and flex braids used in the switches have been carried out on the 500 kVA electrical resistance spot welder. The effects of source current and source time on the strength of the connections obtained have been studied. The result is that if the source current is too high, the material is damaged and if the source time is low, insufficient resource penetration has been observed. The relationship between the break-out resistance and the source parameters is determined by performing the pull tests of the welded connections obtained. In combination with these studies, the 1200A 415 V switch, known as Air Circuit Braker, is intended to reduce phase operating temperatures in long-term operating conditions and is intended for this purpose. The test of the switch was performed at the International High Power Test Laboratory. Test 1200A was performed at 5 V, with ambient temperature set at 19.8 °C degrees. As a result of the work carried out, the temperature at the phase entry and exit points of the switch was reached at 50°C after the research and development of 65°C prior to the experiment. Welding operations have been carried out in the range 340 a to 400 a and the source time has been changed from 20 ms to 30 ms. The reason for the operation in the specified range is because of the equation $Q = I^2 * R * t * K$, and the value set for 3100 Joules were set by taking K and R constant. The combined materials for the purpose of assessing the influence of the welding process were subjected to a pull test and results were obtained in kg.

Keywords: Resistance spot welding, Copper bar, Pull strength

1 Giriş

Bakır elementinin M.Ö 4000 yılında kullanılmaya başlandığı düşünülmektedir. Bakır-kalay alaşımı olan bronz M.Ö. 2400 yılından itibaren, bakır çinko alaşımı pirinç ise iki bin yıldan uzun bir süreden beri kullanılmaktadır (Koçak, H. 2006).

Mühendislik malzemesi olarak bakırın yaygın olarak kullanılmasını yüksek korozyon dayanımı, iyi derecede elektrik ve ısı iletkenliği, görünüşü, şekil ve mukavemetlendirilme kabiliyetlerinin iyi olmasına bağlayabiliriz. (Sun, A. C. vd., 2007). Metaller içinde gümüşden sonra en iyi iletkenliğe sahip metal bakırdır. Bu sebeple enerji aktarımının önemli olduğu alanlarda bakır tercih edilmektedir (Caven, R.W., vd. 1991).

Özgül ve ark. (Özgül, H. G. vd., 2018). yaptığı çalışmada Al 5754-H111 alüminyum alaşımının elektrik direnç yöntemi ile birleştirilme operasyonu ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Yaptıkları gözlem sonuçlarında bağlantıların mukavemetlerini belirlemek adına çekme testine tabi tutmuşlardır. Kaynak parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yıldırım ve ark. (Yıldırım, M., vd., 2019) yaptığı çalışmada yüksek mukavemet ve korozyon dayanımı sebebi ile uzay ve çeşitli endüstrilerde kullanılan titanium plakalar üzerinde çalışmıştır. Yaptıkları çalışmada elektrotlara; 3 ve 6 kN yük uygulamış, kaynak akımı olarak 3,5 ve 7 kA ve kaynak süresi olarak ise 30 çevrime kadar çıkmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda optimum kaynak parametrelerini şu şekilde elde etmişlerdir; baskı kuvveti olarak 6 kN, kaynak akımı olarak 7 kA ve kaynak süresi olarak 30 periyotluk sürenin ideal olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ertan ve arkadaşları (Ertan, R., vd., 2019) yaptığı çalışmada, üç farklı yüksek dayanımlı çelikten imal edilen sac malzemelerin direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmada kaynak akımlarında değişik akım seviyeleri kullanılmış ve bağlantıların sağlamlığı uygulanan çekme testleri ile değerlendirilmiştir. Artan kaynak akımı ile birlikte

dayanımın da arttığını gözlemlemişlerdir. Doruk ve ark. (Doruk, E., vd., 2015) yaptığı çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan direnç nokta kaynağı üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada araç gövdesi üzerinde kullanılan manuel ve robotik sistemleri anlatmışlardır. Kaynak prosesinde farklı elektrotların kaynak üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bunun ile birlikte farklı metallerin birleştirilme operasyonundan da bahsetmişlerdir.

