

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PUNTA KAYNAK KEPLERİNİN FE VE Nİ ESASLI İNTERMETALİKLERLE ESD KULLANILARAK KAPLANMASI

İbrahim Furkan AÇIŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Bu araştırmada, endüstride yaygın olarak kullanılan ticari Ø20 G tip bakır punta kaynak keplerinin, Fe ve Ni esaslı Fe₃Al, FeAl, Ni₃Al, NiAl intermetalik malzemeler kullanılarak Elektro Spark Biriktirme yöntemiyle kaplamaları yapılmış ve uygulama kabiliyetleri açısından normal kepler ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kaplama sırasında cihazın hız ve frekans değişkenleri sabit tutularak, elektrik gerilimi her kaplayıcı malzeme için 3 farklı güçte gerçekleştirilmiştir ve 12 farklı kaplama karakteri oluşturulmuştur.

Yapılan ESD kaplama işleminin ardından her bir kep ile aynı parametrelerde olmak üzere art arda 50 punta kaynak işlemi uygulanmıştır. Belirli işlem sıralarından seçilen punta kaynak numunelerine çeşitli testler gerçekleştirilmiş ve kaynak kabiliyetleri karşılaştırılmıştır. Kaynak işlemlerinin ardından kep uçlarının deformasyonları gözlemlenerek uygulama ömürleri incelenmiştir.

İncelemeler neticesinde, Ni bazlı intermetalik malzemeler ile kaplanması gerçekleştirilen keplerle uygulanan punta kaynaklarının diğer punta kaynaklara göre daha iyi sonuç verdiği anlaşılmış, kaplama voltajı arttıkça hem kaynak hem de kep ucu deformasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir.

2019, x + 42 sayfa

Anahtar Kelimeler: ESD, Punta Kaynağı, Kaplama, İntermetalikler

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE COATING OF SPOT WELD CAPS WITH FE AND NI BASED INTERMETALLICS BY USING ESD

İbrahim Furkan AÇIŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Şükrü TALAŞ

In this study, the common Ø20 G type copper spot welding caps, which are used in industry, are coated with Fe and Ni based Fe₃Al, FeAl, Ni₃Al, NiAl intermetallic by Electro Spark Deposition method and compared with normal caps in terms of application capabilities. During coating the speed and frequency variables of the device were kept constant, the electrical voltage was adjusted by 3 different powers for each coating materials and 12 different coating characters were formed.

After the ESD coating process, 50 spot welding process was applied in the same parameters with each cap. Various test were performed on the spot welding samples selected from specific process sequences and their welding capabilities were compared. After welding process, the deformations of the cap tips were observed and their application life was examined.

As a result of the investigations, it was found that the spot weld applied with caps coated with Ni-based intermetallic materials gave better result than the other spot welds. It was observed that both welding and cap tip deformations increased as coating voltage increased.

2019, x + 42 pages

Keywords: ESD, Spot Weld, Coating, Intermetallics

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şükrü TALAŞ'a, Afyon Kocatepe niversitesinde ğrenim gören ve bu süreçte hiçbir yardımı esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, malzeme temini başta olmak üzere, uygulamalar ve test aşamalarında her türlü operasyonel ve teknik desteği sağlayan ve zaman ayıran Beyçelik Gestamp çalışanlarına, ekip arkadaşlarıma ve amirlerime teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

İbrahim Furkan AÇIŞ
Afyonkarahisar 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	2
2.1 Elektrik Direnç Kaynağının Tanımı	2
2.2 Elektrik Direnç Kaynağının Çeşitleri	2
2.2.1 Nokta (Punta) Kaynağı	2
2.2.2 Kabartılı Direnç Kaynağı.....	8
2.2.3 Dikiş Kaynağı	10
2.2.4 Direnç Alın Kaynağı.....	11
2.3 Nokta Kaynak Kep Elektrotları	12
2.3.1 Alaşım ve Tiplerine Göre Kep Elektrotlar	13
2.4 Otomotiv Sektöründe Direnç Kaynağı	14
3. İNTERMETALİK MALZEMELER.....	16
3.1 Demir Alüminidler.....	15
3.2 Nikel Alüminidler	17
4. ESD-ELEKTRO SPARK BİRİKTİRME YÖNTEMİ	18
4.1 ESD-Elektro Spark Biriktirme Yöntemi Uygulanışı	18
5. MATERYAL ve METOD.....	20
5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	20
5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar.....	22
5.3 ESD İşlemi.....	24
5.4 Nokta (Punta) Kaynak İşlemleri	25
5.5 Metalografik İşlemler	26
5.6 Mikro Sertlik Ölçümleri.....	26

5.7 Mikroyapı Analizi.....	27
5.8 Ultrasonik Test.....	27
5.9 Tahribatlı Kopartma Testi.....	27
5.10 Kaynak İşlemleri Sonra Kep İncelemeleri.....	27
6. BULGULAR.....	28
6.1 Kaplanmış Kepler İle Yapılan Kaynakların Analizleri.....	28
6.1.1 Mikro Sertlik Sonuçları.....	28
6.1.2 Mikroyapı Analizi Sonuçları.....	29
6.1.3 Ultrasonik Test Sonuçları.....	32
6.1.4 Tahribatlı Test Sonuçları.....	34
6.2 Normal Kep İle Yapılan Kaynakların Analizleri.....	35
6.2.1 Mikro Sertlik Sonuçları.....	35
6.2.2 Mikroyapı Analizi Sonuçları.....	36
6.2.3 Ultrasonik Test Sonuçları.....	36
6.2.4 Tahribatlı Test Sonuçları.....	37
6.3 Kep Analizleri.....	37
7. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	40
8. KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	42

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat
Fe	Demir
FeAl	Demir Alüminyum
HCl	Hidroklorik asit
Fe ₃ Al	Demir Alüminid
Ni	Nikel
NiAl	Nikel Alüminyum
Ni ₃ Al	Nikel Alüminid
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
C	Karbon
cm ³	Santimetreküp
cm ²	Santimetrekaire
Cr	Krom
Gr	Gram
SiC	Silisyum Karbür
□	Ohm
Q	Isı
I	Akım
R	Ohmik Direnç
T	Süre
R _b	Özgül Direnç
R _c	Temas Direnci
R _k	Kontak Direnci
R _h	Dış Zarf Direnci
R _e	Akım Geçen Nokta Direnci
A	Temas Yüzeyi
A ₀	Gerçek Temas Yüzeyi
a	Akım Geçiş Yüzeyi
∅	Çap
J	Joule
cm	Santim
m	Metre
Mpa	Megapaskal
Mn	Mangan
P	Fosfor
Si	Silisyum
Nb	Niobyum
kHz	Kilohertz
daN	DekaNewton
µm	Mikrometre
V	Volt
Sn	Saniye

Kısaltmalar

EN	Euro Norm
ESD	Elektro-Spark Deposition
HV	Vickers Sertlik
Ppm	Milyonda bir
UT	Ultrasonik Muayene
YY	Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Nokta kaynağı gösterimi	3
Şekil 2.2 Nokta kaynak temas dirençleri	4
Şekil 2.3 Nokta kaynağının proses aşamaları	5
Şekil 2.4 Nokta kaynağın zaman, akım ve basınç çevrimi	5
Şekil 2.5 Nokta kaynak ısı dağılımı	6
Şekil 2.6 Elektrot temas yüzeyleri	7
Şekil 2.7 a) Rh direnci sonucu kaynak metali, b) Re direnci sonucu kaynak metali	8
Şekil 2.8 Kabartı direnç kaynağı	9
Şekil 2.9 Kabartı kaynağı çeşitleri	9
Şekil 2.10 Dikiş kaynağı	10
Şekil 2.11 Dikiş kaynağı çeşitleri	11
Şekil 2.12 Direnç alın kaynağı	11
Şekil 2.13 Nokta kaynak kep elektrot tipleri	13
Şekil 3.1 Fe ₃ Al, FeAl, Ni ₃ Al ve NiAl alüminidlerinin kafes yapıları	15
Şekil 3.2 Fe-Al ikili faz diyagramı	16
Şekil 3.3 Ni-Al ikili faz diyagramı	17
Şekil 4.1 ESD yüzey biriktirme aşamaları	18
Şekil 4.2 ESD uygulama düzeneği	19
Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan bakır kep elektrot ucu teknik resmi	21
Şekil 6.1 Kaynak çekirdeklerin sertlik dağılım grafiği	29
Şekil 6.2 Fe ₃ Al kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V	32
Şekil 6.3 FeAl kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.	32
Şekil 6.4 Ni ₃ Al kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V	32
Şekil 6.5 NiAl kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.	32
Şekil 6.6 Kaynak çekirdeklerin çökelme dağılım grafiği	33
Şekil 6.7 Normal kep puntasının UT grafiği	36
Şekil 6.8 Kaynak işlemi sonrası kep kaplama kalınlığı dağılımı grafiği	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan bakır kep elektrot ucu özellikleri.....	20
Çizelge 5.2 Kaplamada kullanılan intermetalik malzemelerin bileşim oranı.....	21
Çizelge 5.3 Kaynaklanan sac levhanın kimyasal bileşimi(%).....	21
Çizelge 5.4 Kaynaklanan sac levhanın mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 5.5 Kep Elektrotların ESD kaplama parametreleri.....	24
Çizelge 6.1 Kaplamalı kep kaynak çekirdekleri sertlik değerleri.....	28
Çizelge 6.2 Normal kep kaynak çekirdekleri sertlik değerleri.....	35

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Nokta kaynak kep elektrotları	12
Resim 2.2 Otomotiv sektöründe robotlu nokta kaynak hattı.....	14
Resim 5.1 Kaplamada kullanılan intermetalik malzemelerin bileşim oranı.....	21
Resim 5.2 a) ESD cihazı, b) Kaplama ünitesi.....	22
Resim 5.3 a) Kaynak robotu, b) Kaynak çenesi.....	22
Resim 5.4 Metalografik kesme cihazı	22
Resim 5.5 Bakalit cihazı	23
Resim 5.6 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.....	23
Resim 5.7 Mikrosertlik cihazı.....	23
Resim 5.8 Optik mikroskop	23
Resim 5.9 a) UT test cihazı ve Probu, b) UT test ekranı	24
Resim 5.10 Kopartma testi düzeneği; a) Mengene, b) Havalı hilti.....	24
Resim 5.11 ESD kaplı kep elektrotlar.....	25
Resim 5.12 Punta kaynak işlemleri.....	25
Resim 5.13 Kaplanmış kepler ile kaynaklanan metalografik numuneler	26
Resim 5.14 Kopartma testi bölgesi	27
Resim 6.1 Fe ₃ Al kep puntalarının mikroyapı görüntüleri.....	30
Resim 6.2 FeAl kep puntalarının mikroyapı görüntüleri	30
Resim 6.3 Ni ₃ Al kep puntalarının mikroyapıları görüntüleri	31
Resim 6.4 NiAl kep puntalarının mikroyapıları görüntüleri	31
Resim 6.5 Fe ₃ Al kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.....	34
Resim 6.6 FeAl kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.....	34
Resim 6.7 Ni ₃ Al kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.....	35
Resim 6.8 NiAl kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.....	35
Resim 6.9 Normal kep puntasının mikroyapı görüntüleri.....	36
Resim 6.10 Normal kep puntalarının tahribatlı test sonucu.....	37
Resim 6.11 Fe ₃ Al kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a)66V, b)112V, c)158V .	37
Resim 6.12 FeAl kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a)66V, b)112V, c)158V .	38
Resim 6.13 Ni ₃ Al kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a)66V, b)112V, c)158V .	38
Resim 6.14 NiAl kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a)66V, b)112V, c)158V ..	38
Resim 6.15 Normal kep işlem sonrası mikroyapısı.....	38

1. GİRİŞ

Geçmiş devirlerden günümüze araç, gereç ve makine yapımları için çeşitli metal birleştirme teknikleri kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan civata ve perçinleme tekniklerine muadil olarak 19.yy başlarında elektrik arkıyla metal birleştirme yöntemi keşfedilmiştir. Başlarda sağlamlaştırma ve tamir yöntemi olarak kullanılan bu yöntem, Birinci Dünya Savaşı sonrasında bir üretim aracı haline gelmiştir. Günümüzde birçok sektörde kullanılan bu yöntemin kullanım amacına göre çeşitli tipleri geliştirilmiştir. Özellikle Dünya ekonomisinin yaklaşık olarak %5 payına sahip olan otomotiv sektöründe, seri imalat montaj işlemlerinin temel proseslerinden biri olan elektrik nokta (punta) kaynak metodu ana gövdenin birleştirilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

İmalat sektörünün günümüz müşteri taleplerine hızlı ve kaliteli bir şekilde cevap verebilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir ve bu bağlamda her geçen gün yeni teknolojik buluşları süreçlerine dâhil etmektedirler. Buna nazaran firmalar artan piyasa rekabetleriyle başa çıkabilmek adına mevcut süreçlerinde katma değerlerinin artırılabilmesine yönelik birçok araştırma ve iyileştirme faaliyetleri üzerine çalışmalar yürütmektedir. İyileştirme faaliyetlerinden biri de yakıt tüketimini ve karbon emisyonun azaltılabilmesi için yapılan araç ağırlıklarının düşürülmesi ve parçalardaki sadeleştirilmeleridir. Bu bağlamda montaj yapılacak parça sayısının ve ağırlığının azalması montaj proseslerindeki dayanım, kalite ve maliyetin önemini bir kat daha attırmıştır. Yapılan bu çalışmada punta kaynak kepleri yüksek sıcaklıklarda iyi aşınma ve mekanik özellikler gösteren intermetalik malzemelerle kaplanarak kullanım maliyetlerinin azaltılması, uç deformasyon ömürlerinin uzatılması ve kaynak mukavemetine olan etkileri araştırılmıştır.

2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

2.1 Elektrik Direnç Kaynağının Tanımı

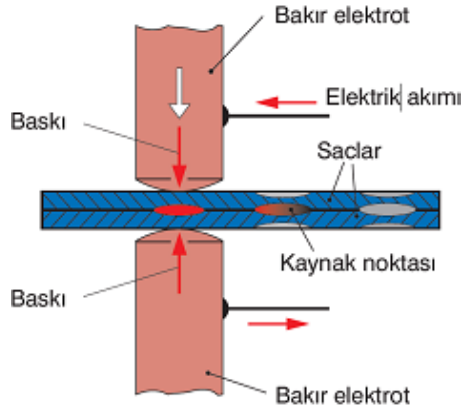
Elektrik direnç kaynağı; iletken elektrotların sıkıştırdığı metal parça yüzeylerinde elektrik akımına karşı ortaya çıkan yüksek direncin, eriyik oluşturması ve basınç ile soğutularak ısı birleşme meydana getirmesi prensibidir. Elektrik direnç kaynağı bir elektromekanik birleştirme işlemidir (Gerdemeli ve Akyol 2001). İşlem 1 sn'den kısa bir sürede düşük gerilim ve yüksek akımın iki metal temas yüzeylerinde oluşturduğu kaynak banyosunun, katılarak uygulama bölgesinde yeni ve sağlam bir yapı oluşmasıyla gerçekleşir. Çoğunlukla ince kesitli malzemeler için kullan bu yöntem, sürenin kısıllığı ve ısının kontrol edilebilirliği açısından oluşabilecek kalıcı şekil bozukluklarının önüne geçmektedir. Kaynak bölgesinin boyutu ve biçimi kullanılacak olan elektrot uçlarının özelliklerine göre değişmektedir.

