

90888

GALVANİZLİ KROMATLI MİKRO ALAŞIMLI
ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA
KAYNAĞINDA UYGUN HASAR MODUNUN TESPİTİ

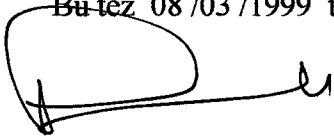
DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Salim ASLANLAR

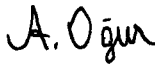
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Bu tez 08/03/1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Selahaddin ANIK
Jüri Başkanı



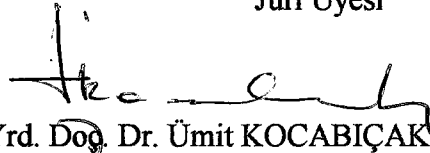
Prof. Dr. Ahmet OĞUR
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Murat VURAL
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Ümit KOCABIÇAK
Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Korozyona karşı dayanıklı, kaynak kabiliyeti iyi, şekillendirme özelliği mükemmel ve maliyeti düşük galvaniz kaplanmış kromatlanmış mikro alaşımlı çeliklerin otomotiv sektöründe kullanımı ve elektrik direnç kaynağı ile birleştirilmeleri gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu galvaniz kaplanmış kromatlanmış mikro alaşımlı çelik saçların elektrik direnç nokta kaynağında uygun hasar modunun tespiti, bu alanda öneme sahip bir konudur.

Bu güncel ve önemli konuda doktora yapmamı sağlayan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Selahaddin ANIK'a , Prof. Dr. Ahmet OĞUR'a ve benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mehmet DURMAN'a (SAÜ), Doç. Dr. Murat VURAL'a (İ.T.Ü) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tezimin çeşitli aşamalarında, tesis, laboratuvar olanakları kullandırma ve malzeme sağlama konularında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm MERT MAKİNA HIRDAVAT TİCARET LİMİTED Şirketine, FEDERAL ELEKTRİK A.Ş.' ne, TÜRKİYE ZİRAİ DONATIM KURUMU 'na HİKAR Şirketine, TOYOTASA A.Ş 'ne ve özellikle deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Vedat KARABAŞ'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGELER LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
TABLoların LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
SUMMARY.....	XII

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	4
2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi.....	4
2.1.1 Kaynak bölgesinde ısı oluşumu ve ısı oluşumuna ayar parametrelerinin etkisi	7
2.1.1.1. Kaynak bölgesinde ısı oluşumu.....	7
2.1.1.2. Isı oluşumuna kaynak ayar parametrelerinin etkisi.....	9
2.1.1.2.1. Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi.....	9
2.1.1.2.2. Isı oluşumuna elektrot kuvvetinin etkisi.....	10
2.1.1.2.3. Isı oluşumuna kaynak zamanının etkisi.....	12
2.1.1.2.4. Yüzey pürüzlüğünün ısı oluşumuna etkisi.....	12
2.2. Yöntemin Uygulanması.....	12
2.2.1. Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotları.....	13
2.2.2 Teknolojik özellikler.....	15
2.2.2.1. Isıl denge.....	15
2.2.2.2. Sekonder Pencere Açıklığı.....	16
2.2.2.3 Akımın Şöntlenmesi Hali.....	17
2.2.2.4. Elektrot kuvveti.....	17

2.2.2.5.	Akım ve kuvvet programları.....	18
2.2.3	Uygulama ve uygulama sınırları.....	19

BÖLÜM 3.

ÇALIŞMA KAPSAMINA GİREN MALZEMELER ve KAYNAK KABİLİYETLERİ.....	20
3.1. Galvaniz Kaplı Kromatlı Mikro Alaşımlı Çelikler.....	20
3.1.1. Mikro alaşımlı çelikler.....	20
3.1.2. Galvanizli çelik saçlar.....	22
3.1.2.1. Çinkonun korozyon davranışı.....	23
3.1.2.2. Çeliğin çinko ile kaplanması.....	25
3.1.3. Kromatlama.....	26
3.2 Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyeti.....	27
3.2.1. Mikro alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti.....	29
3.2.2. Galvanizli çelik saçların kaynak kabiliyeti.....	30
3.2.2.1. Elektrot kuvvetinin etkisi.....	32
3.2.2.2. Elektrot malzemesi, formu ve soğutulması.....	32
3.2.2.3. Elektrot ile iş parçası arasındaki alaşımlanma.....	33
3.2.2.4. Kaynak makinaları.....	35
3.3. Konunun Önemi ve Çalışmaların Planlanması.....	37
3.3.1. Konunun önemi.....	37
3.3.2 Çalışmanın Planlanması.....	37

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
4.1. Genel.....	38
4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....	38
4.3. Deney Parçalarının Boyutları.....	39
4.4. Deney Parçalarının Hazırlanması.....	40
4.5. Kaynak Makinası.....	40
4.6. Deneylerde Kullanılan Elektrotlar.....	41
4.7. Deneylerin Yapılışı.....	42
4.7.1. Elektrik direnç nokta kaynağının yapılışı.....	42

4.7.2.	Çekme-makaslama deneyi.....	43
4.7.3.	Çekme-sıyırma deneyi.....	44
4.7.4.	Metalografik çalışmalar.....	45
4.7.4.1.	Işık mikroskobu ile yapılan çalışmalar.....	45
4.7.5.	Çekirdek boyutlarının ölçümü.....	45
4.7.6.	Sertlik değerlerinin ölçümü.....	45
 BÖLÜM 5.		
DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....		46
5.1.	Genel.....	46
5.2.	Bağlantıların çekme - makaslama dayanımına kaynak parametrelerinin etkisi.....	46
5.2.1.	Bağlantıların çekme - makaslama dayanımına kaynak süresinin etkisi.....	46
5.2.2.	Bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	49
5.3.	Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkileri.....	54
5.3.1.	Bağlantıların çekme - sıyırma dayanımına kaynak akım sürelerinin etkileri.....	54
5.3.2.	Bağlantıların çekme - sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	58
5.4	Bağlantıların sertlik değerleri.....	59
5.5.	Bağlantıların optik mikroskopla mikro yapılarının incelenmesi.....	72
5.6.	Kaynak parametrelerinin çekirdek boyutlarına etkilerinin incelenmesi.....	78
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		84
KAYNAKLAR.....		86
ÖZGEÇMİŞ.....		90

SİMGELER LİSTESİ

C_1 (J/g K)	Malzemenin özgül ısısı
C_2 (cal / g)	Malzemenin özgül ergime ısısı
d_e (mm)	Elektrot çapı
d_n (mm)	Çekirdek en çapı
F (N)	Elektrot kuvveti
h_n (mm)	Çekirdek boy çapı
I_k (kA)	Kaynak akım şiddeti
G (g)	Kaynak çekirdeğinin kütlesi
K	Malzeme sabiti
K_1	Malzeme sabiti
K_2	Malzeme sabiti
L	Toplam endiktivite
L_{min} (mm)	Minimum nokta aralığı
L_t (m)	Deney parçasının toplam uzunluğu
r (mm)	Küresel ucun çapı
R (Ω)	Sekonder devredeki toplam omik direnç
s (mm)	Sac kalınlığı
S	Kaynak kabiliyeti faktörü
t_s (° C)	Kaynak yapılan malzemenin ergime noktası
T (K)	Malzemenin ergime sıcaklığı
t_k (periyot)	Kaynak süresi
α (m / Ω mm ²)	Kaynak yapılan malzemenin elektrik iletkenliği
γ (g/cm ³)	Malzemenin özgül ağırlığı
λ (cal / cms ° C)	Kaynak yapılan malzemenin ısı iletkenliği
ω (1/f)	Devre frekansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi.....	4
Şekil 2.2	Elektrik direnç nokta kaynağı makinasının şematik görünüşü.....	4
Şekil 2.3	Elektrik direnç nokta kaynak makinası.....	5
Şekil 2.4	Elektrik direnç nokta kaynağında tipik sıcaklık dağılımı.....	7
Şekil 2.5	Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri.....	13
Şekil 2.6	En yaygın kullanılan nokta kaynağı elektrotları.....	14
Şekil 2.7	Elektrik direnç nokta kaynağında ısı denge bozulması.....	15
Şekil 2.8	Elektrik direnç nokta kaynağında ısı denge sağlanması.....	16
Şekil 2.9	Sekonder pencere açıklığının tanımlanması.....	16
Şekil 2.10	Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda akımın şöntlenmesi (kısa devre) hali.....	17
Şekil 2.11	Elektrot tasarımı (Düz elektrot ile, saç yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması).....	18
Şekil 3.1	Çinko kaplı çeliğin katodik korunması.....	24
Şekil 3.2	Sıcak daldırma ile çinko kaplamada geçiş bölgesi iç yapısının Fe – Zn denge diyagramı yardımıyla şematik açıklaması.....	26
Şekil 3.3	Kaynak bölgesinde, çinko tabakasının davranışı.....	31
Şekil 3.4	Galvanizli saçların elektrik direnç nokta kaynağında elektrotların diziliş tarzları.....	35
Şekil 4.1	Deney parçalarının boyutları.....	39
Şekil 4.2	Çekme -sıyırma deney parçasının boyutu.....	39
Şekil 4.3	Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş deney numunesi.	40
Şekil 4.4	Deneylerde kullanılan elektrotların boyutları.....	41
Şekil 4.5	Deneylerde uygulanan kaynak periyodu.....	42
Şekil 4.6	Çekme-makaslama deneyinde ortaya çıkan kopma tipleri.....	43
Şekil 4.7	Çekme- sıyırma deneyinde ortaya çıkan kopma tipleri.....	44

Şekil 5.1	6kA, 7kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	47
Şekil 5.2	8kA, 9kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	47
Şekil 5.3	10 kA, 12 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	48
Şekil 5.4	Kaynak akım zamanlarının, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkileri.....	48
Şekil 5.5	5 ve 10 periyot kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	50
Şekil 5.6	12 ve 15 periyot kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi....	50
Şekil 5.7	Bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	51
Şekil 5.8	10 kA'in üzerindeki akım şiddetlerinde deney parçaları arasında meydana gelen fişkırmalar.....	52
Şekil 5.9	10 kA'in üzerindeki akım şiddetlerinde deney parçaları üzerinde meydana gelen renklenmeler ve derin elektrot izleri....	53
Şekil 5.10	6 kA, 7 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	54
Şekil 5.11	8 kA, 9 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	55
Şekil 5.12	8 kA, 9 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	55
Şekil 5.13	Kaynak akım sürelerinin, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkileri.....	56
Şekil 5.14	5 ve 10 periyot kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	57
Şekil 5.15	12 ve 15 periyot kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	58
Şekil 5.16	Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	58
Şekil 5.17	Sertlik ölçümlerinin yapıldığı doğrultular.....	60

Şekil 5.18	Bağlantılara ait sertlik değerleri.....	60
Şekil 5.19	5 Per kaynak akım zamanlarında bağlantıların mikro yapı fotoğrafları.....	73
Şekil 5.20	10 Per kaynak akım zamanlarında bağlantıların mikro yapı fotoğrafları.....	74
Şekil 5.21	12 Per kaynak akım zamanlarında bağlantıların mikro yapı fotoğrafları.....	75
Şekil 5.22	15 Per kaynak akım zamanlarında bağlantıların mikro yapı fotoğrafları.....	76
Şekil 5.23	Kaynak akım şiddetinin Çekirdek çapına (d_n) etkisi.....	77
Şekil 5.24	Kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine (h_n) etkisi.....	78
Şekil 5.25	Kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına (h_n/d_n) etkisi.....	79
Şekil 5.26	Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	80
Şekil 5.27	Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	81

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1	Elektro kimyasal gerilim serisi.....	23
Tablo 3.2.	Çinkonun fiziksel özellikleri.....	23
Tablo 3.3	Mikro alaşımlı çeliklerin ve çinkonun kaynak kabiliyeti ve fiziksel özellikleri.....	28
Tablo 3.4	Galvanizli sacların nokta kaynağından kullanılan elektrotlar ve fiziksel özellikler.....	33
Tablo 4.1	Deney Malzemelerinin Kimyasal Bileşenleri.....	38
Tablo 4.2	Deney malzemelerinin spektro-analiz değerleri.....	39
Tablo 4.3	Deneylere kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri.....	41
Tablo 5.1	Deneylerde kullanılan 5, 10, 12, 15 periyotluk kaynak akım sürelerinde elde edilen maksimum çekme-makaslama dayanımı değerleri.....	53
Tablo 5.2	Deneylerde kullanılan 5, 10, 12, 15 periyotluk kaynak akım sürelerinde elde edilen maksimum çekme-sıyırma dayanımı değerleri.....	59

ÖZET

Anahtar kelimeler : Kaynak, Nokta kaynağı, Galvanizli saclar, Mikro alaşımlı saclar, Otomotiv

Endüstrinin çeşitli alanlarında elektrik direnç nokta kaynağının kullanımı yaygın şekilde artmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe elektrik direnç nokta kaynağı kullanımı üst safhalara ulaşmıştır. Araçların karoserileri, takviye sacları ve şase bağlantılarında elektrik direnç nokta kaynağı kullanılmaktadır. Bu kısımlarda kullanılan saclar korozyona karşı dayanıklı ve kaynaklanabilme kabiliyeti iyi olan galvanizlenmiş kromatlı mikro alaşımlı çelik saclarıdır.

Galvaniz kaplanmış, kromatlı mikro alaşımlı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında, kaynak parametrelerinin kaynak bağlantısına ve buna bağlı olarak bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımına etkilerinin araştırılması önemli bir konudur.

Bu araştırmada, önce konunun önemi, ikinci bölümde elektrik direnç nokta kaynağının prensipleri ve esasları, üçüncü bölümde, galvanizleme, kromatlama ve mikro alaşımlı çelik sacların metalurjik ve fiziksel özellikleri ile birlikte, kaynak kabiliyetleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Kaynaklı bağlantıların birleştirilebilmesi için 120 kVA gücünde elektrik akım ve zaman kontrollü, tek kollu pnömatik basma tertibatlı, elektrik direnç nokta kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak akım zamanları 5, 10, 12, 15 periyot olarak seçilmiş; kaynak akım şiddetleri 5 kA'den başlayarak 12 kA 'e kadar 1'er kA arttırılarak ayarlanmıştır. Elektrot basıncı 6 kA 'de sabit tutulmuştur. Elde edilen bağlantılar çekme-makaslama, çekme-sıyırma deneyine ve mikro vickers sertlik deneyine tabi tutulmuştur. Bağlantıların çekirdek yapıları incelenmiş ve çekirdek boyutlarının çekme-makaslama, çekme-sıyırma dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bağlantının mikro yapıları incelenmiş ve tane büyümeleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, galvaniz kaplı, kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında uygun kaynak parametreleri önerilmiştir.

DAMAGE MODE DETERMINATION OF ELECTRIC RESISTANCE SPOT WELDING OF GALVANIZED AND CHROMINATED MICRO ALLOYED STEEL SHEETS

SUMMARY

Keywords: Welding, Spot Welding, Micro Alloyed Steel Sheets, Automotive.

The application of electric resistance spot welding in various industries widely increasing. Especially in automotive industry, the application of it has reached the highest level. Electric resistance spot welding is being applied for car bodies, reinforcing steel sheets and chassis fittings. The sheets used in these parts are galvanized micro alloyed chrome plated steel sheets with corrosion resistance and good welding properties.

The investigation of effects of welding parameters of joints' and in connection with it the tensile-shear and tensile-peel strength is an important subject.

In this study information has been given about the importance of the subject, in the first chapter the principles and fundamentals of electric resistance spot welding in the second chapter galvanizing chrome plating and metallurgical and physical properties of micro alloyed steel sheets in the third chapter.

In the fourth chapter, information has been given for experimental studies performed. A timer controlled electric resistance spot welding machine of 120 kVA capacity and pneumatic application mechanism with single lever was used. Welding current periods of 5, 10, 12, 15 were selected and welding current kA was adjusted to 5 kA to 12 kA by increasing 1 kA at every step. Electrode pressure was fixed as 6 kN. Obtained welding joints were tested for tensile shear, tensile peel and hardness of Vickers. The joints' cores were examined and investigated for then effects of core sizes on tensile shear and tensile peel strength.

As a conclusion, the proper parameters are proper for electric resistance spot welding of galvanized and chrome plated micro alloyed steel sheets.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomobil üreten şirketlerin dünya piyasalarında kendilerine iyi bir yer bulabilmeleri için otomobil kullanıcılarının isteklerine cevap vermeleri gerekir. Bu istekler araç karoserisinin korozyona karşı dayanıklı olması, kullanılan sacın darbelere karşı dayanıklı olması ve herhangi bir zorlamada (çekme-makaslama, çekme-sıyırma) bağlantı yerlerinin hasar görmemesi ve maliyetin düşük olmasıdır.

Yukarıda sayılan bu istekleri otomotiv üreticileri yerine getirebilmek için uzun süren araştırmalar yapmışlar ve bazı yenilikler getirmişlerdir. Bu yenilikler, korozyona dayanıklı sacların kullanımı ve kaynak kabiliyeti iyi, dayanımı yüksek, şekillendirilmesi kolay galvaniz kaplı kromatlı mikro alaşımlı çelik saclardır.

Çelik sacların korozyona dayanıklı hale getirilmesinde birçok yöntem uygulanmaktadır. Bunlar çeliğin bileşimini değiştirmeden, malzemenin yüzeyine korozyona dayanıklı bir tabaka ile kaplamak (galvanizleme, kromatlama vb.) veya çeliğin bileşimine korozyona karşı dayanımını arttıran alaşım elementlerinin katılmasıdır (Paslanmaz çelikler). [1.2]

Metal kaplamada birçok yöntem uygulanmaktadır. Çelik üzerine çinko kaplama (galvaniz kaplama), temiz yüzeyli çelik sacların, erimiş çinko banyosuna daldırılması ile yapılır. Daha ince ve üniform çinko kaplamaları elektroliz yoluyla elde edilir. Difüzyon esaslı kaplama işleminde, toz halinde çinko metalinin, yüksek sıcaklıkta çelik üzerine uygulanmasıyla yapılır. Daha kalın parçalar, özel bir üfleç kaplama metalini enerjik hale getirerek basınçlı hava yardımıyla püskürtmesi sonucu yapılır. [2, 3]

Günümüzde eskiye oranla konstruksiyonlarda temel değişiklikler yapılmıştır. Eskiden işlemi bitmiş iş parçaları çinko banyosuna daldırılarak galvanizlenirken,

günümüzde konstruksiyonlarda özel fabrikalarda üretilen, kaliteli, maliyeti düşük, istenilen ebatlarda ve boyutlarda çelik sac yada profil kullanılabilmektedir. Bir çelik sacın yüzeyindeki çinko tabakası, normal şartlarda 350 g/m^2 'lık bir değerdedir ve çelik sacın özelliklerinden bağımsız olarak, esas malzemelerin hasara uğramasına kadar yüzeyde kalır. [2, 3]

Son kırk yılın üretilen miktar açısından en önemli gelişmesini gösteren yüksek dayanıklı, mikro alaşımlı çelikler (High strength low alloyed steels = HSLA çelikleri), yapı çeliklerinin dayanım kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle geliştirilmiş ve araştırmalar sonucu geniş özellikler kazandırılmıştır.

- Ana üretim tekniği olan kaynak kabiliyetinin geliştirilmesi
- Aynı zamanda dayanım ve tokluk özelliklerinin artırılması
- Ağırlığın azaltılması
- Maliyetin düşürülmesi

Mikro alaşımlı çeliklerin üretim potansiyeli gelişmiş ülkelerdeki çelik üretim miktarının %20'sini aşmış durumdadır. Uygulama yoğun olarak yassı mamullerde ve dövme mamullerinde olmaktadır.

Mikro alaşımlama çok düşük karbon içeren çeliklerden hemen hemen ötektoid kompozisyonlu çeliklere kadar yapılır. Yaygın olarak kullanılan niyobyum (Nb), titanyum (Ti) ve vanadyum (V) gibi elementler mikro yapı içerisinde oluşturdıkları karbonitrür çökeltileri ile tane boyutunu incelterek tokluk ve dayanımı beraberce artırır. İlave olarak gerçekleşen çökelti sertleşmesi mekanizması ile dayanımı bir kez daha artar. [4]

Konstruksiyonların imalinde kullanılan en yaygın imal yöntemi kaynaktır. Kaynak yöntemleri işlemin cinsine göre ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır. Basınç kaynağı yöntemi arasında elektrik direnç nokta kaynağı otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan başlıca kaynak yöntemidir. Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar tarafından bir arada basınç altında tutulan iş

parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeni ile oluşan ısı ile birleşmenin meydana gelmesi oluşturur. [5,6,7]

Yapılan literatür taramalarında, bu galvaniz kaplanmış, kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyeti üzerine herhangi bir çalışma yapılmadığının anlaşılması ve konunun önemi göz önüne alınarak otomotiv sektöründe kullanılan galvaniz kaplanmış, kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında hasar modunun tespiti doktora konusu olarak seçilmiştir.

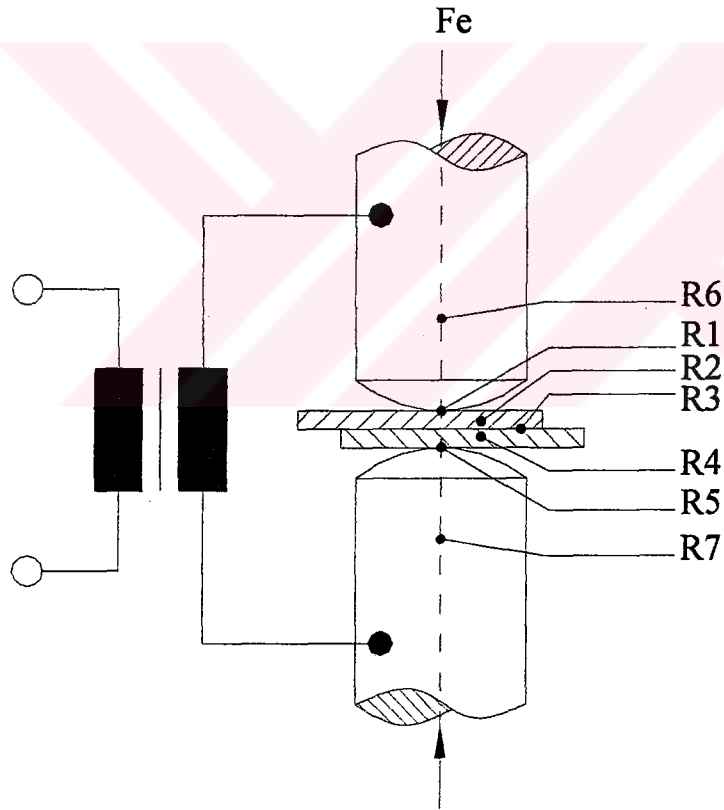


BÖLÜM 2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir (Şekil 2.1) .