2 Materyal Metot

2.1 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Metodu

Direnç nokta kaynak metodunun eski bir kaynak metodu olduğu bilinmektedir. Bu kaynak metodunun 1877’ de Birleşik Amerika’ da yapılan çalışmada rastlantı sonucu bulunduğu bilinmektedir. Direnç nokta kaynak metodu yaygın olarak kullanılan bir birleştirme metodudur. Bu metodun yaygın olarak kullanılmasını, yöntemin uygulama kolaylığı ve kısa süren işlem süresi ile açıklanabilir. Genel olarak sektörde yaygın kullanımda olan makineler bir operatör aracılığı ile ilerlemekte ve işlem sonrasında tekrar operatör tarafından işlem sonlandırılmaktadır. Kaynak metodu, birleştirilmek istenen parçaların üzerinden geçirilen akıma karşı oluşan direnç vasıtası ile ısı meydana gelmektedir ve bu ısı ile parçalar birbiri ile birleştirilmektedir. Akım ile sağlanan ısı sonrasında birleşmenin sağlam olması için kaynak alanına basınç uygulanır ve soğumaya bırakılır. Bu işlemlerin tamamı sonrasında direnç nokta kaynağı gerçekleşmiş olur (Eryürek, B. 1982).

Direnç kaynağında

$$Q = K * I^2 * R * t \quad (\text{Eryürek, B. 1982})$$

I : Devreden geçen akım miktarı (A)

R : Birleştirme esnasında meydana gelen direnç (Ω)

t : Kaynak zamanı (Ms)

K : kJ/kg°C

Burada hesaplanan ısı değeri teorik olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulama sonrasında oluşan ısı ışıma, konveksiyon gibi taşınım ile kaybolacaktır. Direnç değeri de birleştirme için önemlidir çünkü birleşme için gerekli ısının sağlanmasında etkilidir. Düşük direnç değerinde, yüksek akım miktarı verilmektedir. Kaynak işlemi sonrasında birleştirme noktasına uygulanan basıncı, hidrolik veya mekanik sistemler vasıtası ile sağlanmaktadır (Eryürek, B. 1982).

Kaynak akımı, birleştirilmesi istenen bölgelerden geçen akıma verilen isimdir. Kaynak bölgesindeki gerekli birleştirme ısısının oluşumunda kaynak sırasında sağlanan akım miktarı önem arz etmektedir. Bu süreçte akımın artırılması da sıçrancı oluşmasına ve elektrot deformasyonuna yol açabilir (Şahin 2019).

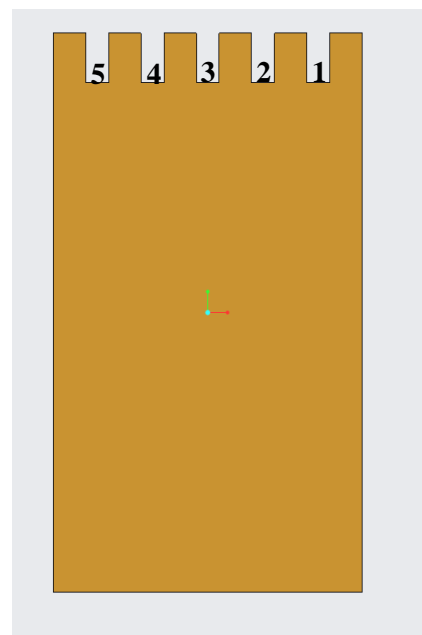
Isı oluşumundaki ilk etken olan kaynak akımını, akımın devre üzerinden geçirildiği kaynak süresi de etkilemektedir. Teorik denklemde de bahsedildiği üzere teorik ile uygulama sonrasında karşılaşılan sonuçlar doğrultusunda kaynak zamanı hesaplanandan farklılık göstermektedir. Bu farkı gidermek üzere kaynak akımı artırılır ve aşırı ısınma sonucunda kaynak sonrasında elektrotların kaynak bölgesi üzerinde kalma süresi artırılarak sağlam birleştirme ve soğuma işlemlerini de gerçekleştirmiş olur. Kaynak süresinin malzeme cinsi ve kalınlığına göre optimum düzeyde tutulması kaynak sonrasında

oluşabilecek olan kaynak hatalarını engellemede önem arz etmektedir (Şahin 2019).