2.2 Elektrik Direnç Kaynağının Çeşitleri

Elektrik direnç kaynağı uygulanış yöntemine ve sektörlerdeki kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi 4 gruba ayrılır.

2.2.1 Nokta (Punta) Kaynağı

Direnç kaynak tipleri arasında en yaygın kullanılan nokta (punta) direnç kaynağı bakır kelep elektrotların sac malzemeleri noktasal biçimde birbirine birleştirilmesi yöntemidir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi kaynak noktası, bakır elektrotların iki veya daha fazla sac parçayı yüksek akım, düşük gerilim altında sıkıştırma kuvveti uygulamasıyla meydana gelir. Direnç kaynağı uygulamasında kaynak akımının yeterli olmaması çekirdek çapının küçük olmasına ve kaynak kalitesinin düşük olmasına sebep olurken, kaynak akım değerinin çok yüksek olması ise kaynaklı bölgede aşırı ergimeye ve çatlaklara neden olmaktadır (Kaščák and Brezinová 2013). Kesit alındığında elektrot çapı kadar büyüklükte bir kaynak çekirdeği oluştuğu gözlemlenir.



Şekil 2.1 Nokta kaynağı gösterimi.

Kaynağın oluşabilmesi için gerekli olan yüksek akım ve düşük gerilim, şebeke elektriğinin kaynak makinası bünyesindeki transformatör aracılığıyla dönüştürülmesinden elde edilir. Puntayı oluşumu için gerekli olan sıkıştırma kuvveti hidrolik, pnömatik veya mekanik makine donanımlarıyla gerçekleşir.

Kaynağın oluşması için gerekli olan ısı enerjisi Joule cinsinden hesaplanır. $Q=I^2.R.T$ formülü meydana gelen enerjiyi hesaplamak için kullanılır.

Burada;

$Q \rightarrow$ Meydana gelen ısı enerjisi

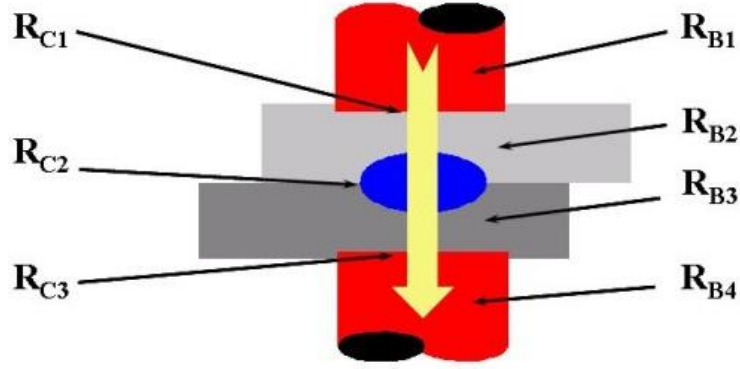
$I \rightarrow$ Kaynak için oluşturulan akım değeri

$R \rightarrow$ İki elektrot arasında oluşan Ohmik dirençler

$t \rightarrow$ Kaynak çevriminin süresi

olarak ifade edilebilir.

Kaynak esnasında oluşan R direnci, $R=R_{B1}+R_{C1}+R_{B2}+R_{C2}+R_{B3}+R_{C3}+R_{B4}$ olmak üzere Şekil 2.2'de gösterildiği gibi bölgesel dirençlerin toplamına eşittir. R direncini iki kategoriye olarak ayırmak mümkündür.



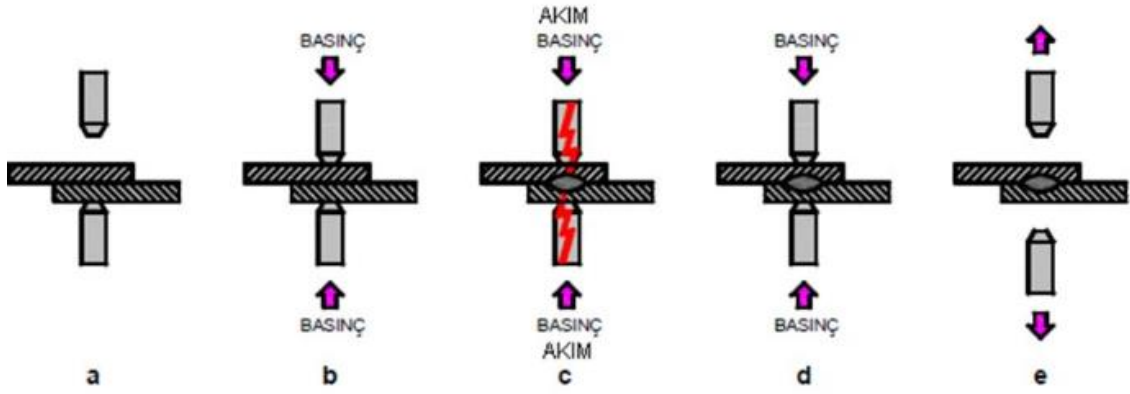
Şekil 2.2 Nokta kaynak dirençleri.

Malzeme direnci (R_B): Malzemelerin fiziksel özelliklerinden kaynaklanan özgül dirençleridir, herhangi ilave metal veya alaşımlanma olmadıkça değişkenlik göstermezler.

Temas direnci (R_C): Malzeme elektrotlarının uç durumuna bağlı olarak değişkenlik gösteren dirençtir. R_{C2} kaynak sırasında en büyük ısının oluştuğu direnç noktasıdır. Diğer noktadaki dirençlerin R_{C2} 'den büyük olması kaynak çekirdeğinin oluşmaması ve diğer direnç noktalarında deformasyonların oluşmasına sebebiyet verir. R_{C1} ve R_{C3} noktalarındaki ısı seviyesinin oldukça düşük olması, yüzeydeki yağ, pas, boya ve toz gibi tabakaların bulunmaması gerekmektedir. R_C temas dirençleri kaynak bağlantısının kalitesine doğrudan etki etmektedir.

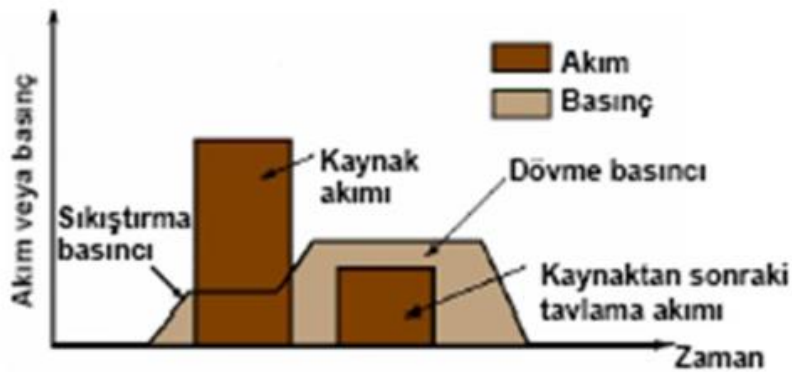
Nokta kaynağının prosesi Şekil 2.3'de gösterildiği gibi 5 aşamadan oluşmaktadır.

- a - b → Yaklaşma ve sıkıştırma aşaması
- c → Kaynaklama aşaması
- d → Tutma ve soğutma aşaması
- e → Ayrılma aşaması



Şekil 2.3 Nokta kaynağının proses aşamaları.

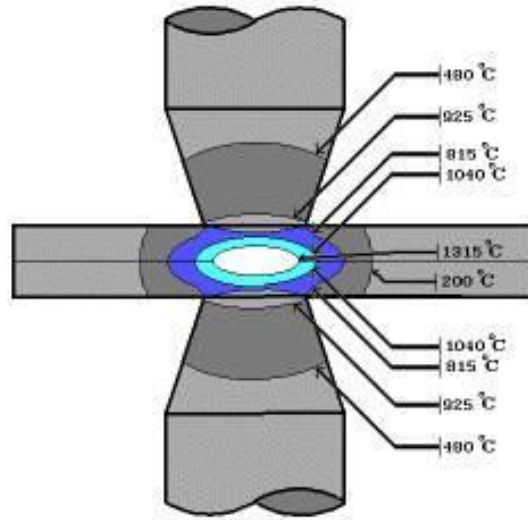
Yaklaşma aşamasında alt ve üst elektrotlar bağlantı edilecek noktayı belirler ve sıkıştırır. Bu aşamada elektrotlar uçların birbirilerini karşılayacak şekilde konumlanmaları ve açısız bir şekilde yüzeye temas etmeleri önemlidir. Kaynak aşaması, ön sıkıştırmanın ardından birleştirilecek olan saclardan düşük gerilim, yüksek akımın geçirilerek kaynak banyosunun oluşturulduğu aşamadır. Eğer kaynak parametrelerinde, yüzeyde veya elektrot uçlarda bir uygunsuzluk varsa bu aşama esnasında temas yüzeylerden kaynak çapağı sıçraması olduğu gözlemlenebilir. Yüksek akımın kesilmesi akabinde tutma ve soğutma aşaması başlamış olur. Elektrotlar içerisindeki su sirkülasyonu sayesinde hala basınç altında olan kaynak çekirdeği soğutulmuş olur. Son olarak bir sonraki çevrime kadarki süre zarfı ayrılma aşaması olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 Nokta kaynağın zaman, akım ve basınç çevrimi.

Elektrik akımı kaynak devresinin her bölgesinden eşit miktarda geçmektedir fakat her noktada meydana gelen ısı yoğunluğu farklıdır. Oluşan ısının bölgesi ve yoğunluğu

bölgedeki direncin miktarıyla doğrudan orantılıdır. Kaynak çekirdeğinin oluşması istenen bölgenin ısınması ve diğer direnç bölgelerinin çekirdeğe nazaran daha soğuk kalması istenen bir durumdur ve önemlidir. Ayrıca enerji maliyeti açısından ısı içi oluşturulan akımın tamamına yakınının kaynak bölgesinde harcanması beklenmektedir. Sürekli ısınma ve soğumaya maruz kalan elektrotların zamanla deforme olması ve uç kısımlarında şekil bozukluklarının gözlemlenmesi kaynak kalitesindeki düşümlere ve daha fazla ısı kayıplarının oluşmasına yol açar.



Şekil 2.5 Nokta kaynak ısı dağılımı.

Üretilen ve tüketilen ısının formülasyonu şöyle ifade edilebilir; $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$

Burada;

- $Q_1 \rightarrow$ Kaynak esnasında oluşan ısı
- $Q_2 \rightarrow$ Elektrotlarda oluşarak noktaya iletilen ısı
- $Q_3 \rightarrow$ Kaynak çekirdeği için harcanan ısı
- $Q_4 \rightarrow$ Parça içine veya çevreye dağılan ısı

olarak tanımlanmaktadır.

Kaynak metalindeki ergimeyi oluşturabilmek için üretilen olan ısı girdisinin birim zamanda kaynak çekirdeğine iletilen ısı girdisinden fazla olması gerekmektedir. Böylelikle direncin oluştuğu bölgede sürekli bir ısı yığılması sağlanacaktır. Su ile

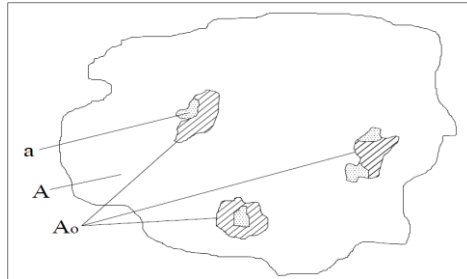
soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alaşımlanma en düşük seviyede tutulur.

Kaynak işlemindeki toplam direnç malzemelerin direnci ve temas noktalarındaki dirençlerinin bütününden oluşmaktadır. Direnci etkileyen diğer faktörler malzemelerin temizliği, yüzeysel özellikleri, akım çeşidi ve devrenin sıcaklığıdır. Bakır elektrotların özgül dirençleri cüzi dereceldedir. Kaynak edilen malzeme ile aralarındaki alaşımlanma miktarı arttığında dayanımları artsa da nominal dirençleri de artmaktadır.

Metal yüzeyler basınç altında temas ettirildiklerinde birbirlerine dokundukları birçok nokta olduğu bilinmektedir. Bu noktaların değişimi elektrot yükleri ve yüzey kalitesine bağlı olarak değişmektedir. İşlem tekrarlarında sonucunda bakır kepte meydana gelecek olan plastik ve elastik deformasyonlar bu konuda önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 2.6'da görüleceği üzere temas yüzeyleri 3 kısımda incelenmektedir.

- A → Görünen temas yüzeyleri
- A_0 → Gerçek temas yüzeyleri
- a → Akım geçiş yüzeyleri

Temas içerisindeki yüzeyle farklı biçim ve topografilerde olmalarında dolayı veya yüzeylerde oluşmuş olan film tabakaları sebebiyle oluşturulan akım bütünüyle her noktadan geçmemektedir. Burada fiziksel temas oluşturan yüzeyler A_0 ve akımın geçtiği yüzeylere a olarak tanımlanmaktadır. Bu alanlar gözle görülen temas yüzeylerine nazaran daha az yer ihtiva ederler ve yüzeye dağılmış bir şekildedirler.



Şekil 2.6 Elektrot temas yüzeyleri.

Kontak direnci iki kısma ayrılmaktadır. $R_k=R_h+R_e$ Burada;

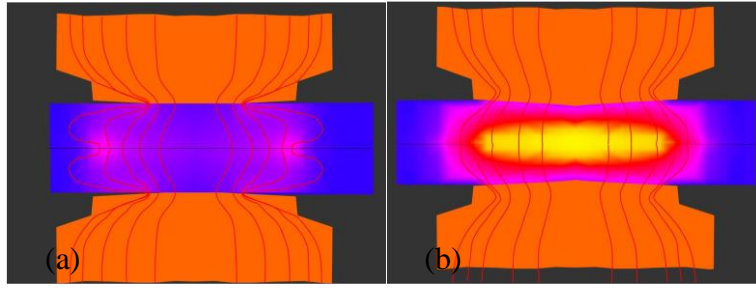
$R_k \rightarrow$ Kontak direnç

$R_h \rightarrow$ Dış zarf direnci

$R_e \rightarrow$ Akım geçen nokta direnci

olarak ifade edilmektedir.

