

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN
DC04-HRP6222 ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN HASIRCI

TEZ DANIŞMANI
DR.ÖĞR. ÜYESİ MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK, 2023

10563347

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN
DC04-HRP6222 ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN HASIRCI

TEZ DANIŞMANI
DR.ÖĞR. ÜYESİ MUHAMMED ELİTAŞ

BİLECİK,2023

10563347

BEYAN

“Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DC04-HRP6222 Çeliklerin Mikro yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ”adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	X	DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)		2022-01.BŞEÜ.01-04	
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Yasin HASIRCI

.../.../...

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana yol gösteren, her zaman beni destekleyen ve tezimin planlanmasında, yürütülmesinde, yazılmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışmanım Dr.Öğ.Üyesi Muhammed ELİTAŞ'a,

Tez çalışmam boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen Sayın Kerem ALAGÖZ'e,

Çalışmam boyunca ekipmanlarından yararlandığım ÖZAKTAŞ MAKİNA KALIP çalışanlarına ve Sayın Abdullah AKTAŞ'a,

Tez çalışmasının yapılması ve sonuçlarının elde edilmesinde desteklerinden dolayı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne,

Çalışmalarımda yardımcı olan Gamzegül SAAT, Mustafa ACAR, Atakan TURAN, İlhami KAPLAN ve Şeyma YILDIZGÖRER 'e katkılarından dolayı,

Her zaman yanımda olan ve beni bu günlere getiren annem, dedem, ananem, teyzelerim ve Mustafa DAĞCI'ya,

En yakın dostum ve en değerlim olan kardeşim İsmail Emir DAĞCI'ya,

Sonsuz ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yasin HASIRCI

2023

ÖZET

NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN DC04-HRP6222 ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılmakta olan DC04 ve HRP6222 çelik sacları kullanılarak gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı birleşimler incelenmiştir. Farklı elektrot basıncı ve kaynak akımı ile gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı birleşimlerin mikro yapı özellikleri ve bu özelliklerin sertlik, çekme makaslama gibi mekanik özellikler üzerinde oluşan etkileri için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde nokta direnç kaynaklı numunelerde ITAB ve kaynak metali bölgesi mikro yapısının hızlı soğuma ve ısı girdisi etkenleri neticesinde esas metale göre önemli oranda değiştiğini göstermiştir. Nokta direnç kaynağı işleminden sonra ısı tesiri altındaki ve kaynak metali bölgesi bölgelerinde sertlik artışı meydana gelmiştir. HRP6222 çeliğinin DC04 çeliğine göre sertlik değerinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Elektrot basıncı ve kaynak akımı parametre değerleri artmasıyla, ısı girdisinin artması neticesinde sertlik değerleri, çekirdek çap değerleri ve çekme makaslama yük kapasitesi artmıştır. Çekme makaslama dayanımı özelliklerinin çekirdek boyutu ile doğru orantılı olacak şekilde ilişki olduğu belirlenmiştir. Çekirdek çap değerleri ve çekme makaslama dayanım değerlerinin 2,4 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak akımı parametre değerlerinde en yüksek olduğu HRP6222-HRP6222 birleşim grubunda B6 kaynaklı birleşimlerinde ölçülmüştür. Çekme makaslama testleri boyunca nokta direnç kaynaklı numunelerde ara yüzey, düğme ve tam düğme(yırtırma) tipi kırılmalar meydana gelmiştir. Nokta direnç kaynaklı numunelerin kopmanın başlamış olduğu kırılma bölgelerinde bantlı yüzey ve boşluklu yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir. Kırılma bölgelerinde bantlı yüzeylerin oluşması neticesinde gevrek kırılma, boşluklu yapılarda sünek kırılma olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nokta Direnç Kaynağı, Kırılma, Sertlik, Çekme Makaslama Dayanımı, Mikro yapı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DC04-HRP6222 STEELS JOINED BY RESISTANCE SPOT WELDING METHOD

In this study, point resistance welded joints made using DC04 and HRP6222 steel sheets, which are used in the automotive industry, were examined. Experimental studies have been carried out on the microstructural properties of point resistance welded joints made with different electrode pressures and welding currents and the effects of these properties on mechanical properties such as hardness and tensile shear. As a result of the data obtained from the experimental studies, ITAB and weld metal microstructure in the point resistance welded samples showed that the microstructure of the weld metal changed significantly compared to the base metal as a result of rapid cooling and heat input factors. After spot resistance welding, an increase in hardness occurred in the heat-affected and weld metal regions. It has been determined that the hardness strength value of HRP6222 steel is higher than that of DC04 steel.

As the electrode pressure and welding current parameter values increased, hardness values, core diameter values and tensile shear load capacity increased as a result of the increase in heat input. It has been determined that the tensile shear strength properties are directly proportional to the core size. Core diameter values and tensile shear strength values were measured in B6 welded joints in HRP6222-HRP6222 junction group, where the values of 2,4 kN electrode pressure and 8 kA welding current were the highest. During the tensile shear tests, interface, button and full button (tear) type fractures occurred in the point resistance welded samples. It has been observed that banded surfaces and hollow structures are formed in the fracture regions of the point resistance welded samples, where the rupture has started. As a result of the formation of banded surfaces in the fracture regions, brittle fracture and ductile fracture were determined in the hollow structures.

Keywords: Resistance Spot Welding, Fracture, Hardness, Tensile Shear Strength, Microstructure.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2.ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI	2
2.1. Kaynak Kalitesini Etkileyen Kaynak Değişkenleri.....	5
2.1.1. Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Akımı.....	5
2.1.2. Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Süresi	5
2.1.3. Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Süresi	5
2.1.4. Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Ucu	7
2.1.5. Elektrot Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Geometrisi	8
2.1.6.İş Parçası Malzemesi	8
2.1.7.İş Parçasının Yüzey Durumu	8
2.2. Elektrot Malzemesi ve Boyutları	9
2.3. Elektrik Direnç Kaynaklarında Kaynak Kabiliyeti	10
3.ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ.....	14
3.1.Dikiş Direnç Kaynağı.....	14
3.2.Direnç Alın Kaynağı.....	16
3.3.Kabartılı Nokta Kaynağı	21
3.4.Nokta Direnç Kaynağı	22
3.4.1. Nokta Direnç Kaynağı İşleminde Kullanılan Makineler	27

3.4.2. Nokta Direnç Kaynağı Değişkenleri	31
3.4.2. Nokta Direnç Kaynağında Mikro yapı ve Sertlik İlişkisi	32
3.4.4. Nokta Direnç Kaynağında Soğuma Hızı	33
3.4.5. Nokta Direnç Kaynağında Isı Oluşumu	33
3.4.6. Nokta Direnç Kaynağında Oluşan Dirençler	34
3.4.7. Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Çevrimi.....	37
4.MATERYAL ve YÖNTEM.....	40
4.1.Kullanılan Malzemeler	40
4.1.1.DC04 Çelik Malzeme.....	40
4.1.2.HRP6222 Çelik Malzeme	41
4.2.Numune Ölçüleri	42
4.3. Nokta Direnç Kaynağı İşlemi	43
4.4. Mikro Yapı İnceleme Çalışmaları	46
4.5. Mikro Sertlik Testi.....	48
4.6.Çekme Makaslama Testi ve Kaynak Çekirdek Çap Ölçümü	49
4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	49
5.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	51
5.1. Mikro yapı.....	51
5.2. Mikro Sertlik Sonuçları.....	58
5.3. Çekme Makaslama Dayanımı	76
5.4. Kırılma Tipleri.....	85
6.SONUÇLAR	96
KAYNAKÇA	98