Kaynak öncesinde sabit olan malzeme direnci, kaynak esnasında meydana gelen ısı ile birlikte değişime uğramaktadır ve sıcaklık arttıkça direnç azalmaktadır. Malzeme üzerinde artan basınç ile birlikte de yüzeyler arasında pürüzlülükten dolayı oluşan boşluklar kapanmakta ve direnç değeri de azalmaktadır. Direnç değeri kaynak uygulaması için önemli bir özelliktir lakin uygulama esnasında oluşan ısı miktarı optimum seviyede sağlanmalı ve dağılımı kontrol edilmelidir (Şahin 2019).

Belirli kesit alanlarında tasarımı yapılan bakır bara parçaları testere tesgahlarında uygun boylarda kesilerek boşaltılması istenen bölgeler CNC tezgahında teknik resme uygun işlenmektedir. Ardından parça üzerindeki çapaklar alınarak yüzeydeki yağı almak ve temizlemek için yağ alma banyosuna ardından yıkama banyosuna gönderilir. Kaplama havuzunda anot ve katot çubuklarının yer aldığı ve akım geçirilen çözeltinin içine kaplanmak istenen parçalar katot çubuklarına asılarak 3 ± 1 μm gümüş kaplama operasyonu gerçekleştirilir. Son birleştirme işlemi için kaynak hattında getirilen parçalar önceden boy ve kesit alanı üzerinden geçen akımın yüküne uygun belirlenmiş bakır örgülerle birleştirilmesi için elektrik direnç kaynağı makinesinde farklı akım ayarı ve çevrim süreleri denemeleri ile birleştirilir. Kaynak operasyonunun ardından çeşitlendirilen örgülü ve bakır bara birleşiminden oluşan montaj kaynak nüfuziyetinin mukavemetini ölçmek için çekme testine tabi tutulur. Test sonucunda çıkan kopma değeri ile koptuğu yüzey alanındaki kalan flex parçaları değerlendirilerek bağlantının kabul edilebilir olup olmadığına karar verilir.

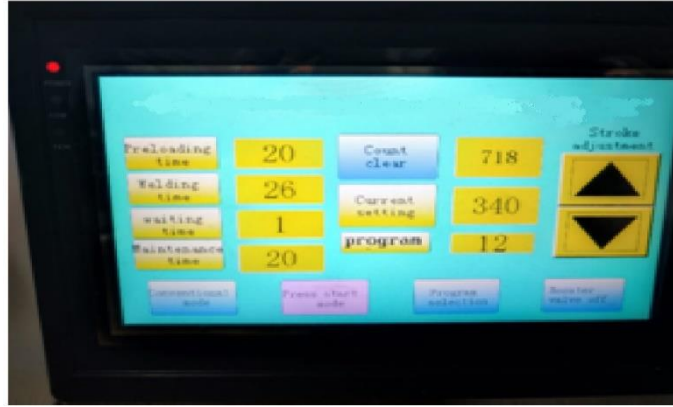
Bakır baraların tasarımında baraların kanal genişliği ve yüksekliği sabit tutulmuş ve denemelerde akım ve zaman ilişkisi üzerine parametre değişimi yapılmıştır. Bakır bara üzerinde mevcut olan 5 adet kanallar aynı zamanda göz ismi ile de isimlendirilmektedir. Gözlerin sıralaması bakır baranın şekilde verildiği gibi sağ kısmından sol kısmına doğru sıralanmaktadır. Gözlerin özelliği ölçülerinin sabit olması ve birleştirme işleminin bu kanallarda gerçekleşecek olmasıdır. Gözlerin genişliği 5,6 mm olup derinliği ise 11,45 mm dir. Bu alana sıkı geçmek üzere flex örgüler 5,6 mm kalınlıkta ve 11,5 mm boyutundadır.