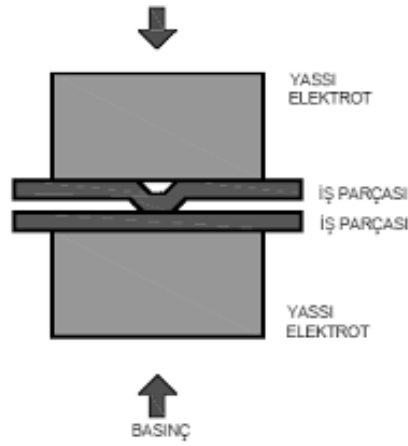
Temas noktasında oluşmuş oksit, yağ filmi veya metal alaşımlanma benzeri tabakalar dış zarf direncin rolü oynarlar. Şekil 2.7’de dış zarf direncinin kaynak yüzeyinde akım dağılımını negatif etkilemesi ve buna bağlı olarak akım yollarının bozulmasına sebebiyet verdiği gözlemlenmektedir.



Şekil 2.7 a) R_h direnci sonucu kaynak metal, b) R_e direnci sonucu kaynak metal.

2.2.2 Kabartılı Direnç Kaynağı

Kabartılı direnç kaynağı yöntemi malzemelerin birinde oluşturulan bir veya birden fazla temas noktasının akım ve basınç ile birbirlerine kaynatılması yöntemidir. Çeneden sağlanan tek bir yük ile birden fazla bölge kaynaklanabilir. Şekil 2.8’deki gibi bağlantı oluşturulacak bölgeler tasarım ve mukavemet ihtiyacına göre malzemelerin en az birinde kabartı olacak şekilde tayin edilir.

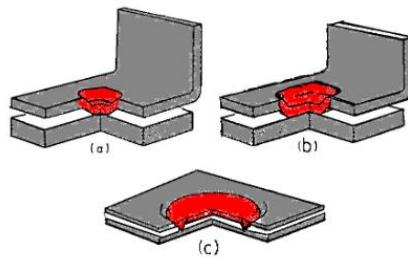


Şekil 2.8 Kabartı direnç kaynağı.

Kabartı sağlanan akımın bölgede yoğunlaşmasıyla lokal bir direnç meydana gelir. Kabartı, kaynak sırasında elektrot kuvveti ve akım sayesinde ısınarak büyük ölçüde yeniden düzleşir ve kaynak bölgesinde çözülmez bir bağlantı oluşturur (Anık ve Vural 2007). Akımın kesilmesinin akabinde yük uygulanmaya devam eder kaynak işlemi tamamlanmış olur. Bu yöntemde nokta kaynağında kullanılan elektrot tipleri yerine yassı elektrotlar kullanılmaktadır ve kaynak bölgelerine eşit yük sağlanmaktadır. Yassı elektrotlar, nokta kaynak elektrotlarına göre daha büyük olduğundan, oluşturulan akım şiddeti daha düşüktür ve kaynak işlemi nokta kaynak yöntemine göre daha yavaş gerçekleşir.

Kabartı çeşitleri Şekil 2.9’da görüleceği gibi 3 gruba ayrılmaktadır.

- a) Nokta kabartı
- b) Uzun kabartı
- c) Halka ve dairesel kabartı

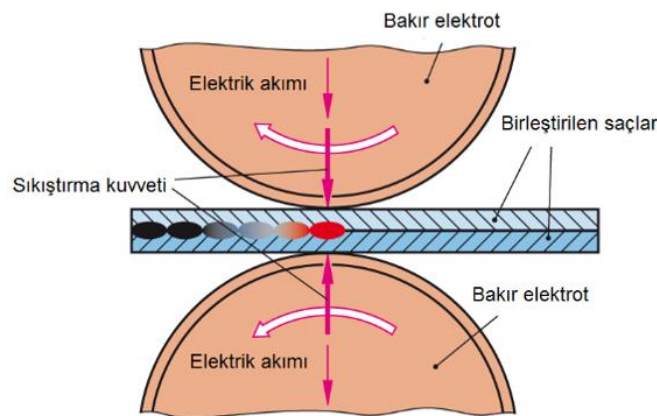


Şekil 2.9 Kabartı kaynağı çeşitleri.

Nokta punta kabartıları tasarım ihtiyacına göre bir veya birden fazla olacak şekilde belirlenebilir. Uzun kabartılar ise nokta kabartıların mukavemetinin yetmediği bölgelerde veya özel ihtiyaç ihtiva eden bölgelerde kullanılabilir. Halka ve dairesel kabartılar ise daha çok ince sac kaynaklarında, gaz ve su sızdırmazlığı istenen boru kaynaklarında ve cıvata ve somun gibi parçaların saclara kaynatılmasında kullanılmaktadır.

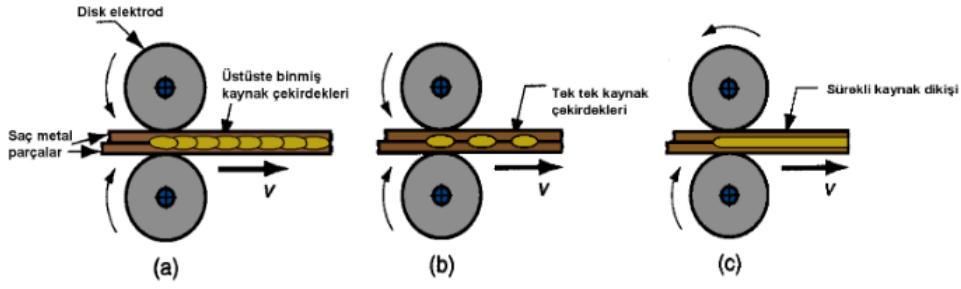
2.2.3 Dikiş Kaynağı

Dikiş kaynağı yöntemi nokta kaynağınıninkine benzer bir prensip ile çalışmaktadır. Kaynaklanacak olan levhaların dönen bakır diskler arasından ilerletilerek birbirleriyle düz bir hat boyunca veya aralıklı biçimde kaynak bağlantısının oluşturulması yöntemidir. Şekil 2.10'da görüleceği üzere sürekli dönen disk elektrotlardan uygulanan akıma karşılık meydana gelen direnç, malzemelerde kaynak ergiyiği oluşturur ve basınç altında birleşmesiyle tamamlanır. Disk şeklindeki elektrotların kaynak süresi boyunca sürekli dönmesi ve malzemelerle sürekli temas halinde olması gerekmektedir. Elektrotların soğutulması, soğutma sıvısının entegre bir dolaşım sistemiyle veya püskürtme ile sağlanır. Dikiş direnç kaynağında amper ayarı kaynatılan malzemenin cinsine, kaynatma hızına, kaynatılan malzemelerin kalınlığına ve soğutma suyu olarak kullanılan sıvının miktarına göre farklılıklar gösterebilir (MEB 2006).



Şekil 2.10 Dikiş kaynağı.

Dikiş kaynağı çeşitleri Şekil 2.11'de görüleceği üzere 3 biçime ayrılmaktadır.

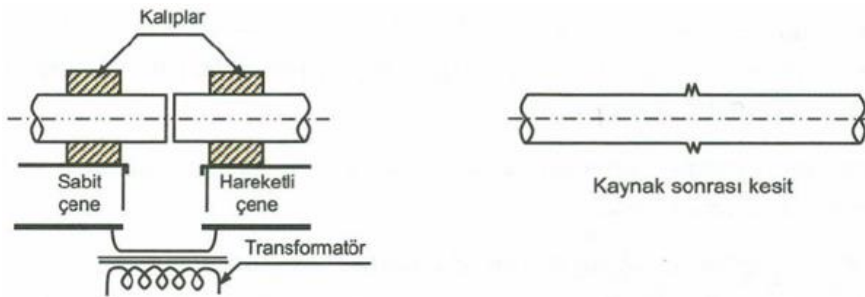


Şekil 2.11 Dikiş kaynağı çeşitleri.

- Üst üste binmiş noktalardan oluşan geleneksel dikiş kaynağı
- Aralıklı dikiş kaynağı
- Sürekli dikiş kaynağı

2.2.4 Direnç Alın Kaynağı

Bu yöntem de genellikle boru gibi yuvarlak kesitli malzemeler veya kare kesitli kalın malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Şekil 2.12’de gösterilen düzenekteki gibi birleştirilecek iş parçalarının iletken bakır çeneler yardımıyla uç uca bağlanmasının ardından akıma karşı oluşan direnç ve hareketli çenenin sağladığı yük ile oluşan basınç sonucunda birbirlerine kaynaklanması tamamlanır. Öncelikle yüzeydeki çıkıntılar üzerinden oluşan akım kanalları ilk ısınmayı gerçekleştirir. Temas yüzeylerinden çok yoğun bir akım geçtiğinden, pürüzler üzerinde çok kuvvetli bir ısınma meydana gelir (Yılmaz vd. 1993). Çıkıntıların tamamen ergimesine müteakip ark tüm kesite yayılır, ardından hareketli çeneler birbirine yaklaştırılır ve tam temas sağlanır. Isının tüm temas noktalarına yayılmasıyla kaynak gerçekleşmiş olur. Bir müddet daha basınç uygulanmasından ardından işlem tamamlanır.



Şekil 2.12 Direnç alın kaynağı.

2.3 Nokta Kaynak Kep Elektrotları

Nokta kaynak kep elektrotların kullanım yerlerine göre ısı dayanımı, sürünme ve aşınma dirençleri yüksek, iyi elektrik iletkenliği olan, mekanik yüklere dayanıklı malzeme özelliklerini ihtiva etmesi beklenir. Kaynak işlemleri sırasında kepler sürekli olarak yüksek sıcaklık, basınç ve ani ısı değişikliklerine maruz kalmaktadırlar. Bu etkilere maruz kalmaları zamanla kep uçlarında deformasyon ve şekil bozukluklarına sebebiyet vermektedir. Her ne kadar kaynak devresi su soğutma sistemleriyle desteklense de bu deformasyonlara kalıcı bir çözüm bulunamamaktadır. Kep uçlarının düzleşmesi ve aşınması geçecek akıma karşı oluşan temas direncin yoğunluğunu etkilemekte ve bu durum zamanla kalitesiz kaynak çekirdeklerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

Elektrot uçlarının bozulma hızı elektrotun malzemesine, şekline, kaynak sıcaklığına, ısınma ve soğuma hızlarına ve kaynak kuvvetine bağlı olarak değişir (Aslanlar 2016). Elektrik Direnç Nokta Kaynağı,. Keplerin kaynak ömürlerine uzatabilmek için uç kısımlarına belirli periyodlarla traşlama ve zımparalama işlemleri yapılmaktadır. Böylelikle uç temas yüzeyi düzeltilerek uygulama ömürleri arttırılabilir fakat punta kalitesinin takip edilebilirliği ve traşlama frekanslarının belirlenmesi açısından problemlere halan çözüm bulunamamıştır.

Elektrot uçlarının seçimi birleştirilecek malzemelerin boyut ve şekilleri, kalınlıkları, kaynak çekirdeğinin boyutuna göre belirlenir. Resim 2.1’de görülen bakır esaslı nokta kaynak kep elektrotlarının alaşım olarak 3 sınıf ayırmak mümkündür.



Resim 2.1 Nokta kaynak kep elektrotları.

2.3.1 Alaşım ve Tiplerine Göre Kep Elektrotlar

Sınıf 1; Optimum bileşimi %1 kadmiyum ve kalan kısmı bakırdan oluşan alaşımlandırmadır. Yüksek mukavemet ve sertliğe aynı zamanda yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Isıl işleme tabi tutulamazlar ve soğuk haddeleme yöntemi ile elde edilirler.

Sınıf 2; Optimum bileşimi %1-1,5'e kadar krom ve zirkonyum içeren kalan kısmı bakırdan oluşan alaşımlandırmadır. 1. sınıfa nazaran daha yüksek mekanik özelliklere fakat düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu tip alaşımlar genel ve geniş bir sahada kullanılmaktadırlar. Döküm veya dökve yöntemleriyle üretilebilirler.

Sınıf 3; Optimum bileşimleri %0,5 berilyum, %1 nikel, %1 kobalt ve geri kalanı bakırdan imal edilen alaşımlandırmalardır. 1. ve 2. sınıfa göre daha yüksek mekanik özelliklere fakat daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğe sahiptir. Daha kalın düşük karbonlu çeliklerin kaynaklanmasında kullanılabilirler.

Nokta kaynak kep elektrotları Şekil 2.13'deki gibi tiplerine göre 6 sınıfa ayrılırlar.

Tip A → Sivri uçlu elektrot

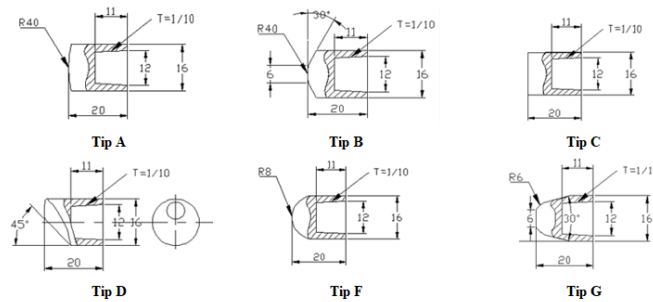
Tip B → Kesit küresel uçlu elektrot

Tip C → Düz uçlu elektrot

Tip D → Eksantrik elektrot

Tip F → Küresel uçlu elektrot

Tip G → Kesik koni uçlu elektrot



Şekil 2.13 Nokta kaynak kep elektrot tipleri.

2.4 Otomotiv Sektöründe Direnç Kaynağı

Otomotiv sektöründe birleştirme yöntemi olarak kullanılan en yaygın uygulamaların başında direnç kaynağı yöntemi gelmektedir. Araç üretimlerinde direnç kaynağı yönteminin tercih edilmesinin başlıca sebepleri; az deformasyon, oldukça hızlı imalat koşulları ve ilave işçilik gerektirmemesidir. İnce kesitli sacların yüksek sıcaklıklar altında deformasyon, kalıcı şekil değişiklikleri ve form bozukluklarına maruz kalmasından dolayı, kaynak süresi ve sıcaklık gibi parametrelerin kontrol altında tutulabildiği direnç kaynakları bu açılarından da caziptir. Resim 2.2’de görüldüğü üzere kaynak işlemlerinin yarı ve tam otomatik robotlarla gerçekleştirilmesi ve seri üretime entegre sistemlerin adaptasyonu proses maliyetini azaltmakta ve insansız hatlarda uygulama kabiliyetini arttırmaktadır.



Resim 2.2 Otomotiv sektöründe robotlu nokta kaynak hattı.