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Elektrot uçları ve özellikleri	7
Tablo 2.2. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları.....	9
Tablo 2.3. 3 mm kalınlığına kadar çeliklerin kaynak kabiliyetleri.....	11
Tablo 2.4. Kaynak kabiliyet faktörü durum tablosu	12
Tablo 2.5. Metallerin fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri	12
Tablo 2.6. Alaşımların fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri.....	13
Tablo 2.7. Direnç kaynak yöntemiyle kaynatılabilen malzemeler	13
Tablo 4.1. DC04 Sacların kimyasal özellikleri.....	40
Tablo 4.2. DC04 Sacların mekanik özellikleri	40
Tablo 4.3. HRP6222 Sacların kimyasal özellikleri	41
Tablo 4.4. HRP6222 Sacların mekanik özellikleri	41
Tablo 4.5. NDK bilgi tablosu	43
Tablo 5.1. DC04-HRP6222 Çeliklerinin çekme makaslama deneyleri sonuçları	76
Tablo 5.2. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları.....	77
Tablo 5.3. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları	77
Tablo 5.4. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları	78
Tablo 5.5. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları	78
Tablo 5.6. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04-HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları.....	79
Tablo 5.7. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04-HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları.....	79

Tablo 5.8. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri.....	83
Tablo 5.9. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri.....	83
Tablo 5.10. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri	83
Tablo 5.11. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri	84
Tablo 5.12. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri.....	84
Tablo 5.13. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri.....	84
Tablo 5.14. NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	86
Tablo 5.15. NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	87
Tablo 5.16. NDK işlemi uygulanan HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	88
Tablo 5.17. NDK işlemi uygulanan HRP6222-çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	89
Tablo 5.18. NDK işlemi uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	90
Tablo 5.19. NDK işlemi uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri.....	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Direnç kaynağı aşamaları.....	2
Şekil 2.2. Elektrik direnç kaynağı sırasında direnç ve sıcaklık oluşumu.....	3
Şekil 2.3. Kaynak çevriminin safhaları	4
Şekil 2.4. Kaynak parametrelerinin akım-süre ve kuvvet olarak uygulanışı	6
Şekil 2.5. Elektrot uç çeşitleri	8
Şekil 3.1. Dikiş Kaynağı yöntemleri.....	15
Şekil 3.2. Alın kaynağı aşamaları	16
Şekil 3.3 Ön ısıtmasız yakma alın kaynağında malzemelerin bağlanması	17
Şekil 3.4. Kaynaklanma işlemi	18
Şekil 3.5. Kaynak makinesine testere lamalarının bağlanması.....	19
Şekil 3.6. Testere lamalarının kaynak ile birleştirilme işlemi.....	20
Şekil 3.7. Kabartılı nokta kaynağı şematik gösterimi	21
Şekil 3.8. Nokta direnç kaynağı şematik gösterimi	23
Şekil 3.9. Kaynak kusurları.....	27
Şekil 3.10. Mekanik nokta direnç kaynak makinesi	28
Şekil 3.11. Pnömatik nokta direnç kaynak makinesi	28
Şekil 3.12. Arabalı elde taşınabilir nokta kaynak makinesi ve kontrol paneli.....	29
Şekil 3.13. Robot kollu nokta direnç kaynak makinesi.....	30
Şekil 3.14. Nokta çapının belirlenmesi	32
Şekil 3.15. Nokta direnç kaynak makinesinde kaynak işleminde oluşan dirençler	35
Şekil 3.16. Elektrot kuvveti ile temas direnci arasındaki etkileşim	36
Şekil 3.17. Nokta direnç kaynağı çevrim aşamaları.....	37
Şekil 3.18. Ön tutma süresi	37
Şekil 3.19. Kaynak süresi.....	38

Şekil 3.20. Kaynak sonrası tutma süresi	38
Şekil 3.21. Ayrılma süresi.....	39
Şekil 4.1. DC04 Sacların mikro yapısı.....	40
Şekil 4.2. HRP6222 Sacların mikro yapısı	41
Şekil 4.3. DC04-HRP6222 Sacların 100 mm kesilmesi	42
Şekil 4.4. DC04-HRP6222 Sacların 30 mm kesilmesi	42
Şekil 4.5. NDK işlemleri sonrasında oluşan kaynaklı numuneleri sembolik çizimi.....	44
Şekil 4.6. A Grubu NDK işlemleri.....	44
Şekil 4.7. B Grubu NDK işlemleri	45
Şekil 4.8. C Grubu NDK işlemleri	45
Şekil 4.9. METKON METACUT-300 Hassas Kesme Cihazı	46
Şekil 4.10. MEKTON FORCİPOL 2V zımparalama ve parlatma cihazı	47
Şekil 4.11. NİKON ECLİPSE LV150N endüstriyel mikroskop.....	47
Şekil 4.12. EMCOTEST DUROSCAN 20 mikro sertlik ölçüm cihazı	48
Şekil 4.13. SHİMADZU AG-IC çekme makaslama test cihazı.....	49
Şekil 4.14. ZEISS / Supra 40 VP taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	50
Şekil 5.1. DC04 çelik malzemenin esas metal bölgesi makro görüntüsü	51
Şekil 5.2. HRP6222 çelik malzemenin esas metal bölgesi makro görüntüsü	51
Şekil 5.3. DC04 çelik malzemenin esas metal-ITAB değişim makro görüntüsü	52
Şekil 5.4. DC04 çelik malzemenin ITAB Bölgesinin makro görüntüsü.....	52
Şekil 5.5. HRP6222 çelik malzemenin Esas Metal-ITAB değişim makro görüntüsü	53
Şekil 5.6. HRP6222 çelik malzemenin ITAB Bölgesinin makro görüntüsü	53
Şekil 5.7. DC04 çelik malzemenin kaynak metali bölgesinin makro görüntüsü	54
Şekil 5.8. HRP6222 çelik malzemenin kaynak metali bölgesinin makro görüntüsü	54
Şekil 5.9. DC04 esas metal bölgesi.....	55
Şekil 5.10. DC04 EM-ITAB bölgesi.....	55

Şekil 5.11. DC04 çelik malzemenin ITAB bölgesi.....	56
Şekil 5.12. HRP6222 esas metal bölgesi	56
Şekil 5.13. HRP6222 EM-ITAB bölgesi	57
Şekil 5.14. HRP6222 çelik malzemenin ITAB bölgesi	57
Şekil 5.15. DC04-HRP622 birleşimlerinin kaynak çizgisi	57
Şekil 5.16. 2,1kN elektrot basıncı ve 6 kA kaynak parametre değerlerinde (A2 Grubu) NDK uygulanan DC04-DC04 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri	92
Şekil 5.17. 2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (A3 Grubu) NDK uygulanan DC04-DC04 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri	92
Şekil 5.18. 2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B1 Grubu) NDK uygulanan HRP6222-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri	93
Şekil 5.19. 2,4 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B4 Grubu) NDK uygulanan HRP6222-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri	93
Şekil 5.20. 2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (C1 Grubu) NDK uygulanan DC04-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri	94
Şekil 5.21. 2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (C3 Grubu) NDK uygulanan DC04-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri	94

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa

Grafik 5.1. DC04 Çeliğinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	58
Grafik 5.2. DC04 Çeliğinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	59
Grafik 5.3. DC04 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	60
Grafik 5.4. DC04 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	61
Grafik 5.5. DC04 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	62
Grafik 5.6. DC04-DC04 (A Grubu)) NDK birleşimlerin mikro sertlik değerleri.....	63
Grafik 5.7. HRP6222 Çeliğinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	64
Grafik 5.8. HRP6222 Çeliğinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	65
Grafik 5.9. HRP6222 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	66
Grafik 5.10. HRP6222 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	67
Grafik 5.11. HRP6222 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	68
Grafik 5.12. HRP6222-HRP6222 (B Grubu)) NDK birleşimlerin mikro sertlik değerleri...	69
Grafik 5.13. DC04-HRP6222 Çeliklerinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	70
Grafik 5.14. DC04-HRP6222 Çeliklerinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	71

Grafik 5.15. DC04-HRP6222 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	72
Grafik 5.16. DC04-HRP6222 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	73
Grafik 5.17. DC04-HRP6222 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri	74
Grafik 5.18. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı DC04 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri	80
Grafik 5.19. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı HRP6222 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri	80
Grafik 5.20. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı DC04-HRP6222 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri.....	81