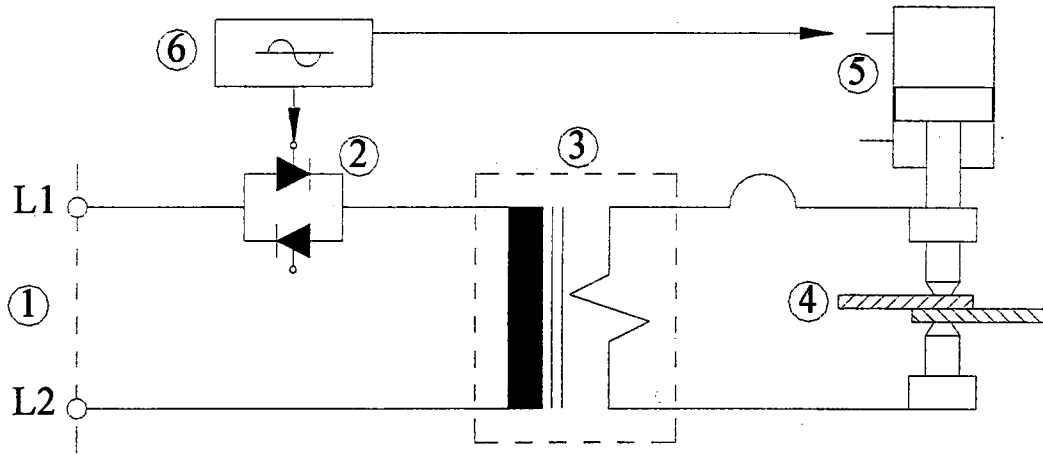
[7, 8]



Şekil 2.1 Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi [9]

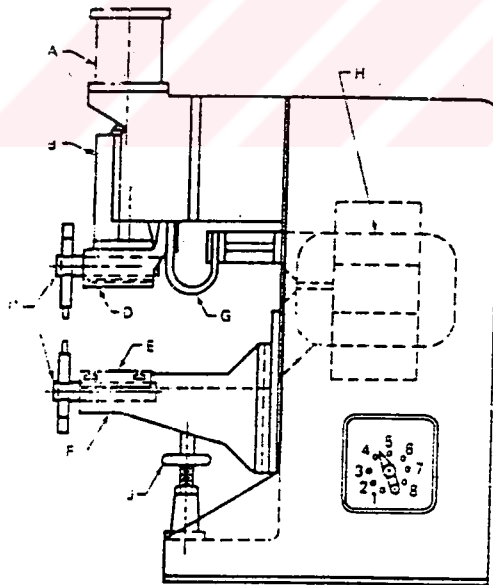
Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik

akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinasından sağlanır. Gerekli basınç veya elektrod kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir (Şekil 2.2) , (Şekil 2.3) .



Şekil 2.2 Elektrik direnç nokta kaynağı makinasının şematik görünüşü [9]

- | | |
|-----------------------|---|
| (1) Şebeke bağlantısı | (4) Sekonder devre, Akım iletimi ve elektrotlar |
| (2) Akım ayarlayıcı | (5) Kuvvet iletim sistemi |
| (3) Transformatör | (6) Prozess-Kontrol Cihazı |



Şekil 2.3 Elektrik direnç nokta kaynak makinası

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| A- Pnömatik veya hidrolik silindir | F- Mafsal |
| B- Ram | G- Esnek iletken |
| C- Elektrot tutucusu | H- Sekonder transformatör |
| D- Üst kol | J- Mafsal mesnedi |
| E- Alt kol | |

I akımı, R ohmik direncinden t süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak J birim ısı açığa çıkar.

$$Q = I^2 R t \quad (2.1)$$

Burada,

$$R = R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

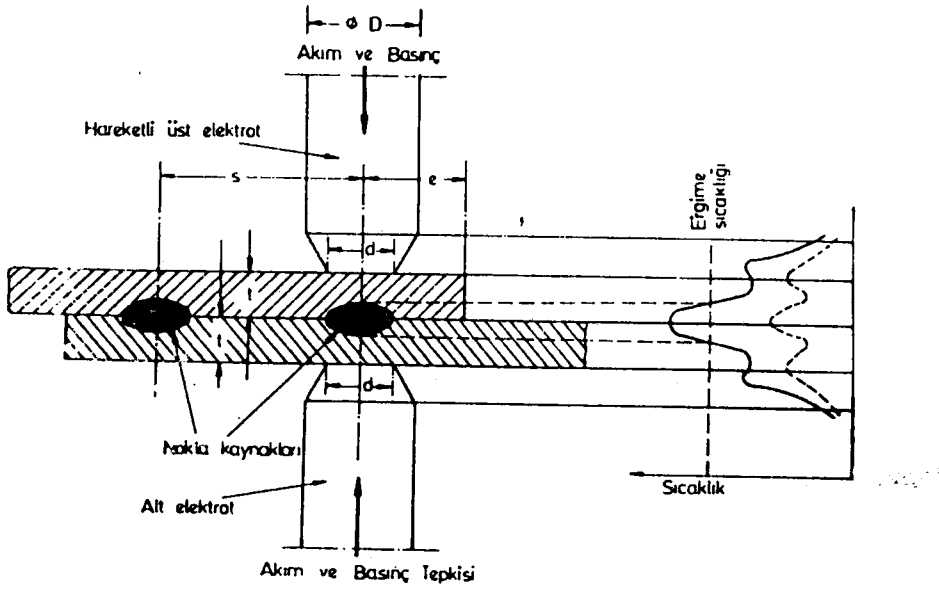
dır, yani sekonder devredeki toplam dirençtir. Bu dirençler(Şekil 2.1)

- | | | |
|----------------------|--------------|----------------------------------|
| - Malzeme dirençleri | : R_6, R_7 | elektrotların direnci |
| | R_2, R_4 | iş parçalarının dirençleri |
| - Temas dirençleri | : R_1, R_5 | elektrod - malzeme temas direnci |
| | R_3 | malzeme - malzeme temas direnci |

Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve değişken değildir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlı olarak değişir.

Kaynak sırasında R_3 , en büyük ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu ise, I_k kaynak akımının, t_k kaynak süresinin ve F elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. R_1 , R_3 , R_5 temas dirençleri bağlantının kalitesine etki ederler . [10, 11, 12]

Şekil 2.4' te şematik olarak elektrik direnç nokta kaynağındaki ısı dağılımı verilmektedir. R_3 kaynak bölgesindeki sıcaklık, malzemenin t_e erime sıcaklığının üzerine çıkar. Burada sıvılaştıran malzeme, kaynak sonrasında kaynak çekirdeğini oluşturur.



Şekil 2.4 Elektrik direnç nokta kaynağında tipik sıcaklık dağılımı.[25]

R_1 ve R_5 temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, iyi ısı ileten elektrod ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Yüzeylerdeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması gerekir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına ve bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar. [13]

2.1.1. Kaynak bölgesinde ısı oluşumu ve ısı oluşumuna ayar parametrelerinin etkisi

2.1.1.1. Kaynak bölgesinde ısı oluşumu

Kaynak bölgesinde kaynak işlemi için gerekli ısı miktarı, sadece I , R ve t 'nin Joule etkisine bağlı olmayıp, aynı zamanda malzemenin kaynağa uygunluk şartına da bağlıdır. Verilen kaynak akımı ve bu akımın uygulanma süresinde oluşan ısı miktarı, aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- Malzemelerin ve elektrotların ısı iletim kabiliyetleri

- temas noktalarının, yani elektrod ve malzemelerin pürüzlülük ve temizlik gibi yüzey şartları.

Nokta Kaynağında ısı üretimi, bir bilanço esasına göre oluşup tüketildiğinden, Q

Q_1 : Kaynak sırasında oluşan,

Q_2 : Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen,

Q_3 : Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan,

Q_4 : Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı miktarları olarak

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Kaynak noktasında ve elektrotlarda oluşan ısıнын toplamı:

$$Q_1 + Q_2 = 0,24 \cdot I_k^2 \cdot R_{top} \cdot t_k \text{ (cal)} \quad (2.4)$$

şeklinde, noktanın oluşumunda kullanılan ısı ise,

$$Q_3 = 0,24 C_1 \cdot G \cdot T + C_2 \cdot G \text{ (cal)} \quad (2.5)$$

Burada:

G (g)	Kaynak çekirdeğinin kütlesi
T (K)	Malzemenin ergime sıcaklığı
C_1 (J/g K)	Malzemenin özgül ısısı
C_2 (cal / g)	Malzemenin özgül ergime ısısı

ve parça içine dağılan ısı.

$$Q_4 = 0,24 T \cdot L_t \cdot t_k \text{ (cal)} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada:

L_t (m)	Deney parçasının toplam uzunluğu
t_k (periyod)	Kaynak süresi
T (K)	Malzemenin ergime sıcaklığı

$$G = \gamma \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot (dn/2)^2 \cdot (hn / 2) \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. [14]

Burada:

γ (g/cm ³)	Malzemenin özgül ağırlığı
hn (mm)	Çekirdek boy çapı
dn (mm)	Çekirdek en çapı

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli şart , üretilen ısı , birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısı , birim zamanda yığılabilmelidir. Büyük soğuma hızları , yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup , malzemelerde , sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrod ve malzeme arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur. [15]

2.1.1.2. Isı oluşumuna kaynak ayar parametrelerinin etkisi

2.1.1.2.1. Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi

$Q = I^2 \cdot R \cdot t$ Joule kanununda ısıya etki eden en önemli faktör, I kaynak akımıdır. Alternatif akım devresinde sekonder U gerilimi

$$I = [U / (\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2})], \text{dır} \quad (2.8)$$

Burada:

L	Toplam endüktivite
R (Ω)	Sekonder devredeki toplam omik direnç
ω (1/f)	Devre frekansı (devre frekansı)

Sabit sekonder gerilimde kaynak akımı , artan dirençle ve artan endüktivite ile azalmaktadır. Sekonder devredeki kol açıklığının büyüklüğüne ve bunun içindeki manyetikleşebilen malzemelere bağlı olarak , endüktivite değişik değerler alabilmektedir. Kaynak bağlantısına etki eden , olabildiğince sabit kaynak akımı , sadece sabit direnç ve endüktivite ile sağlanmaktadır.

Belirli değerlerin altında kalan ısı enerjisi, istenen bağlantıyı oluşturamaz. Çok fazla kaynak akımı ise, kısmi sıvı metal fışkırmalarına, gözenek ve çatlak oluşumuna ve çekme - makaslama dayanımının düşmesine neden olmaktadır. [13]

2.1.1.2.2. Isı oluşumuna elektrot kuvvetinin etkisi

Yetersiz elektrot kuvvetleri, temas direncinin düzensiz dağılımına neden olmaktadır. Bu ise, farklı kaynak akımlarına yani farklı kaynak noktası dayanımlarına neden olur. Yeterince büyük elektrot kuvvetlerinde ince yüzey tabakaları hafifçe ezilmekte ancak elektrot temas yüzeyi büyük olmaktadır.

Sac kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot temas yüzeyinin seçimi aşağıda belirtildiği şekilde yapılır [12] :

1- Küresel uçlu elektrotlar

$$r = K_1 \cdot s + K_2 \quad (2.9)$$

r (mm)	Küresel ucun çapı	
s (mm)	Sac kalınlığı	
K_1, K_2	Malzeme sabitleri	
	$K_1 = 20$	Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için
	$K_1 = 60$	Alüminyum ve alaşımları için
	$K_2 = 50$	Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için
	$K_2 = 20$	Alüminyum ve alaşımları için

2- Sivri, düz, eksantrik ve kesit koni uçlu elektrotlar

$$d_e = 5 \cdot s \quad s < 3 \text{ mm için} \quad (2.10)$$

$$d_e = 2s + K \quad s > 3 \text{ mm için} \quad (2.11)$$

s (mm)	Sac kalınlığı	
d_e (mm)	Elektrot çapı	
K	Malzeme sabiti,	
	$K = 2$	$s < 7,5 \text{ mm için}$
	$K = 3$	$s > 7,5 \text{ mm için}$

Çoğu durumda malzemenin kaynak yapılacak yüzeyi yabancı maddelerden (yağ, kir, pas v.s) arındırılmalıdır.

Bu ,

- Mekanik yöntemler (zımparalama, fırçalama vs.)
- Kimyasal yöntemler (Redükleyici atmosferde taşlama) yoluyla yapılır.

2.1.1.2.3. Isı oluşumuna kaynak zamanının etkisi

Yüksek ısı iletimi durumunda, gerekli ısı miktarını kısa sürede üretmek yerine, daha düşük gücü uzun süre uygulamak daha uygun olmaktadır. Kaynak süreleri, kaynak akımı süresince birkaç periyottan başlayarak kalın kesitli parçalarda azami birkaç saniyeye kadar ulaşır.

Artan kaynak süresi, kaynak bölgesindeki erimiş metal miktarını büyütmekte, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) büyümekte ve yumuşamış malzeme miktarı artmaktadır. Böylece fişkırmaya oluşumu, gözenek oluşumu ve malzeme yüzeyinin elektrod ucuna gelen kısmında istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. 3 mm. den kalın iş parçalarında sürekli etkiyen kaynak süresi yerine, kısa süreli impulslarla çalışmak daha doğru olmaktadır. Böylece kaynak yerinde ısı yükselmekte, malzeme – elektrod temas noktasında iyi ısı ileten ve suyla soğutulan elektrod dan da ısı alınmakta ve kaynak çekirdeği çevresinde yüksek sıcaklıklara erişmiş bir bölge oluşmaktadır.

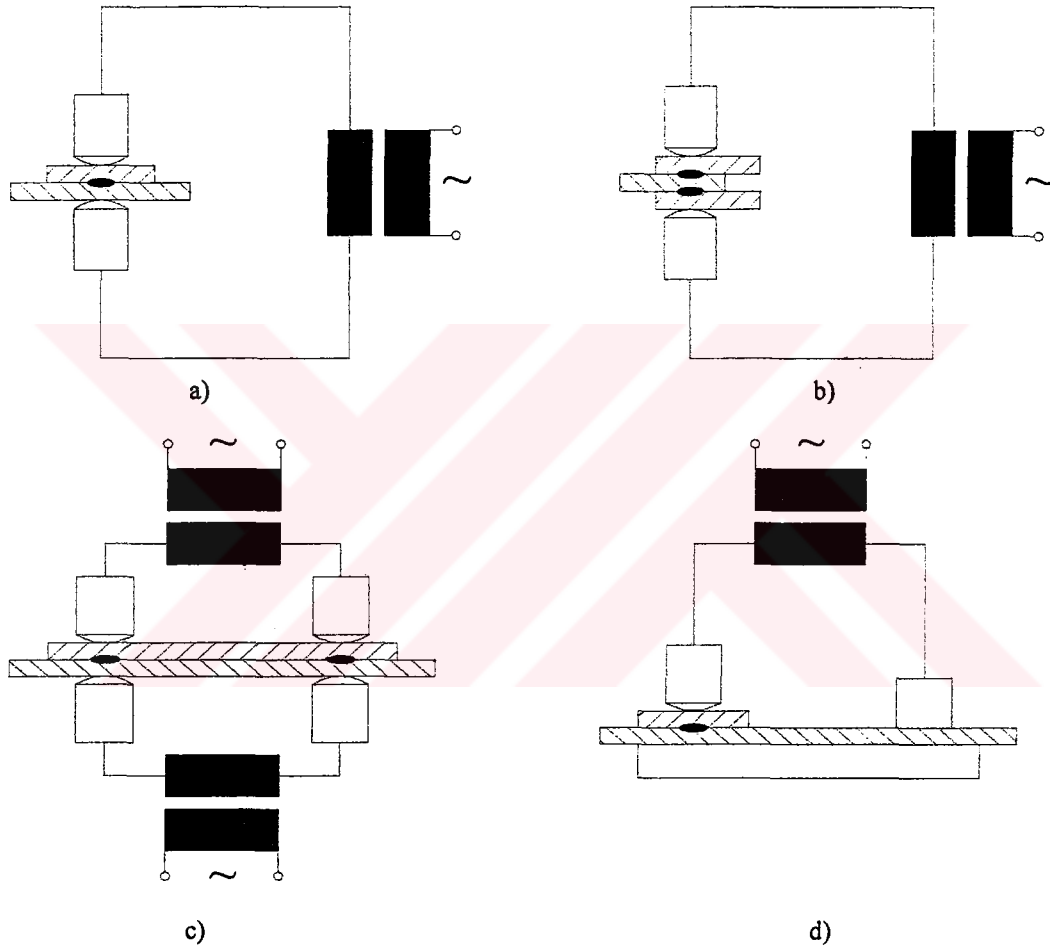
2.1.1.2.4. Yüzey pürüzlülüğünün ısı oluşumuna etkisi

Yüzey pürüzlülüğü, elektrik akımının tüm temas yüzeyi yerine sadece birbirine değen pürüz yüzeylerinden geçmesine neden olur. İki yüzey arasındaki temas direnci, birleştirilecek malzemelerin yüzey pürüzlülüğünden ileri gelen daralma ve yüzey film dirençlerinin toplamıdır. Temas direnci, akım yoğunluğuna, elektrod kuvvetine, sıcaklığa ve birleştirilecek malzemelerin deformasyon özelliklerine bağlı olarak akım süresinin dörtte biri kadar bir süre etkili olur. Bu süre içinde maksimum değerine ulaşır ve hızla azalır. Artan elektrod basıncı sonucu oluşan plastik şekil değiştirme, temas direncini azaltmaktadır. [16]

2.2. Yöntemin Uygulanması

Konstruksiyon, imal usulü ve malzemeye bağlı nedenlerle, direkt nokta kaynağı dışında bir dizi avantaj ve olanak sağlayan uygulama türleri kullanılmaktadır. Çift

nokta kaynağında çoğu kez küçük nokta aralıkları zorluk çıkarır (Şekil 2.5 a,b,c). Her iki kaynak noktasında aynı elektrod kuvvetleri uygulanmaz. Bu durumlarda çoğu kez kabartılı nokta kaynağı uygundur. Şekil 2.5 d 'de indirekt nokta kaynağının uygulama şekli verilmektedir. Burada elektrotlar, parçanın bir tek tarafından etki edecek tarzda düzenlenmiştir. Bu yöntem, kolay ulaşılamayan hallerde avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.5 Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri [9]

- a) yaygın yöntem, b) üç sacın nokta kaynağı,
c) çift nokta kaynağı d) Akım iletmeyen kör elektrotla nokta kaynağı

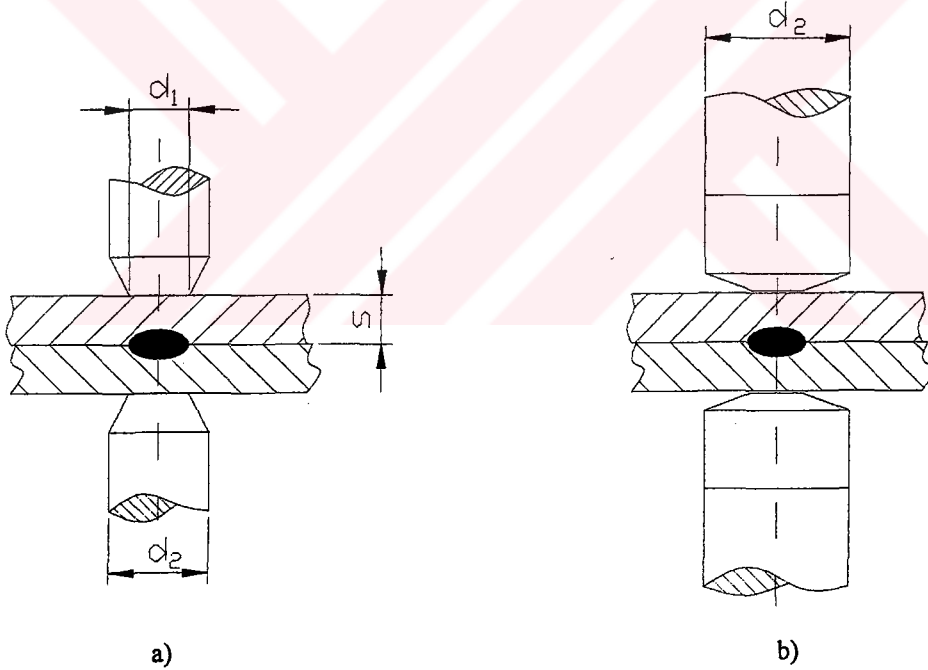
2.2.1. Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotları

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotların değiştirilme imkanı vardır.

Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotlarından şu şartları yerine getirmesi istenir;

- Yüksek sıcaklıkta sertlik,
- Malzeme ile düşük alaşımlaşma eğilimi,
- İyi elektrik ve ısı iletim kabiliyeti,
- Yüksek dayanım,
- Elektrot uçlarının emniyetli soğutulması.

Düşük dayanım nedeniyle saf bakır çok nadir kullanılmaktadır. Bakır krom, gümüş, berilyum, molibden ve diğer metaller ile alaşımlandırılmaktadır. Bu tür bir alaşımlandırma, yüksek sıcaklıklarda büyük dayanımlar sağlar. Elektrod şekil ve ölçüleri, ısı iletimini, akım yoğunluğunu, temas direncini ve kaynak çekirdeğini belirlemektedir. Düz uçlu elektrod, düz yüzeylerin kaynağında kullanılmaktadır. İnce oksit tabakalarının parçalanması ve ilk temasta büyük akım yoğunluklarının eldesinin gerektiği durumlarda ise küresel uçlu elektrotlar kullanılmaktadır. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 En yaygın kullanılan nokta kaynağı elektrotları
a) düz uçlu elektrotlar
b) küresel uçlu elektrotlar

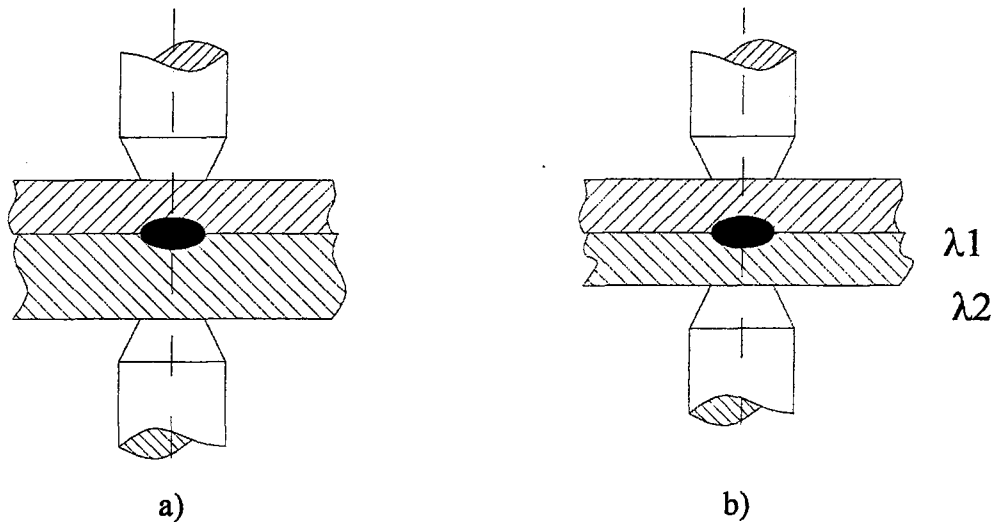
Kaynak süresini uzatabilmek için elektrotlar genel olarak su ile soğutulur. Elektrot temas yüzeyinin büyümesi, akım yoğunluğunu azaltır. Elektrot uçlarının düz şekilde tutulması için zımpara ve cilalama uygulanır. Böylece elektrot ile iş parçası arasındaki temas dirençleri mümkün olduğunca düşük tutulur. [8,13]

2.2.2. Teknolojik özellikler

2.2.2.1. Isıl denge

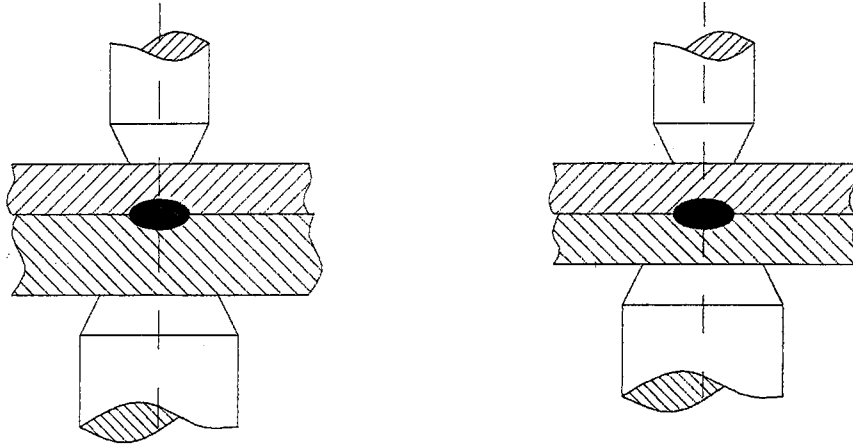
Isıl denge ısı ve elektriksel iletim kabiliyetiyle ilgilidir. Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniform olarak üretilecek ve kaynak çekirdeği simetrik olacaktır. Bu şart mevcut ise ısı denge mevcuttur. Bununla beraber, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahipse, ısı denge mevcut değildir. Diğer bir değişle simetrik bir kaynak çekirdeği elde edilmez. Simetrik bir kaynak çekirdeği elde etmek için büyük temas yüzeyli elektrotlar kullanılmaktadır.

Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrotun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeniyle, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısı denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle elde edilir. (Şekil 2.7, Şekil 2.8)



Şekil 2.7 Elektrik direnç nokta kaynağında ısı dengenin bozulması

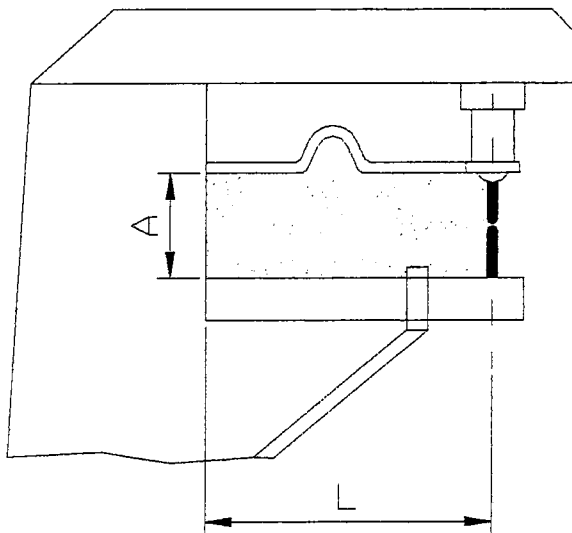
- a) Farklı kalınlık halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması
- b) Farklı ısı iletim kabiliyeti halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması



Şekil 2.8 Elektrik direnç nokta kaynağında ısı dengenin sağlanması
(Geniş yüzeyli elektrot kullanımı ile kaynak çekirdeğinin simetrisinin elde edilmesi)

2.2.2.2. Sekonder pencere açıklığı

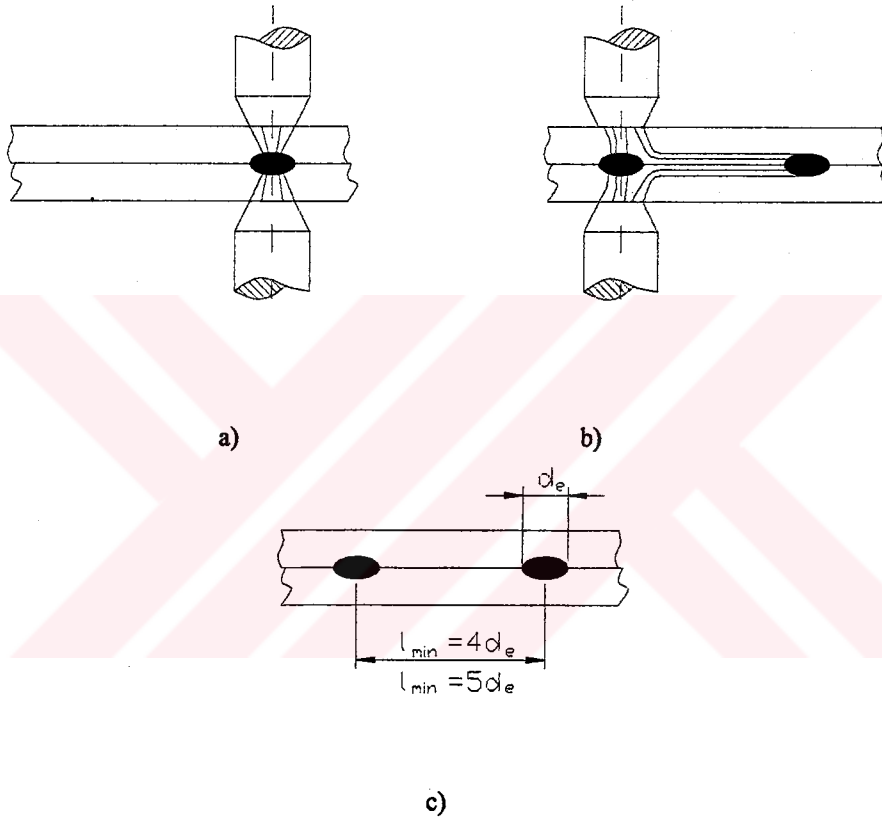
Sekonder pencere açıklığı S , A kol uzunluğundan ve L kol aralığından oluşmaktadır. İş parçasının büyüklüğü ve manyetikleşebilmesi sonucu, endüktif direnç büyümektedir. Bunun sonucu olarak etkin kaynak akımı düşmektedir. Doğru akım kaynak makinelerin de endüktif akımlar sadece devre kapanırken oluşur. Tasarımcı, bağlantı parçalarının, küçük pencere açıklığı oluşturacak şekilde tasarımına dikkat etmelidir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9 Sekonder pencere açıklığının tanımlanması ($S = A.L$)

2.2.2.3 Akımın şöntlenmesi hali

Şönt akımları, nokta kaynağında çok küçük nokta aralığında ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya düşük akım şiddeti çıkar ve d_n çekirdek çapı küçülür. Çeliklerde minimum nokta aralığı $(4.d_n)$ ile $(5.d_n)$ arasındadır. Alüminyum gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemelerde bu aralık $(8.d_n)$ ile $(10.d_n)$ alınmalıdır. (Şekil 2.10)

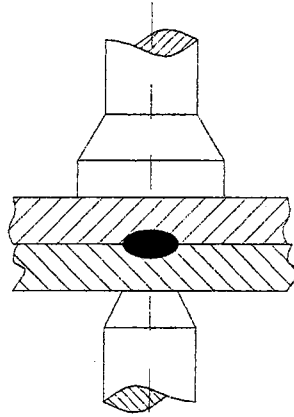


Şekil 2.10 Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda akımın Şöntlenmesi (kısa devre) hali

- a) şöntlenme (kısa devre) olmadan akımın geçişi
- b) yakın noktalar arasında şönt akımı oluşumu
- c) $L_{min.} \approx 4 d_n$ ve $L_{min.} \approx 5 d_n$ koşullarında akımın şöntlenmesi önlenmektedir

2.2.2.4. Elektrot kuvveti

Bazı durumlarda malzeme yüzeyinde elektrot izleri olmaması istenir. Bu, büyük yüzeyli paralel ve düz, olabildiğince düzgün bir iş parçası yüzeyi hazırlanmasıyla sağlanır. Böylece bir tarafta baskı izi olmaması istenen yüksek akım yoğunluğu sağlanmış olur. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Elektrot tasarımı (Düz elektrot ile, saç yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması)

2.2.2.5. Akım ve kuvvet programları

Elektrik ve elektronik kumanda donanımları, kaynak akımının ve elektrot kuvvetinin aşağıdaki durumlarda uygulanmasına olanak tanır;

- sertleşebilen ve kaynağa uygun olmayan çeliklerde (karbon oranı % 0,2' nin üstünde) çatlama eğilim vardır.
- uçak inşasında olduğu gibi yüksek kaliteye ihtiyaç olan bağlantılar.
- $s > 4$ mm den kalın malzemeler
- alüminyum ve sertleşebilen alaşımlar (örneğin AlSiMg) ısı ve metalurjik olarak hassastırlar.

Bu programların uygulanması şu şekilde olmaktadır :

- Ön Tavlama : Ön tavlama da kaynak işlemine yetmeyecek şekilde ısı üretilir. Böylece soğuma hızı azaltılır. Yüksek elektrot kuvveti, bağlantıyı temin eder.
- Kaynak : Basınç kuvveti azaltılır ve böylece R direncinin artması sonucu $I^2 R$ artar. Böylece kaynak akımı yükseltilir. Bu işlem, bir veya birkaç impuls şeklinde uygulanır. Sertleşebilen alaşımlar gibi hassas malzemeler durumunda, sürekli olarak yükselen ve düşen akım kullanılır.
- Sonradan Tavlama : Bu ısı işlemle, bağlantının metalurjik kalitesi iyileştirilir. Soğuma hızının düşmesi, bu işlemin ana hedefidir.

2.2.3. Uygulama ve uygulama sınırları

Nokta kaynağı yöntemi sanayide esas olarak saçlara uygulanır. Ev cihazlarının, otomotiv sanayi mamullerinin ve hassas cihazların çelikten imalatında kütle halinde uygulanmaktadır. Parça kalınlıkları 0,02 mm ile 2,5 mm aralığındadır. Azami parça kalınlığı 20 mm ye kadar çıkabilmektedir. İş parçalarının kaynağında kural olarak stasyonar makineler kullanılmaktadır. Bir başka uygulamada ise, hareketli nokta kaynağı pensleri kullanılır. Otomotiv sanayi buna en iyi bir örnektir. Bu durumda imalat bölgesinde endüstri robotları kullanılmaktadır. Bu tür imalat tarzında, nokta kaynağı pensleri, nokta kaynağı makinesine bağlı ileticilerle kullanılmakta ve bitmiş parçalar banda bağlı olarak nakledilmektedir. Serbest programlanabilir endüstriyel robotlar, pahalıya mal olan transfer hatlarını kısaltmaktadır. [7,12,13,15,17]



BÖLÜM 3. ÇALIŞMA KAPSAMINA GİREN MALZEMELER ve KAYNAK KABİLİYETLERİ

3.1. Galvaniz Kaplı, Kromatlı Mikro Alaşımlı Çelikler

3.1.1. Mikro alaşımlı çelikler

Mikro alaşımlı çelikleri piyasada ve literatürlerde çoğu kez aşağıda verilen farklı isimler ve gösterimler altında görebiliriz.

- Mikro alaşımlı çelikler (Micro alloyed steel , Mikrolegierte stähle)
- Perlitçe fakir çelikler (Perlitarmer stähle)
- İnce taneli çelikler (Feinkornbau stähle)
- Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (YDDA) (High strength low alloys steel HSLA –stähle)
- Z StE – çelikleri veya ZE çelikleri

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı, YDDA yaygın adıyla tanınan mikro alaşımlı çelikler ABD’ de geliştirilmiş ve karbonlu yapı çeliklerinden daha yüksek dayanımları olan çeliklerdir.

Son kırk yılın üretilen miktar açısından en önemli gelişmesini gösteren mikro alaşımlı çelikler, öncelikle yapı çeliklerinin dayanım kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle geliştirilmiştir. 70’ li yıllardan sonra hızlanan mikro alaşımlama çalışmaları sonucu oldukça geniş bir özellikler elde edilmiştir.

- Ana üretim tekniği olan kaynak kabiliyetinin geliştirilmesi
- Aynı zamanda dayanım ve tokluk özelliğinin artırılması
- Ağırlığın azaltılması

- Maliyetin düşürülmesi

Mikro alaşımlama , adından da anlaşılacağı gibi , çok az miktarda alaşım elementi katkılarında bulunur. Genelde mikro alaşımlama çok düşük karbon içeren çeliklerden hemen hemen Ötektoid kompozisyonlu çeliklere kadar yapılır. Yaygın olarak kullanılan niyobyum (Nb), titanyum (Ti) ve vanadyum (V) gibi elementler (max. %0.25 toplam) yalnız veya ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde mikro yapı içersinde oluşturdıkları karbinitrür çökeltileri ile tane boyutunu incelterek tokluğu ve dayanımı beraberce artırır. İlave olarak gerçekleşen çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla dayanım bir kez daha artar. Ayrıca alüminyum (Al), molibden (Mo) ve bor (B) da mikroalaşımlama için kullanılır.

Yassı Ürünlerde mikro alaşımlamayla birlikte uygun bir termomekanik işlemin yapılması gerekir. Kontrollü haddeme ile gerçekleştirilen bu işlemde, genelde $1000^{\circ} - 1200^{\circ}\text{C}$ ' de yapılan ön deformasyona, düşük sıcaklıklarda ($700^{\circ} - 800^{\circ}\text{C}$) nihai bir deformasyon eklenir. Haddeme sonrası değişik soğuma hızları kullanılarak mikro yapının ince taneli ferrit veya beynitten oluşması sağlanır. Soğuma şartlarına bağlı olarak az miktarda perlit veya martenzit de elde edilir. Yassı ürünlerdeki gelişme, standart yumuşak çeliklerden C-Mn tipi HSLA çeliklerine doğru olmuştur. Mikroalaşımlama metoduyla da günümüzde kullanılan C-Mn-(V/T:/Nb) tipi HSLA Çelikleri temel kompozisyon %0.05 – 0.15C, %0.3 Si ve % 1.5 Mn' den oluşur.

Mikro alaşımlı çeliklerin üretimindeki ana basamaklar aşağıda verilmiştir.

- Döküm
- Östenitleştirme
- Sıcak deformasyon
- Soğutma' dir.

Günümüzde 355 N/mm^2 'lik akma dayanımları için öncelikle normalize edilmiş haddelenmiş çelikler kullanılır. Normalize edilmiş haddelenmiş çelikler kimyasal kompozisyonları açısından normal tavlanmış, alüminyum içeren Si-Mn alaşımlı yapı çeliklerine benzer.

Termomekanik haddelenmiş çelikler Nb, Ti ve V elementlerinden birini veya kombinasyonunu içeren, karbon miktarı ortalama %0.10 seviyesine düşürülmüş yapı çelikleridir. Artan kalınlık (ve daha yüksek dayanımlar) için mangan miktarı artırılır ve/veya nikel ve bakır alaşımlanır. Hızlı soğutulmuş durumda karbon ortalama %0.07' ye düşürülür. Genelde kaynak kabiliyeti açısından , gerekli karbonitrür çökelti dağılımını sağlayan Ti/Nb katkısı ilave edilir.

Mikro alaşımlı çeliklerin dayanım özellikleri ıslah edilmiş C-Mn-tipi yapı çeliklerine benzer. Ancak belirgin akma sınırı yanı sıra akma/çekme dayanım oranları yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerin yüksek tokluğu, tamamen ince taneli yapılarından kaynaklanmaktadır. Mikro alaşımlı çeliklerin yüksek sıcaklık dayanım özelliği ile soğuk deformasyon ve yaşlanma gibi işlem özellikleri de 35 N/mm²' lik dayanım için standart normalize ve 500 N/ mm²'lik dayanım için standart ıslah edilmiş C-Mn- tipi yapı çeliklerine benzer.

Tokluğun diğer göstergesi olan kırılma tokluğu, mikro alaşımlı çeliklerde konvansiyonel çeliklere oranla daha yüksektir. [4,18,19]

3.1.2. Galvanizli çelik saclar

Karbonlu çeliklere alaşım elementi ilaveleri ve ısıt işlemlerin uygulanması, çekme dayanımı ve yorulma sınırını büyük miktarda artırır, ancak korozyona karşı davranışı üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Galvanizli saclar, bu amaçla yüzeyleri çinko kaplanmış düşük karbonlu saclardır. Çinkonun kaplama malzemesi olarak seçilmesinin başlıca nedenleri, elektro kimyasal gerilim serisindeki yerinin asallıktan uzak oluşu ve yaygın kullanılan metallerle temasta olduğu zaman, anod olarak davranmasıdır (Tablo 3.1). [2, 20,21]

Tablo 3.1 Elektro kimyasal gerilim serisi[2]

Element (iyonlar)	Normal potansiyel V	Diğer pH değerlerinde		
		pH= 6 V	pH= 7.5 V	
Au ⁺⁺⁺	+1.42	+0.3	+0.20	Asal ↑ ↓ Asal olmayan
Ag ⁺	+0.80	+0.2	+0.15	
Cu ⁺	+0.52	-	-	
Cu ⁺⁺	+0.34	+0.2	+0.10	
H ⁺	±0.00	-	-	
Pb ⁺⁺	-0.13	-0.3	-0.20	
Sn ⁺⁺	-0.14	-0.3	-0.80	
Ni ⁺⁺	-0.23	+0.1	+0.04	
Cd ⁺⁺	-0.40	-	-	
Fe ⁺⁺	-0.44	-0.4	-0.30	
Cr ⁺⁺⁺	-0.71	-0.2	-0.30	
Zn ⁺⁺	-0.76	-0.8	-0.30	
Al ⁺⁺⁺	-1.66	-0.2	-0.70	
Ti ⁺⁺	-1.75	+0.2	-0.10	
Mg ⁺⁺	-2.40	-	-	

3.1.2.1. Çinkonun korozyon davranışı

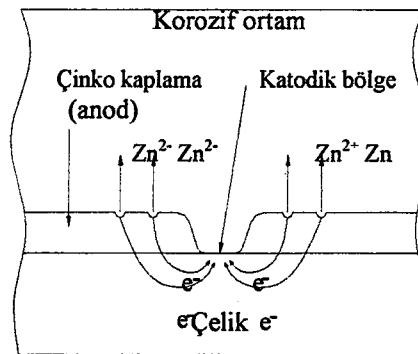
Dünyada çinkonun toplam tüketiminin yaklaşık %40' ı , demir ve çeliğin korozyonunun kontrolüne yardımcı olmak için kullanılır. Çinkonun fiziksel özellikleri Tablo 3.2.' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çinkonun fiziksel özellikleri[2]

Yoğunluk		g/ cm ³	7.14
Erime sıcaklığı		° C	419
Buharlaşma sıcaklığı		° C	906
Elastiklik modülü	Çok kristal (İzotrop)	N/mm ²	94000
	Tek kristal (c-eks.)		37500
	Tek kristal (a-eks.)		125000
Genleşme Katsayısı	İzotrop	10 ⁻⁶ /K	39.8
	c-ekseninde		63.0
	a-ekseninde		14.2
Elektrik iletkenliği		m/(Ω mm ²)	17

Galvanizli çelikte çinkonun başlangıçtaki korozyon direnci, parçanın servis ömrü süresince azalmadan devam eder. Kaplamanın altındaki çelik açığa çıktığı zamanda, çinkonun tükenen anod olarak koruma kabiliyeti devam eder. Çinko, çeliğe göre korozyona çok daha fazla dayanıklıdır. Çinkonun kimyasal bileşimi, atmosfer etkisindeki korozyona uğrama hızına çok az etki eder. Çinkonun içinde bulunduğu suyun sıcaklığı yükseldiği zaman, çinkonun korozyon hızı önce artar, sonra azalır. Yüksek sıcaklıktaki bölgelerde, korozif etki yerel hale gelir ve noktasal korozyon ortaya çıkar. Çinkonun sudaki korozyon hızı, havada olduğu gibi, demirinkine oranla daha azdır. Çinkonun korozyon hızı, sıcaklığa, pH ve oksijen yoğunluğuna bağlıdır. Bu hız, artan oksijen ve karbondioksit miktarıyla artar. Çinko atmosferik bir metaldir ve ancak pH derecesi 6 – 12.5 arasında bulunan sulu çökeltilerde kullanılabilir. Asit oranı yüksek olan çözeltilerde korozyon hızı da artar. Çinko kaplı ürünler, kapalı bir ortamda uzun süre depolanırsa, saklı kalan nem nedeniyle, yüzeylerinde beyaz bir reaksiyon ürünü toz oluşur. Bu, genellikle “beyaz pas” olarak bilinir. Ancak çinko kaplama, bu durumdan olumsuz yönde etkilenmez.

Eğer çinko kaplama sürekli ise korozyon olayında, korozyona maruz kalma hızı tek faktördür. Nemli havanın veya doğal koşulların etkisiyle çinko yüzeyinde hidroksit ve karbonat karışımı sürekli bir zarf şeklinde, koruyucu bir tabaka oluşur. Bu tabaka, korozyon hızını azaltır. Ancak kaplama sürekli değilse veya atmosfer etkileri, gözenekler, kusurlar ve çatlaklar nedeniyle süreksiz hale gelmişse, bu durumda çinkonun elektro kimyasal özelliği veya anodik yapısı, koruma işleminde ön planda çıkar ve demir kotadik olarak korunur. Şekil 3.1’de çinko kaplı çeliğin katodik korunması şematik olarak gösterilmektedir. [2,21,22, 23]



Şekil 3.1 Çinko kaplı çeliğin katodik korunması[2]

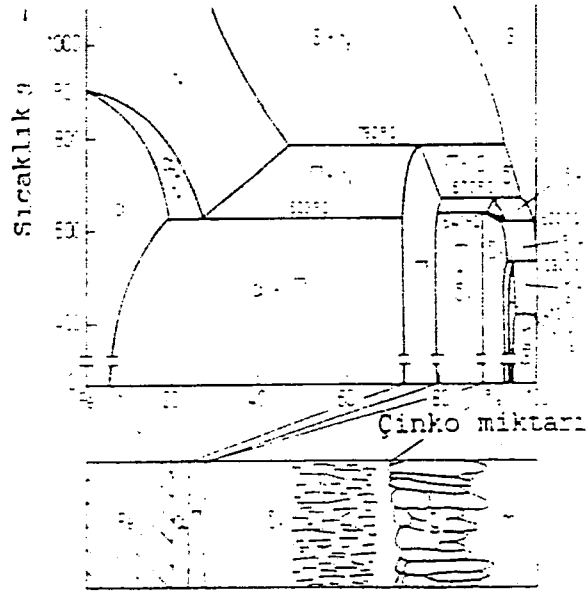
3.1.2.2. Çeliğin çinko ile kaplanması

Çinkonun en büyük kullanım alanını oluşturan galvanizleme işlemi, ya çeliğin erimiş çinko banyosu içine daldırılmasıyla (sıcak daldırma) ya da elektro kaplama (elektro galvanizleme) ile yapılır. Bunu dışında difüzyon ve metal püskürtme tipi kaplama yöntemleride mevcuttur.

Normal koşullarda çinko tabakası, her iki yüzeyde de olmak üzere 350 g/m^2 dir. Bu $50 \text{ }\mu\text{m}$ kalınlıkta çinko kaplı saclar, normal atmosfer koşullarında, yaklaşık 20 yıl için korunmuş olurlar. Kaplamanın sıcak daldırma veya elektroliz yoluyla yapılması, ömür açısından pratik bir fark oluşturmaz. Kaplamanın etkinliği, kalınlığa bağlıdır. [2,20,24]

Sıcak daldırmada, esas metal ile çinko arasındaki geçiş bölgesinde, Fe – Zn alaşımları meydana gelir (Şekil 3.2).

Demir – Çinko denge diyagramı göz önünde bulundurulduğunda, çelik yüzeyinin önce (% 21 – 28 Fe) Γ fazı, daha sonra (%7- 11.4 Fe) δ_1 fazı ve nihayet (% 6 – 6.2) ζ fazını oluşturduğu görülür. Bu ara tabakaların kalınlığı, banyo sıcaklığı yanında, dalma süresi ve demirce giderek zenginleşen eriyğin bileşimine bağlıdır. Bu metaller arası bileşikler gevrek bir yapıda olduğundan, çinko tabakaların şekillendirme kabiliyeti, bu gevrek tabakaların kalınlığına bağlıdır. Sıcak daldırma ile galvanizlemede kural olarak % 98.7 – 99.5 çinko ve % 0.2' ye kadar Alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum, bu gevrek ara tabakaların gevrekliğini azaltmakta ve çinko tabakanın parlaklığını arttırmaktadır. Özel amaçlar için sıcak daldırma ile galvanizleme işleminde % 99.99 çinko kullanılmaktadır. [2,20,22]



Şekil 3.2 Sıcak daldırma ile çinko kaplamada geçiş bölgesi iç yapısının Fe – Zn denge diyagramı yardımıyla şematik açıklaması.

3.1.3 Kromatlama

Kromatlama metal olmayan inorganik koruyucu kaplamalar sınıfına girerler ve daldırma, püskürtme işlemleri veya sürerek metal yüzeylerine uygulanırlar.

Kromatlama işlemini uygulama nedenleri şunlardır:

- Korozyon dayanımını iyileştirmek,
- Boya tabakalarının metal yüzeyine iyi yapışmasını sağlamak, ana metal ile boya tabakası arasında istenmeyen reaksiyonları önlemek,
- Kabarmaları engellemek,
- Ana metallin görünüşünü iyileştirmek.