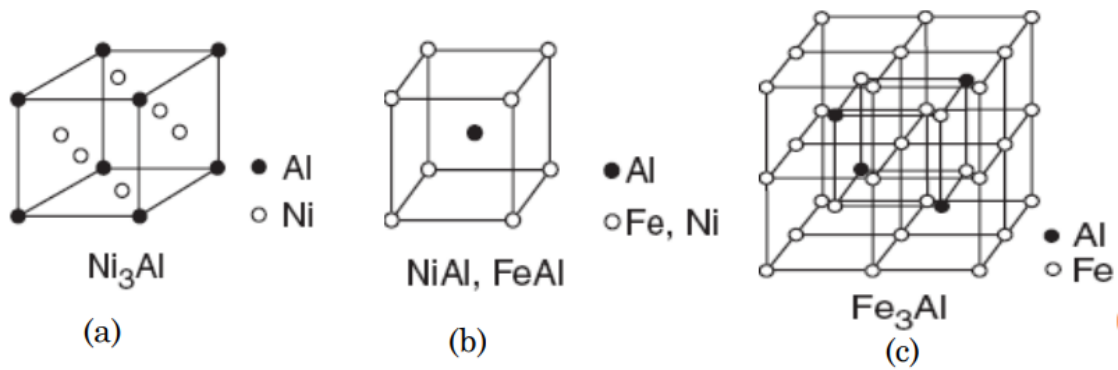
Dünyada yıllık yaklaşık 95 milyon araç üretimi gerçekleştirilen otomotiv sektöründe araç başına ortalama %75 oranında düşük karbonlu çelik tüketilmektedir. Bir otomobilde ortalama 3000 ila 6000 arasında punta kaynağı bulunmaktadır (Dorun vd. 2016).

3. İNTERMETALİK MALZEMELER

İntermetalik malzemeler metalik ve seramik malzemeler arasında mekanik ve ısı özelliklerine sahip malzeme çeşitleridir. Kimyasal olarak birbirilerine benzer özellik göstermeyen metaller arasında oluşturulan bu alaşımlar sonucunda alışıla gelmeyen çeşitli özellikleri sahip malzemeler elde edilmektedir. İleri teknoloji malzemeleri olan intermetalik bileşikler, geniş uygulama alanlarından ve ilginç fiziksel özelliklerinden dolayı, son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmaktadırlar (Çakır 2006).

Geniş kullanım sıcaklık yelpazesinden çalışabilen intermetalikler, yüksek sıcaklıklarda metallere göre yüksek mukavemet davranışı, daha iyi aşınma ve oksidasyon direnci gösterirken, normal kullanım koşullarda ise seramiklere nazaran iyi elektrik iletkenliği ve nispeten iyi mekanik özellikler sağlarlar.

İntermetalik malzemelerin başlıca dezavantajları düşük süneklik dayanımı ve zayıf kırılma tokluğu gibi imalatta istenmeyen özellikler göstermeleridir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için oldukça çekici olan Ti, Fe ve Ni aluminidler üzerinde son yıllarda yapılan araştırmalarda, alaşımlama ve üretim işlemleri kontrol altında tutularak kristal yapıları, mikroyapısal oluşumları, tane yapıları ve kompozisyonları incelenerek gevreklik problemleri giderilmeye çalışılmaktadır (Özdemir 2004).

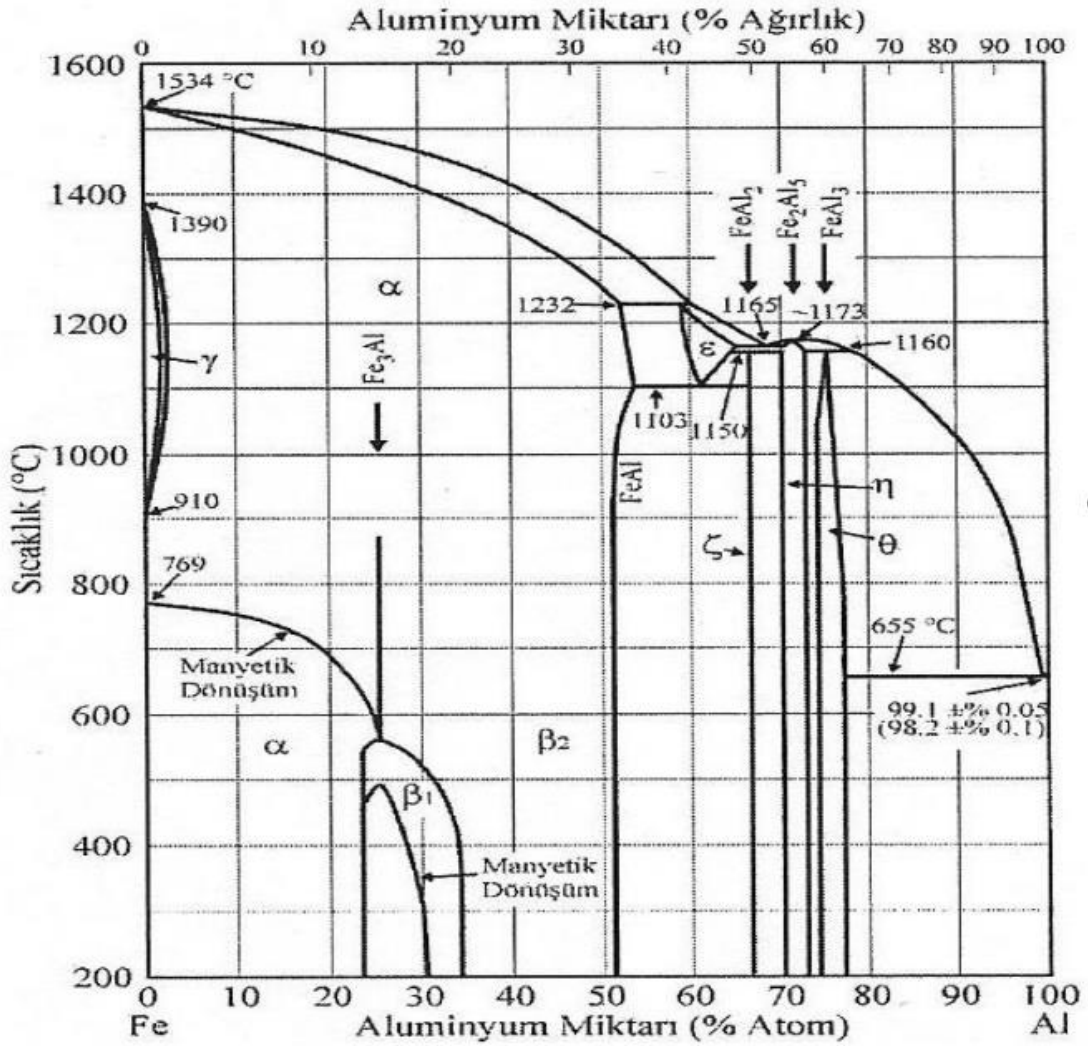


Şekil 3.1 Fe_3Al , $FeAl$, Ni_3Al ve $NiAl$ alüminidlerinin kafes yapıları.

3.1 Demir Alüminidler

Fe-Al ikili faz diyagramında Fe_3Al , $FeAl$, $FeAl_2$, Fe_2Al_5 , ve $FeAl_3$ intermetalikleri mevcuttur.

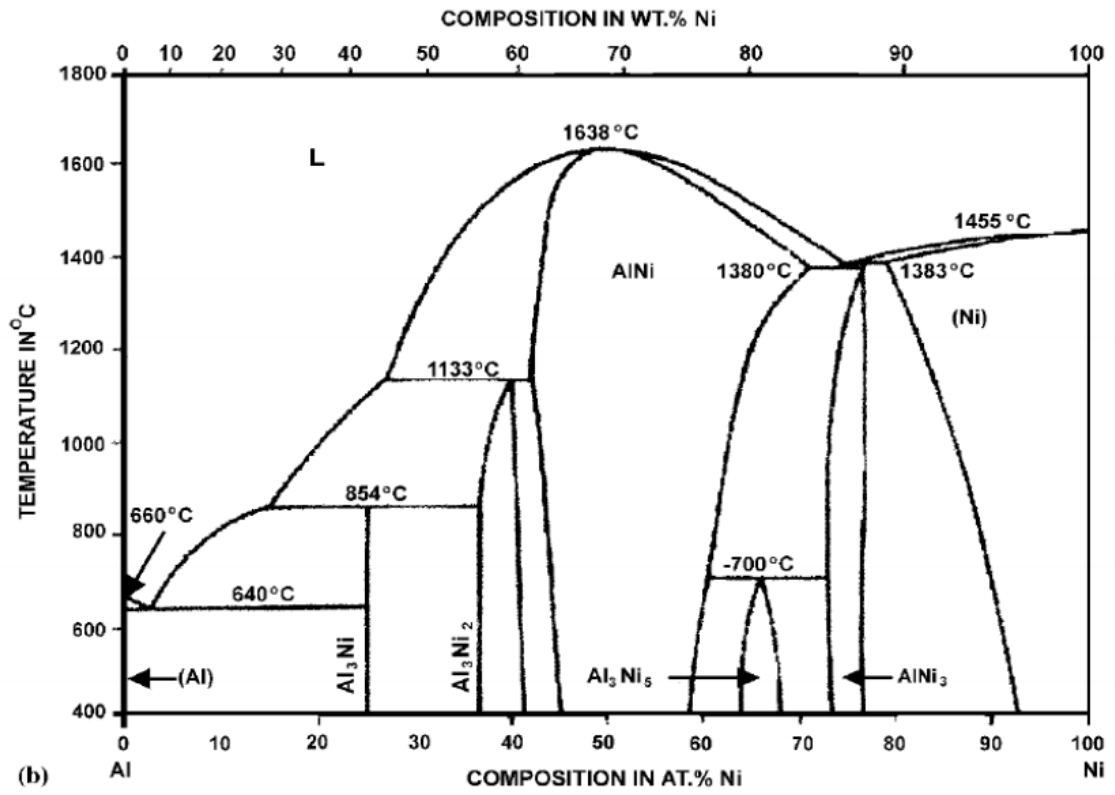
Demir alüminidler düşük maliyetlerle yüksek sıcaklık ve oda koşullarında iyi bir mikroyapısal kararlılık göstermektedirler. Sertlik dirençleri oldukça kararlı ve yüzeylerinde oluşturdukları Al_2O_3 film tabakaları sayesinde korozyon ve aşınma davranışları alaşımsız metallere nazaran daha iyidir. Uygun bileşim oranlarında yapılan çeşitli kaplama uygulamalarında kaplanan malzemelere birçok olumlu özellik kazandırdıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Fe-Al ikili faz diyagramı.

3.2 Nikel Alüminidler

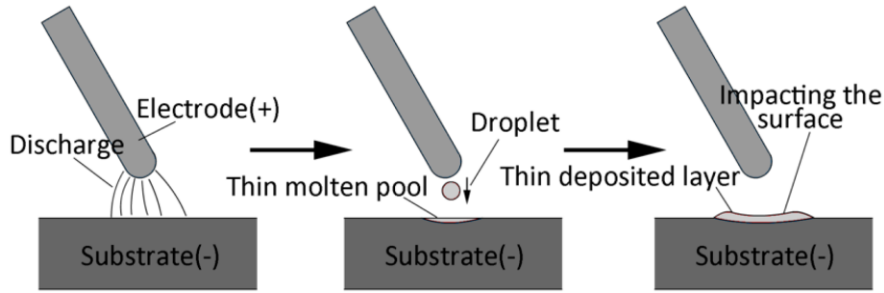
Ni-Al faz diyagramında Al_3Ni , Al_3Ni_2 , Al_3Ni_5 , NiAl, $NiAl_3$ intermetalik bileşikleri mevcuttur. Bu intermetalik bileşiklerden nikelce zengin NiAl ve Ni_3Al yüksek sıcaklık uygulamalarına ve kaplama işlemlerine aday malzemeler olarak gösterilmektedir. Bunlar Al-Ni sisteminde en kararlı yapılar olup en yüksek ergime noktasına, oldukça düşük yoğunluğa, iyi mukavemet özelliklerine ve yüksek sıcaklık korozyon ve oksidasyon direncine sahiptirler.



Şekil 3.3 Ni-Al ikili faz diyagramı.

4. ESD-ELEKTRO SPARK BİRİKTİRME YÖNTEMİ

ESD yöntemi birbirlerine tekrarlı temas ettirilen elektrik iletkenliğine sahip kaplayıcı (anot) malzeme ile kaplanan (katot) malzeme arasında mikro elektrik arkları meydana getirilerek kaplanan ana malzeme yüzeyinde metalurjik bir etki yaratmadan oluşturulan ince katmanlı malzeme biriktirme prensibidir. Şekil 4.1'deki gibi anot elektrot malzemedan kopan yüksek akımlı ergiyik kıvılcımlar katot altlık malzemeye kusursuz ve mükemmel bir yapışma sağlayarak yüzeyde birikinti oluşturur.



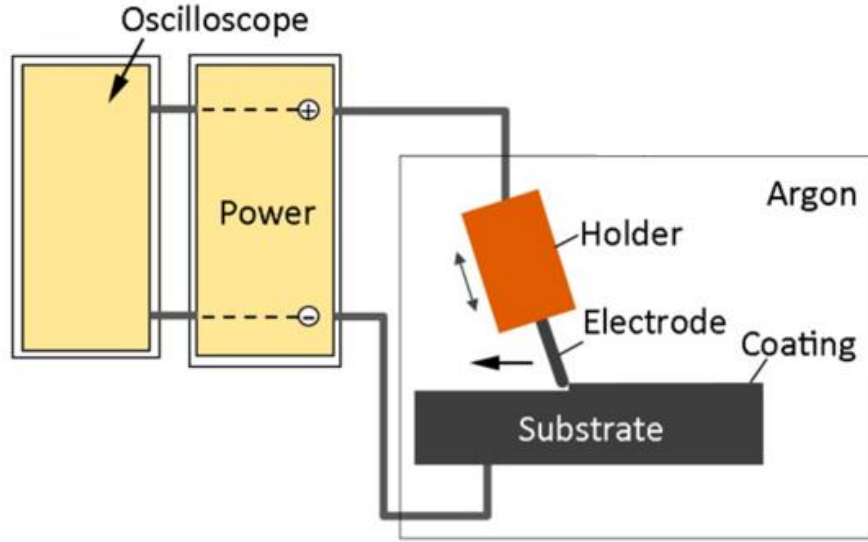
Şekil 4.1 ESD yüzey biriktirme aşamaları.

ESD, malzemelerin korozyon, erozyon ve aşınma direncini artırmak, oksitlenmeyi azaltmak veya engellemek, yüksek sıcaklıklarda termal yükü azaltmak, bakım maliyetlerini azaltmak gibi bazı amaçlarla uygulanır. Dolayısıyla bu amaçlara yönelik uygulama alanlarında ESD proses kullanılabilir (Korkmaz 2008).

4.1 ESD-Elektro Spark Biriktirme Yöntemini Uygulanışı

ESD'nin uygulanabilmesi için Şekil 4.2'de görüldüğü gibi elektrot dönüş hızını, akım frekansını ve elektrik gerilim gücünün kontrol edildiği puls jeneratör (Power) ve osiloskop düzeneğine ihtiyaç vardır. Elektrotun bağlı olduğu tutamaç titreşim veya aksel dönme hareketi meydana getirerek devrenden aldığı yükü, boşaltma devresinin bağlı olduğu malzemeye aktararak mikro düzeyde malzeme akışını sağlamış olur. İşlem dielektrik argon gazı altında gerçekleştirilir ve böylelikle oluşan arkın ortam koşullarından en az şekilde etkilenmesi amaçlanır. Biriktirme prosesinin ihtiyaca göre otomatik halde veya manuel olarak gerçekleştirilebilmesi mümkündür. Kaplanacak alanın çok kısa sürelerde elektrot ile taranmasının ardından kaplanan malzemenin

yüzeyinde mikron mertebesinde ince taneli bir tabaka oluşmuş olur. Hızlı soğuma nedeniyle termal çatlaklar oluşma ihtimali vardır ve genellikle kaplanan ana malzemeye nispeten daha pürüzlü bir yüzey elde edilir.