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

%:Yüzde

°C: Celsius (Santigrat Derece)

mm: Milimetre

cm: Santimetre

m: Metre

sn: Saniye

MPa: Megapascal

kN: Kilonewton

kA: Kiloamper

Ø:Çap

HRP: Hot Rolled Pickled

DKP: Karbon Çelik Maddesi

NDK: Nokta Direnç Kaynağı

ITAB: Isı Tesiri Altındaki Bölge

EM: Esas Metal

KM: Kaynak metali bölgesi

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

1.GİRİŞ

HRP6222 çelikleri derin çekmeye, şekil vermeye ve kaynak yöntemlerine uygun olması sebebiyle otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kaplanabilir özelliği sebebiyle araçların görünür aksamalarında tercih edilmektedir. HRP çelikleri sıcak ve soğuk haddeleme yöntemi ile elde edilmesi sebebiyle mukavemet, tokluk ve sünekliğin istendiği uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Korozyona karşı dayanımları yüksek, kaynak tutma özelliklerinin gelişmiş olmaları sebebiyle başta otomotiv, beyaz eşya ve havalandırma sistemleri gibi birçok endüstride tercih edilmektedirler.

DC04 çelikleri mükemmel çekme ve kaynak performansına sahip çeliklerdir. Basit şekillendirme, bükme ve kaynaklanmaya uygun olmaları sebebiyle otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedirler. Soğuk haddeleme yöntemiyle elde edilen çelikler derin sıvama işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Kaynak yöntemlerine uygunluğunun yanı sıra yüzeylerinin kolayca kaplanabilme özelliklerine sahiptirler. Yüksek mukavemet değerleri, ekstra derin çekme, boyama ve kaplama işlemlerine uygunluğu sebebiyle otomotiv, beyaz eşya ve elektrik endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Nokta direnç kaynağı yöntemi ile birleştirilen malzemeler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Nokta direnç kaynağı, en eski elektrik kaynak proseslerinden olan, birleştirme tekniği olarak sıklıkla tercih edilen, hızlı, sağlam, ekonomik ve basit olması sebebiyle sac malzemeler için o endüstride kullanılan bir prosestir.

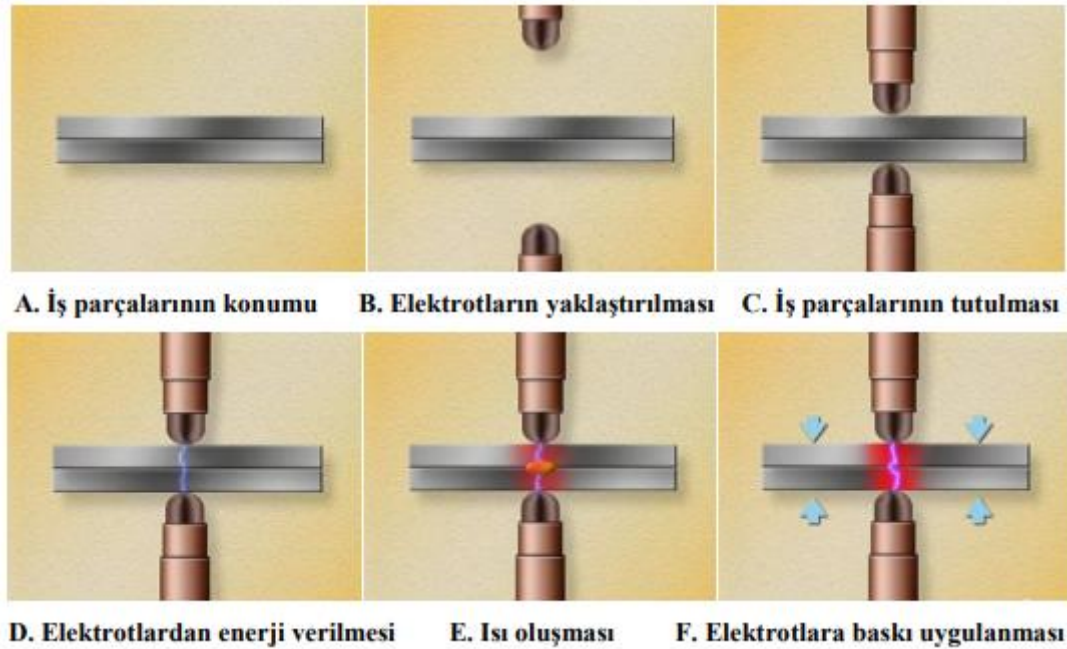
Literatürde DC04-HRP6222 çeliklerinin kaynaklı birleşimleri üzerine çalışma bulunmamıştır. Kaynak akımı, kaynak zamanı gibi parametreler birçok araştırmada incelenmiş olup, elektrot basıncı ise az sayıda araştırmada incelenmiştir. Tez çalışması ile kaynak akım ve elektrot basıncının etkisi de incelenmiştir. DC04-DC04, HRP6222-HRP6222 NDK birleşimlerine ilaveten DC04-HRP6222 NDK birleşimleride gerçekleştirilmiştir. Böylece çeliklerin üstün özelliklerini bir araya getirebilecek ideal kaynak parametreleri de tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda Bu tez çalışmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Elektrik direnç kaynağı 1877 yılında Elihu Thomson tarafından icat edilmesine rağmen I. Dünya Savaşı'na kadar endüstride çok kullanılmadığı görülmüştür. II. Dünya Savaşı'ndan sonra günümüze kadar olan süreçte elektrik devrelerinde ve zaman kontrol cihazlarında gerçekleşen gelişmelerle birlikte elektrik direnç kaynağı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Hıdıroğlu 2022a: 38).

Elektrik akımı ve iletkende oluşması muhtemel elektron hareketine iletken zorluk, direnç ortaya koymaktadır. İletkenin göstermiş olduğu direnç, iletkende bulunan elektron sayısı ile bağlantılı olarak bir ısı enerjisi oluşmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan ısı uygun donanımlar yardımıyla birçok kaynak işleminde kullanılmaktadır.

Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilmekte olan elektrik akımına karşı, metal parçaların göstermiş olduğu dirençten kaynaklanan ısı yardımı ile meydana gelen birleşmelerdir. Metal parçalar kısmi olacak şekilde ergitilerek kaynak için gerekli olan kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşmasıyla birlikte elektrik akımı kesilir. Metal parçalara basınç uygulanır. Basınç altında metal malzemede soğuma işlemi gerçekleştirilir. Soğuma işlemi ile birlikte ayrılmaz türden bir birleşim sağlanır (Zhang ve Senkara, 2006: 235). Şekil 2.1.'de direnç kaynağı aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Direnç kaynağı aşamaları

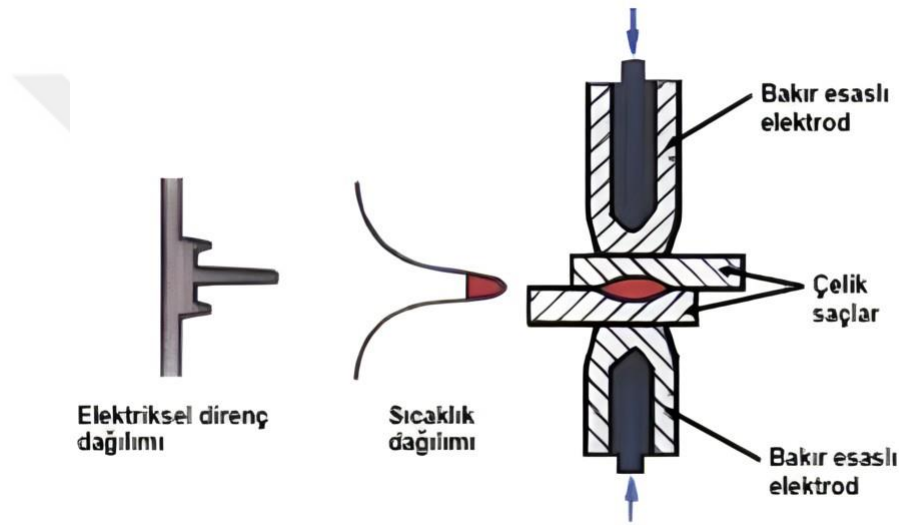
Kaynak: (SERFİÇELİ Y. Saip, 2005: 9)

Elektrik direnç kaynağı üç aşamada uygulanmaktadır.