Şekil 1. Kullanılan sabit bakır bara ve teknik resmi görüntüsü

Kullanılan flex örgü bakır genellikle 8 damarlı 10 damarlı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. İstenen çap ölçüsüne göre damar ekleme veya çıkarma işlemi sayesinde örgüde değişiklik yapılabilir. Kaynak işleminde kullanılan örgü, kaynak atölyesinde tasarlanan şalterin özelliğine göre istenen boyutlarda üretilmektedir.

Kaynak makinesi 500 kVA gücüne sahiptir. Besleme olarak alternatif akımdan beslenir ve kaynak uçlarında ise doğru akım ile kaynak işlemi gerçekleşir. Bu sayede düzgün bir akım verilerek alternatif akımda oluşan gerilim kaynaklı anlık akım değişimine maruz kalmaz. Kaynak makinesindeki parametrelerin girildiği kontrol ekranı Şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kaynak makinesi kontrol ekranı

2.2 Deneysel Çalışmalar

Elektrik direnç kaynağı birleştirilmek istenen metal parçalarından geçirilen akıma karşın bu parçaların akıma karşı oluşturduğu direnç ve ısı yardımıyla kaynak edilmesi işlemine denilmektedir. Çekme testi kesit ve boyu belirlenen malzemelerin sabit ve hareketli çeneler arasında sıkıştırılarak sabit hızda veya kuvvette hareket ettirilerek plastik ve elastik deformasyonun bir grafik halinde % uzama miktarını belirlendiği deneydir. Akım şiddeti 340-400 A (amper) aralığında, kaynak süresi 20-26 milisaniye aralığında değiştirildi. Bu sayede Tablo 1 'de gösterilen deney setinde ki kaynak işlemleri gerçekleştirildi. 4 Adet farklı deney setinin oluşturulma amacı kaynak işleminin 2 göz ve 3 göz olarak yapılması, akımın değiştirilmesi, süredeki değişiklik gibi etkilerin çıktısını net bir şekilde görmektir.

Yapılan deney 1 işlemi öncelikle 1ve 2 no 'lu gözlerden başlanarak kaynak işlemi yapılmıştır. İşlemin uygulanma esnasında 1 ve 2 no'lu gözler 390 A 20 milisaniye kaynak işlemine tabi tutulmuştur. 3 ve 4 no 'lu gözler 395 A 23 ms olarak işlem uygulanmış, 5 no'lu göz ise 400 A 24 ms olarak kaynak işlemi tamamlanmıştır. Yapılan deney 2 işlemi öncelikle 1ve 2 no'lu gözlerden başlanarak kaynak işlemi yapılmıştır. İşlemin uygulanma esnasında 1 ve 2 no 'lu gözler 395 A 22 ms kaynak işlemine tabi tutulmuştur. 3 ve 4 no 'lu gözler 395 A 22 ms olarak işlem uygulanmış, 5 no'lu göz ise 400 A, 24 ms olarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Yapılan deney 3 işlemi öncelikle 1ve 2 no'lu gözlerden başlanarak kaynak işlemi yapılmıştır. İşlemin uygulanma esnasında 1 ve 2 no 'lu gözler 395 A 23 ms kaynak işlemine tabi tutulmuştur. 3 ve 4 no'lu gözler 395 A 23 ms olarak işlem uygulanmış, 5 no'lu göz ise 400 A 24 ms olarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Yapılan deney 4 işlemi öncelikle 1 ve 2 no'lu gözlerden başlanarak kaynak işlemi yapılmıştır. İşlemin uygulanma esnasında 1 ve 2 no 'lu gözler 340 A 26 ms kaynak işlemine tabi tutulmuştur. 3 ve 4 no'lu gözler 340 A 26 ms olarak işlem uygulanmış, 5 no 'lu göz ise 360 A 26 ms olarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Deneylerin 4 kez yapılması, gözlerin kaynak sırasının ikili, üçlü ve tekli olarak kaynak işlemine tabi tutulmasının çıktısını net bir şekilde görmek üzere yapılmıştır. Bu gözlemlerin yapılışında ise verilen akım ve süre ile ilgili bilgiler net bir şekilde bahsedilmiştir.