Şekil 4.2 ESD uygulama düzeneği.

5. MATERYAL ve METOD

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, deney cihazları ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir.

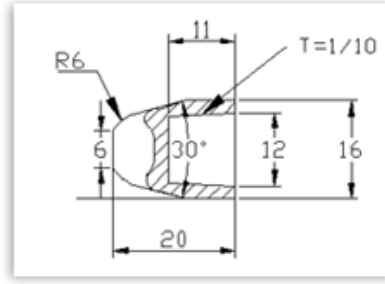
5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmada Ø6 G tip 13 adet bakır kep elektrot ucu kullanılmıştır. Bakır kep uçların 12 adedi ESD yöntemiyle Fe₃Al, FeAl, Ni₃Al ve Ni₃Al intermetalik malzemeler ile kaplanmış olup; tüm kepler ile soğuk şekillendirmeye uygun, düşük mukavemetli çinko ile kaplanmış galvanize 0,75mm EN 10326 standardı DX56D+Z kalite sac levhalara punta işlemi uygulanmıştır.

Kullanılan bakır kep elektrotların kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1’de, teknik resmi Şekil 5.1 de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan bakır kep elektrot ucu özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Değer
Cr	% 1
Diğer	%0,20
Cu	Kalan
Fiziksel Özellikler	Değer
Özgül Ağırlık	8,9 g/ cm ³
Özgül Isı	0,38 J/g.K
Elektrik İletkenliği	49-51 MS/m
Elektrik İletkenliği (I.A.C.S)	76-80 %
Termal İletkenlik	320 W/m.K
Termal Genleşme Katsayısı	20-100 °C 17,0 X 10 ⁻⁶ /K
Çalışma Sıcaklığı	500°C maks.
Mekanik Özellikler	Değer
Çekme Muk. Rm	485 Mpa
Akma Muk. Rp0,2	450 Mpa
Uzama A5	min. 18%
Sertlik Brinell	135 HB30
Sertlik Rockwell	75 HrB
Elastik Modül	130 x 10 ³ Mpa



Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan bakır kep elektrot ucu teknik resmi.

Kullanılan intermetalik malzemeler Şekil 5.1’de ve kimyasal bileşimi oranları Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.



Resim 5.1 Kaplamada kullanılan intermetalik malzemeler.

Çizelge 5.2 Kaplamada kullanılan intermetalik malzemelerin bileşim oranı.

İntermetalik	Bileşim Oranı
Fe ₃ Al	%73 Fe - %27 Al
FeAl	%53 Fe - %47 Al
Ni ₃ Al	%73 Ni - %27 Al
NiAl	%51 Ni - %49 Al

Kullanılan sac levhaların kimyasal bileşimi oranları Çizelge 5.3’te ve mekanik özellikleri Çizelge 5.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 Kaynaklanan sac levhanın kimyasal bileşimi(%).

Sac Levha	C max.	Mn max.	P max.	Si max.	Al max.	Ti max.	Nb max.
En 10346 DX56D+Z	0,008	0,30	0,025	0,03	0,080	0,15	0,04

Çizelge 5.4 Kaynaklanan sac levhanın mekanik özellikleri.

Sac Levha	Akma muk. Rp0,2	Çekme muk. Rm	Uzama A80	r90 mi	rort min	n90 min
En 10346 DX56D+Z	140-180 MPa	270-330 MPa	%40	1,90	1,60	0,20

5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Tez çalışmasında kullanılan cihazlar aşağıdaki resimlerde görülmektedir.



Resim 5.2 a) ESD cihazı, b) Kaplama ünitesi.



Resim 5.3 a) Kaynak robotu, b) Kaynak çenesi.



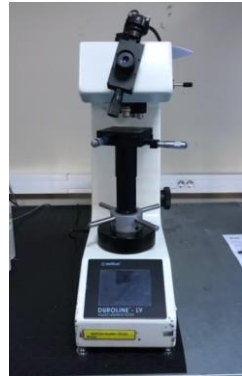
Resim 5.4 Metalografik kesme cihazı.



Resim 5.5 Bakalit cihazı.



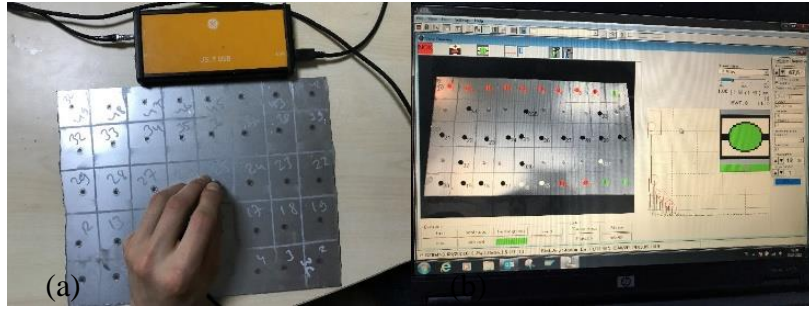
Resim 5.6 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.



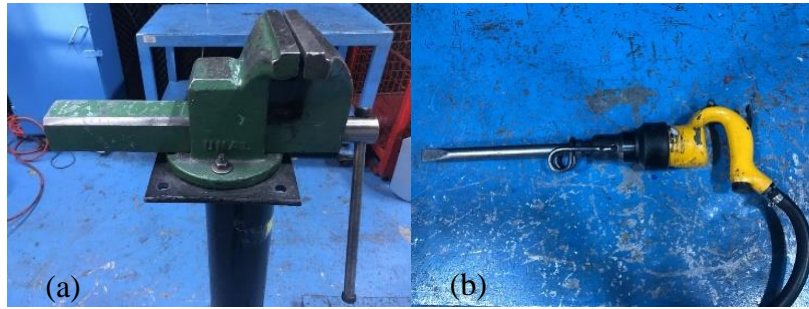
Resim 5.7 Mikrosertlik cihazı.



Resim 5.8 Optik mikroskop.



Resim 5.9 a) UT test cihazı ve probu, b) UT test ekranı.



Resim 5.10 Kopartma testi düzeneği; a) Mengene, b) Havalı hilti.

5.3 ESD İşlemi

Ø6 G tip 12 adet kep elektrot ucu, 4 gruba ayrılarak Fe₃Al, FeAl, Ni₃Al ve NiAl intermetalik malzeme ile 3'erli setler halinde 3 farklı parametrede azot gazı altında 90sn'lik sürelerle Şekil 5.2'deki gibi manuel olarak kaplanmıştır.

Çizelge 5.5 Kep elektrotların ESD kaplama parametreleri.

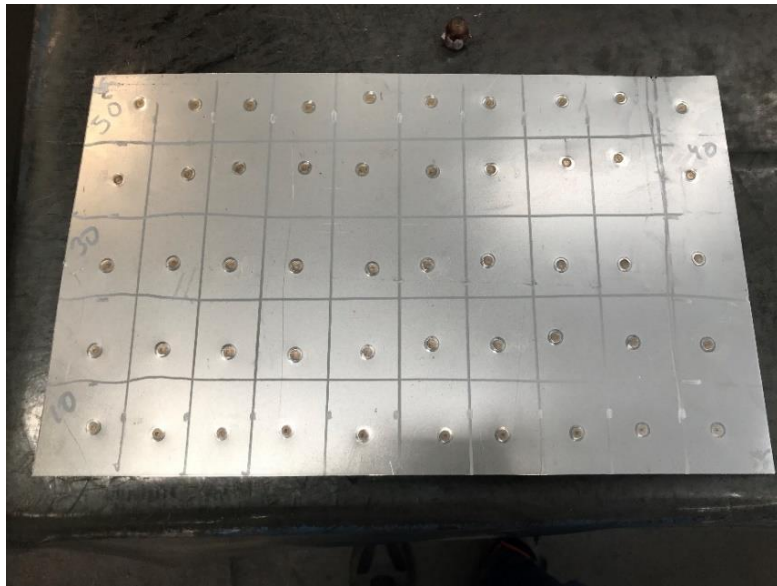
Kaplanan Malzeme(-)	Kaplama Süresi	Frekans	Güç
Ø6 G tip 12 adet	Sabit 90sn	Sabit 1.06 kHz	20+X*23V
Kaplayıcı Malzeme(+)	66V (2X)	112V (4X)	158V (6X)
Fe ₃ Al	Kep1	Kep2	Kep3
FeAl	Kep4	Kep5	Kep6
Ni ₃ Al	Kep7	Kep8	Kep9
NiAl	Kep10	Kep11	Kep12



Resim 5.11 ESD kaplı kep elektrotlar.

5.4 Nokta (Punta) Kaynak İşlemleri

Kaynak işlemleri için Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te özellikleri verilen DX56D+Z kalite sac levha kullanılmıştır. Levhalar 40X25cm ebatlarında kestirilerek 13+13 levha birbirleriyle kaynaklanacak şekilde üst üste bindirilmiştir. 20cm²'lik eşit bölgelere bölünen levhalar, atılacak puntalar arası paralel akım devreleri oluşmaması için ~3,5-4cm mesafeler bırakılarak Şekil 5.12'deki gibi şablonlar oluşturulmuştur ve her bir kep ile 50'şer punta atılmıştır.



Resim 5.12 Punta kaynak işlemleri.

Punta işlemleri için Şekil 5.4'te gösterilen Yaskawa model sanayi tibi robot kullanılmış olup; 13 ayrı levhaya 17-22°C soğutma suyu sirkülasyonunun olduğu, 2200 daN çene basıncı ve 6,5 kA akım altında sabit sürelerde (~0,7sn) 600(12x50) adet punta işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.5 Metalografik İşlemler

Kaynaklanmış levhaların 10, 20, 30, 40 ve 50. punta kesitleri SiC kesme diskleri ile kesilerek 320, 600, 800, 1000'lik parlatma aşamalarından geçirilmiş ve 1µm alümina süspansiyon ilave edilerek çuha ile parlatılmıştır. Sertlik testlerinin ardından %2'lik nital ile dağlanarak mikroyapı incelemeleri için hazırlanmıştır.



Resim 5.13 Kaplanmış kepler ile kaynaklanan metalografik numuneler.

5.6. Mikro Sertlik Ölçümleri

Her bir levhadan kesilerek metalografik olarak hazırlanan 10, 20, 30, 40 ve 50. punta numunelerinin sertlik değerleri Vickers cihazında HV10 yük altında çekirdek merkezlerine 3'er vuruş yapıp ortalamaları alınarak ölçülmüştür.

5.7 Mikroyapı Analizi

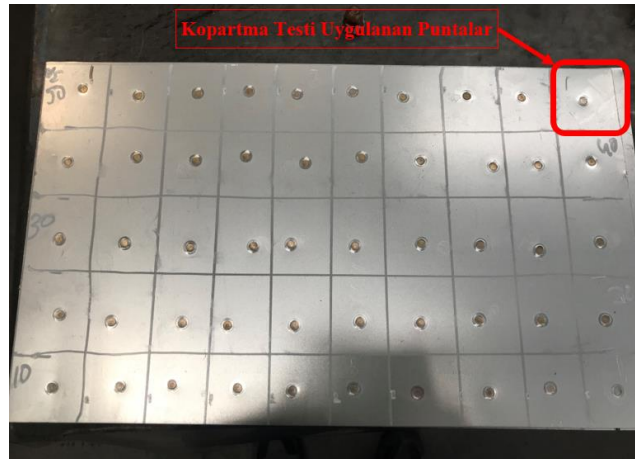
Mikroyapı analizleri bakalitle alınan 30. numunelerden yapılarak, fotoğraflar kaynak ITAB bölgeleri ve merkezlerinden X50 büyütmede metal mikroskobu ile çekilerek siyah-beyaz kontrast ile filtrelenmiştir.

5.8 Ultrasonik Test

Kaynaklanmış levhalardan her birinin 25. puntasına Şekil 5.8'deki gibi tahribatsız UT testi uygulanmıştır. Test neticesinde kaynaklanmış toplam kalınlığı 1,5mm olan levhalardaki kaynak çekirdeği sinyalleri ve kaynak çekirdeği çökelmeleri incelenmiştir.

5.9 Tahribatlı Kopartma Testi

Her levhanın Şekil 5.14'teki 41. köşe puntaları tahribatlı test ile kopartılarak çekirdek oluşumları incelenmiştir.



Resim 5.14 Kopartma testi bölgesi.

5.10 Kaynak İşlemleri Sonra Kep İncelemeleri

Punta işlemleri sonrasında, hem kaplanmış hem de normal keplerin uçları görsel ve mikroyapısal olarak incelenmiş olup aralarındaki farklara değerlendirilmiştir.

6. BULGULAR

Deneylemler sonucunda 13 farklı karakterde 50'şer punta atılan levhaların her birindeki 10, 20, 25, 30, 40, 41 ve 50. puntalar tahribatlı veya tahribatsız testlere tabi tutulmuştur. Test sonuçları ve analizler aşağıdaki başlıklar altında tartışılmıştır.