- Sıkıştırma
- Akım Uygulama
- Basınç

Elektrik direnç kaynağında ark kaynağından farklı olarak koruyucu gaz ve toz, dolgu metali, tüketilmekte olan elektrot gibi unsurlar bulunmamaktadır. Birleştirme parçalarda ergitme ile yapılmaktadır. Bazen ergitmesiz olarakta uygulanabilmektedir.

Şekil 2.2.'de elektrik direnç kaynağı sırasında direnç ve sıcaklık oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Elektrik direnç kaynağı sırasında direnç ve sıcaklık oluşumu

Kaynak: (Aslanlar, 2006: 131)

Elektrik direnç kaynağı için gerekli olan akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren transformatörlerden elde edilmektedir. Gerekli olan basınç ve elektrot kuvveti hidrolik, pnömatik veya mekanik sistemlerden elde edilebilmektedir.

Elektrik direnç kaynağı otomotiv sektöründe, uzay ve uçak teknolojilerinde, hassas cihazların imalatında, çelik yapılarda, çelik eşyaların imalatında, boru üretiminde, makine sektöründe kaynak bağlantılarının hızlı bir şekilde yapılması, az deformasyona sebep olması, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması özellikleri ile yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elektrik direnç kaynağında kaynak işlemi düğme veya pedal yardımıyla makinenin devreye sokulması ve devrenden çıkarılmasıyla hızla gerçekleştirilen işlemdir. Hızlı bir işlem olması sebebiyle ark kaynağı, gaz kaynağı gibi diğer birleştirme yöntemlerine göre karşılaştırıldığında kaynak başına düşen işçilik masrafı daha düşüktür.

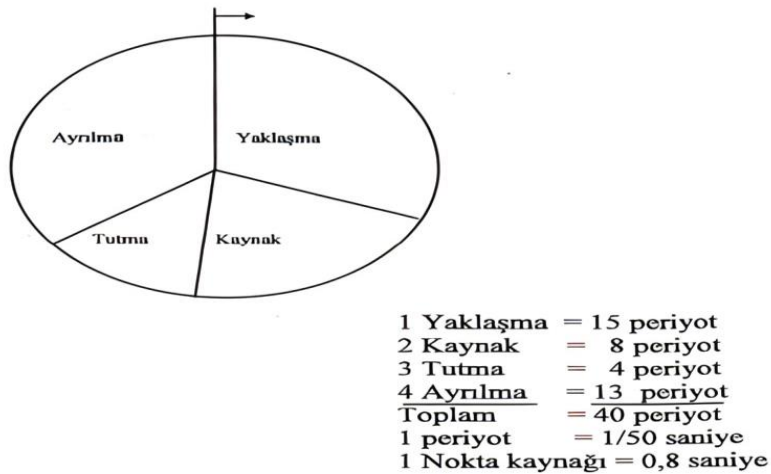
Elektrik direnç kaynak makineleri diğer kaynak yöntemleri için gerekli olan teçhizatın maliyetleri ile kıyaslandığında pahalıdır.

Elektrik direnç kaynağında kaynak çevrimi dört ana zaman diliminden oluşmaktadır. Bunlar;

- Yaklaşma ve sıkma zamanı: Elektrotların birbirlerine yaklaşıp iki sacı sıkması için geçen süredir.
- Kaynak zamanı: Birleştirilen malzemelerin düşük gerilimde yüksek akım şiddetinde uygulanma süresidir.
- Tutma zamanı: Elektrotlar içerisinde su sirkülasyonu sağlanarak kaynak noktasının soğutulması ve bağlantının tam olarak meydana gelmesi için gerekli süre
- Ayrılma zamanı: Oldukça kısa bir süre olup malzemelerin diğer nokta kaynağı için hareket ettirildiği süredir.

Kaynak çevriminde olan bütün zaman dilimlerinin süreleri periyot olarak ifade edilmektedir. Frekansı 50 Hz olan bir elektrik akımında bir periyot 1/50 saniyeye karşı gelmektedir (Akkuş, 2006: 6).

Örnek bir kaynak çevrimi Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kaynak çevriminin safhaları

Kaynak: (Akkuş, 2006: 6)

2.1.Kaynak Kalitesini Etkileyen Kaynak Değişkenleri

Nokta kaynak kalitesini etkileyen etkenler;

- Elektrik nokta direnç kaynağında kaynak akımı
- Elektrik nokta direnç kaynağında elektrot süresi
- Elektrik nokta direnç kaynağında kaynak süresi
- Elektrik nokta direnç kaynağında elektrot ucu
- Elektrot nokta direnç kaynağında elektrot geometrisi
- İş parçasının malzemesi
- İş parçasının yüzeyi

2.1.1.Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Akımı

Kaynak akımı, iş parçası üzerinde ısı enerjisi çıkmasına neden olmaktadır. Üretilen ısı kaynak akımının karesiyle doğru orantılıdır. Yüksek akım düşük dayanıma, kaynak üzerinde büyük krater oluşmasına, metal püskürmesine ve çekirdek bozukluğuna neden olabilmektedir. Elektrotlar kısa sürede aşınabilir. Çok düşük akımda ise kaynak bölge geometrisi limitlerinin altında kalmasına neden olmaktadır (Zhang ve Senkara, 2006: 262).

2.1.2.Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Süresi

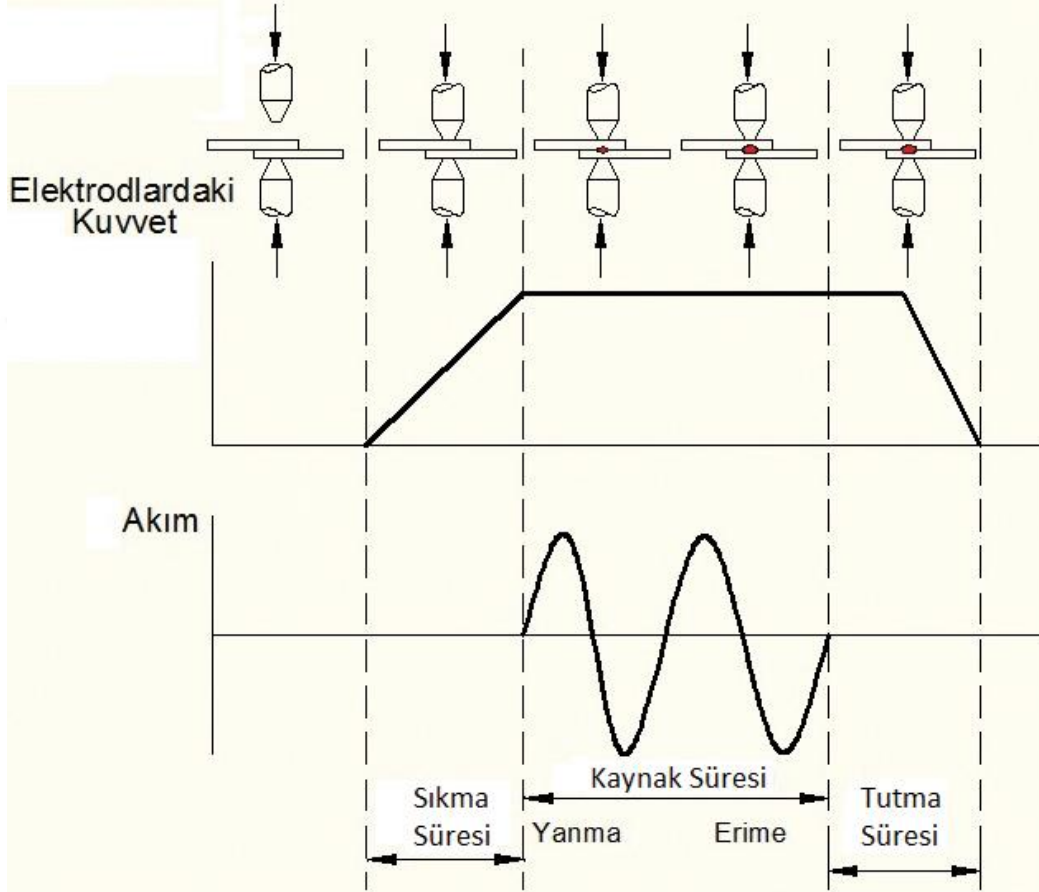
Elektrot kuvvetlerinin amacı sac parçalarını birlikte sıkmaktır. Kaynak kalitesinin iyi olması için büyük elektrot kuvvetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrot kuvveti arttıkça ısı enerjisi azalmaktadır. Yüksek elektrot kuvvetlerinde daha yüksek akım kullanılması gereklidir. Yüksek akımlarda elektrotlar ve sac levhalar arasında sıçramaların oluşmasına ve elektrotların yapışmasına neden olmaktadır. Uygun elektrot değeri 700 kg/cm^2 olmalıdır. Kaynak işlemi esnasında kaynak temas yüzey boyutu artmaktadır. Oluşan şartları sağlamak için elektrot kuvveti kademeli olarak arttırılmalıdır. Elektrot kuvvetinin aynı oranda değişmesi durumunun zor olası sebebiyle, genellikle ortalama bir değer seçilmektedir (Şimşek, 2022a: 7).