Tablo 1. Deney seti

DENEY 1		
Göz No	Amper	Milisaniye
1	390	20
2	390	20
3	395	23
4	395	23
5	400	24
DENEY 2		
Göz No	Amper	Milisaniye
1	395	22
2	395	22
3	395	22
4	395	22
5	400	24
DENEY 3		
Göz No	Amper	Milisaniye
1	395	23
2	395	23
3	395	23
4	395	23
5	400	24
DENEY 4		
Göz No	Amper	Milisaniye
1	340	26
2	340	26
3	340	26
4	340	26
5	360	26

Kaynak işleminden sonra elde edilen bağlantılar çekme test cihazı ile Şekil 3'deki gibi bağlanarak çekme testine tabi tutulmaktadır. Yapılan kaynak işleminin nüfuziyeti ve birbirleri ile karşılaştırılması hakkında gereken bilgiye ulaşılması için bu teste ihtiyaç duyulmuştur. Test sonucunda elde edilen veriler kg kuvvet olarak kayıt edilmiştir.

3 Sonuçlar

Yapılan deney 1 sonucunda, 1 ve 2 no 'lu gözlerin kanaldan sıyrılarak çıktığı ve nüfuziyet olmadığı görülmüştür. 3, 4 ve 5 no 'lu gözlerde ise örgülerin kaynak üstündeki flex kısımdan koptuğu gözlemlenmiştir. Bağlantılara ait gözlemlenen kopma tipleri ile çekme dayanım değerlerinin uyum

içerisinde olduğu saptanmıştır. Bu şu şekilde açıklanabilir; 2 no 'lu göz sıyrılarak 170 kg lık kuvvet çıktısı vermiş olup 3 no'lu göz ise flex koparak ayrılmasından ötürü 437 kg lık kuvvet çıktısı vermiştir. Flex kısmın bara üzerindeki bıraktığı kopan malzeme miktarı ile artan test değeri doğru orantılıdır. Malzemenin bara üzerindeki kalıntısı kaynaklı birleştirmenin durumunu da göstermektedir. Deney 2' de ise 3 nolu gözün yüksek çekme test değerine sahip olması bağlantının sağlam olduğunu ve diğer gözlerdeki düşük çekme test sonucu kötü bağlantıyı göstermektedir. Deney 3' de 3 ve 5 no 'lu gözlerdeki kopma şekli ve kopma anındaki çekme test değeri bağlantının kaliteli olduğunu göstermiştir. Diğer gözler olan 1, 2 ve 4 te 'ki ayrılma sıyrılarak gerçekleşmiş olup test sonucu ise maksimum 427 kg olarak kayıtlara geçmiştir. Yapılan son deney 4 verileri incelendiğinde bütün gözlerde sıyrılma olmadan flex kısmın üstünden kopmalar gerçekleşmiştir. Gerçekleşen testin ardından çekme test verileri 715 ve 830 kg aralığında çıkmıştır. İstenen kaynak kalitesi elde edilmiş ve raporlanmıştır.

İyi bir kaynak işlemi yüksek kaynak nüfuziyeti sağlayacak ve bağlantı kalitesi de artacaktır. Artan bağlantı kalitesi ile birlikte, normal bir kaynak operasyonu sonucunda elde edilen direnç değeri 8 mv iken kaynak işlemi iyileştirmesi ardından 1,5 Mv değerine kadar düşmüştür. 3,5 Mv değerindeki çekme test çıktısı 350 kg iken 3,5 mv değerinde bu değer 800 kg değerlerine ulaşmaktadır. Bu tetkikler sonucunda test verileri ve çekme operasyonu ardından ayrılma biçimine göre de yüzeyde malzeme bırakmadan sıyrılarak ayrılmalarda olumsuz birleştirme olarak raporlanmıştır.