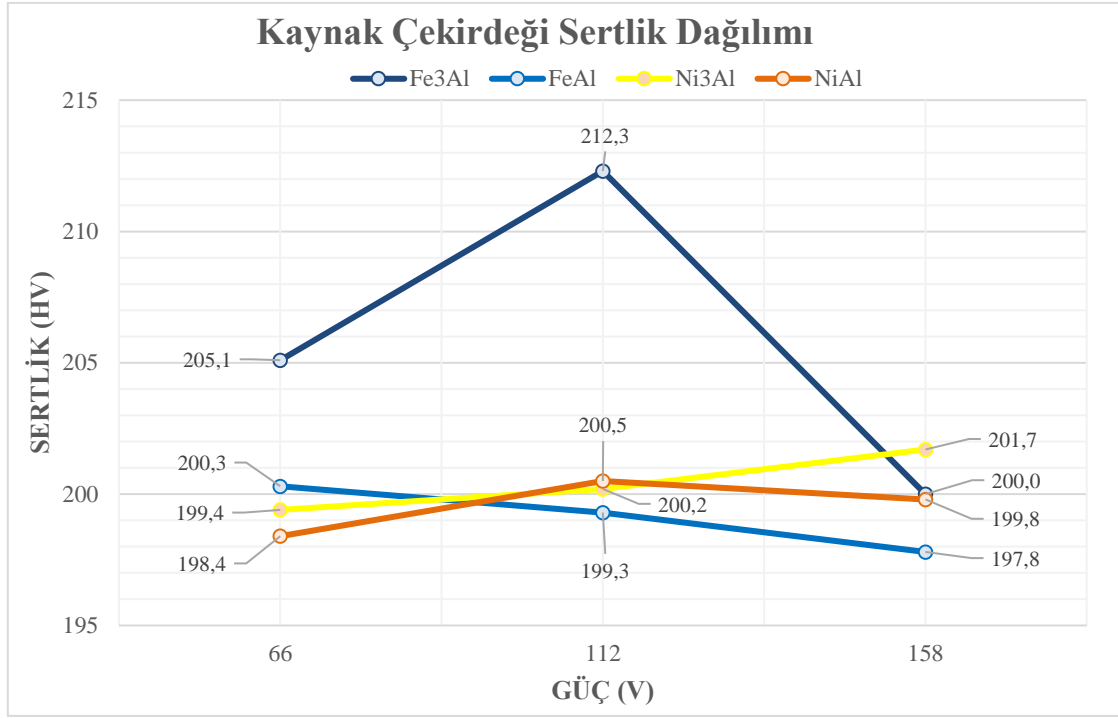
6.1 Kaplanmış Kepler İle Yapılan Kaynakların Analizleri

6.1.1 Mikro Sertlik Sonuçları

Levhalarından kesilerek hazırlanan 10,20,30,40 ve 50. numunelere gerçekleştirilen sertlik testlerinde kep üzerindeki kaplamaların punta gidişatı boyunca kaynağa etki edip etmediği gözlemlenmek ve farklı voltajlarda kaplanan keplerin kıyaslanmasının yapılması amaçlanmıştır. Sertlik açısından en bariz değişkenlik Fe₃Al intermetalığı ile kaplı keplerde meydana gelmiştir. Şekil 6.1'de görüleceği üzere Fe₃Al keplerinden 66V ve 112V güçte kaplanmış kepler ile yapılan puntaların diğerlerine nazaran daha sert olduğu tespit edilmiştir. Kendi punta sertlikleri arasında en değişkenlik gösteren levha ise Ni₃Al ile 158V'de kaplanmış kep ile kaynak atılmış olanlardır. 10. punta ile 30. punta arasında 13,1 HV ani sertlik farklılıkları görülmüştür. Sertlik sapması en düşük olan levhalar ise Ni₃Al ve NiAl ile kaplı 112V'te kaplanmış keplerle kaynaklananlar olarak saptanmıştır.

Çizelge 6.1 Kaplama kep kaynak çekirdekleri sertlik değerleri.

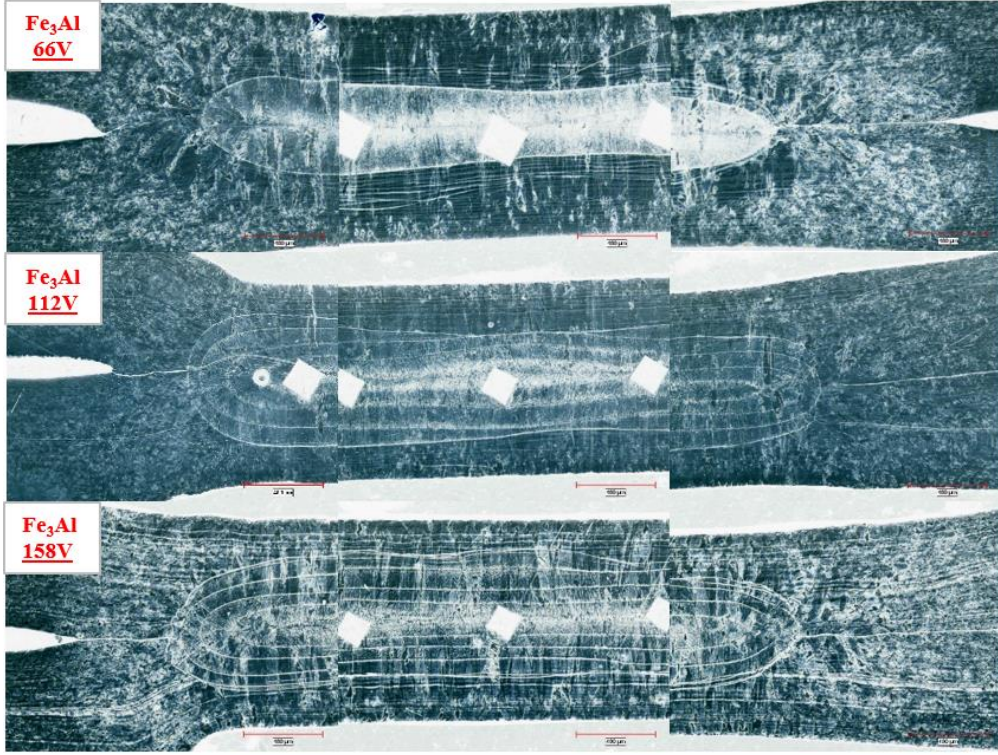
Malzeme	Fe ₃ Al					FeAl					Ni ₃ Al					NiAl				
	10.	20.	30.	40.	50.	10.	20.	30.	40.	50.	10.	20.	30.	40.	50.	10.	20.	30.	40.	50.
Punta	201,1	202,6	202,6	208,5	210,5	199,0	196,2	206,4	202,4	197,7	197,3	198,1	203,4	199,0	199,2	200,9	203,4	198,2	197,0	192,7
66V	205,1 HV					200,3 HV					199,4 HV					198,4 HV				
122V	214,9	216,7	211,5	211,4	207,2	202,2	200,1	198,0	195,8	200,6	198,5	202,3	199,9	201,8	198,4	199,8	203,7	201,1	199,6	198,1
	212,3 HV					199,3 HV					200,2 HV					200,5 HV				
158V	199,7	202,0	200,4	198,6	199,4	199,8	198,5	196,3	199,4	194,8	195,3	197,9	208,4	205,0	202,1	202,4	197,7	200,4	202,2	196,5
	200,0 HV					197,8 HV					201,7 HV					199,8 HV				
Genel Ort.	205,8 HV					199,1 HV					200,4 HV					199,6 HV				



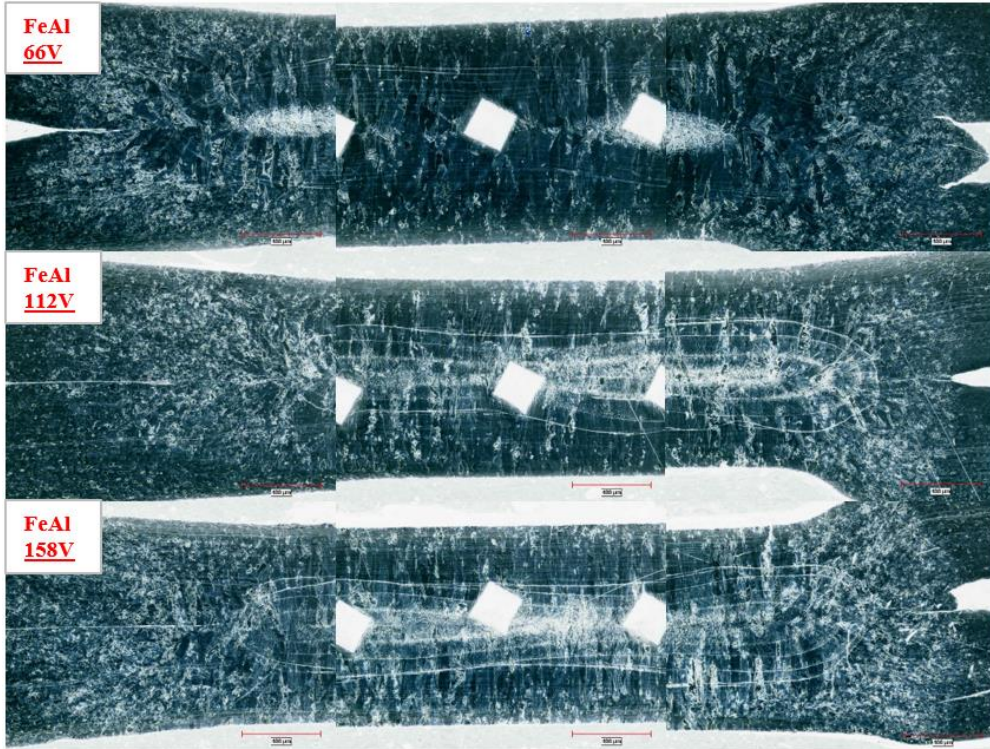
Şekil 6.1 Kaynak çekirdeklerin sertlik dağılım grafiği.

6.1.2 Mikroyapı Analiz Sonuçları

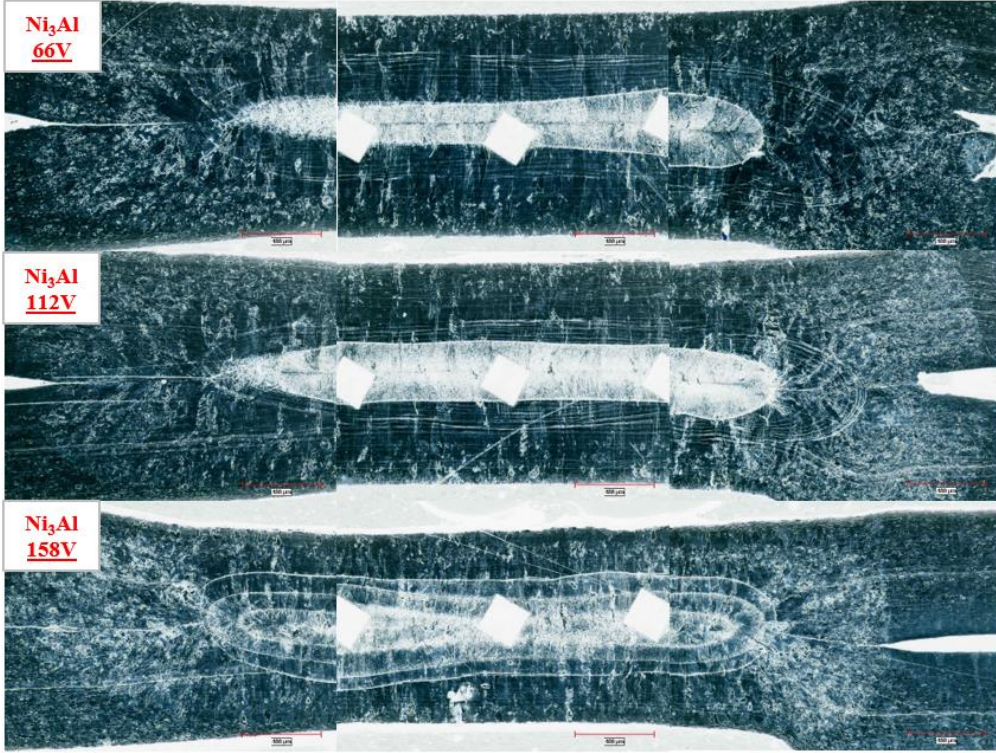
Resim 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'te her levhadan kesilerek hazırlanan 30. puntaların kaynak kesit görüntüleri incelenmiştir. Kaynak oluşumu açısından Fe₃Al/66V, Ni₃Al/66V, Ni₃Al/112V ve nispeten NiAl/112V, NiAl/66V kepler ile yapılan puntalarda net bir çekirdek yapısına rastlanmıştır. Bunların arasında en homojen olanı Ni₃Al/112V ile atılan puntada gözlemlenmiştir. Fe₃Al/112V, Fe₃Al/158V, FeAl/112V, FeAl/158V, Ni₃Al/158V ve NiAl/158V mikroyapı incelemelerinde ergime bölgesinin yüzeye kadar uzandığı yanık punta oluşumları gözlemlenmiştir. Bu puntaların oluşumları esnasında Şekil 2.7'de belirtilen Rh dış zarf dirençlerinin oluşması kaynaklı akım yollarının bozulduğu ve kaynak metallerinin banyosunun tam olarak oluşmadığı tahmin edilmektedir. Tüm 158V kepli uygulamalarda kaynak çekirdeğinin tam oluşmadığı gözlemlenmiştir.



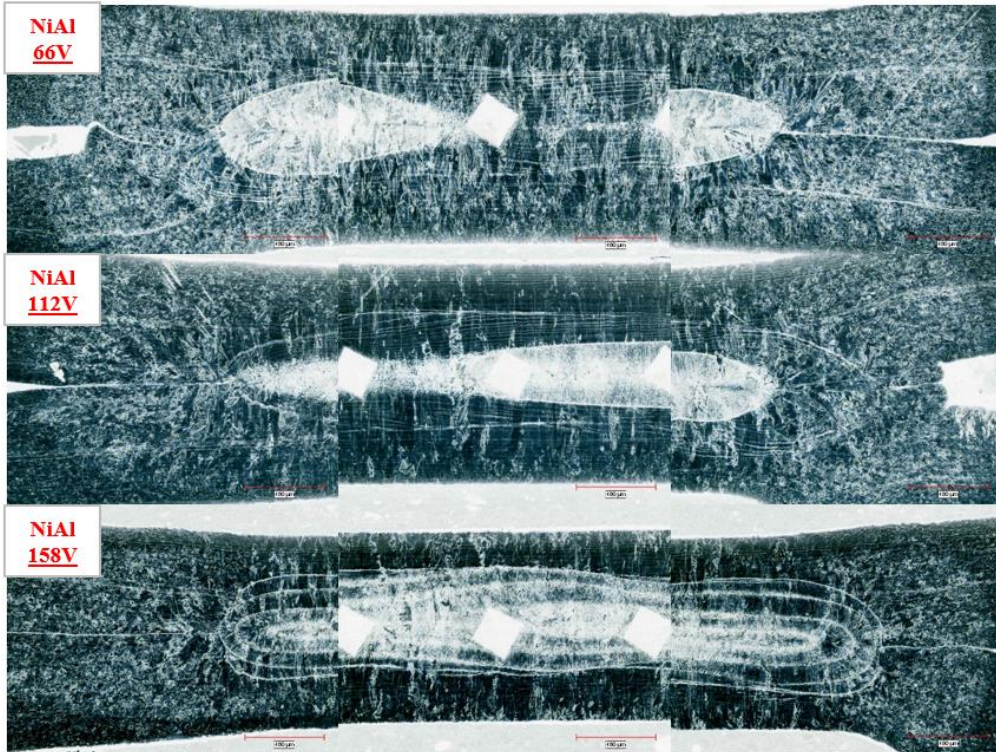
Resim 6.1 Fe₃Al kep puntalarının mikroyapı görüntüleri.



Resim 6.2 FeAl kep puntalarının mikroyapı görüntüleri.



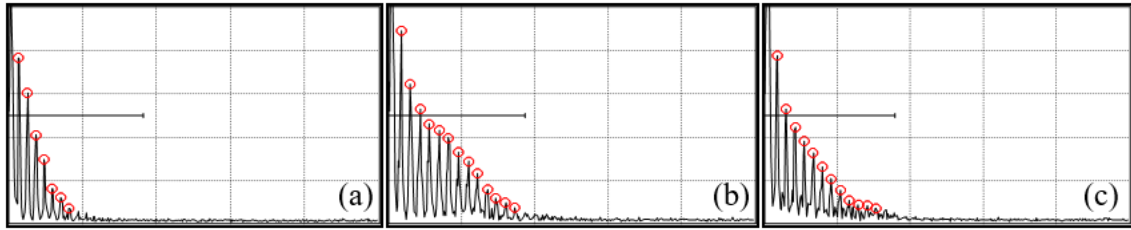
Resim 6.3 Ni₃Al kep puntalarının mikroyapıları görüntüleri.