2.1.3.Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Süresi

Sıkma süresi, iş parçası üzerlerine kuvvet uygulanması ve ilk akımın uygulanması arasında geçen zamana denmektedir. Elektrot kuvvetinin istenilen düzeye gelmesi için kaynak akımının gecikmesi gerekmektedir. Bu işlemten sonra kaynak süresi ölçülerek ayarlanır. Kaynak süresi uzun sürdüğünde ergiyik metal oranı artar. Yüzey kalitesi bozulmakla beraber malzemenin kristal yapısı da değişmektedir. Elektrotlar kaldırıldığında ısı dağılmaktadır.

Elektrot yüzeyi temas ettiği noktada koyulaşmaktadır. Kaynak işlemi sonrasında, elektrotlar kaynaklanma bölgelerini soğutmak için sac levhalar üzerinde tutulması gereklidir. Tutulma süresi ısının kaynak noktasından elektrotlara yayılması nedeniyle çok uzun olmamalıdır (Şimşek, 2022b: 8).

Kaynak Parametrelerinin akım-süre ve kuvvet olarak uygulanışı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kaynak Parametrelerinin akım-süre ve kuvvet olarak uygulanışı

Kaynak: (Şimşek, 2022b: 8)

2.1.4. Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Ucu

Elektrot olarak kullanılan malzemeler, ısı iletkenliğı, elektrik iletkenliğı ve sürünme dayanımı yüksek olan malzemelerden elde edilmektedirler. Elektrot malzemesinin tavlama sıcaklığı ve sertliğı yüksek olmalıdır. Elektrot uçları sıcaklıkla dayanım ve iletkenlik özelliklerinde bozulma olmaması gereklidir (Gallagher, 2003: 41).

Elektrotlar Tablo 2.1'deki gibi A,B ve C sınıfı olarak gruplandırılmaktadırlar.

Tablo 2.1. Elektrot uçları ve özellikleri

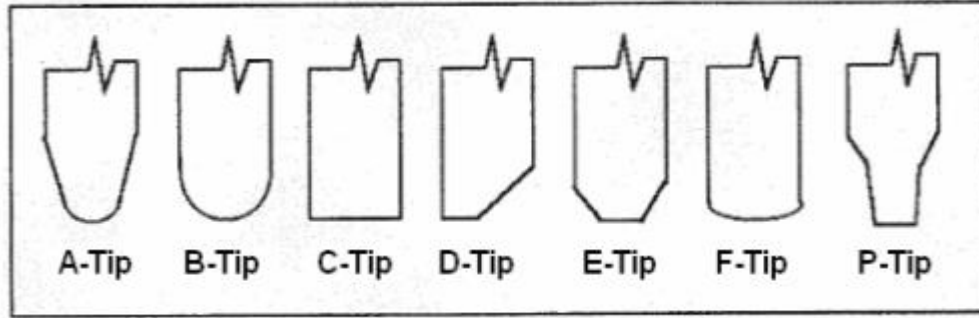
Grup	Klas	Bileşenler	Mekanik Özellikler			Uygulama
			HRB	Elektrik İletkenliğı (%IACS)	Mukavemet (ksi)	
A	1	% 1 Cd	50-65	80	(+) 40-60	Düşük karbon çelikleri
	2	% 0,8 Cr	65-75	70-75	(+) 45-65	Düşük karbon çelikleri
	3	% 0,5 Be % 1 Ni	90	45	(+) 85-100	Düşük karbon çeliklerinin kalın kesimleri
B	10	Cu-W refraktör metalleri	72	35	(-) 135	Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve düşük soğutma proseslerinde kullanılır.
	11		94	28	(-) 160	
	12		98	27	(-) 170	
	13	Alaşımsız W	69 HRA	30	(-) 200	
	14	Alaşımsız Mo	85	30	-	
C	20	% 0,5 - 1,1 Al ₂ O ₃	-	78	-	Galvanizli çelik sac

Kaynak: (Gallagher, 2003: 41)

2.1.5.Elektrot Nokta Direnç Kaynağında Elektrot Geometrisi

Uygulanması istenilen prosese göre uç seçilmesi gereklidir. Örnek olarak belirtilmek istenirse; Kaynak yapılacak parça düzgün yerleştiriliyorsa E tipi elektrot, parça düzgün yerleşmiyor ve kaynak işlemi sırasında gerçekleşmesi beklenen kuvvetin parçaya hasar vermemesi isteniyorsa B tipi uç kullanılmalıdır (Gallagher, 2003: 45).

Elektrot uç çeşitleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Elektrot uç çeşitleri

Kaynak: (Gallagher, 2003: 45)

2.1.6.İş Parçası Malzemesi

Metallerin birleşimleri, özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkilemektedirler. Metallerde elektrik ve ısı iletkenlikler genelde aynı doğrultuda paralel olarak değişmektedir. Yüksek ısı ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metal malzemelerde yüksek akım yoğunluklarda dahi üretilmekte olan çok az ısı çevreye hızla yayılmakta ve erime oluşması için gerekli ısı birikimini engellemektedir. Bu durumdan dolayı kaynak işlemi imkânsız ve zor hale gelmesi muhtemeldir.

2.1.7.İş Parçasının Yüzey Durumu

Kaynaklanması istenilen iş parçasının yüzey durumu temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkilemektedir. Eğer ki yüzeyler temiz ise daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilebilmektedir. İş parçası yüzeyinde oksit, pul, gibi oluşumlar bulunan iş parçası, değişik kalitelere noktaların oluşumuna yol açmaktadır. Ayrıca bu maddeler akımın iletimini zorlaştırmakla beraber elektrotların yüzeylerine yerleşerek elektrot ömrünü azaltmaktadırlar.

2.2.Elektrot Malzemesi ve Boyutları

Nokta direnç kaynağı işlemlerinde parça kalınlığına ve türüne göre doğru elektrot seçiminin yapılması kaynağın kalitesini etkileyen unsurlardan biridir. Herhangi bir uygulama için belirli bir elektrot alaşımı seçilmesi, malzemenin mekanik özelliklerine göre değişen ısı ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleşmektedir (Esendir, 2008: 20).