Kromatlama işlemi bir çok metal, örneğin çinko, kadmiyum, alüminyum, magnezyum ve alaşımları, bakır, bronz, gümüş, kalay üzerine uygulanabilir. Krom tabakasının metal yüzeyi üzerindeki kalınlığı yaklaşık olarak 0.3-1 μm arasındadır.[2]

3.2 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nın 9 numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonuna göre bütün kaynak yöntemlerinin kaynak kabiliyeti tanımı şu şekilde ifade edilir: Bir metalik malzemenin, verilen bir yöntem ile, bir amaç için, bir dereceye kadar kaynak yapılabildiği kabul edilir. Uygun bir yöntem kullanılarak kaynaklı bir metalik bağlantı elde edildiği zaman, bu bağlantı gerek yerel özellikleri bakımından gerekse bunların konstruksiyona etkileri bakımından, önceden belirlenen koşulları yerine getirmelidir.

Elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilecek olan parçalarda, I akım şiddeti, R omik direnç ve t akımın uygulanma süresine bağlı olarak ortaya çıkan Joule etkisi sonucu bir ısı oluşur. Bu ısı, yukarıda belirtildiği gibi şu şekilde ifade edilir:

$$Q = I^2 R t \quad (3.1)$$

Bu ifadeden, nokta kaynağında kaynak kabiliyetinin, malzemenin cinsine bağlı olduğu görülür. Kaynak bölgesinde erimenin oluşabilmesi için R direncinin yeteri kadar büyük olması gerekir. Bir malzemenin içinden elektrik akımının geçişine gösterdiği direnç, o malzemenin elektriği iletme kabiliyeti ile ters orantılı olduğundan, malzemenin elektrik iletkenliği ne kadar yüksekse, o malzemenin nokta kaynağı kabiliyetinin o kadar kötü olduğu anlaşılır.

Nokta kaynağında kaynak kabiliyetine, malzemenin ısı iletkenliği ve erime noktası da etki eder. Isıl iletkenliğin yüksek olması, kaynak için gerekli olan ısı yoğunlaşmasını zorlaştırır. Bu nedenle ısı iletme kabiliyeti yüksek bir malzemenin nokta kaynağı kabiliyeti de düşüktür. Aynı şekilde erime noktasının yüksek olması, kaynak için gerekli ısı miktarının yükselmesine neden olur. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, malzemenin elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve erime noktası göz önüne alınarak, nokta kaynağında kaynak kabiliyeti için aşağıdaki ampirik ifade kullanılır;

$$S = [10^4 / (\lambda \alpha t_s)] \quad (3.2)$$

Burada,

S	Kaynak kabiliyeti faktörü
t_s (°C)	Kaynak yapılan malzemenin ergime noktası
α (m / Ω mm ²)	Kaynak yapılan malzemenin elektrik iletkenliği
λ (cal /cms °C)	Kaynak yapılan malzemenin ısı iletkenliği

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyeti (3.2) sayılı eşitlik ile bulunan kaynak kabiliyeti faktörlerine göre aşağıdaki biçimde değerlendirilir[1]:

Kaynak Kabiliyeti Faktörü

Kaynak Kabiliyeti Durumu

< 0.25	Kötü
0.25 – 0.75	Yeterli
0.75 – 2.00	İyi
2.00 <	Çok iyi

Mikro alaşımlı çeliklerin ve çinkonun kaynak kabiliyetleri ile birlikte fiziksel özellikleri Tablo 3.3' te gösterilmiştir

Tablo 3.3 Mikro alaşımlı çeliklerin ve çinkonun kaynak kabiliyeti ve fiziksel özellikleri.

Malzeme	Elek. İlet. [m / Ω mm ²]	Isı İlet. [Cal /cms °C]	Eritme Dere. [°C]	Kaynak Kabiliyeti Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Mikro alaşımlı çelik	6.0	0.12	1490	9.3	Çok İyi
Çinko	17.0	0.25	906	2.6	Çok İyi

3.2.1. Mikro alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti

Karbonlu çeliklerin kaynağında en önemli etken, çeliğin bileşimindeki karbondur. Karbon oranı, bu çeliklerin kaynak kabiliyetini de belirler. Kaynak kabiliyeti, çeliğin bileşimi, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB)' deki ilgili mikro yapıları ve bu bölgedeki uygun olmayan mikro yapıların azalmasına bağlıdır. Örneğin yüksek karbonlu çelikler, ITAB 'da, düşük karbonlu çeliklere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Ancak kaynak prosedürünü değiştirerek oluşacak mikro yapı, çatlakların bulunmayacağı bir mikro yapıya dönüştürülebilir. [25]

Karbonlu çeliklere, tüm direnç kaynağı yöntemleri başarıyla uygulanabilir. Özellikle % 0.15 veya daha düşük karbon içerikli karbonlu çelikler, kolayca direnç nokta kaynağı ile birleştirilebilir.[8]

Uluslararası Kaynak Enstitüsünün IX numaralı kaynak kabiliyeti komisyonu, ITAB' de maksimum sertlik için 350 HV' i geçmemesini önermektedirler. ITAB'ın sertliğini düşürmek için en emin yol, parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulamak ve kaynağı bu sıcaklık derecesinden itibaren başlatmaktır. Böylece soğuma hızı, kritik soğuma hızının altına düşmüş olur. İkinci bir yöntem ise, kaynaktan sonra bir normalizasyon tavlama uygulamasıdır. [8]

Mikro alaşımlı yapı ürünlerinin en önemli özelliği kaynak kabiliyetinin iyi olmasıdır. Çatlak içermeyen kaynak dikişi elde edebilmek için çelik kompozisyonunun etkisi dikkate alınmalıdır. Karbon ve alaşım elementlerinin kaynak içi tokluğa genelde olumsuz etkilerinin sayısal göstergesi karbon eşdeğeridir.

Özellikle mikro alaşımlı çeliklerin termomekanik haddelenmiş ve hızlı soğutulmuş tipleri, düşük karbon miktarları nedeniyle oldukça iyi kaynaklanabilir. Kaynak ısı geçiş bölgesinde yapılan tokluk çalışmaları, mikro alaşımlı çeliklerde bu kritik bölgenin, öncelikle ince dağılımlı Ti (CN) çökeltilerin tane inceltici etkisiyle Nb (CN)' de de benzer etki temel malzemenin tokluk değerlerine rahatça eriştiğini gösterir. [4]

Karbonlu sacların nokta kaynağı, elektrik direnç nokta kaynağının bulunuşundan itibaren uygulanmaktadır. Karbonlu sacların üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Minarik ve Lehka, nokta kaynağı yapılmış farklı çeliklerin sıfır altı sıcaklıklardaki çekme – makaslama dayanımına ait değerleri tablo halinde vermişlerdir. [26]

Anık ve Eryürek, düşük karbonlu çelik sacların nokta kaynağında temas direnci problemini çeşitli yüzey koşulları için etüt etmişler ve temas direnci ile çekme makaslama dayanımı arasında kesin bir ilgi bulunmadığını, ancak artan pürüzlülük ile bu dayanımın arttığını saptamışlardır. [27]

Kimchi, düşük karbonlu çelik sacların nokta kaynağı üzerine yaptığı araştırmada, kaynak süresini ve akım şiddetini değiştirmiş ve bu parametrelerin, bağlantının yorulma dayanımına, yorulma ömrüne ve çekirdek çapına etkilerini diyagramlarla açıklamıştır. [28]

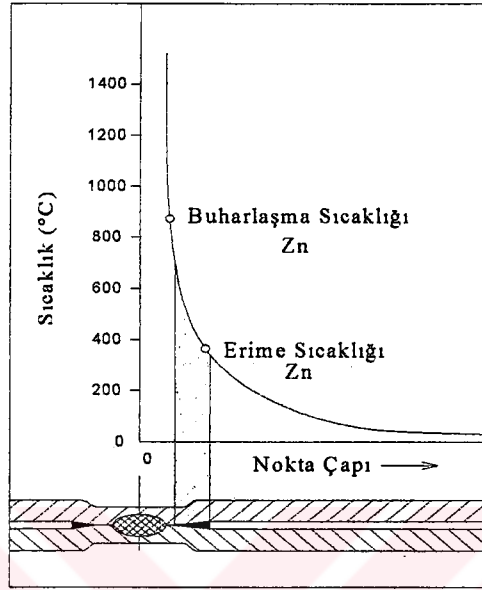
Brooks, çalışmasında düşük karbonlu çeliklerin nokta kaynaklı bağlantılarında, uygun kaynak kabiliyeti deneyleri ve kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde uygulanacak çeşitli yöntemler önermiştir. [29]

Vural, çalışmasında galvanizli çelik sacların karbonlu ve feritik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına etkisini incelenmiştir. [30]

3.2.2. Galvanizli çelik sacların kaynak kabiliyeti

Galvanizli çelik saclar, çeşitli direnç kaynağı yöntemleriyle uygun şekilde kaynak edilebilir. Elektrik direnç nokta kaynağı, galvanizli çelik saclara en çok uygulanan yöntemdir ve çinko kaplamanın direnç etkisi iyi bilinirse, önemli bir sorun oluşturmaz.

Bir çelik malzeme üzerindeki çinko kaplama, düşük karbon ve kaplanmamış bir çeliğin kaynak koşullarına göre iki nokta da fark oluşturur. Birincisi çinko 419°C ' de erir. Bu sıcaklık, elektrot ile iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklığın altındadır (Şekil 3.3). [31]



Şekil 3.3 Kaynak bölgesinde, çinko tabakasının davranışı

Erimiş çinko, bakır esaslı elektrodun ucu ile kolayca alaşım oluşturur. Eğer elektrodun uç formu uygun bir şekilde şekillendirilmemişse, alaşımlanma nedeniyle elektrot – iş parçası temas yüzeyi değişir ve kaynak bölgesindeki akım yoğunluğu azalır. [32]

İkincisi, yumuşak ve yüksek iletkenliğe sahip çinko tabakasının varlığı, kaynak bölgesinin elektriksel ve ısı karakteristیکlerini değiştirir. Galvanizli çelikler, kaplanmamış düşük karbonlu çeliklerde bulunan yüksek temas direncini göstermezler. Bu nedenle, aynı kaynak şartları altında, galvanizli çeliklerin ara yüzeyinde daha düşük bir ısı üretilir. İlave olarak, elektrotlarla temas halindeki çinko tabakası, kaynak bölgesinden, su ile soğutulan elektrotlara doğru mükemmel bir ısı akış yolu oluşturur . Bunun telafisi, galvanizli çeliklerde hem kaynak akımının hem de kaynak süresinin % 25 ile % 50 arttırılması ile sağlanır. Fakat çalışmalar, bu artırımların kaplanmamış çeliklere oranla galvanizli çelikler için daha sınırlı

olduğunu ispatlanmıştır. Bu, kaynak parametreleri için daha dar tolerans sınırları anlamına gelir. [33,34]

3.2.2.1. Elektrot kuvvetinin etkisi

Elektrot kuvvetindeki değişiklikler, galvanizli çelikler için daha az önemlidir. Çünkü galvanizli çeliklerin temas direnci daha düşüktür. Bu yüzden galvanizli çeliklerin nokta kaynağında elektrot kuvveti, galvanizsiz çeliklerin elektrot kuvvetinden daha fazla olmalıdır. Bu şekilde çinko tabakası, temas yüzeyinden uzaklaştırılmış olur. Daha az bir kuvvet uygulandığında, artan temas direnci nedeniyle, daha az bir akım şiddetiyle kaynak yapılabilir, ancak bu durumda oluşan kaynak çekirdeği küçülür ve bunun sonucu daha düşük bir çekme – makaslama dayanımı elde edilir. Ayrıca elektrotların kullanılabilirliği de daha çabuk azalır. [35,36]

Dorweiler ve Krüger tarafından yapılan deneylerden, “iki zamanlı kuvvet programı” ile daha iyi bir sonuç alınmıştır. Elektrot kuvveti bir kaynak zamanı içerisinde iki kademeli olarak uygulanır. İlk uygulanan daha küçük kuvvet ile, geçiş direnci artar ve kaynak çekirdeği için yeterli bir ısı oluşur. Beklenen sıçrama olayından çok kısa bir süre önce, elektrot kuvveti, alması gereken değere çıkartılır ve sıçrama önlenir. Bu yöntem, ayrıca ömrünü de uzatır.[37]

3.2.2.2. Elektrot malzemesi, formu ve soğutulması

Matting ve Krüger tarafından yapılan geniş çaplı bir araştırmanın sonuçlarına dayanarak, elektrot malzemesinden aşağıdaki şartları yerine getirmesi beklenmektedir.

- Çinko ile olabildiğince az alaşımlanma oluşturmali
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği azalmamalı
- Elektrik direnci düşük, ancak ısı iletme kabiliyeti yüksek olmalı
- Ekonomik olmalıdır. [38]

Elektrot malzemesi olarak, bakır – krom alaşımları, en elverişli malzeme çiftini oluşturur. Bunların haricinde, çökeltme sertleştirmeli bakır, CuCrZr, CuZr gibi alaşımlar da kullanılmaktadır. Son yıllarda, tungsten – molibden alaşımlı elektrotlar da geliştirilmiştir. Tablo 3.4 de galvanizli sacların nokta kaynağında kullanılan elektrod malzemelerin fiziksel özellikleri verilmiştir. . [39,40,41]

Tablo 3.4 Galvanizli sacların nokta kaynağından kullanılan elektrotlar ve fiziksel özellikler

Malzeme	Sertlik HB	Elektrik İletkenliği (m / Ω mm ²)	Yumuşama Sıcaklığı ($^{\circ}$ C)
CuCr	135	45	475
CuCrZr	140	44	500
Cu – AlO ₃	160	42	625
Mo	150 Hv	17	1000
W	420 Hv	17	1000

3.2.2.3. Elektrot ile iş parçası arasındaki alaşımlanma

Elektrotların uzun süre kullanımları esnasında, elektrot yüzey kalitesinin zamanla aynı kalabilmesi için, bakır alaşımı elektrodların, galvaniz tabakası ile uygun bir temas oluşturması gerekir. Yüksek ısı oluşumunda çinko tabakasının erimesi, elektrodun çabuk alaşımlanmasına neden olur. [42,43,44] Bunun sonucu olarak elektrot malzemesinin özellikleri değişir, yaklaşık 10 000 noktadan sonra kaynak büyük oranda zorlaşır ve 14 000 noktadan sonra kaynak bölgesine elektrik iletiminin ortadan kalkması sonucu, olanaksız hale gelir. Uygun parametreler seçilerek bu kayıp olayı iyi yönde geliştirilebilir. Dorweiler ve Krüger tarafından yapılan bu çalışmaya göre, elektrotun alaşımlanması ve sertliğinin azalması için en önemli etken, elektrot yüzeyinde ortaya çıkan ısı miktarıdır. Bu, yapılan nokta sayısı ile olduğu kadar, soğutma suyu miktarı ve elektrot soğutma kanalının uygunluğuyla da yakından ilgilidir. Soğutma suyu giriş ve çıkış hızlarının aynı olması önemlidir. Soğutma suyu giriş hızı, birim zamanda yapılan kaynak sayısı ile orantılı olarak artacak şekilde değiştirilmesi gereken bir parametredir. [37] Bundan başka, yeterli kaynak basıncı sağlanmadan, kaynak akımının uygulanması da bu alaşımlanmada etkindir. Kaynak zamanı, mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Çünkü uzun kaynak zamanları, geçiş direnci değişikliğine ve elektrotun aşırı ısınmasına neden olur. Bunun sonucu, elektrot çevresinde fişkırmaya meydana gelir. [45]

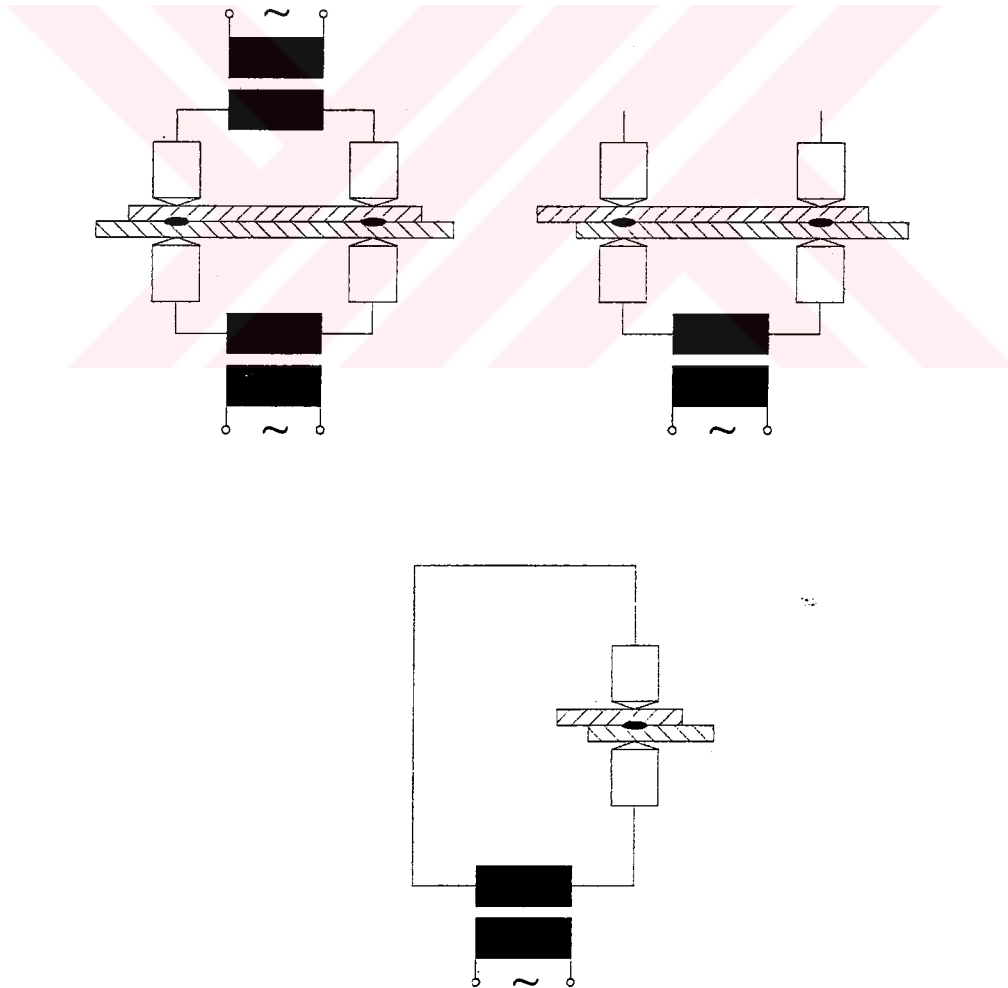
Krause ve Simon, referans olarak verilen deney şartlarına bağlı olarak düzenlenen referans bir elektrot ömrüyle karşılaştırmak üzere, farklı deney gruplarında elde edilen elektrot ömürlerini vermektedirler. Elektrotların çarpma enerjisi, kaynak yerinden uzaklaşırken makinanın davranışı ve kaynak sırasındaki elektrot davranışları gibi makine karakteristiklerinin, elektrot ömrü açısından etkileri irdelenmiştir.[46]

Defourny ve Leroy, elektrot yüzeyini yeniden işlemeden veya akım yoğunluğunu değiştirmeden, verilen bir kaynak hızında maksimum kaç nokta kaynağının yapılabileceğini incelemiştir. Bu çalışmada, elektroliz yoluyla ve sıcak daldırma ile galvanizleşmiş saclar ele alınmış ve nokta kaynağı ile yapıştırma tipi bağlantılar, çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre, elektrot aşınmasını en az düzeyde tutmak için, kaynak hızı, optimum 25 nokta/dk.' da tutulmalı ve hiçbir zaman 50 nokta/dk'yı aşmamalıdır. Soğutma suyu hızı ise 350 lt/saat' ten az olmamalıdır. Bu çalışmaya göre, elektrotların iş parçası yaklaşma hızları da, örneğin 20 mm.lik bir üst elektrot – iş parçası aralığı için, 100 mm/s' nin üzerinde olmamalıdır. [47]

Kimchi, Gould, Columbus, Helenius, Helppi ve Nippet, sıcak daldırma ve elektroliz yoluyla galvanizleşmiş çeliklerin kaynağı için çeşitli elektrot malzemelerinin ömrü ve yapışma karakteristiklerini incelemiştir. Seçilen elektrot malzemeleri, Al_2O_3 çökeltme sertleştirmeli bakır, bakır – krom, bakır – zirkonyum ve bakır – krom – zirkonyum olmak üzere dört gruptur. Klasik ömür testlerine ek olarak, titreşen akım deneyi ve bir kuvvete duyarlı sistem kullanarak yapışmayı inceleyen yapışma deneyi de uygulanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde, değişik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Al_2O_3 – çökeltme sertleştirmeli bakır elektrotlar için 3900, CuCr, CuCrZr ve Cu Zr elektrotlar için 2400 noktadan sonra yapılan ölçümlerin sonuçları verilmiştir. Klasik ömür testine göre performans sıralaması, (1) CuZr, (2) CuCr, (3) CuCrZr ve (4) Cu – Al_2O_3 şeklindedir. Kademeli akım testine göre bu sıralama şu şekilde gerçekleştirilmiştir: (1) Cr - Al_2O_3 , (2) CuZr, (3) CuCr Zr. Titreşen akım testinde (1) Cr - Al_2O_3 , (2) CuCrZr, (3) CuZr ve yapışma testinde ise (1) CU Al_2O_3 , (2) CuZr ve (3) CuCrZr sıralaması elde edilmiştir. [48]

3.2.2.4. Kaynak makinaları

Düzgün bir nokta sıralamasında sönt akımı olarak daha az enerji kaybolduğundan, direkt kaynak makinaları kullanılmalıdır. İndirekt kaynak, galvanizli saclarda daha az tercih edilen bir yöntemdir. Çünkü indirekt kaynak yöntemi, kaynak koşullarının çok iyi kontrol edilebildiği, özellikle kaynak noktaları arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda kullanılır. Elektrotlar yan yana bulunduğu için, bu kaynak şeklinde, uygulanan akımın bir kısmı, elektriğin iyi ileten çinko tabakasından, diğer elektrota geçer ve böylece kaynak için yeterli akım oluşturulamaz. Elektrotların temas yüzeyi, belirli bir büyüklüğe ulaştığında, kaynak yapmak olanaksızlaşır. Karşılıklı bağlanmış transformatörlerle, Kaesler tarafından yapılan bir çalışmada, iki taraflı çift noktalı kaynakta, indirekt kaynağa göre çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemde elektrot dizilişi, direkt kaynak ile aynıdır. (Şekil 3.4) . [39,49]



Şekil 3.4 Galvanizli sacların elektrik direnç nokta kaynağında elektrotların diziliş tarzları

Galvanizsiz, karbonlu sacların kaynağında en yüksek güçlerinde çalışan kaynak makinaları, galvanizli sacların kaynağında kullanılmazlar. Bunda, çinkonun elektrik ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri etkilidir. Pedallı kaynak makinaları yerine, kaynak parametrelerinin daha iyi kontrol edilebildiği pnömatik kaynak makinaları tercih edilmelidir. [50,51,52]

Otomotiv sanayide kullanım alanına sahip, 1 μm kalınlığında fosfat kaplandıktan sonra, sıcak daldırma ile 7 ve 11 μm kalınlıklarda galvanizlenmiş sacların nokta kaynağı üzerine, Pollmann tarafından yapılan bir çalışmada, direkt ve indirekt kaynak yöntemi, elektrot baskı kuvveti gibi kaynak makinası karakteristiklerinin, bağlantının kalitesine etkileri araştırılmış ve direkt kaynağın, daha kısa aralıklarla nokta kaynağı yapılmasına olanak sağladığı bulunmuştur. Elektrot kuvvetinin artımı, daha düşük akım şiddetleriyle kaynak yapılmasını mümkün kılmaktadır. [31]

Galvanizli sacların nokta kaynağında Lane, Sorensen, Gedeon, Eagar, Hunter tarafından yapılan bir çalışmaya göre, kaynak akımında yapılacak modifikasyonlar, daha üniform kaynak çekirdeği oluşumunu sağlamaktadır. Akımın ön ve son tavlama olması veya lineer artımlı ve azalışlı olması, bu modifikasyonlara bir örnektir. Ayrıca bu modifikasyonlar, elektrot ile iş parçası ve iş parçaları ara yüzeylerinde çinko tabakasının erimesine de etkiyerek, hem elektrotların aşınmasını geciktirmekte hem de temas direncini olumlu yönde etkilemektedir. [53]

Galvanizli sacların nokta kaynağında doğru akım ve alternatif akımla kaynağın karşılaştırıldığı, Brown tarafından yapılan çalışmada düşük karbonlu ve yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çeliklerin hem kaplanmamış hem de galvanizli hallerde ki kaynak edilebilirlik alanları araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, doğru akım ile alternatif akıma göre % 27 daha düşük bir akım şiddetinde kaynak yapmak mümkündür. Ayrıca verilen herhangi bir kaynak süresi için kullanılabilir kaynak akım alanı, doğru akım için daha geniştir. Doğru akımla kaynakta, aynı elektrot yıpranma süresinde % 33 daha fazla sayıda nokta yapılabilir. [54]

3.3. Konunun Önemi ve Çalışmaların Planlanması

3.3.1. Konunun önemi

Son yıllarda mikro alaşımlı çelikler çok rahat şekillendirilebilme özelliğine sahip ve darbe dayanımı yüksek ve kaynak kabiliyeti iyi olduğundan dolayı otomobil sektöründe ve ekonominin çeşitli sektörlerinde kullanım payı artmakta ve yaygın olarak elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirilmektedir.