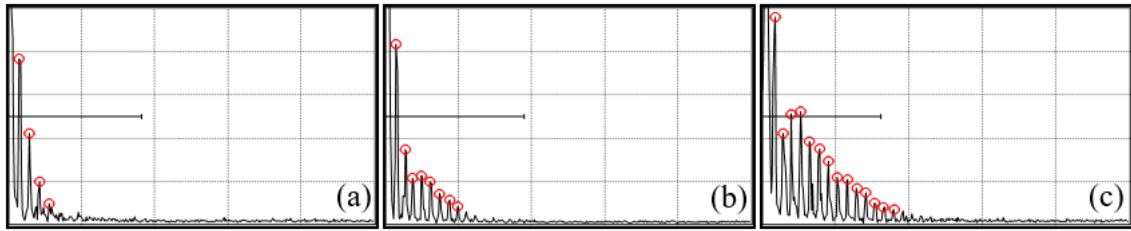
Resim 6.4 NiAl kep puntalarının mikroyapıları görüntüleri.

6.1.3 Ultrasonik Test Sonuçları

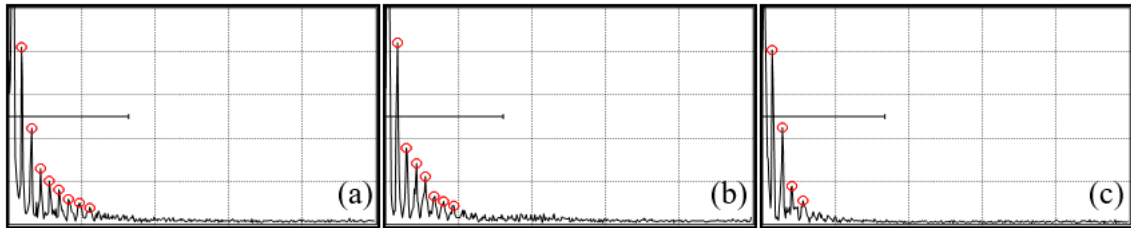
Ultrasonik grafiklerin yorumlanması sonucunda tüm puntalarda %80 sınırını geçen temas yüzey ecoları ölçülmüştür. Logaritmik ve gürültüsüz biçimde azalım gösteren, kaynak çekirdeğinin en homojenize olduğu puntalar sırasıyla Ni₃Al/66V, Ni₃Al/112V, NiAl/66V ve Fe₃Al/66V olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen en kötü punta ise FeAl/158V olmuştur.



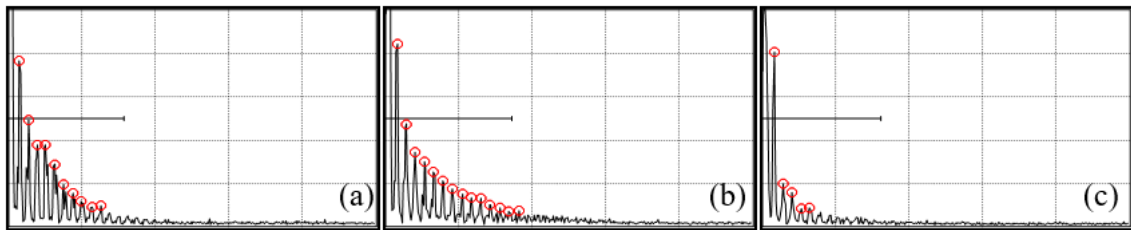
Şekil 6.2 Fe₃Al kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Şekil 6.3 FeAl kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



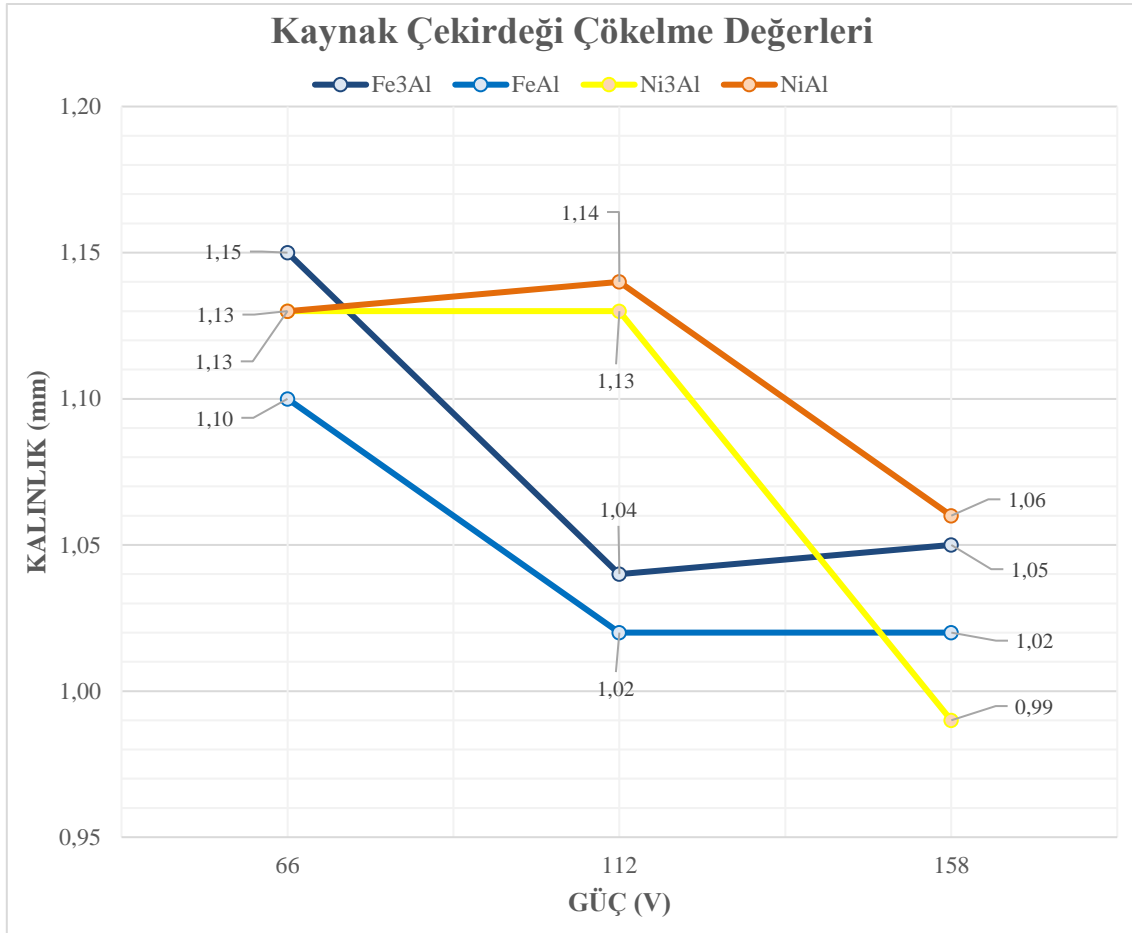
Şekil 6.4 Ni₃Al kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Şekil 6.5 NiAl kep puntalarının UT grafikleri; a) 66V, b) 112V, c) 158V.

UT testleri sonucun tespit edilen çökelmeler Şekil 6.6'da grafiğe dökülmüştür. Birleştirilmiş toplam kalınlığı 1,5mm olan levhalarda çökelme sınırı %30 altı riskli punta olarak değerlendirip 1,05mm olarak belirleyecek olursak. 66V kaplalar ile puntalanmış tüm kaynaklar uygun, 112V kaplama uygulamalarında sadece Ni bazlı intermetalikler kaplanmış olanlar uygun olarak nitelendirilebilir. Diğer tüm puntalar çökelme değerinin düşüklüğü açısından riskli sınıfa girmektedir.

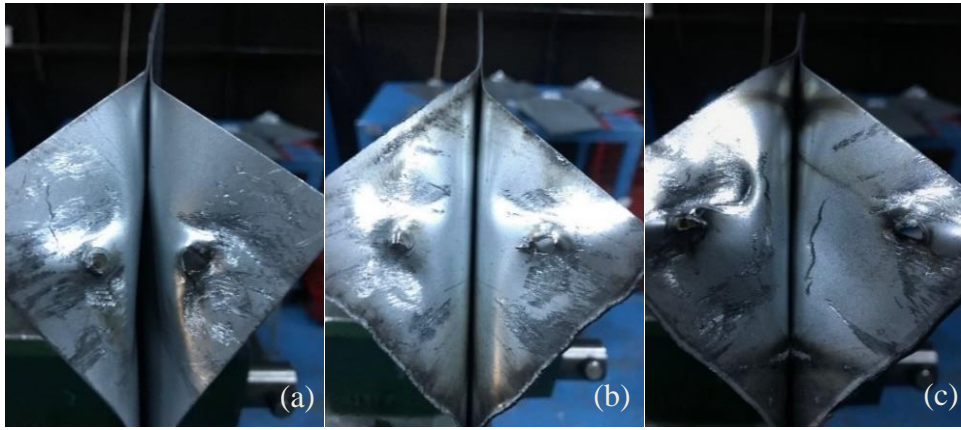
Göze çarpan en şaşırtıcı tespit ise kaplama voltajlarının malzeme ayırt etmeksizin punta çökelmelerine doğrudan etkisinin bulunduğu.



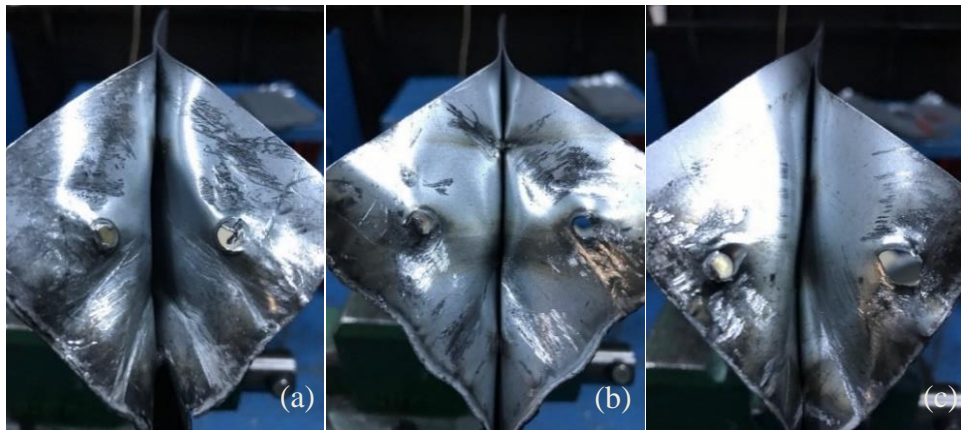
Şekil 6.6 Kaynak çekirdeklerin çökelme dağılım grafiği.

6.1.4 Tahribatlı Test Sonuçları

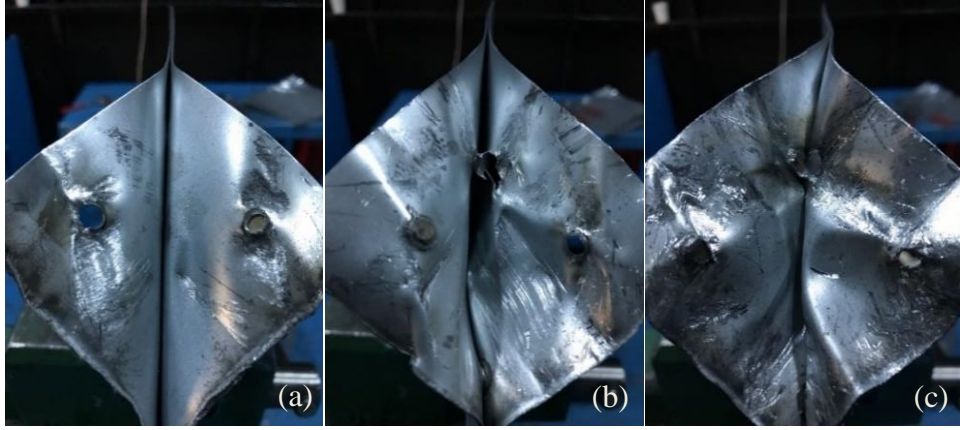
Tahribatlı testlerde mukavemet açısından yüksek dirence sahip olan puntalar $Ni_3Al/66V$, $Ni_3Al/112V$, $NiAl/66V$, $NiAl/112V$ olarak tespit edilmiştir. Ni_3Al ve $NiAl$ 158V puntalar 66V ve 112V'lere nazaran daha kolay ve sıyrıлма tarzında kopma gerçekleştirmiştir. FeAl punta çekirdeklerinin UT testini destekler nitelikte küçük olduğu gözlemlenmiştir. Kopmalar kaynak kenarında yırtıkların oluşması ve uzama davranışı göstererek sonlanmasıyla gerçekleşmiştir. Fe_3Al testlerin de ise özellikle 112V ve 158V kaplamalı keplerden atılan puntalar çekirdeklerin sınırları belli olmayacak şekilde yarım kopmalar gerçekleştirmiştir.



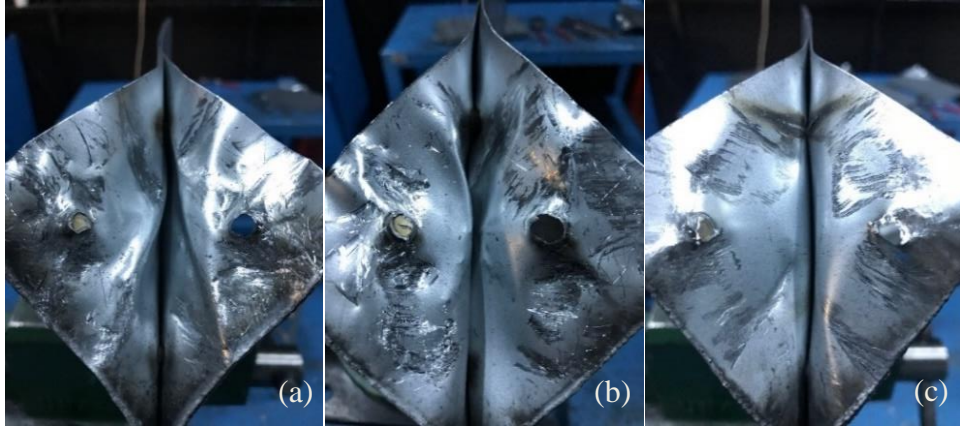
Resim 6.5 Fe_3Al kepler puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Şekil 6.6 FeAl kepler puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Resim 6.7 Ni₃Al kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Resim 6.8 NiAl kep puntalarının tahribatlı test sonuçları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.