Tablo 2.2’de direnç kaynağı işleminde kullanılan elektrotların alaşım özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları

Alaşım Cinsi	Brinell Sertliği (kg/mm2)	İletkenlik (% Saf Bakır)	Yumuşama sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı iş parçası
Bakır (Soğuk Çek.)	95	90	150	Alüminyum
Tellür - Bakır	100	90	175	Alüminyum
Kadmiyum - Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom - Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten - Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve Bakır Alaşımları

Kaynak: (Esendir, 2008: 20)

Levha kalınlığı ve malzemeye bağlı olarak elektrot uç çapları Denklem 2.1-2.2 bağıntılara göre hesaplanabilmektedirler.

- Sivri, kubbe, düz, eksantrik ve kesik konik uçlu elektrotlar için;

$$S \leq 3 \text{ mm için } d_e = 5\sqrt{S} \quad (2.1)$$

$$S > 3 \text{ mm için } d_e = 2S + k \quad (2.2)$$

$$S > 7,5 \text{ mm için } k = 2 \text{ veya } S < 7,5 \text{ mm için } k = 3$$

Bağıntıda S mm olarak levhanın kalınlığı, d_e mm olarak elektrot uç çaplarını ifade etmektedir.

- Küresel uçlu elektrotlar için Denklem 2.3 kullanılmaktadır.

r (mm) küresel ucun yarıçapı olmak üzere;

$$r = k_1 \cdot s + k_2 \quad (2.3)$$

k₁, s ve k₂ levha malzemesine bağlı sabitlerdir. Değerleri;

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik saclar için: k₁ = 20 mm, k₂ = 50 mm.

Alüminyum alaşımları için: $k_1 = 60 \text{ mm}$, $k_2 = 20 \text{ mm}$.

Magnezyum alaşımları için: $k_1 = 70 \text{ mm}$, $k_2 = 40 \text{ mm}$. şeklindedir.

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında elektrot temas yüzeyinin iş parçasının yüzeylerine paralel olarak hassas bir şekilde ayarlanması gerekli değildir. Bu sebeple küresel uçlu elektrot üst, elektrotun dairesel hareket yapması suretiyle iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektrot çeşididir. Küresel uçlu elektrot mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrasında daha iyi bir görünüm sağlamaktadır. Soğuma hızları yüksek olan küresel uçlu elektrotlar alüminyum ve alaşımlarının kaynaklarında yoğunlukla kullanılmaktadır.

2.3.Elektrik Direnç Kaynaklarında Kaynak Kabiliyeti

Elektrik direnç kaynaklarında kaynak kabiliyeti kalite ve ekonomiklik açısından istenilen kaynağın yapılabilmesine denmektedir.

Elektrik direnç kaynaklarında, birleştirilecek parça malzemenin cinsine göre elektrik akımının geçişine büyük bir direnç göstermektedir. Ohm kanuna göre ısıya dönüşen elektrik enerjisi aşağıdaki ifade ile belirlenir (Denklem 2.4)

$$N_s = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.4)$$

N_s : Isı enerjisine dönüşen elektrik enerjisi

I : Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti

R : Kaynak yapılan parçanın elektrik direnci

t : Süre

Bağıntı neticesinde elektrik direncinin düşük olması neticesinde kaynak kabiliyetinin düştüğü görülmektedir.

Kimyasal birleşimler kaynak kabiliyetini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Kaynak bağlantısının içyapısını, sertleşmesini, çekirdek oluşumunu, çatlak oluşumunu ve dayanımını etkilemektedirler. Birçok kaynaklanma işleminde karbon eş değeri $C_{eş}$ çeliklerin kaynak kabiliyetlerinin belirlenmesinde etkilidir. Karbon dışında elementlerde malzemenin kaynak kabiliyetini etkilemektedirler. Alaşım elementlerinin ilavesi, malzemenin direnç kaynak kabiliyetinde düşmelere neden olmaktadır. Elektrik ve ısı iletkenlik faktörleri de malzeme direnci ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle kaynak kabiliyetini önemli oranda etkilemektedir.

Çeliklerin yüzey durumları da direnç kabiliyetlerini etkileyen faktörlerden biridir. Kaynaklanmada elektrot-iş parçası ve iş parçası-iş parçası arasında oluşan geçiş dirençleri sıcak hadde sonrasında çelik sacların yüzeylerinde cüruf ve hadde atıklarından etkilenmektedirler. Cüruf ve atıklar elektrot baskı yüzeylerine yapışarak yüzey bozulmalarına neden olmaktadır. Korozyona karşı koruma görevi sağlayan ince yağ, film gibi uygulamalar kaynak kabiliyetini ve elektrot ömrünü azaltmaz (Kahraman ve Gülenç, 2020a: 160).

Çeliklerin yüzey kaplamaları da direnç kaynak kabiliyetlerini etkileyen faktörlerden biridir. Metalik olarak yapılan kaplamalar bakır elektrotların kalınlığının, homojenliğinin, bileşiminin, elektriksel iletkenliğinin kaynak işlemine etkisini arttırmaktadırlar. Elektrot yüzeyinin mekanik kaplama neticesinde alaşımlanması, elektrot dayanımının azalmasına neden olmaktadır.

Çeliklerde sac kalınlıkları direnç kaynak kabiliyetlerini etkilemektedirler. 3 mm kalınlığa kadar sahip olan saclar kaynak kabiliyetine sahiptirler. Aynı kimyasal birleşim özelliklerine ve 3 mm'den kalın sac malzemeler sertleşmeye karşı daha büyük eğilimler göstermektedirler. Tablo 2.3'te 3 mm kalınlığına kadar çeliklerin kaynak kabiliyetleri gösterilmiştir. Eğilim kalın sacların daha yüksek ısı girdisi gerektirmesi sebebiyle ilgilidir. Isı girdisinin neticesinde elektrotların soğuması için daha kısa süre kalması ve bu nedenle de elektrotların ısıyı iyi iletmemesi sonucunda parçanın ısısının düşmesi için daha uzun sürelere ihtiyaç duymaktadır. Sac kalınlığı arttıkça daha yüksek ısı ve mekanik dayanıma sahip elektrotların kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 2.3. 3 mm kalınlığına kadar çeliklerin kaynak kabiliyetleri

NOKTA KAYNAĞI KABİLİYETİ				
Çok Uygun		Uygun	Şartlı Uygun	Uygun Değil
Çelik Malzemeler	Alaşımsız, kaplanmamış çelik band ve saclar	St37	St42 ve St52-3	Plastik kaplı ve laklanmış saclar
		Metalik malzeme ile kaplı çelikler (krom hariç)	Yağlayıcı lak ile kaplı çelikler	Temperlenmiş yay çelikleri
		Feritik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler	Krom kaplı çelikler	Yüzeyi emayelenmiş çelikler
	Yüksek dayanımlı derin çekilmiş çelikler		Kompozitler	
	Östenitik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler		Anorganik metalik olmayan malzeme ile kaplı çelikler	
			Yüksek sıcaklığa dayanıklı feritik çelikler	
			Martenzitik paslanmaz çelikler (C ₂ %0,12)	
			Östenitik yay çelikler	

Kaynak: (Anık, 2000: 120)

Malzemelerin ısı iletkenlikleri, elektrik iletkenlikleri ve erime noktaları göz önüne alınması neticesinde direnç kaynak kabiliyetleri Denklem 2.5 bağıntısı ile ifade edilebilmektedir.

$$S = 10^4 / \alpha \cdot \lambda \cdot t_e \quad (2.5)$$

S :Kaynak kabiliyeti faktörü

α : Elektrik iletkenliği (m / Ω mm²)

λ : Isı iletkenliği (cal /cm sn °C)

t_e : Erime noktası (°C)

Bağıntı ile kaynak kabiliyet faktörünün durumu Tablo 2.4.'deki gibi değerlendirilebilir.