Otomobil sektöründe mikro alaşımlı çelikler genellikle kaporta sacı ve kaportanın iç ve dış bölgelerinde takviye sacı ve şase sacı olarak kullanılmaktadır. Bu tür mikro alaşımlı saclar galvanizlenerek korozyona karşı dayanıklı hale getirilmesi bu sacların otomotiv sanayinde kullanımını arttırmaktadır.

3.3.2 Çalışmanın Planlanması

Çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi konusunda, çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Fakat yapılan literatür taraması sonucu, galvaniz kaplanmış, kromatlanmış mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle 1.2 mm kalınlığındaki galvaniz kaplanmış kromatlanmış mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağındaki mekanik ve metalurjik davranışları incelenerek uygun hasar modunun tespiti için, malzemeler, deney parçaları boyutlarında hazırlanmış ve önceden seçilmiş kaynak parametrelerine göre kaynak edilmiştir.

Yapılan ön deneylerin olumlu sonuçlanması üzerine, kaynak parametrelerinin bağlantının kaynak davranışına ve çekme-makaslama, çekme sıyrma dayanımına etkisinin saptanabilmesi amacı ile, kaynak parametreleri geniş bir aralıkta değiştirilmiştir. Ön deneylerin tamamlanmasından sonra, kaynak parametrelerinin, bağlantının mekanik özelliklerine ve çekirdek boyutlarına etkisinin araştırılması yapılmıştır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Genel

Bu çalışmada deney malzemeleri olarak seçilen galvanizli kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sac çiftleri, elektrot formu, elektrot malzemesi, soğutma suyu giriş hızı ve elektrot kuvveti sabit kalarak, kaynak akım şiddeti ve kaynak akım süresi değiştirilerek ve her şartlarda kaynaklı bağlantı numune serileri elde edilmek üzere, elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Bağlantı dayanım değerlerini saptamak için, bütün seriler çekme- makaslama, çekme-sıyırma deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca sertlik ve mikroyapı özellikleri tespit edilmiştir.

4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

Deneylerde kullanılan saclar 1.2 mm kalınlığındaki galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik saclardır. Galvaniz tabakasının kalınlığı 23 μm dir . Bu galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik sacın kimyasal bileşimi Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deney Malzemelerinin Kimyasal Bileşenleri ⁽¹⁾

KİMYASAL BİLEŞİM										
C	P	S	Mn	Si	Al	N	Cr	Mo	Ni	Bo
0.002	0.011	0.013	0.15	0.001	0.05	0.0029	0.044	0.002	0.022	0.0001

KİMYASAL BİLEŞİM				
Cu	Nb	Sn	V	Özel karışım
0.022	0.0001	0.002	0.001	0.062

¹ British Steel Dokümanları (Çelik Analiz Belgesi)

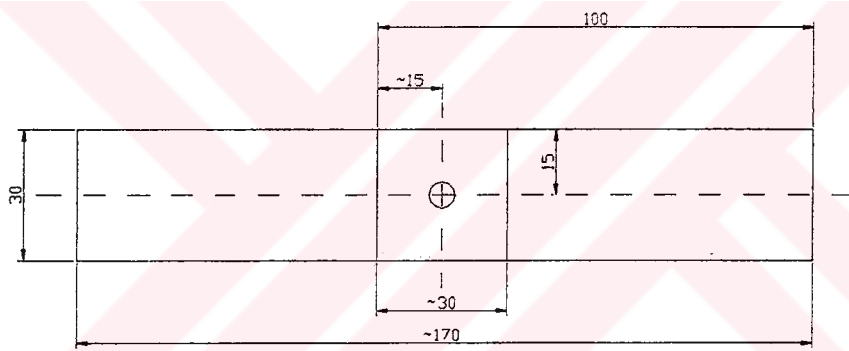
Tablo 4.2 Deney malzemelerinin spektro-analiz değerleri ⁽²⁾

KİMYASAL BİLEŞİM										
C	P	S	Mn	Si	Al	N	Cr	Mo	Ni	Bo
0.005	0.008	0.005	0.113	0.009	0.045	0.0029	0.017	0.001	0.009	0.0005

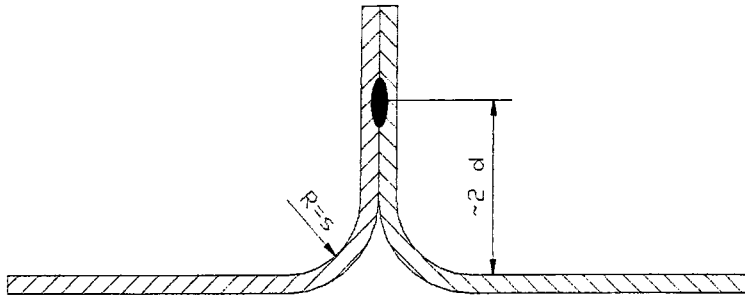
KİMYASAL BİLEŞİM			
Cu	Nb	Co	V
0.018	0.021	0.004	0.001

4.3. Deney Parçalarının Boyutları

Deneylerde 1.2 mm kalınlığındaki çelik saclar kullanılmış ve deney sırasındaki boyutları Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Çekme-makaslama deney parçalarının boyutları [55]

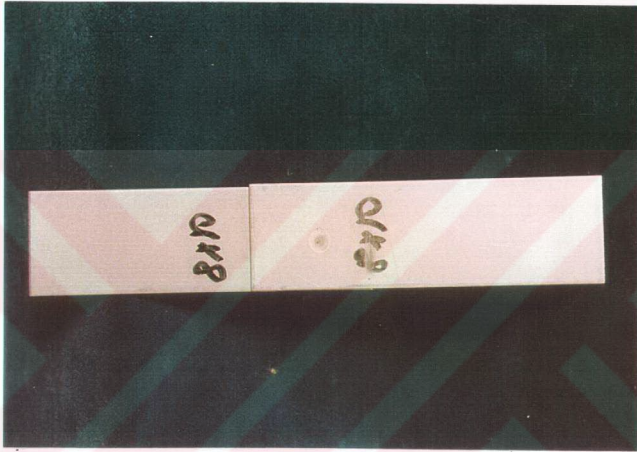


Şekil 4.2 Çekme -sıyırma deney parçalarının boyutları [55]

² Spektro lab. Kimyasal Analiz Cihazı (1010 Ordu Donatım Ara Tamir Fabrikası)

Deney parçasının boyutlarının seçiminde çekme-makaslama deneyi sırasında kırılmanın kaynak bölgesinden oluşmasını sağlamak, kenar etkenleri ortadan kaldırmak ve minimum malzeme sarfı gibi faktörler göz önüne alınmıştır. [55]

Şekil 4.3'te elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş deney parçası gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş deney numunesi

4.4. Deney Parçalarının Hazırlanması

Deney parçaları, giyotin makas ile Şekil 4.1'de gösterilen boyutlarda kesildikten sonra, karışık şekilde kutu içine dağıtılmış ve yüzeylerindeki yağ, pas ve kir gibi bulaşmaları arındırmak için etil alkol içinde yıkanmış ve temiz bir bez ile silinmiştir.

4.5. Kaynak Makinası

Deneylerde, tek kollu 120 KVA gücünde, elektronik akım ve zaman kontrollü, pnomatik basma tertibatlı elektrik direnç nokta kaynağı makinası⁽³⁾ kullanılmıştır.

³ Mistaş A.Ş.

Elektrot kuvveti sürekli ölçülmüş ve kontrol edilmiştir.

Kaynak akım şiddeti değerleri, kaynak makinasının üst koluna yerleştirilen bir manyetik alan ölçümlü akım trafosu (⁴) ve geniş alanlı bir ampermetre (⁵) ile devamlı olarak ölçülmüştür.

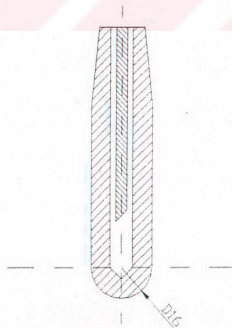
Kaynak zamanı, sıkıştırma ve tutma zamanları makinanın kendi elektronik donanımları aracılığı ile ayarlanmıştır.

4.6. Deneylerde Kullanılan Elektrotlar

Deneylerde küresel uçlu, küre çapı 16 mm olan elektrotlar (⁶) kullanılmıştır. Tablo 4.3'te elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri, Şekil 4.4'de elektrotların boyutları verilmiştir.

Tablo 4.3 Deneylere kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [40]

Elektrodun Tipi	Kimyasal Bileşimi	Isıl iletkenlik (J/cm s K)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
CRM 16 X CuCrZr(Ucl)	g.k. Cu %0.40 Cr %0.03 Zr	320	48	540



Şekil 4.4 Deneylerde kullanılan elektrotların boyutları

⁴ Hikar Marka Akım Trafosu

⁵ Metex Digital Multimeter

⁶ Arslan kaynak Metal

4.7. Deneylerin Yapılışı

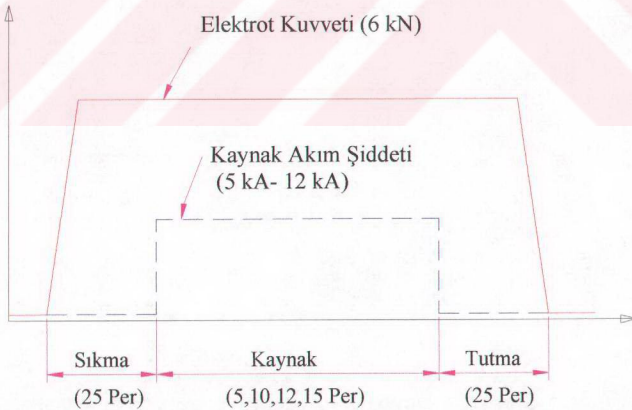
4.7.1. Elektrik direnç nokta kaynağının yapılışı

Deney parçaları, Şekil 4.1'de gösterilen boyutlarda hazırlanıp temizlendikten sonra, deney parçaları 30 mm üst üste bindirilerek, bindirme kısmının orta noktasından kaynak edilmiştir.

Elektrot kuvveti tüm deney boyunca 6 kN değerinde sabit tutulmuş ve sürekli olarak kontrol edilmiştir.

Kaynak süresi 5, 10, 15 ve ara değer olarak ön deneylerde tespit edilen 12 periyot şeklinde dört farklı süre olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma ve tutma süreleri, bütün serilerde 25 periyot olarak sabit tutulmuştur.

Kaynak akım şiddeti 5 kA'den başlayarak 1 kA'lık artışlarla 12 kA'e kadar artırılmıştır. Deneylerde uygulanan kaynak periyodu Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



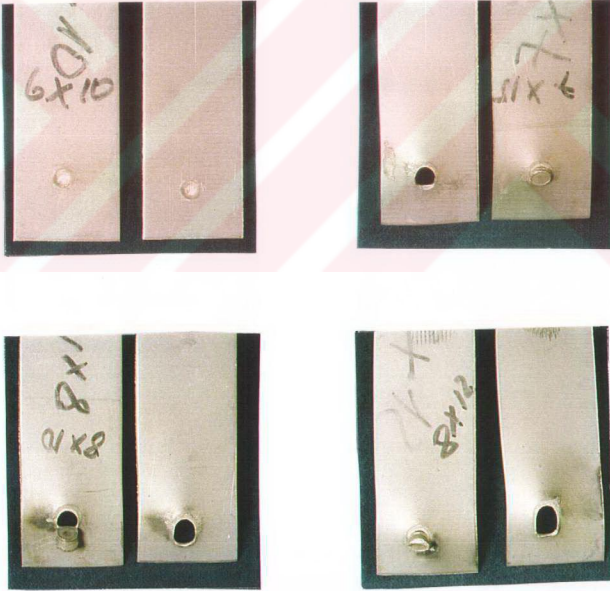
Şekil 4.5 Deneylerde uygulanan kaynak periyodu

Her deney koşulunda kaynak bağlantılı parçalar elde edilmiştir. Bu parçalar çekme-makaslama, çekme-sıyırma deneylerine tabi tutulmuş, birer adedine mikro vickers

sertlik deneyi uygulanmış ve çekirdek boyut ölçümlerinde kullanılmış; birer adedi ışık mikroskobu ile mikro yapı fotoğraflarının eldesi için kullanılmıştır.

4.7.2. Çekme-makaslama deneyi

Elektrik direnç nokta kaynak makinasında kaynağı yapılmış parçalar laboratuvar koşullarında çekme cihazında ⁽⁷⁾ çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuştur.[57] Çekme-makaslama deneyi sırasında çekme hızı sabit tutulmuştur. Çekme-makaslama dayanımı olarak verilen değerler, cihazın skalasından okunan maksimum değerlerdir. Çekme-makaslama deneyi sırasında 3 değişik tipte kopma gerçekleştiği görülmüştür. Bunlar, ayrılma, düğmelenme ve yırtılma şeklinde kopmalardır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Çekme-makaslama deneyinde ortaya çıkan kopma tipleri

⁷ Haunsfield Tensometer-Sakarya Üniversitesi

4.7.3. Çekme-sıyırma deneyi

Elektrik direnç nokta kaynak makinasında kaynağı yapılmış çekme-sıyırma deney parçalar, laboratuar koşullarında çekme cihazında ⁽⁸⁾ çekme- sıyırma deneyine tabi tutulmuştur. [57] Çekme-sıyırma deneyi sırasında çekme hızı sabit tutulmuştur. Çekme-sıyırma dayanımı olarak verilen değerler, cihazın skalasından okunan maksimum değerlerdir. Çekme-sıyırma deneyi sırasında 3 değişik tipte kopma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunlar ayrılma, düğmelenme ve yırtılma şeklindeki kopmalardır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Çekme- sıyırma deneyinde ortaya çıkan kopma tipleri

⁸ Haunsfield Tensometer-Sakarya Üniversitesi

4.7.4. Metalografik çalışmalar

4.7.4.1. Işık mikroskobu ile yapılan çalışmalar

Elektrik direnç nokta kaynak makinasında kaynağı yapılmış serilerin her birinden alınan numuneler, mekanik olarak çekirdek ortasından kesilmiş ve bakalit içerisine gömülmüştür. Zımparalama (320, 600, 800, 1000, 1200) işleminden ve parlatma işlemlerinden sonra numuneler %3 çözeltili nitrik asit ile dağlanmıştır.

4.7.5. Çekirdek boyutlarının ölçümü

Kaynak akım şiddetinin çekirdek boyutları üzerindeki etkisinin, çekirdeğin simetrikliğinin ve çekirdek boyut oranı ile bu oranın bağlantının çekme-makaslama dayanımı ve çekme-sıyırma dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacı ile, nokta kaynaklı numunelerin çekirdek boyutları, ölçü mikroskobu (⁹) ile ölçülmüştür.

4.7.6. Sertlik değerlerinin ölçümü

Elektrik direnç nokta kaynak makinası ile kaynağı yapılmış parçanın sertlik dağılımının belirlenmesi amacı ile, çekirdek enine ve boyuna kesitinde malzemenin İTAB' sinde ve esas metaldeki sertlik değerler, mikro vickers sertlik cihazı (¹⁰) ile ölçülmüştür. [57]

⁹ Federal Elektrik A.Ş.

¹⁰ Türkiye Zirai Donatım Kurumu

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ

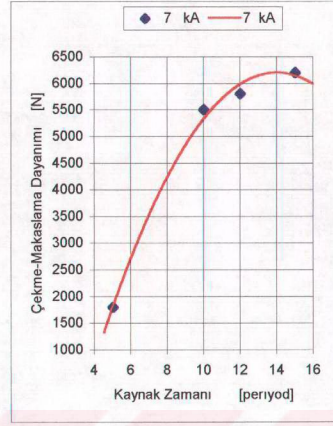
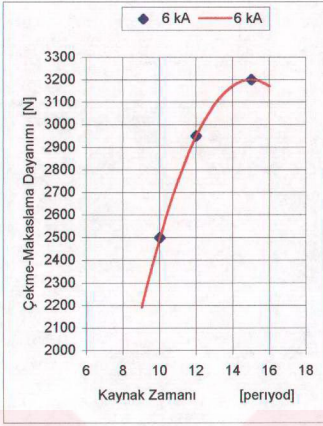
5.1. Genel

Bu çalışmada 1.2 mm kalınlığında galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında, kaynak akım şiddeti, kaynak akımının uygulanma süresi, elektrot formu, elektrot malzemesi gibi kaynak parametrelerinin, bağlantıların özelliklerine ve çekme-makaslama dayanımına, çekme-sıyırma dayanımına etkileri araştırılmıştır. Deneylerde malzeme olarak, otomobil korroserisinde kaporta sacı ve takviye sacı olarak kullanılan mikro alaşımlı çelikler kullanılmış ve deneyler laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir.

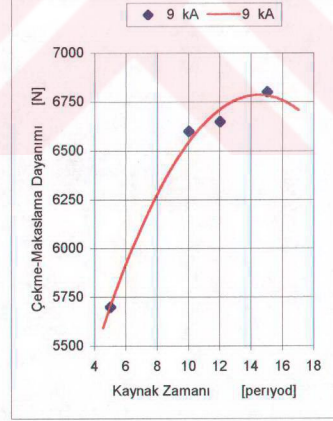
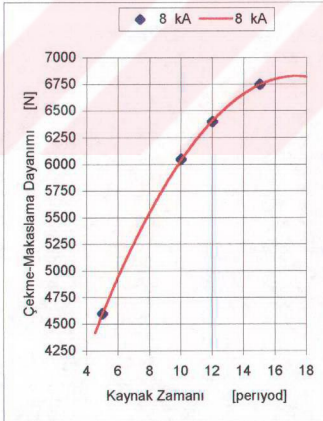
5.2. Bağlantıların Çekme - Makaslama Dayanımına Kaynak Parametrelerinin Etkisi

5.2.1. Bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak süresinin etkisi

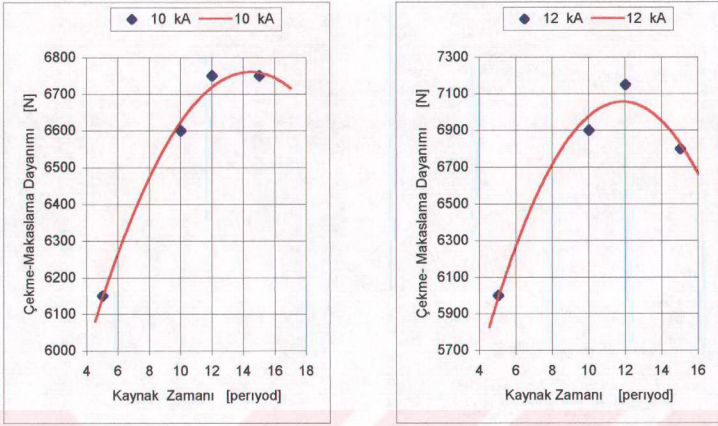
Bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarına , kaynak akım sürelerinin etkileri, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 'de uygulanan kaynak akım şiddetine göre, Şekil 5.3'te toplu halde verilmiştir.



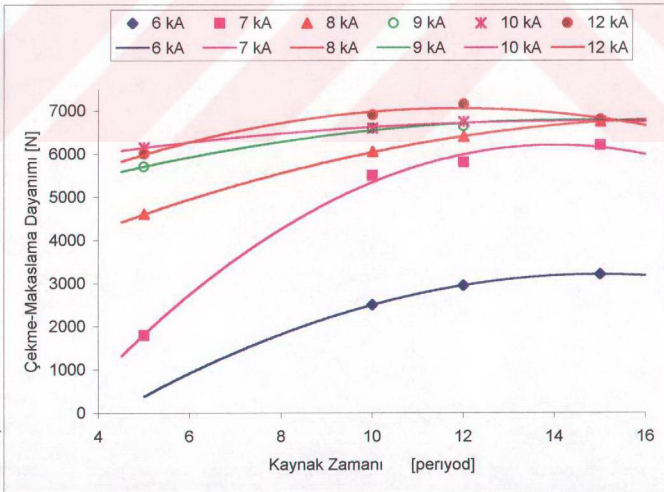
Şekil 5.1 6 kA , 7 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.2 8 kA , 9 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.3 10 kA, 12 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.4 Kaynak akım zamanlarının, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkileri

Diyagramlardan elde edilen sonuçlara göre, kaynak akım süreleri uzadıkça, kaynak bölgesine verilen ısınn artmasından ve buna bağılı olarak çekirdek yapısının büyümesinden dolayı, çekme-makaslama dayanım değerleri de artmaktadır. 5 periyotluk kaynak akım sürelerinde artış 7 kA'den 10 kA'ya kadar devam etmektedir. 5 periyotluk kaynak akım süresi ile 6 kA'de kaynak oluşturulamamıştır.

10 ve 12 periyotluk kaynak akım sürelerinde 8 kA'e kadar bağlantının çekme-makaslama dayanımında aşırı bir artış meydana gelmektedir. 8 kA kaynak akım şiddetinden sonra artış hızı azalmaktadır.

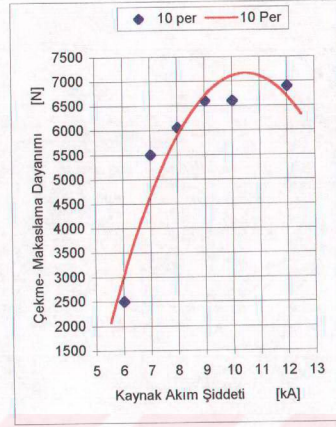
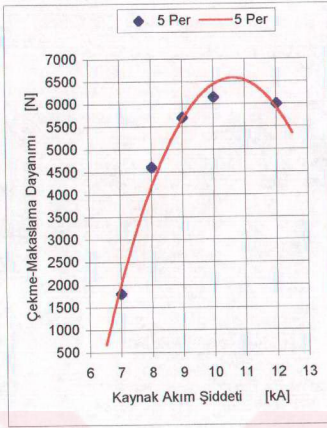
Bağlantının çekme-makaslama değeri maksimum olarak genelde 10-11kA'de elde edilmekte ve bu değerden sonra değerler hızla azalmaktadır.

15 periyotluk kaynak akım sürelerinde çekme-makaslama dayanımı 9 kA kaynak akım şiddetine kadar hızla artmakta, bu değerden sonra artış azalmakta ve değerler birbirine yaklaşmaktadır. Maksimum değere 9 kA'de ulaşmaktadır.