6.2 Normal Kep İle Yapılan Kaynakların Analizleri

6.2.1 Mikro Sertlik Sonuçları

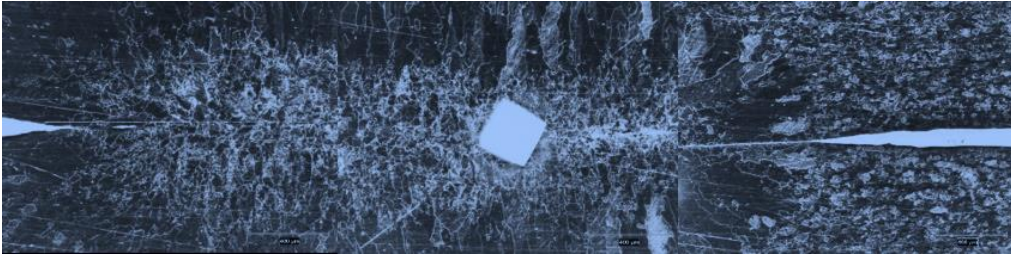
Çizelge 6.1’de görüleceği üzere normal kepler ile uygulanan punta işlemlerinin sertlik değerlerinin ortalaması 149,7 HV gelmektedir. Kaplamalı kepler ile yapılan punta işlemlerinin sertlik değerleri normal keplere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.2 Normal kep kaynak çekirdekleri sertlik değerleri.

Malzeme	Kaplamasız				
	10.	20.	30.	40.	50.
Punta					
Genel Ort.	133,6 HV	149,0 HV	149,6 HV	156,4 HV	160,1

6.2.2 Mikroyapı Analiz Sonuçları

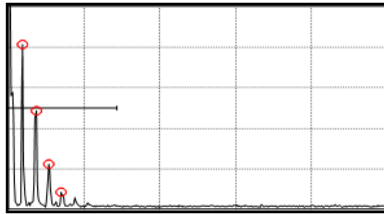
Normal kepler ile uygulanan puntalardan 30. puntanın mikroyapı görüntüsü Resim 6.8’de gösterilmiştir. Kaplanmış keplere göre net bir kaynak çekirdeği gözlemlenmeyen normal kep ile yapılan kaynak mikroyapı görüntüsünde, aşırı çökme ve yanık puntaya sebebiyet veren Rh direnci çizgileri de gözlemlenmemektedir. Net bir kaynak çekirdeği bölgesi olmamakla birlikte daha ince tane yapısına sahip bir bölgenin çekirdeği oluşturduğu gözlemlenmiştir.



Resim 6.9 Normal kep puntasının mikroyapı görüntüleri.

6.2.3 Ultrasonik Test Sonuçları

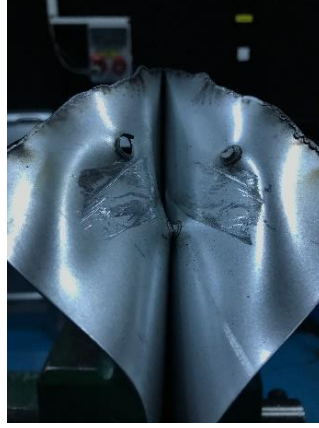
Normal kep puntasının UT sinyalleri Şekil 6.7’de gösterildiği gibidir. Kaplamaları keplere göre sinyal yoğunluğunun daha az olduğu gözlemlenen test grafiğinde, sinyallerin logaritmik, gürültüsüz ve homojen bir çekirdek olduğu tespit edilmiştir. Çökme alt toleransı 1,05mm olan deneylerde, normal kep ile yapılan kaynağında çökme oranı 1,23 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.7 Normal kep puntasının UT grafiği.

6.2.4 Tahribatlı Test Sonuçları

Tahribatlı kopartma testi gerçekleştirilen normal kep puntasının test fotoğrafı Resim 6.9’da gösterilmiştir. Punta çekirdeğinin oluştuğu ve kopma davranışının eksik veya yırtılma olmadan tam punta olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.10 Normal kep puntalarının tahribatlı test sonucu.

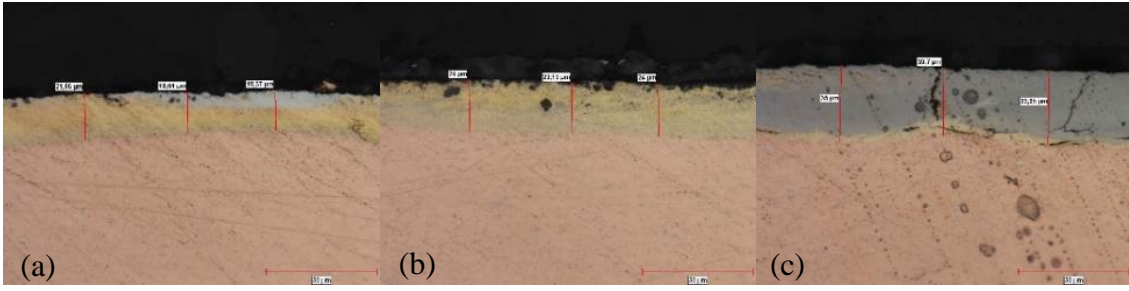
6.3 Kep Analizleri

Resim 6.10,18,12,13 ve 14’te 50 adet punta kaynak işlemi gerçekleştirmiş kaplamalı ve kaplamasız keplerin kesitten X50 büyütmede çekilen mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir.

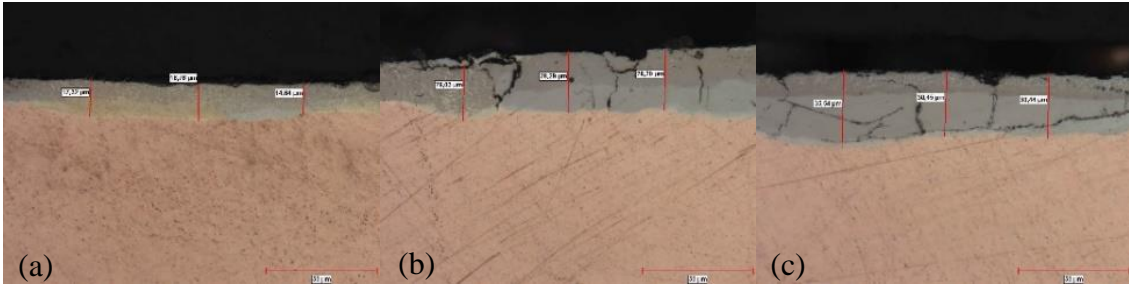
Resimlerden elde edilen kaplama kalınlıklarının ortalama değerleri Şekil 6.8’de grafiğe işlenerek incelenmiştir. Ayrıca kaplama davranışları ve tipolojileri incelenerek kaplamalar arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır.



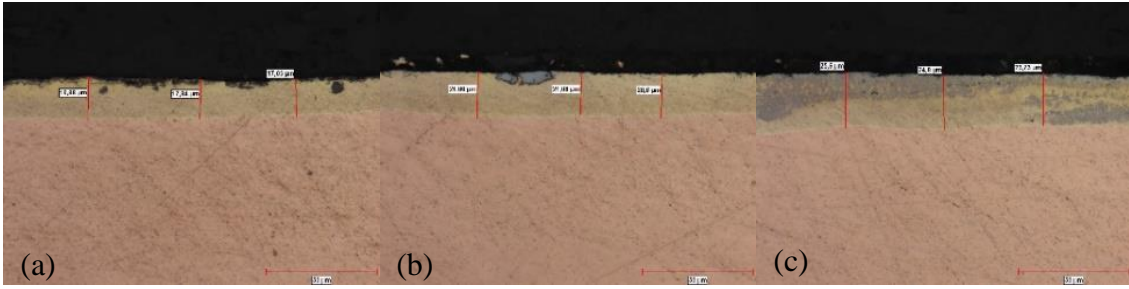
Resim 6.11 Fe₃Al kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



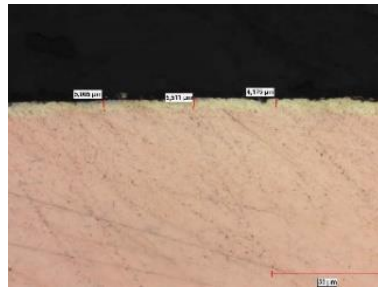
Resim 6.12 FeAl kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



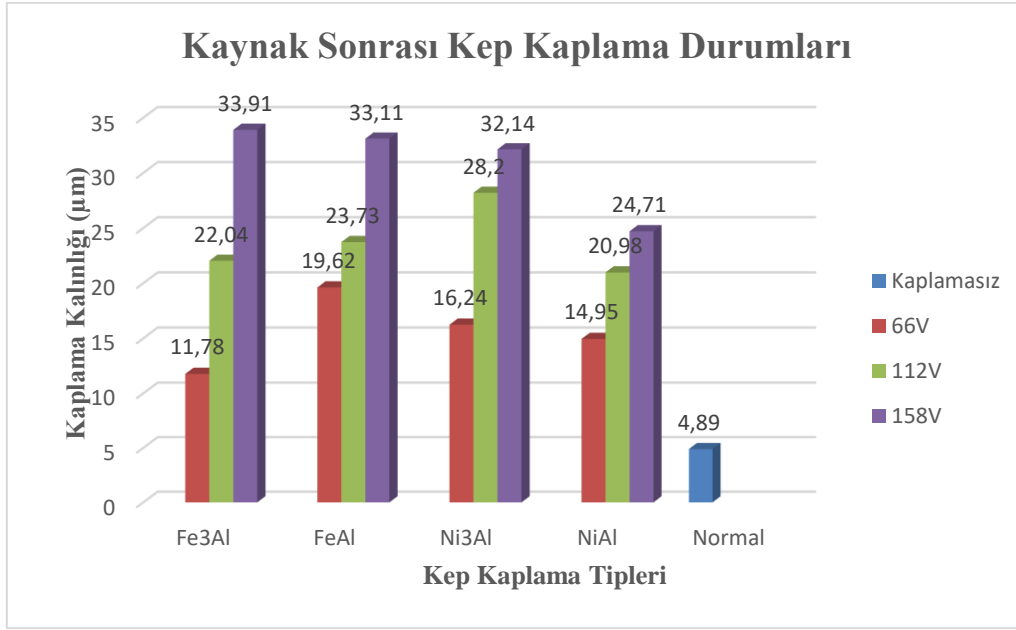
Resim 6.13 Ni₃Al kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Resim 6.14 NiAl kaplanmış keplerin işlem sonrası mikroyapıları; a) 66V, b) 112V, c) 158V.



Resim 6.15 Normal kep işlem sonrası mikroyapısı.



Şekil 6.8 Kaynak işlemi sonrası keş kaplama kalınlığı dağılımı grafiği.

Keplerin kaplamalarının incelemeleri sonucunda, yüksek voltajlarla kaplanan keplerdeki diğerlerine göre daha fazla kalınlıklarda olduğu tespit edilmiştir.

66V ile kaplanan kepler arasında en farklı tipoloji Ni₃Al'de gözlemlenirken, kaplama tabaksının en yüksek değeri FeAl'de ölçülmüştür. 112V ile kaplanan kepler arasında en farklı tipoloji yine Ni₃Al'de görülmüş olup, kaplama da dağılmalar ve mikro çatlaklara rastlanmıştır. Aynı zamanda en yüksek kaplama Ni₃Al'de ölçülmüştür. 158V ile kaplanan kepler arasında FeAl ve Ni₃Al'de bozunmalar ve mikro çatlaklara rastlanmıştır. NiAl hariç diğer kaplamalarda kalınlıklar benzer seviyelerde ölçülmüştür. En dengeli kaplama artışı Fe₃Al ve NiAl kaplamalarında gözlemlenmiştir, kaplama davranışları ve tipoloji olarak da bu iki kaplamada herhangi bir düzensizliğe rastlanmamıştır. Normal kepte ölçülen kalınlık 5µm seviyelerinde ölçülürken herhangi bir mikro çatlakla rastlanmamıştır.

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

İncelemeler neticesinde Ni bazlı intermetalik malzemeler ile kaplanması gerçekleştirilmiş olan kepler ile yapılan kaynak puntalarının mekanik ve nüfuziyet değerleri diğer kaplanmış keplere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Kaplayıcı malzemelerinin punta çekirdek sertliklerini normal keplere göre arttırdığı tespit edilmiştir.

Mikroyapı incelemelerinde kaplanmış keplerin normal keplere göre punta çekirdek oluşumunu arttırdığı bu durumun da sertlik değerlerine etki ettiği anlaşılmıştır. Kaplama gücünün şiddeti arttırıldıkça yanık punta oluşumlarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kaplama gücünün şiddeti arttırıldıkça çökelme oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Demir esaslı intermetaliklerle kaplanan kepler ile yapılan puntaların çekirdek mukavemetlerinin daha düşük ve çekirdek deformasyonlarının yırtılmalar şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

İntermetaliklerin kaynak kabiliyetine etkileri, iyiden kötüye doğru Ni_3Al , $NiAl$, Fe_3Al , $FeAl$ olarak sıralanabilir. Kep uçları incelendiğinde ise iyiden kötüye doğru sıralama $NiAl$, Fe_3Al , $FeAl$ ve Ni_3Al olarak belirlenmiştir. Kaplama voltaj seviyelerinin artması kaynak sonrası kaplama mikroçatlak ve dökümlerini arttırdığını göstermiştir.

8. KAYNAKLAR

- Gerdemeli, İ., Akyol, M. (2001). Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kascak, L., Brezinova, J. (2013). Influence of welding current on the surface quality of joined materials. *Transfer Inovacii*, **27**: 72- 75.
- Anık, S., Vural, M. (2007). Alaşımız Çeliklerin Kabartı (Projeksiyon) Kaynağı. *Mühendis ve Makine*, **48**: 573.
- MEB. (2006). Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi. Motorlu Araçlar Teknolojisi Direnç Kaynağı ve Lehimleme.
- Yılmaz, M., Kaluç, E., Tülbentçi, K. (1993). C45 karbonlu çelik ile HSS 6-5-2 yüksek hız çeliğinin yakma alın kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi. *Science Technolofgy weld join*, 286-288.
- Dorun, E., Pakdik, M., Çam, G., Durgun, İ., Kumru, U.C. (2016). Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları, *Mühendis ve Makine*, **57**: 673.
- Çakır, R. (2006). R1-xR'xFe10Si2 İntermetalik Alaşımının Yapısal ve Magnetik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, Ö. (2004). Ni-Al İntermetalik Malzemeler. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü.
- Korkmaz, K. (2008). Elektrosark Biriktirme Yöntemiyle Mikro Alaşımli Çeliklerin Tungsten Karbür İle Kaplanması, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71097/42987/1.ednkay.pdf>, 03.05.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İbrahim Furkan Açış
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi 1992
Yabancı Dili/ (varsa puan) : Intermediate (B2) İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : (+90) 538 647 1206 / i.furkanacis@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Osmangazi Malcılar Lisesi
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, (2010-2014)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Beyçelik Gestamp Sıcak Şekillendirme Fabrikası, Kalite Uzmanı, (2018- Devam ediyor)