Tablo 2. Sonuç verileri

Deney 1/ Göz No	Akım ayarı	Süre ayarı	Çekme testi sonucu (kg)
1	390	20	265
2	390	20	170
3	395	23	437
4	395	23	284
5	400	24	260
Deney 2/ Göz No	Akım ayarı	Süre ayarı	Çekme testi sonucu (kg)
1	395	22	229
2	395	22	270
3	395	22	881
4	395	22	350
5	395	22	281
Deney 3/ Göz No	Akım ayarı	Süre ayarı	Çekme testi sonucu (kg)
1	395	23	387
2	395	23	420
3	395	23	979
4	395	23	380
5	395	23	982
Deney 4/ Göz No	Akım ayarı	Süre ayarı	Çekme testi sonucu (kg)
1	340	26	740
2	340	26	738
3	340	26	737
4	340	26	850
5	340	26	715



Şekil 3. Çekme test düzeneği



Şekil 4. Çekme test işlemi ardından numune



Şekil 5. Test Sonucu Başarılı Numune



Şekil 6. Test Sonucu Başarılı Numune

4 Değerlendirme

Yapılan çalışmalarda tasarlanan baralar ve flex örgüler solidworks katı modelleme programında tasarlanmış olup, kaynak öncesi montajı da aynı ortamda yapılmıştır. Kaynak işleminin tek bir parametreye bağlı olmadığı gözlemlenmiş olup, kaynak üzerine etkisi olan akım ve kaynak süresindeki değişiklikler uygulanarak teste tabi tutulmuştur. Çalışmada seçilen ve üzerinde değişiklik yapılan parametreler, etkisi diğer parametrelerin etkilerinden daha etkin olduğundan dolayı seçilmiştir. Seçilen parametreler, geçmiş çalışmalardan alınan veriler doğrultusunda bir aralık belirlenerek üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Değişen parametreler olarak çalışmamızda kaynak akımı, kaynak çevrimi değişkenleri üzerindeki değişikliklerin çekme testi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu parametreler değiştirilerek yapılan birleştirme operasyonları çekme testine tabi tutularak test sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen veriler kg olarak kayıtlara geçmiş olup, birleştirme kalitesi hakkında bilgi vermiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kaynak kalitesi artan kuvvet ile doğru orantılı olduğu deney 1 deki 2 ve 3 no 'lu gözlerden elde edilen 170 ve 437 kg lık çekme test verileri ile doğrulanmıştır. Bu doğrultuda iyi bir kaynak, iyi bir iletim oluşturduğundan baralarda iletim direnci azalmış ve şalterlerde kullanıldığında ise uzun süreli çalışma koşullarında sıcaklıklarda düşüş yaşanmıştır. Yapılan deney ve gözlemlerden yola çıkarak optimum kaynak için akımın fazla olmaması ve bununla birlikte optimum süre malzeme kalınlığına ve cinsine göre değişimi gözlenmiştir. Bu kapsamda baralarda 5,6 mm kanal genişliği altındaki koşullarda düzgün bir kaynak kabiliyeti olamayacağı, kaynak parametreleri açısından da 340 Amper ve 26 ms kaynak süresinin altındaki kaynak işlemlerinde başarısız olduğu görülmüştür. Uygulama olarak kaynak işlemlerine 340 A ve 26 ms değerleri seçilmiş ve uygulanmıştır. Bu değerlerde en iyi ve en uygun kaynak bağlantısının gerçekleştiği yapılan araştırmaların sonuçlarında da karşımıza çıkmıştır. Akım şiddetinin artmasıyla birlikte bakır çok fazla ısındığından dolayı kaynak süresi kısa tutulmuş, ancak yetersiz kaynak nüfuziyeti ile karşılaşmıştır. Akım düşürülüp, süre uzatılarak ise yüksek akıma göre iyileşmeler elde edilmiş ve bakırın aşırı akımdan dolayı ısınması da önlenmiştir. Genel olarak parametreleri ve etkilerini aşağıdaki maddeler ile açıklayabiliriz.