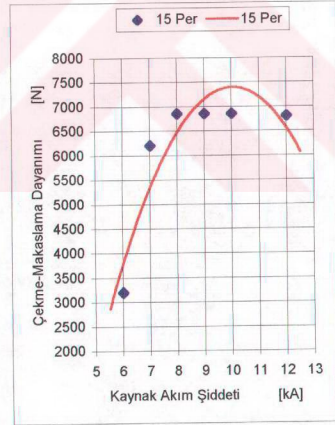
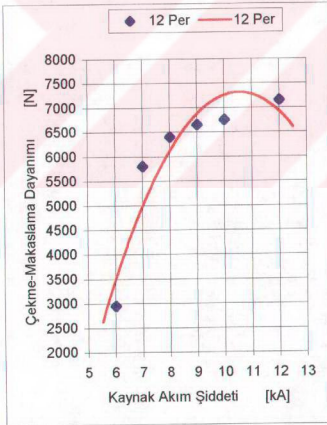
15 periyotluk kaynak akım süresinde, kaynak bölgesindeki aşırı ısı yığılmalarından dolayı, fişkırmalar ve derin elektrot izleri yüzünden, kaynaklı bağlantıların kabul edilebilirliği ortadan kalkmaktadır.

5.2.2. Bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarına kaynak akım şiddetinin etkisi

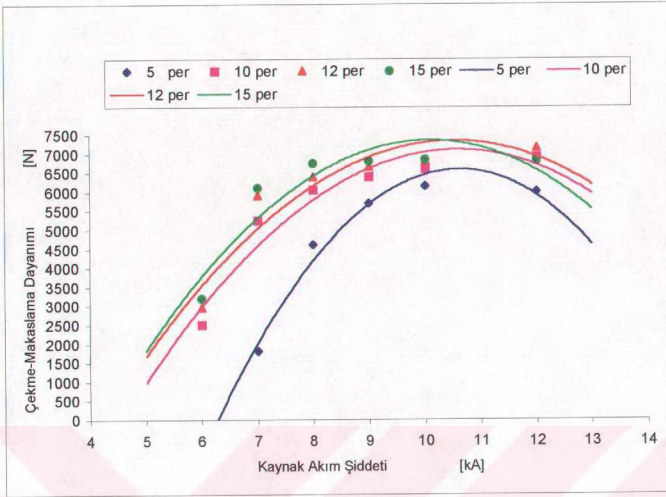
Bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarının tespiti için 5 kA'den başlayarak 6 kA, 7 kA, 8 kA, 9 kA, 10 kA ,12 kA kaynak akım şiddetleri, 5, 10, 12, 15 Periyotluk kaynak akım sürelerinde deney parçalarına uygulanmıştır. Bu şekilde oluşturulmuş saç çiftlerinin çekme-makaslama dayanımlarına kaynak akım şiddetinin etkisini Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 5 ve 10 periyod kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi



Şekil 5.6 12 ve 15 periyod kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi



Şekil 5.7 Bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi

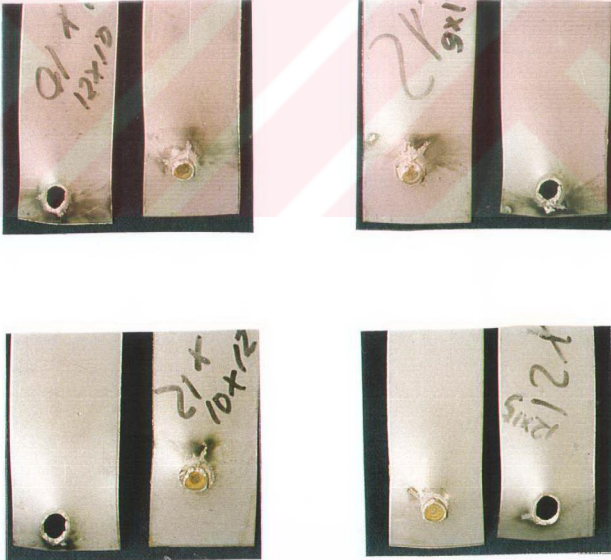
Düşük akım şiddetinde (6 kA), kaynak akım bölgesine verilen ısı miktarının düşük olması nedeni ile, buna bağlı olarak çekirdek çapının küçük olması ve çekirdeğin makaslama dayanımının, metalin çekme dayanımının altında olması sonucu, ayrılma tipi kopma oluşmakta ve düşük çekme-makaslama değerleri ortaya çıkmaktadır. Kaynak akımının uygulanan süresine göre akım şiddeti yükseldikçe, elde edilen çekme makaslama değeri de artmaktadır.

5 periyotluk sürelerde elde edilen değerler 10, 12, 15 periyotluk sürelerde elde edilen değerlerden düşüktür. 12 ve 15 periyotlarla elde edilen değerler, en yüksek çekme-makaslama dayanım değerleridir. Maksimum değer 12 periyotluk sürelerde ve 10 - 11 kA değerler arasında elde edilmiştir.

Çekirdek çapının 10 kA'lık akım şiddetinden itibaren aşırı büyümesi (6.75 mm-8.8 mm) ve aynı zamanda elektrotlar arasındaki malzeme ara kesitinde erime meydana gelmesinden dolayı, kaynak bölgesinde aşırı elektrot izleri görülmekte ve bunun sonucunda da bağlantının kalitesini etkilemekte ve kesit

daralmasından dolayı çekme-makaslama dayanımını düşürmektedir. 12 kA kaynak akım şiddetinde elektrotla deney parçaları arasında yapışmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni parça arasında meydana gelen aşırı ısınmanın elektrotlar tarafından yeterli derecede soğutma suyuna iletilmemesidir. Yine aynı kaynak akım şiddetindeki (10 kA<) bağlantılarda, iki sac arasında çekirdek fişkırmaları gözükmekte ve böylece çekirdek boyutu da küçülmektedir. Buna bağlı olarak 10, 12 ve 15 Periyotlarda 10 kA değerinden sonra çekirdek boyutunda küçülme meydana gelmekte, bu da çekme-makaslama dayanımında azalma meydana getirmektedir. (Şekil 5.8)

Çekme-makaslama deneylerinde elde edilen kopma tipleri, kaynak akım şiddetinin artmasına bağlı olarak ayrılma, düğmelenme, çekirdek çevresinden yırtılma ve esas metalden yırtılma şeklinde meydana gelmiştir.



Şekil 5.8 10 kA'nın üzerindeki akım şiddetlerinde deney parçaları arasında meydana gelen fişkırmalar

Kaynak akım şiddetinin ve süresinin uzun olduğu durumlarda 15 periyot ve 12 kA'de kaynak bölgesinde aşırı renklenmeler, kalıntılar ve derin elektrot izleri ve deformasyonlar tespit edilmiştir. Bu da bağlantının kalitesine etki etmektedir. (Şekil 5.9)



Şekil 5.9 10 kA'ın üzerindeki akım şiddetlerinde deney parçaları üzerinde meydana gelen renklenmeler ve derin elektrot izleri

5, 10, 12, 15 periyotluk kaynak sürelerinde elde edilen maksimum çekme-makaslama değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

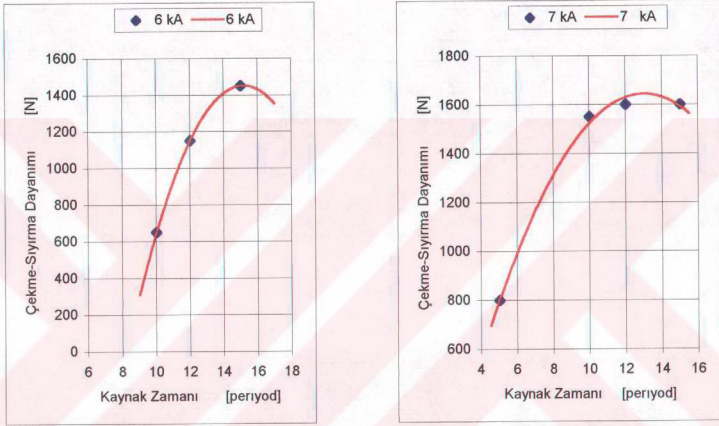
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan 5, 10, 12, 15 periyotluk kaynak akım sürelerinde elde edilen maksimum çekme-makaslama dayanımı değerleri

	5 periyot	10 periyot	12 periyot	15 periyot
Max çekme-makaslama değeri (N)	11 kA	10.5 kA	10.5 kA	10 kA
	6500	7000	7300	7400

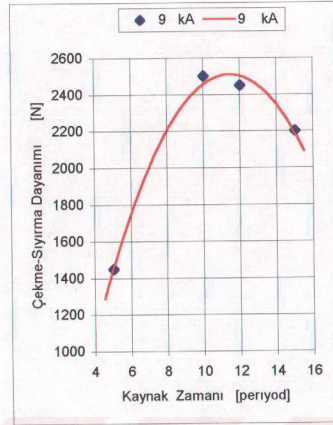
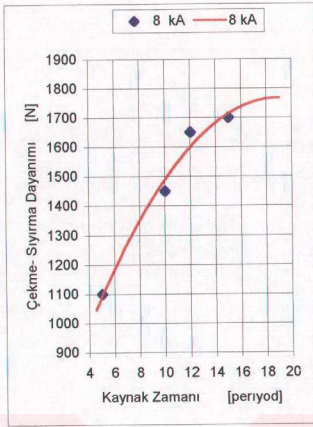
5.3. Bağlantıların Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkileri

5.3.1 Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım sürelerinin etkileri

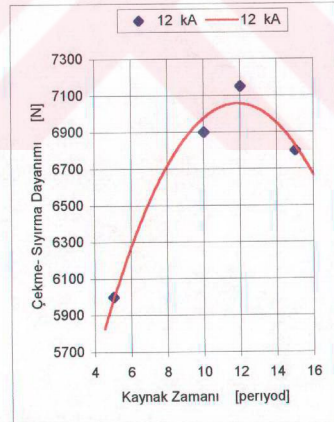
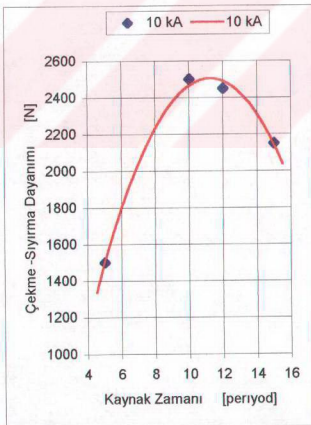
Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de uygulanan kaynak akım şiddetine göre, Şekil 5.13’de ise değerler toplu halde verilmiştir.



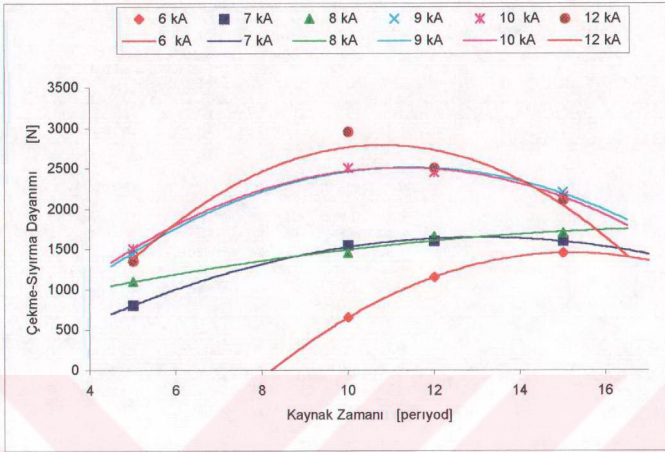
Şekil 5.10 6 kA, 7 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.11 8 kA, 9 kA kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.12 10 kA, 12 kA, kaynak akım şiddetlerinde kaynak akım sürelerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.13 Kaynak akım sürelerinin, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkileri.

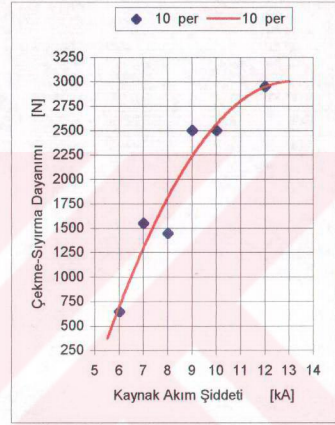
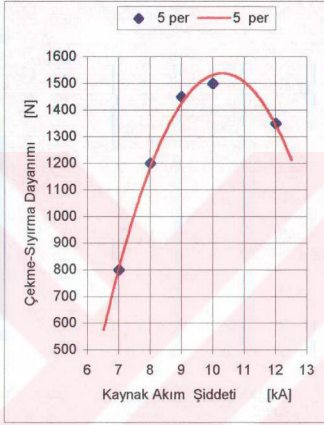
Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi, kaynak akım sürelerinin artmasından dolayı, kaynak bölgesinde ısı artışı meydana gelerek, çekirdek çapının büyümesine neden olmakta, buda bağlantının çekme-sıyırma dayanımlarının artmasına sebebiyet vermektedir.

Diyağramlardan elde edilen sonuçlara göre, 5 periyotluk akım sürelerindeki artış 7 kA'den başlayıp 10 kA'e kadar devam etmekte ve 10 kA'den sonra çekme-sıyırma dayanımı düşmektedir.

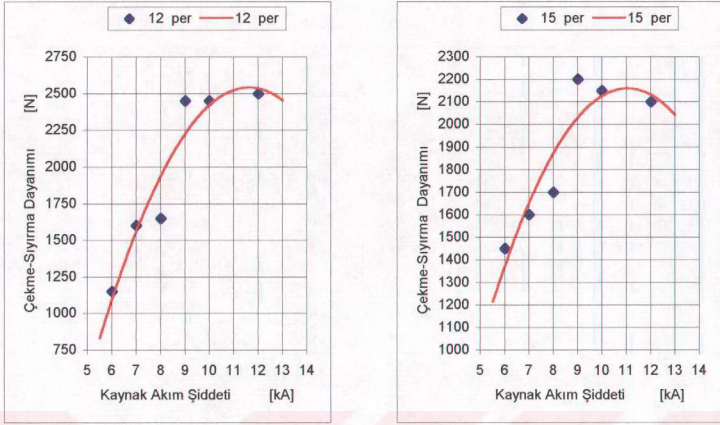
10, 12, 15 periyotta, 9 kA'e kadar çekme-sıyırma dayanımında hızlı bir artış gözlenmekte, bu kaynak akım şiddetinden sonra artış hızı yavaşlamakta ve maksimum değerine ulaştıktan sonra (10 kA-12 kA arasında ≈ 11 kA'de 2900 N) hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bunun sebebi kaynak bölgesinde oluşan aşırı ısınma ve kaynak süresinin uzun olmasından dolayı fişkırmalar ve derin elektrot izlerinin oluşumudur. Bu fişkıрма ve derin elektrot izleri çekirdek boyutunda azalmalara, böylelikle bağlantının çekme-sıyırma dayanımında azalmalara neden olmaktadır.

5.3.2. Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi

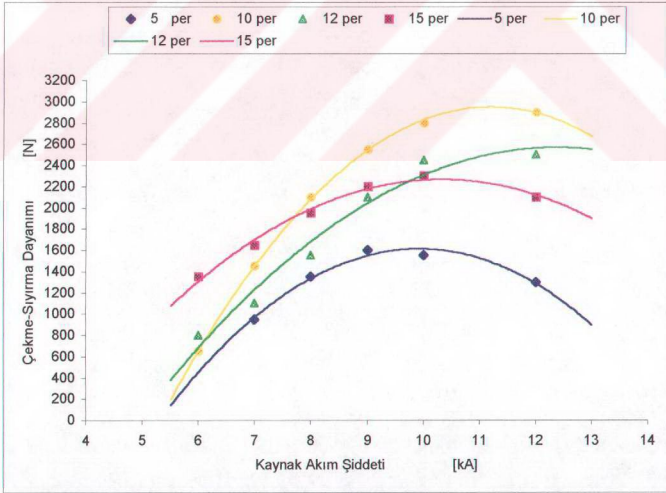
Çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.14 5 ve 10 periyot kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi



Şekil 5.15 12 ve 15 periyod kaynak akım zamanlarında, bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi



Şekil 5.16 Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi

Diyaqramlardan anlaşıldığı gibi 6 kA'den 9 kA'e kadar çekme-sıyırma dayanımı hızlı bir şekilde artmakta ve 10 kA'de maksimum değere ulaşmaktadır. 10 kA'den sonra çekme-sıyırma dayanımında gözle görülür bir şekilde azalmalar tespit edilmiştir. 10 kA'den sonraki çekme-sıyırma dayanım değerlerindeki azalmanın nedeni aşırı ısı girdisinden dolayı çekirdek çapındaki büyüme, çekirdek yüksekliğindeki azalma (çekirdek boyut oranındaki azalma) ve malzeme çiftleri arasındaki fişkırmalardır.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 10 periyot kaynak akım zamanında ve 10-12 kA kaynak akım şiddetleri arasında (yaklaşık olarak 11 kA civarlarında) olduğu tespit edilmiştir.

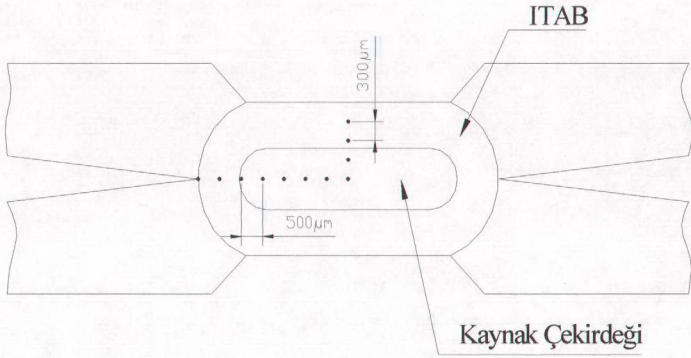
5, 10, 12, 15 Periyotluk kaynak akım zamanlarında elde edilen maksimum çekme-sıyırma dayanımı değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Deneylerde kullanılan 5, 10, 12, 15 periyotluk kaynak akım sürelerinde elde edilen maksimum çekme-sıyırma dayanımı değerleri

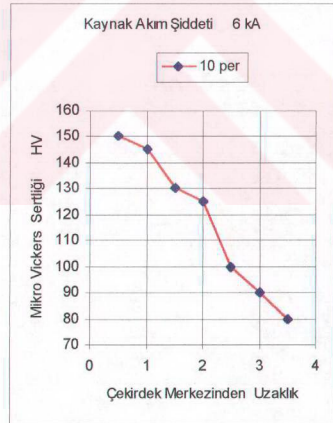
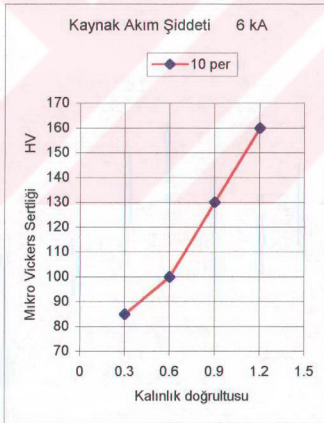
	5 Periyot	10 Periyot	12 Periyot	15 Periyot
Max. çekme-sıyırma değeri (N)	10 kA 1600	11 kA 2900	12 kA 2500	10 kA 2300

5.4. Bağlantıların Sertlik Değerleri

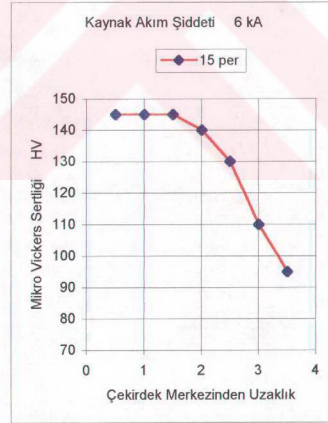
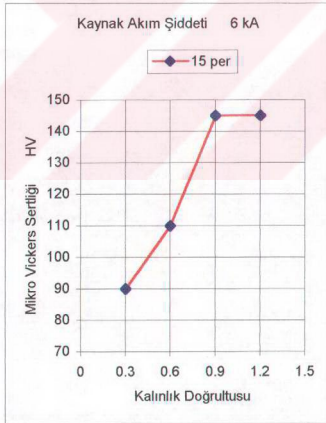
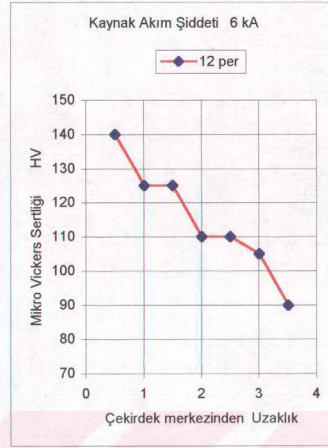
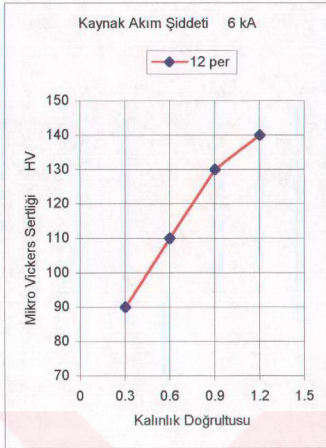
Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş bağlantı çiftlerinin, kaynak metalllerinde, ısının tesiri altındaki bölgede ve esas metalde mikro-vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.17'de sertlik ölçümlerinin yapıldığı doğrultular ve Şekil 5.18'de mikro vickers sertlik ölçümlerinde elde edilen sertlik dağılımları gösterilmiştir.