Tablo 2.4. Kaynak kabiliyet faktörü durum tablosu

Kaynak Kabiliyeti Faktörü	Kaynak Kabiliyeti
0.25'e kadar	Kötü
0.25-0.75 arası	Yeterli
0.75-2 arası	İyi
2.0'dan yukarı	Çok İyi

Kaynak: (Anık, 2000: 120)

Metallerin fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri Tablo 2.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Metallerin fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri

Metaller	Elektrik İletkenliği (m/ Ω mm)	Isı iletkenliği (cal/cm.s.°C)	Erime Noktası (°C)	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Alüminyum	36	0,53	659	0,79	İyi
Demir	10	0,16	1530	4,1	Çok iyi
Altın	45	0,74	1063	0,28	Yeterli
Kobalt	11	0,17	1490	3,6	Çok iyi
Bakır	56	0,94	1083	0,18	Kötü
Magnezyum	22	0,41	650	1,7	İyi
Molibden	21	0,33	2620	0,55	Yeterli
Nikel	11	0,21	1453	3	Çok iyi
Platin	9	0,17	1770	3,7	Çok iyi
Gümüş	62	1,1	960	0,15	Kötü
Tantal	6,5	0,13	2850	4,1	Çok iyi
Titan	1,85	0,041	1660	79	Çok iyi
Tungsten	18	0,4	3380	0,41	Yeterli

Kaynak: (Anık, 2000: 122)

Alaşımların fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri Tablo 2.6.'da, direnç kaynak yöntemiyle kaynatılabilen malzemeler 2.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Alaşımların fiziksel özellikleri ve kaynak kabiliyet faktörleri

Alaşımlar	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm)	Isıl iletkenliği (cal/cm.s.°C)	Erime Noktası (°C)	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Karbonlu çelik	6	0,12	1490	9,3	Çok iyi
Östenit-Mg alaş.	3,5	0,05	1420	40	Çok iyi
AlMg3	16	0,28	620	3,6	Çok iyi
AlMg5	20	0,37	625	2,2	Çok iyi
AlMn	16,5	0,28	605	3,6	Çok iyi
AlMgMn	25	0,41	645	1,5	İyi
AlMgCu	22	0,35	630	2,1	Çok iyi
AlMgSi	27,5	0,37	590	1,7	İyi
Çinko alaş.	31	0,42	620	1,2	İyi
Pirinç	17	0,25	400	5,9	Çok iyi
Al. alaş.	12	0,28	925	3,2	Çok iyi
	22	0,37	610	2	İyi

Kaynak: (Anık, 2000: 122)

Çeliklerin 1/3'ü, alüminyumun 2/3'ü ağırlığa sahip en hafif ticari metal olan magnezyum ve magnezyum alaşımları direnç kaynağı ile hızlı, ekonomik ve korozyon tehlikesinden uzak şekilde kaynaklanabilirler. Magnezyum alaşımları çelik, alüminyum ya da diğer metallere direnç kaynağı ile birleştirilemezler. Magnezyum alaşımları kendi aralarında ya da özdeş magnezyum alaşımları ile kaynaklanabilmektedirler. (Anık, 2000: 122)

Tablo 2.7. Direnç kaynak yöntemiyle kaynatılabilen malzemeler

MALZEME	KAYNAK YÖNTEMİ			
	Nokta Direnç	Kabartılı Direnç	Dikiş Direnç	Alın Direnç
Düşük Karbonlu Çelik	A	A	A	A
Yüksek Karbonlu Çelik	B-C	B-C	B	A
Düşük Alaşımlı Çelik	B-C	B-C	B-C	B
Paslanmaz Çelik 18/10	A	B	A	A
Paslanmaz Çelik 17/0	B-C	B-C	B-C	B-C
Çelik Döküm	-	-	-	A
Dökme Demir	D	-	-	C
Bakır	C-D	C	E	A
Pirinç	B	C	B	A
Bronz	A	B	B	A
Nikel ve Alaşımları	B	B	B	B
Alüminyum ve Alaşımları	B	C	B	A
Magnezyum ve Alaşımları	B	C	B-C	
Çinko, Tutya	B	B	B	B
Kurşun	A	-	-	-
Gümüş	D	E	E	B
Altın	B	B	C	A
Platin	A	A	-	A
Molibden	C	-	-	B
Tungsten	C	-	-	B

A- Çok İyi B- İyi C- Orta D- Kötü E- Olanaksız

Kaynak: (Anık, 2000: 124)

3.ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ

Elektrik direnç kaynağında yöntem çeşitleri çoktur. Yöntemlerde temel olarak yüksek bir direnç meydana getirmek ve bu şekilde bağlantı noktalarında ısıyı yoğunlaştırmak hedeflenmektedir. Meydana gelmekte olan direnç; iletkenin öz direncine ve geometrisine bağlıdır. Kaynak işlemi sırasında sınırları belirlenmiş bir akım yolu oluşturularak lokal olarak yüksek bir direnç yaratma yoluna gidilmektedir. Bu yöntem akım yoğunlaştırılması olarak bilinmektedir. Direnç kaynağı yöntemlerinde akımı taşıyan elektrotlar ile birleştirilecek parçalar arasında fiziksel bir temasın olması gerekmektedir. (Kaya, 2010: 27)

Elektrik direnç kaynağının birleştirilecek parçalar arasında oluşturulacak bağ kuvvetlerine, parçaların şekil ve geometrilerine göre;

- Dikiş direnç kaynağı,
- Direnç alın kaynağı,
- Nokta direnç kaynağı,
- Kabartılı nokta kaynağı çeşitleri bulunmaktadır.

3.1.Dikiş Direnç Kaynağı Yöntemi

Dönel elektrotlar yardımıyla uygulanan seri bir nokta kaynağı yöntemidir. Birbirlerinin üzerine konulan parçalar temas eden yüzeylerde elektrik akımı ve bu malzemenin akıma karşı gösterdiği direnç neticesinde oluşan ısı yardımıyla ergitilerek birleştirilmektedir.

Dikiş kaynağında kaynak yapılacak malzemeler, bakır alaşımdan yapılmış disk biçimindeki iki elektrot arasına konularak pnömatik veya hidrolik bir sistemler sıkıştırılır. Bakır disk elektrotlar dönmeye başladıklarında elektrik akımı da verilir. Elektrik akımı ile birlikte kaynak işlemi de yapılmış olmaktadır (Esendir, 2008b: 15).

Disklerin dönme sırasında akım kesilerek dönme işlemi devam edilirse aralıklı dikiş kaynağı yapılmış olmaktadır. Sürekli elektrik akımı kullanılırsa kesintisiz bir kaynak birleşimi sağlanmaktadır. Bu şekilde yapılan kaynaklar sıvı ve gazlar için sızdırmazlık özelliklerine sahiptirler.

Dikiş direnç kaynak yönteminde elektrotların soğutulması merkezi bir dolaşım sistemi veya elektrot üzerine su püskürtülmesi ile yapılmaktadır. Soğutma sıvısı olarak genelde %5 bor yağı karışımı olan su kullanılır (Esendir, 2008b: 15).

Dikiş direnç kaynağı yönteminde amper ayarı kaynatılan malzemenin cinsine, kaynatma hızına, kaynatılan malzemenin kalınlığına ve soğutma suyu olarak kullanılmakta olan sıvının miktarına göre farklılıklar gösterebilmektedirler.

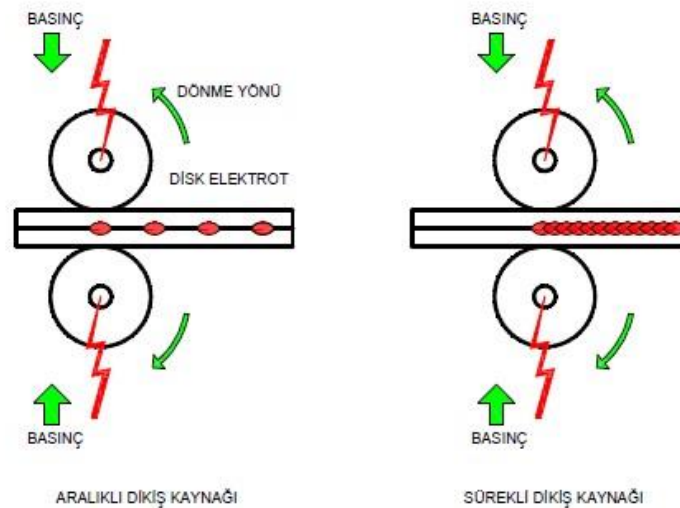
Dikiş kaynakları hem düz ve hem de köşe kaynakları için uygundur. Öncelikli olarak ince kesitli gereçleri kaynaklanması için kullanılır. Fazla kalınlık, fazla kaynak akımı gerektirdiğinden hem güçlü makinelere hem de yüksek enerji giderlerine neden olmaktadır.