- Kaynak akımı; Kaynaklı birleştirme işlemi için gerekli ısıyı oluşturan temel parametredir. Kaynak akımının yüksek tutulması, bakır malzemelerde kaynak bölgesi dışında da aynı etkiyi yaratmaktadır. Bu etkiden dolayı akım - zaman ilişkisi arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde uygulamak önemlidir.
- Kaynak zamanı; Birleştirilmek istenen malzemenin cinsi ve kalınlığına göre değişen kaynak zamanı, üzerinden geçirilen akımın büyüklüğüne de önemli derecede bağlılık göstermektedir. 2-3 mm sac levhalar için 15-20 ms işlem süresi yeterli gelmektedir. Bu süreyi kalınlık olarak büyük parçalarda uygulamayaz ve gerekli mukavemeti sadece akım süresi ile de yakalamak mümkün olmamaktadır. Bu hususlar değerlendirildiğinde, malzeme türü ve kalınlığına göre kaynak zamanı seçimi yapmak önem arz etmektedir. Deneyler sonucunda seçilen kaynak zamanı deney 4 teki veriler ışığında 26 milisaniye dir.
- Birleştirme Basıncı; Birleştirilmek üzere bir araya getirilen parçaların sabit tutulması ve kaynak akımının parçalar üzerinde geçişi için önem arz etmektedir. Basınç düşük tutulduğunda yüksek akımlarda kaynak bölgesi dışına kaynak akımı sıçramaları istenmeyen hatalara sebebiyet vermektedir. İstenmeyen hataları şu şekilde sıralayabiliriz; kaynak işleminin yapıldığı uçların parçaya kaynaklanması, parçanın yüksek akım ve basınç ile deforme olması, düşük basınç yüksek akımda operatöre ergimiş kaynak metali sıçraması durumları ile karşılaşmıştır. Yürütülen çalışmada basınç, geçmiş çalışmalar baz alınarak 0.3 Mpa değerinde sabit tutulmuştur.

5 Beyanname

5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2 Yazarların Katkıları

ÇAKIR : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

SARIKAYA : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

AVCI : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

BAYRAKTAR : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

Kaynaklar

Koçak, H. (2006). *Bakır alaşımları el kitabı*. İstanbul. Baskı Yeri: İstanbul. Yonca Ajans – Ofset Matbaacılık

Caven, R.W., & Jelali, J. (1991, October 06-09). *Predicting the contact resistance distribution of electrical contacts by modeling the contact interface* [Conference presentation]. Thirty-Seventh IEEE Holm Conference, 83-89, Chicago, USA, 1991.

Sun, A. C., Moffat, H. K., Enos, D. G., & George, C. S. (2007). *Pore corrosion model for gold-plated copper contacts*. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 30(4), 796-804.

Özgül, H. G., & Arslan, S. (2018). *Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 671-677.

Yıldırım, M. S., Yakup, K. A. Y. A., ÇAKIROĞLU, R., Gülenç, B., Kahraman, N., & Durgutlu, A. (2019). *Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen titanyum levhaların çekme-makaslama dayanımlarının taguchi metoduyla optimizasyonu*. Politeknik Dergisi, 22(3), 567-573.

Ertan, R., Sedat, A. R. A. S., & ÖZGÜL, H. G. (2019). *Direnç nokta kaynağı ile birleştirilen yeni nesil çeliklerde kaynak akımının mekanik özelliklere etkisi*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 461-469.

Doruk, E., PAKDİL, M., ÇAM, G., DURGUN, İ., & KUMRU, U. C. (2015). *Otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı tofaş uygulamaları*.

Eryürek, B. (1982). *Elektrik Direnç Kaynağı*, Mühendis ve Makine, 24, 22-28

Şahin, U. (2019). *Elektrik direnç kaynağını etkileyen temel parametreler*. <https://mactera.com.tr/en/pub-2.php>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).