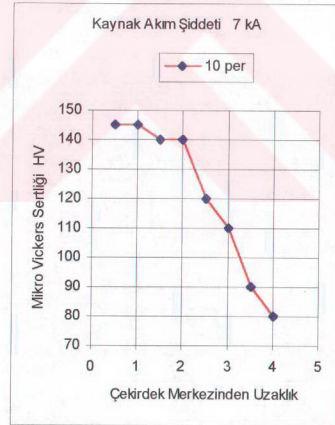
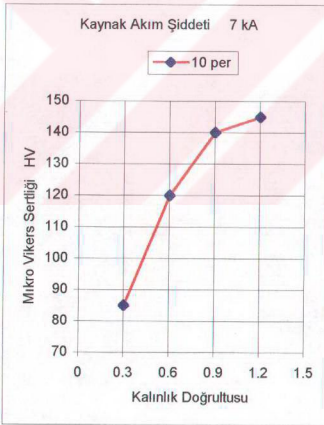
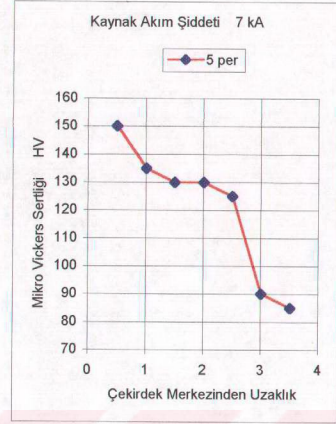
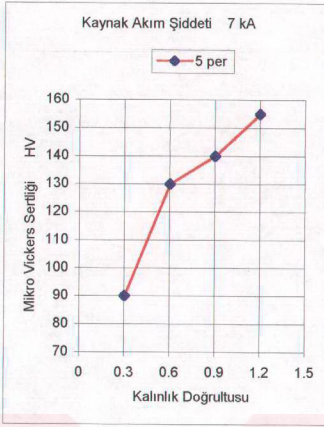
Şekil 5.17 Sertlik ölçümlerinin yapıldığı doğrultular



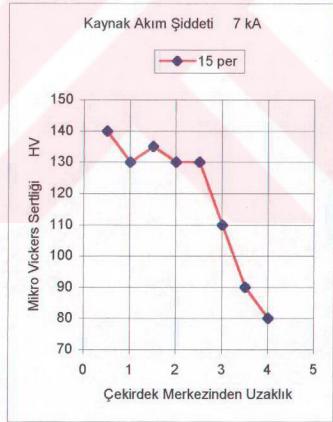
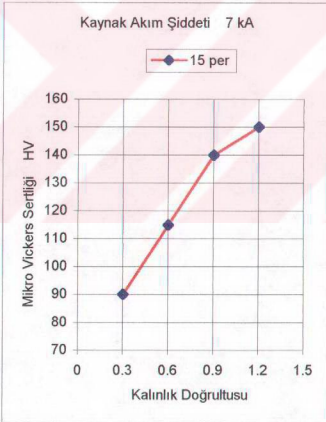
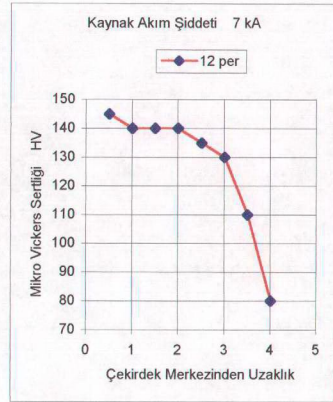
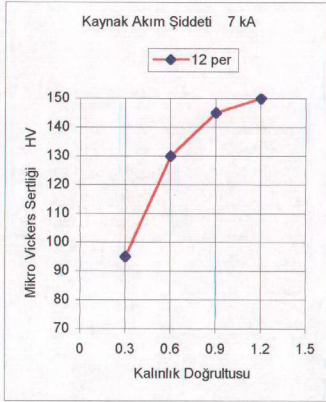
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri



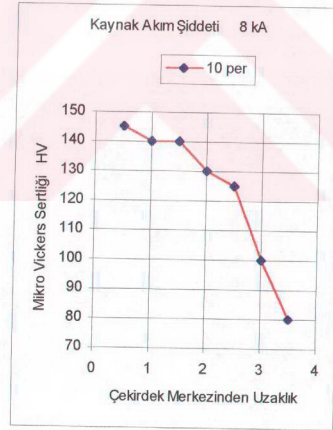
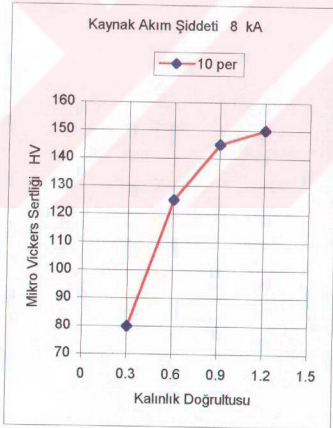
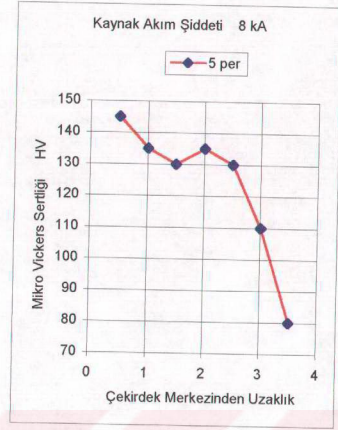
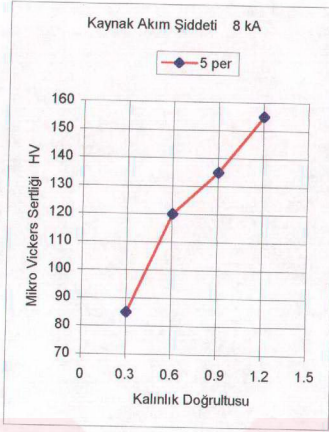
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



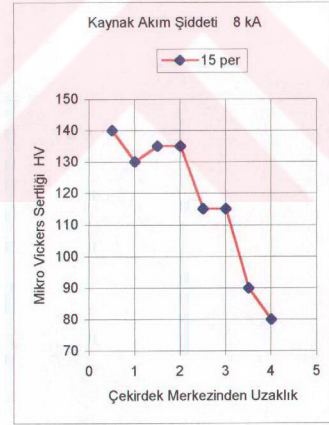
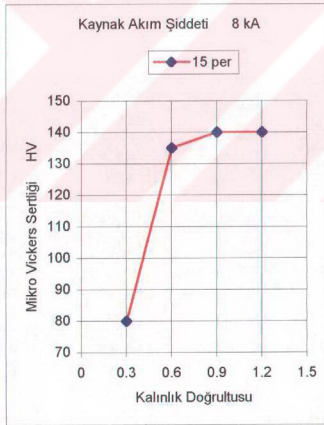
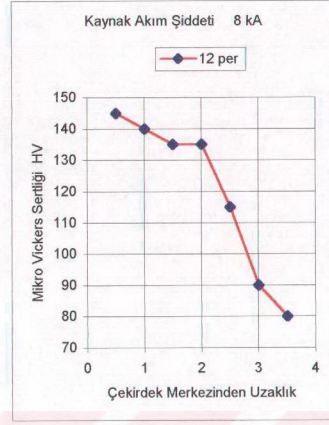
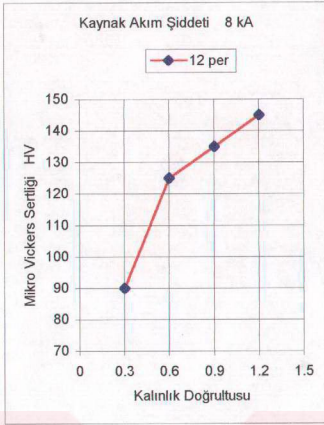
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



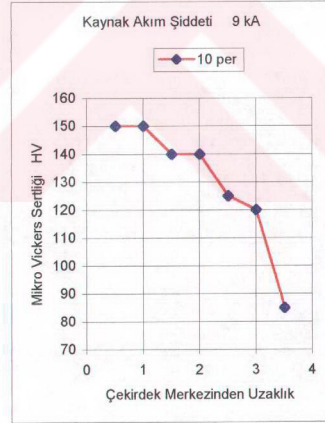
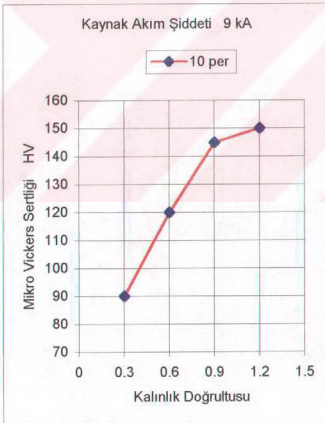
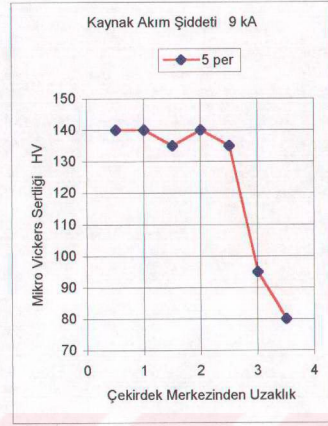
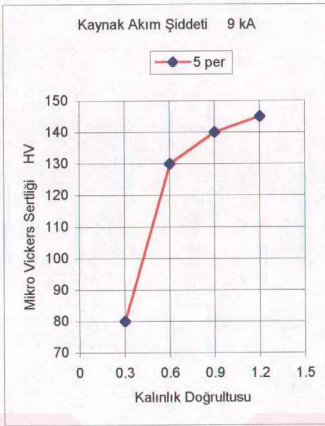
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



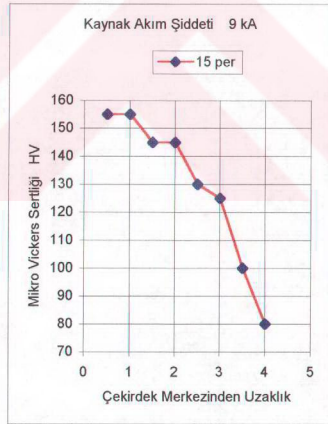
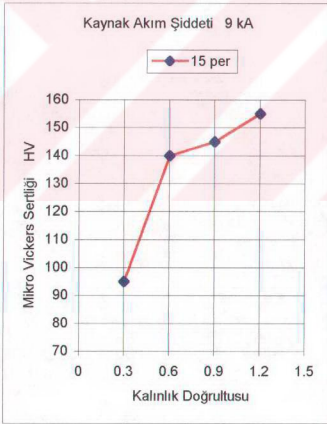
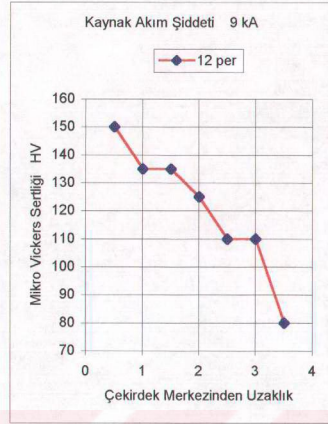
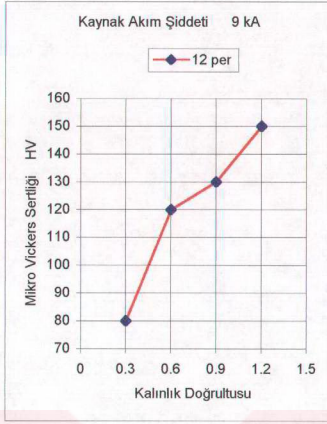
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



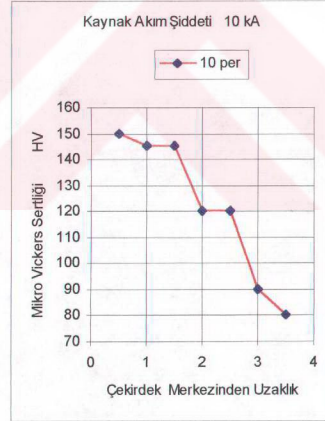
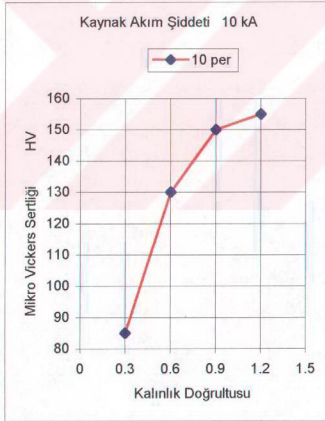
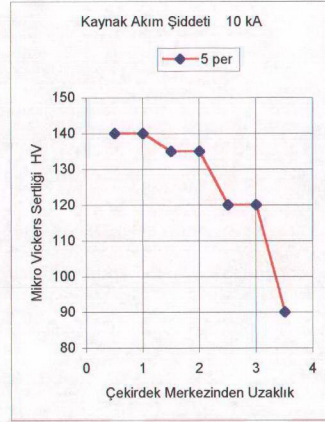
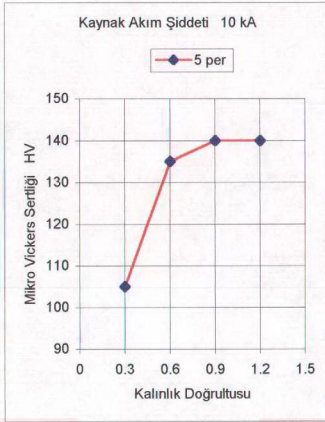
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



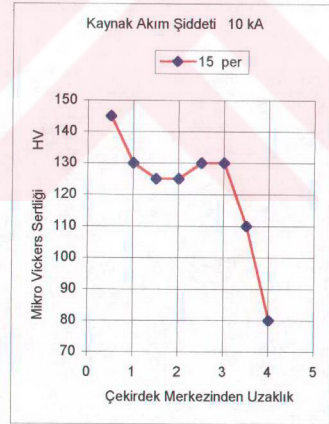
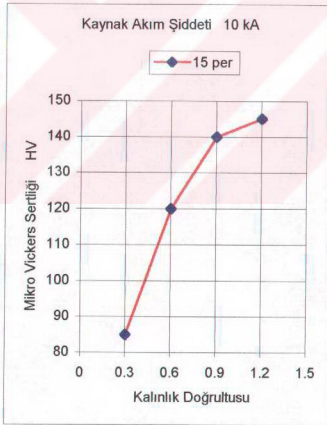
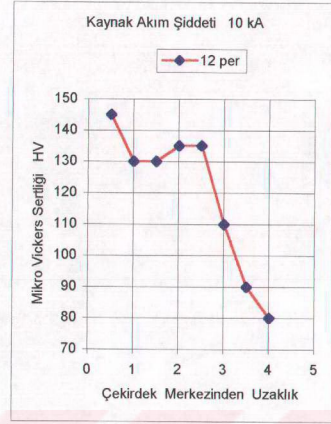
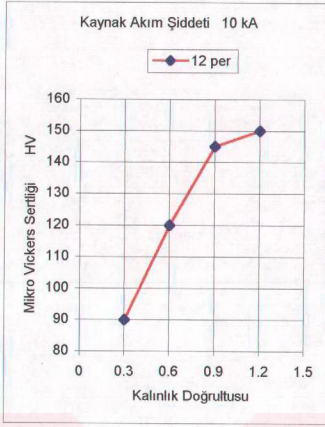
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



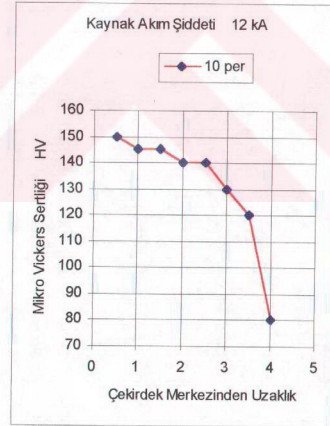
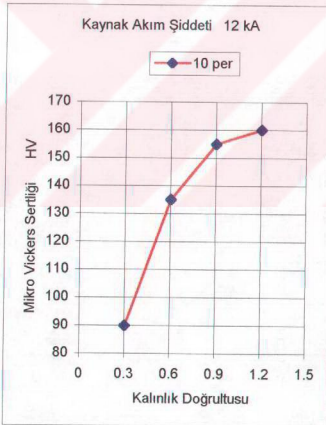
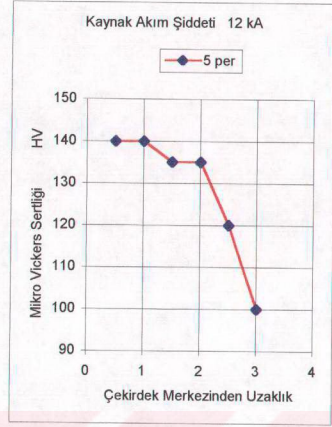
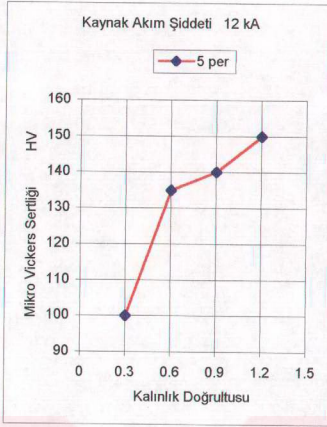
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



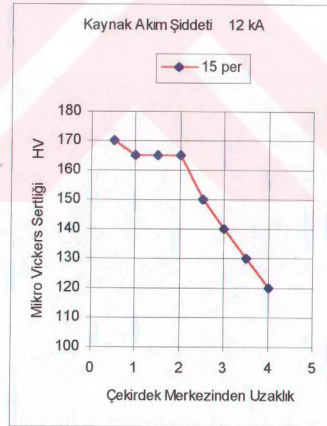
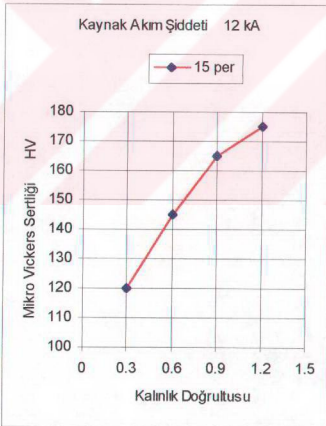
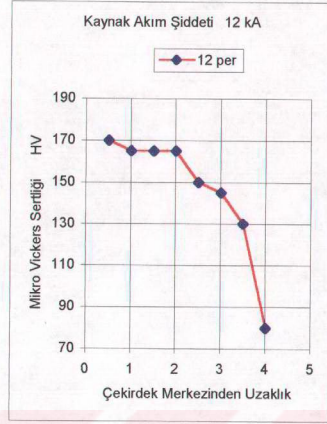
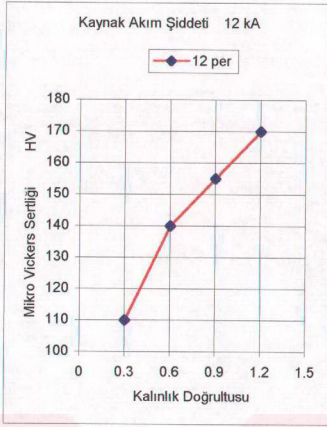
Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)



Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)

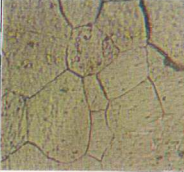
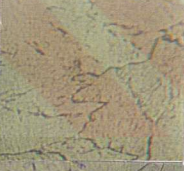
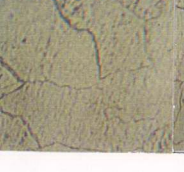


Şekil 5.18 Bağlantılara ait sertlik değerleri (Devam)

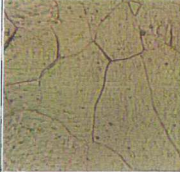
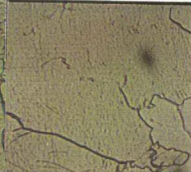
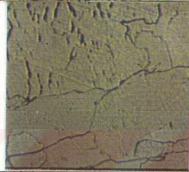
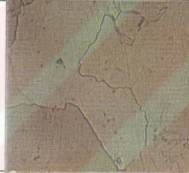
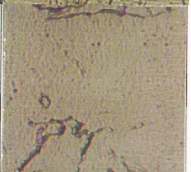
Sertlik dağılım diyagramları incelendiğinde, düşük akım şiddetlerinde (6, 7, 8 kA) yüksek kaynak akım zamanlarına göre (12, 15 periyot) düşük kaynak akım zamanlarında (5 periyot) kaynak bölgesinin ısınma-soğuma çevriminin kısa bir zaman aralığında gerçekleşmesinden dolayı yüksek sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak akım şiddeti değerleri arttıkça, kaynak akım zamanının kaynak sertliği bölgesi üzerine etkisinde azalmalar ve sertlik değerlerinin birbirine yaklaştığı tespit edilmiştir.

5.5. Bağlantıların Optik Mikroskopi ile Mikro Yapıların İncelenmesi

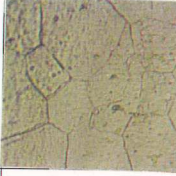
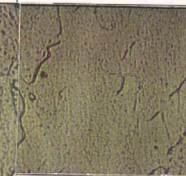
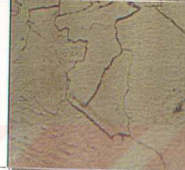
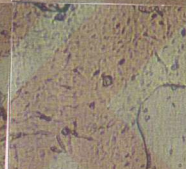
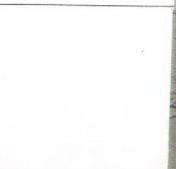
Galvanizli , kromatlı mikro alaşımlı çelik sac çiftlerinin esas metal, kaynak bölgesi ve ısının tesiri altındaki bölgeye ait mikro yapı fotoğrafları Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de, verilmiştir.

Kaynak Akım Zamanı	Kaynak Akım Şiddeti	Esas Metal	Isının Tesiri Altındaki Bölge	Kaynak Metali
5 PERİYOT	6 kA		Kaynak Oluşmadı	Kaynak Oluşmadı
	7 kA			
	8 kA			
	9 kA			
	10 kA			
	12 kA			

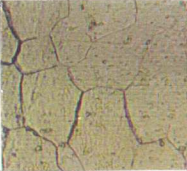
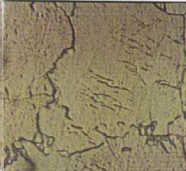
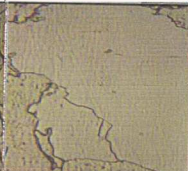
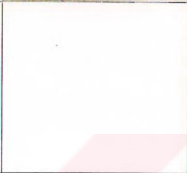
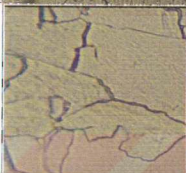
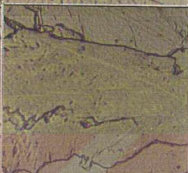
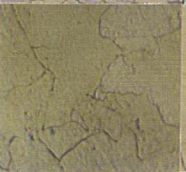
Şekil 5.19 5 Per kaynak akım zamanlarında bağlantının mikro yapı fotoğrafları (x500)

Kaynak Akım Zamanı	Kaynak Akım Şiddeti	Esas Metal	Isının Tesiri Altındaki Bölge	Kaynak Metali
10 PERİYOT	6 kA			
	7 kA			
	8 kA			
	9 kA			
	10 kA			
	12 kA			

Şekil 5.20 10 Per kaynak akım zamanlarında bağlantının mikro yapı fotoğrafları (x500)

Kaynak Akım Zamanı	Kaynak Akım Şiddeti	Esas Metal	Isının Tesiri Altındaki Bölge	Kaynak Metali
12 PERİYOT	6 kA			
	7 kA			
	8 kA			
	9 kA			
	10 kA			
	12 kA			

Şekil 5.21 12 Per kaynak akım zamanlarında bağlantının mikro yapı fotoğrafları (x500)

Kaynak Akım Zamanı	Kaynak Akım Şiddeti	Esas Metal	Isının Tesiri Altındaki Bölge	Kaynak Metali
15 PERİYOT	6 kA			
	7 kA			
	8 kA			
	9 kA			
	10 kA			
	12 kA			

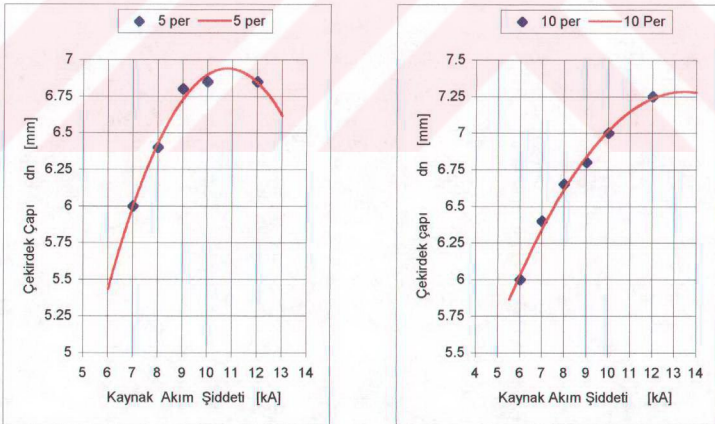
Şekil 5.22 15 Per kaynak akım zamanlarında bağlantının mikro yapı fotoğrafları (x500)

Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'deki mikro yapı fotoğraflarında görüldüğü gibi kaynak akım zamanının ve kaynak akım şiddetinin artmasından dolayı, kaynak bölgesine kaynak ısı girdisinin artmasıyla ısının tesiri altındaki bölgede tane irileşmesi meydana gelmektedir. Kaynak metalinin mikro yapı fotoğraflarında, kaynak metallerinin düzgün kolonsal yapıda olduğu tespit edilmiştir.

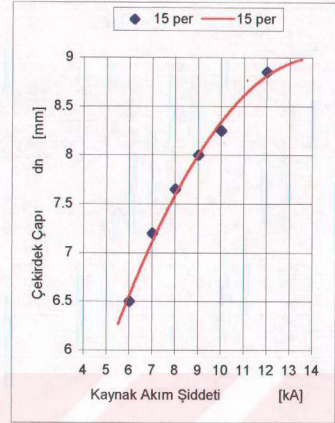
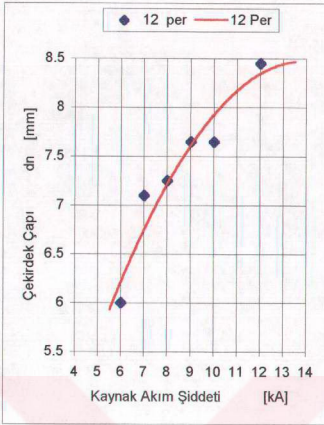
5.6. Kaynak Parametrelerinin Çekirdek Boyutlarına Etkilerinin İncelenmesi

Galvanizli, kromatlı mikro alaşımlı çelik sac bağlantılarında, kaynak akım şiddetinin ve kaynak akım zamanının, kaynak çekirdek boyutlarına etkisi Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te sırasıyla gösterilmiştir.

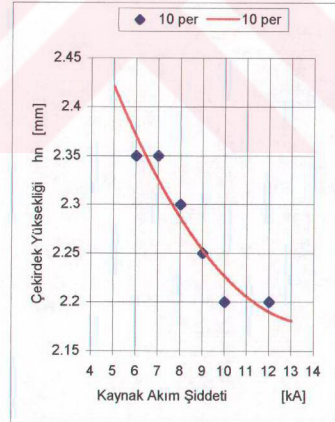
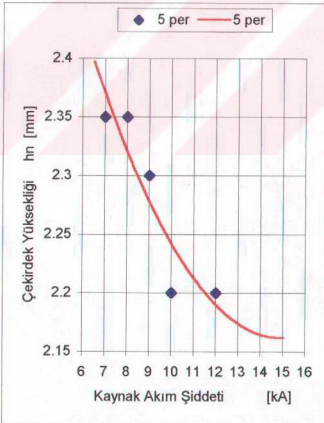
Çekirdek boyut oranlarının çekme-makaslama dayanımına etkisi Şekil 5.26'da, çekme-sıyırma dayanımına etkisi Şekil 5.27'de gösterilmiştir.



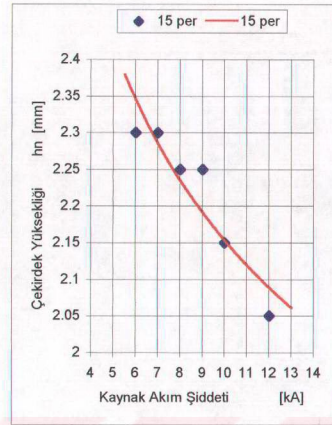
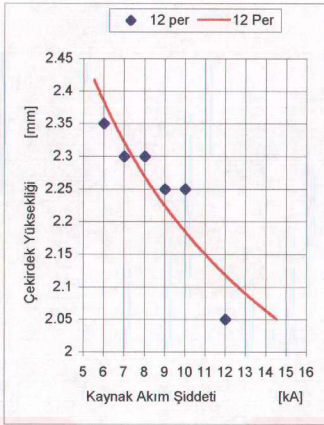
Şekil 5.23 Kaynak akım şiddetinin Çekirdek çapına (d_n) etkisi



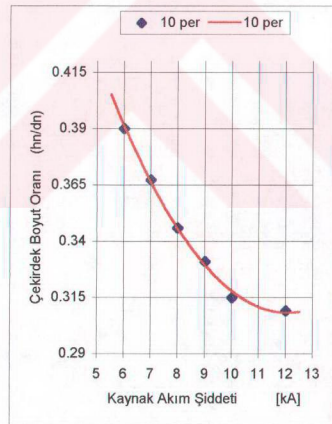
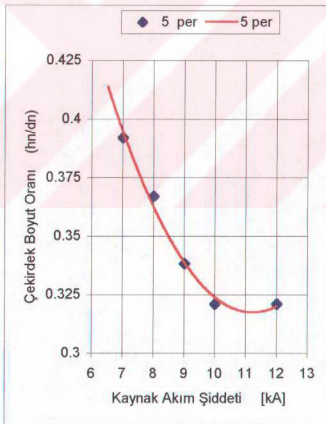
Şekil 5.22 Kaynak akım şiddetinin Çekirdek çapına (d_n) etkisi (Devam)



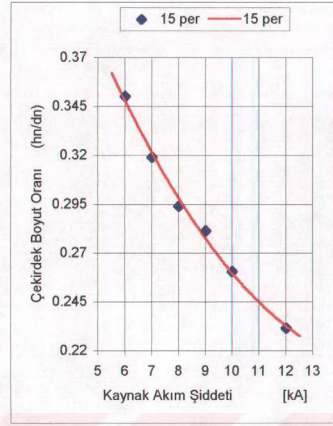
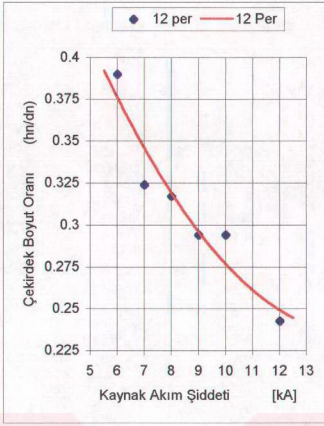
Şekil 5.23 Kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine (h_n) etkisi



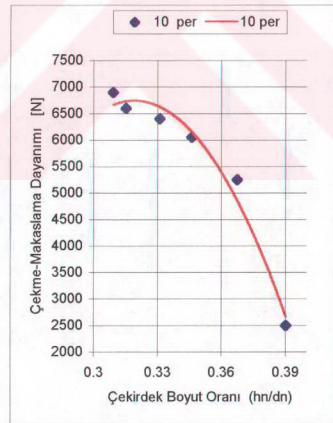
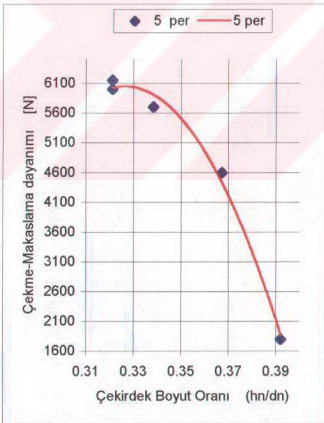
Şekil 5.24 Kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine (h_n) etkisi (Devam)



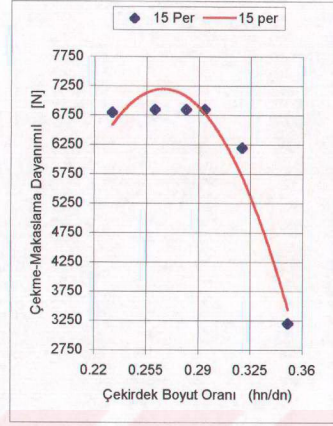
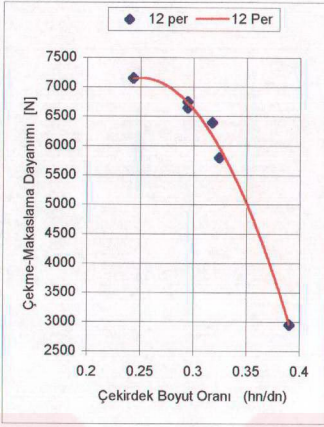
Şekil 5.25 Kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına (h_n/d_n) etkisi



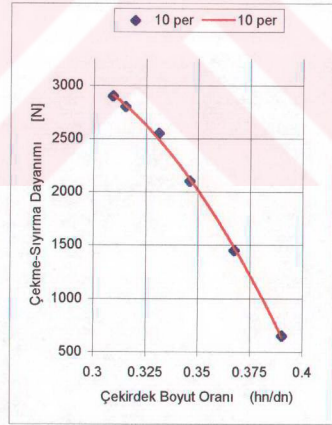
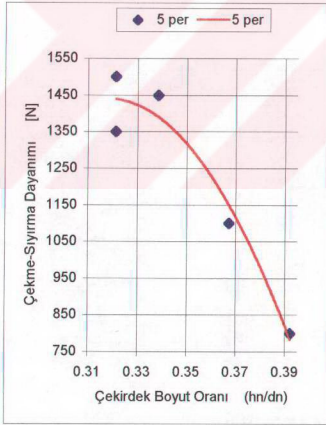
Şekil 5.25 Kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına (h_n/d_n) etkisi (Devam)



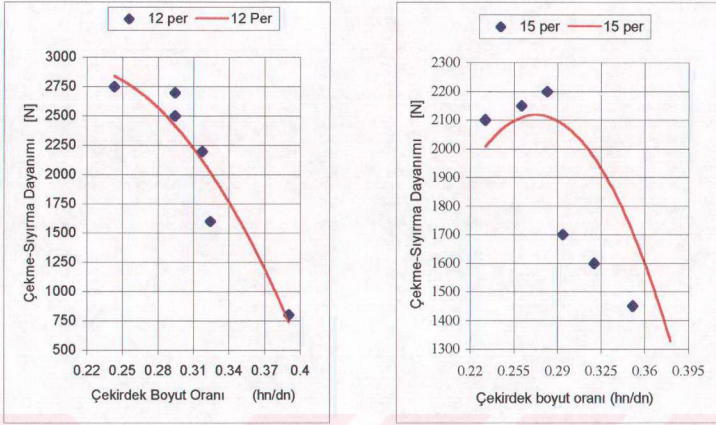
Şekil 5.26 Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.26 Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-makaslama dayanımına etkisi (Devam)



Şekil 5.27 Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.27 Çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) çekme-sıyırma dayanımına etkisi (Devam)

Çekme-makaslama dayanımına ve çekme-sıyırma dayanımına kaynak çekirdeğinin etkisini çekirdek çapı (d_n) veya çekirdek yüksekliği (h_n) ile açıklama getirmek eksik olacağından, çekme-makaslama dayanımına ve çekme-sıyırma dayanımına kaynak çekirdeğinin etkisi, çekirdek boyut oranı (h_n/d_n) kullanılarak açıklama getirilebilir.

[58]

Bağlantılarda 10 kA'e kadar çekirdek çapında bir artış görülmekte ve 10 kA'den itibaren çekirdek çapını oluşturmak için eriyen metal miktarı artmaktadır. Buna bağlı olarak çekirdek çapı uzadığından, elektrotların baskı alanındaki, aşırı ısı girdisi nedeni ile ergimiş metal, elektrotların kaynak yüzeyine daha derin dalmasına neden olmakta ve sonuç olarak çekirdek yüksekliği (h_n) azalmaktadır. Bunun neticesinde çekirdek yassılaşmakta, çekirdek ara kesiti büyürken nüfuziyetin az bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 5.21'de tespit edildiği gibi kaynak akım şiddeti arttıkça çekirdek boyut oranı azalmakta olup, yüksek akım şiddetinde (10 kA'den itibaren) bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarının da azaldığı gözlemlenmiştir.

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 5 ve 10 periyotlarda (0.3) çekirdek boyut oranında, 12 ve 15 periyotlarda (0.2-0.25) çekirdek boyut oranları arasında gerçekleştiği görülmüştür.

Şekil 5.26'da görüldüğü gibi 15 per. Kaynak akım zamanında parçada ısı girdisi artışından ve elektrot basıncından dolayı, birleşme yüzeyleri arasında fişkırmalar görülmekte ve buda çekirdek boyut oranında azalmaya sebebiyet vermektedir . Bu çekirdek boyutlarındaki azalma bağlantının çekme-makaslama dayanımının azalmasına neden olmaktadır.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı, çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi 5 ve 10 periyotlarda (0.3) çekirdek boyut oranında, 12 ve 15 periyotlarda (0.2) çekirdek boyut oranlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1.2 mm sac kalınlığındaki galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik saclarla yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkan öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı sacların bağlantılarında, maksimum çekme – makaslama dayanımı 12 ve 15 periyotluk kaynak akım zamanlarında 10 kA'lık kaynak akım şiddetlerinde elde edilmiştir. 12 kA'lık kaynak akım şiddetlerinde ve 15 periyotluk kaynak akım zamanlarında, elektrotların iş parçası yüzeylerine dalma derinliği yaklaşık olarak sac kalınlığının % 15'i kadardır. Maksimum çekme – makaslama dayanımı istenen bağlantılarda, yukarıda bahsedilen değerlerde kaynak yapılmalıdır. Yüzey kalitesinin önemli olduğu yerlerde 10 kA kaynak akım şiddetlerinde, 10 periyot kaynak akım zamanlarında veya 9 kA kaynak akım şiddetlerinde, 12 periyot kaynak akım zamanlarında kaynak yapılmalıdır. Bu önerilen değerlerde elektrotların iş parçası yüzeyine dalma derinliği, sac kalınlığının % 8'i kadardır. Yukarıda verilen değerler iyi bir yüzey kalitesi için sınır değer olarak kabul edilen % 20'nin altındadır.

- Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı sacların bağlantılarında, maksimum çekme – sıyırma dayanımı yaklaşık olarak 10 periyot kaynak akım zamanlarında 11 kA kaynak akım şiddetlerinde elde edilmektedir. Elde edilen bu değer maksimum çekme – makaslama dayanımının değerinin yarısından daha azdır. Buda elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilmiş galvanizli kromatlı mikro alaşımlı sacların çekme-sıyırma zorlamasına karşı hassas olduğunun bir göstergesidir. Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı sac bağlantıların çekme – sıyırma zorlanmasına maruz yerlerde kullanılması durumunda, yukarıda bahsedilen kaynak parametrelerinin kullanılması önerilmektedir. Bu değerlerde elektrot dalma derinliği sac kalınlığının % 8'i

kadardır. Bu önerilen değerler iyi bir yüzey kalitesi için sınır değer olarak kabul edilen % 20'nin altındadır.

- Mikro yapı fotoğraflarından elde edilen sonuçlara göre kaynak akım zamanının ve kaynak akım şiddetinin artmasından dolayı, kaynak bölgesine kaynak ısı girdisinin artmasıyla ısının tesiri altındaki bölgede tane irileşmesi meydana geldiği ve kaynak metallerinin düzgün kolonsal yapıda olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan mikro – sertlik ölçümlerinde, 5 periyotluk kaynak sürelerinde, daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Eğer kısa kaynak akım zamanlarında elektrik direnç nokta kaynağı galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik saclara yapılmak istenirse bu durumun göz önüne alınması gerekir.
- Yapılan çekirdek boyut ölçümleri sonucunda, diyagramda gösterilen, çekirdek boyut oranı ile çekme – makaslama dayanımı eğrisinden, galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik sac bağlantıların elektrik direnç nokta kaynağında, maksimum çekme-makaslama dayanımını veren çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) değeri 0.25 olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan çekirdek boyut ölçümleri sonucunda, diyagramda gösterilen, çekirdek boyut oranı ile çekme – sıyırma dayanımı eğrisinden, galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik sac bağlantıların elektrik direnç nokta kaynağında, maksimum çekme – sıyırma dayanımını veren çekirdek boyut oranının (h_n/d_n) değeri yaklaşık olarak 0.25 – 0.3 arasında olduğu tespit edilmiştir.
- Galvanizli kromatlı mikroalaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında yüksek kaynak akımları ve uzun kaynak süreleri kullanıldığında malzeme (galvaniz ve kromat tabakasında) ile elektrot yüzeyi arasında alaşımlanma gözetlenmiştir. Bu parametreler kullanıldığında bu olay göz önüne alınmalıdır.
- Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneyinde elde edilen kopma tipleri kaynak akım şiddetinin artmasına bağlı olarak ayrılma, düğmelenme, çekirdek bölgesinden yırtılma ve esas metalden yırtılma olarak gözetlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S., Kaynak Tekniği Cilt III, İ.T.Ü. Kütüphanesi no. :1183, 1981
- [2] N.N, Galvanotechnik, Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau, 1988
- [3] PHILLIPS, A. L., Modern Joining Processes, AWS New York, 1966
- [4] N. N., Asil Çelik Teknik Yayınlar 11, Mikro Alaşımlama, İstanbul 1994
- [5] ANIK, S., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, 1983
- [6] N.N., Widerstandschweissen von stählen bis 3 mm einzeldicke Punktschweisseignung, Merkblatt DVS 2902, Teil 2, März 1990
- [7] ANIK, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, Kansu Matbaacılık, 1991
- [8] N, N., Welding Handbook, Vol. 4 Metals and Their Weldability, 7.Ed., AWS, 1982
- [9] N.N., Widerstandschweisstechnik, T.G.A. Resistance Welding Technology
- [10] ERYÜREK, B., Elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin etüdü, Doktora tezi, İTÜ, Müh. Mım. Fakültesi, 1976
- [11] LHEUREUX, G.E., BELOTTE, E. J., La Soudoge par Resistance, Dunod, Paris 1965
- [12] ERYÜREK, B., Elektrik direnç kaynağı mühendis ve makina, Sayı 279 1983, s22/31
- [13] FRITZ, H., SCHULZE, G., Fertigungstechnik, VDI, verlag, 1991
- [14] KRAUSE, H. J., SIMON, G., ergänzung der model vorstellungen zur Linsenbildung am Beispiel des Widerstandspunktschweissen von weichen und unlegierten Stählen und Schweissen und Schneiden 34 (1982), H.1 S20/24
- [15] N. N., Welding handbook, vol 3 welding processes resistance welding and solid- state welding and other joining processes, 7. Ed., Aws Miami 1980
- [16] ANIK, S., ERYÜREK, B., Study of Contact Resistance in Elektrical Resistance Spot Welding, Builletin of the School of Engineering andArchitecture of Sakarya SEA-3, Jan. 1977

- [17] N. N., Metals Handbook Vol. 6, Welding and Brazing AWS Ohio 1983
- [18] TEKİN, E., Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB Yayın No: 111 1992 Ankara
- [19] N. N., DIN Taschenbuch 4, Stahl und Eisen Güte Normen 1, Beuth Verlag, 1981
- [20] N.N, Metals Handbook Vol. 1, Properties and Selection, AWS Ohio ,1982
- [21] BARGEL, H. J., SCHUZE, G., Werkstoffkunde, Çev: GÜLEÇ, Ş., ARAN.A, Tübitak yayını 1985
- [22] BEYER, B., Werkstoffkunde NE-Metalle, VEB Deutcher Verlag für Grundstoff Industrie Leipzig 1971
- [23] CALLISTER, W. D. Jr., Materials Science and Engineering, John Wiley and Sons, Inc. Canada ,1985
- [24] N. N., DEMİRSAC A.Ş. Üretim Katologları, İstanbul 1992
- [25] OĞUZ, B., Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, İstanbul 1985
- [26] MINARIK, R., LEHKA, N., Low Temperature Tests of Spotwelds of Dissimilar Steels in Different Thickness, Zvaracske Spravy, 3, 1988
- [27] ANIK, S., ERYÜREK., Effect of contact Resistance in Resistance Spot Welding, IIW/IIS –Doc. III 563-77, Meeting of International Institute of welding in Copenhagen at 1977
- [28] KIMCHI, M., Spot Welding properties When Welding With Expulsion- A Comparative Study, AWS Welding Journal Feb. 1984 S. 58/63
- [29] BROOKS, R., Quality Control of Spot Welding Various Low Carbon Steel Sheet Types, Metals Australasia, August 1977 s. 161/164
- [30] VURAL, M. Galvanizli Çelik Sacların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çelikler ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına etkisi, Doktora tezi, İTÜ, Nisan 1992
- [31] POLLMANN, W., Widerstands Punktschweißen Verzinkterstahlbleche Erprobungen und Erfahrungen im Automobil bau, DVS 105, 1990 s. 179/182
- [32] YOSHIDA, K., WAKASA, N., Punktschweißen von Verzinktenblechen, Tetsu to hagane 51 (1965), s.2158/2171
- [33] WEIMUELLER, C.R., How Top Fabricators Resistance Weld Galvanized Steel, Weld. Des. A. Fab. 51 (1978), No: 9, s84/89

- [34] EURARD, M. M., BOIZEAU, Y., Application des Techniques de Soudage par Resistance aux Aciers Galvanises, Soudage et Tech. 1972, No: 9-10, S. 366/371
- [35] WIEGAND, H. KLOIS, K. H., ZECH, G. Verarbeitungseigenschaften verzinkter feinbleche, Metaloberflaeche 20 (1966), s. 399/403
- [36] JANOTA, M. Steuerung Des Punktschweissen Durch Verändern der Anpresskraft, Schweisstechne 27 (1977), H. 9, S.400/402
- [37] DORWEILER, F., KRUGEER. U., Fügeverfahren für Feuerverzinktes feinblech, merckblatt stahl 386, 1971 s3/36
- [38] MATTING, A., KRUGER, V., Stanzeit untersuchungen mit molybdaen und Wolfram elektroden bein punktschweissen verzinkter fein blech, baender, Bleche, Rohre 8 (1967), Nr. 5 ve 6
- [39] CONNEL, L. D., Problems in the use of resistance welding materials, DVS- Brichte, Band 70 DVS Verlag GmbH , Düsseldorf 1981
- [40] N.N., Arslan Kaynak Metal, İstanbul, 1998
- [41] CONNEL, L.D., Elektrodes for Resistance Welding, Metal Construction, Jan. 1977 s. 30-32
- [42] KRAUSE, H.S., Elektroden standzeit probleme beim Gütesicherung, Wirtschaftlichkeit, DVS-Berichte, Band 51 (1987), Düsseldorf
- [43] KRUGER, U., Wege Zur Erhöhung der Elektroden Standzeit beim Punk Schweissen verzinkten Feinbleche unter Besichtigung ihres Korrosionsverhalents, Dissertation, T. H., Hannover 1967
- [44] S ROOMONS, W. P., Elektrodes and Fixtures Important RW Elements Wel. Des. Fabr. 57 (1984), No 3, s 73/77
- [45] KRAUSE, H. J., Untersuchungen zur Elektroden Standzeit beim Widerstandspunktschweissen Feueraliminierter Bleche aus Stahl, Schws. U. Schn. Jahrgang 29 (1977), H.1 s5/9
- [46] KRAUSE, H. J., SIMON, G., Standmengen von punkt Schweissen Elektroden, abhängig von varrierten einflussgrössen DVS (1971), s85/100
- [47] DEFOURNY, J., LEROY, V., Compared Possibilities and Limitations of Resistance Spot Welding and Adhesive Bonding for Structural Joints in Coated Steel Sheets, DVS 124 (1989), s 26.31
- [48] KIMCHI, M. GOULD, J., COLOMBUS, M., HELENIUS, A., HEPPI, H., NIPPERET, R. A., Evaluation of Various Elektrode Materials for Resistance Spot Welding Thin Galvanized Steel Sheets, DVS 124 (1989), s 54/60

- [49] KAESELER , W., Verzinkte Bleche Durch Stoffverbindenfugen, Verbindungstechnik, heft. 3, März 1978, s 23/25
- [50] PICHEL, N., Widerstandschweissen send zum verzinkter tiefziehbleche, baender, blaechen, Rohre 6 (1965) Nr 1, s 1/5
- [51] FRASER, N. G., MC CLIEFF, J. H., Welding Galvanized Steel Weld. A. Fab. Des (1965), s 117/121
- [52] GREEN, E. A., RILEY, J. J., Resistance Spot Welding Galvanized Steel of Thickness 0.022 to 0.138 Inch, Welding Research Supplement Oct. 1963, s. 466-S /475-S
- [53] LANE, C. T., LORENSEN, C. D., HUNTER, G.B., GEDEON, S. A., EAGAR, T. W., Cinematography of Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, Welding Research Supplement, Sep. 1987 s.260-S /265-S
- [54] BROWN, B. M., A Comparison of AC and DC Resistance Welding of Automotive Steels, Welding Journal, Jan 1987 s. 18/23
- [55] N. N., DIN Taschenbuch 8, Schweisstechnik 1 Beuth verlag GmbH. Berlin Köln 1980
- [56] N. N., Speciman Dimensions and procedure for shear testing resistance spot and projection welds III- W67-7-78 (UK Modified), The welding Institute, Abington, UK-20.2.79
- [57] N. N., Hardness Testing of Resistance Spot, Projection and Seam Welds, IIW-III – 668 –81, IIW-III-W67-17-81, Fourth proposal
- [58] ANIK, S., GÜLBAHAR, B., % 17 Kromlu Ferritik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynağında Çekme-Makaslama Kuvveti ile Çekirdek Boyutları Arasındaki ilişki, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, 13-15 Kasım 1989, s. 94/105

ÖZGEÇMİŞ

1963 tarihinde ADAPAZARI'nda doğdu. İlk ve orta öğrenimini Mithatpaşa İlk ve Orta Okulu'nda tamamladı. Lise eğitimini Adapazarı Lisesi'nde tamamladı. Daha sonra Almanya Borken şehrinde Meslek Yüksek Okulu Metal İşleri Bölümünden 1983 yılında mezun oldu. Aynı yıl Krefeld Fachhochschule Niederrhein Üniversitesinin Makina Mühendisliği bölümüne başladı. Aynı Üniversiteden 1987 yılında Yüksek Mühendis ünvanı alarak mezun oldu. 1987-1988 yılları arasında Almanya'nın Riedenburg şehrinde profesyonel yöneticilik eğitimi aldı. 1991 yılında askerliğini yedek subay olarak Balıkesir'de tamamladı. Alman Postanesinde bakım mühendisliği, Simko A.Ş.'de proje mühendisi, Otoyol A.Ş.'de atelye Mühendisi olarak görev yaptı. 1992 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi'nde Makina Mühendisliği Konstruksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 1994 yılından sonra SAÜ Sakarya Meslek Yüksek Okulu'nda öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen SAÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.