Dikiş kaynaklarının gücü;

- Malzeme türü
- Malzeme kalınlığı
- Malzeme uzunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Dikiş kaynağında kullanılan elektrotlar ısıtılmış, bakır alaşımlarından üretilmektedirler. Kullanılan elektrotların çapları 50-600 mm arasında bulunmaktadır. Elektrotların malzemeye temas eden yüzeyin genişliği, kaynatılacak malzemenin kalınlık değerine göre farklılık göstermektedir (Esendir, 2008b: 15).

Dikiş kaynağı depo imalatı, güneş enerji sistemleri, kazan imalatı, kova imalatı, filtre imalatı ve beyaz eşya sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Parçalar birbirine tek parçaymış gibi kaydığı ve seri üretimde kullanılabilmesi nedeniyle otomobil sektöründe tercih edilmektedir. Paslanmaz, DKP, galvaniz ve HRP sacları dikiş kaynağı yöntemi ile birleştirilebilmektedirler. Dikiş kaynağı yöntemleri Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dikiş Kaynağı yöntemleri

Kaynak: (Esendir, 2008b: 16)

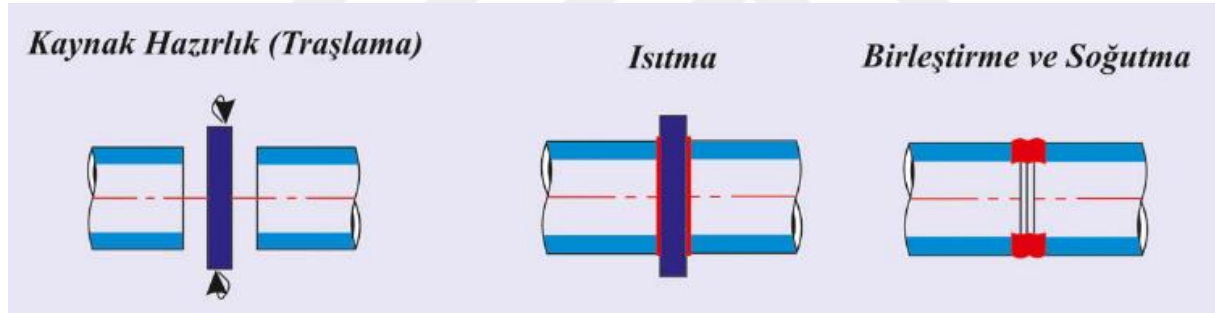
3.2.Direnç Alın Kaynağı Yöntemi

Benzer enine kesite sahip iki bileşenin, yalnızca küçük noktalarda değil, etkilenmekte olan nesnenin tamamında aynı anda gerçekleşerek birleştirildiği kaynak işlemidir

Alın kaynağı işlemi aşamaları;

- Elektrot görevini gören kalıplara iş parçası bağlanır.
- Parçalar kalıplar yardımıyla birbirine yaklaştırılır ve temas etmeleri sağlanır.
- İyi bir iletkenliğe sahip parçalar elektrot yardımıyla parçalara kaynak akımı verilir.
- Kaynak akımı neticesinde parçalar birleşme sıcaklığına getirilir.
- Sıcaklığı yükselmiş olan iş parçaları basınç uygulanmak için birbirlerine bir miktar daha yaklaştırılır ve sökülmecek şekilde kaynaklanırlar.

Kaynak akımı üretici olarak transformatörler kullanılmaktadırlar. İş parçası kalınlıklarına göre değişen akım değerleri değiştirilmelidir. Alın kaynağı operasyon aşamaları Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Zavadski, 2018: 75).



Şekil 3.2 Alın kaynağı aşamaları

Kaynak: (Zavadski, 2018: 75)

Direnç alın kaynağı yöntemi ile birlikte paslanmaz çelik, pirinç, alaşımlı çelikler kaynatılabilmektedir. Kaynak işlemi için elektrotların ısınması gereklidir. Yüksek ısılar için direnç alın kaynak işleminde su soğutmalı elektrotlar kullanılmaktadır. Elektrotların kuvveti hava ya da hidrolik basınç ile ayarlanabilmektedir.

Direnç alın kaynağı yöntemi genel olarak boruların, yuvarlak kesite sahip malzemelerin, kare kesitli malzemelerin ve düz sacların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kaynak yöntemiyle çelik ve alaşımların kaynakları da yapılabilmektedir.

Alın kaynağı yönteminde kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktör iş parçalarının aynı doğrultuda olmasıdır (Fujii vd. 2015: 159).

Alın kaynağı 3 yöntem ile uygulanabilmektedir.

I. Basınçlı Direnç Alın Kaynağı:

Basınçlı direnç kaynağı sade karbonlu çelik, alaşımlı ve karbonlu çelik, bakır, alüminyum, pirinç, hafif metaller ve alaşımlardan oluşan her türlü profildeki tel ve çubuk malzemelere uygulanabilmektedir.

Elektrotlar kaynak işleminde aşınmaya karşı özel olarak dayanıklı bakır alaşımlarından üretilmiştir.

Kaynak işleminde basınç iki paralel kılavuz üzerinde hareket eden plaka ile ayarlanmaktadır (Fujii vd. 2015: 159).

II. Ön Isıtmasız Yakma Alın Kaynağı:

Soğuk yakma alın kaynağı olaraktan bilinmektedir. Kaynak yönteminin en önemli avantajı birleşimi yapılacak olan yüzeyler için özel bir hazırlık işlemine gerek olmamasıdır. Bu etken neticesinde kaynak homojen ve mukavemet dayanımı yüksek birleştirmeler elde edilebilmektedir (Fujii vd. 2015: 159).

Kaynak yönteminde malzemeler düşük basınç altında birbirleriyle temas ettirilmektedirler. Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı yöntemi operasyon basamakları Şekil 3.2. ve Şekil 3.3. gösterilmiştir.

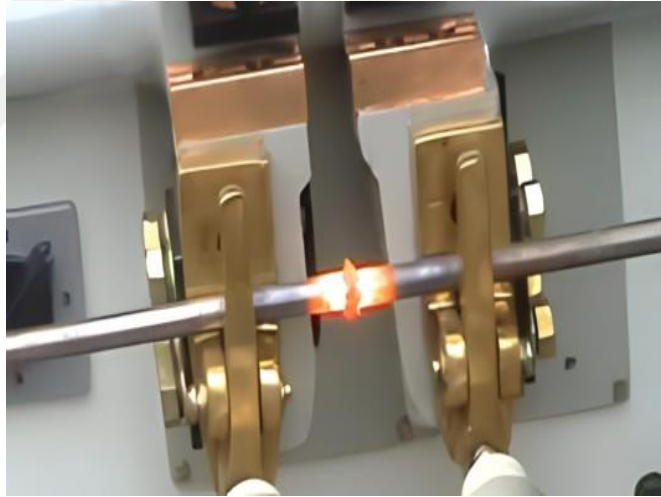


Şekil 3.3. Ön ısıtmasız yakma alın kaynağında malzemelerin bağlanması

Kaynak: (Megep, 2012: 39)

Malzemelerde gerçekleşen temas bir önceki imal yöntemine bağlı olarak pürüzlülük uçlarında oluşmaktadır. Direnç ve yüksek akım şiddeti neticesinde pürüzlülük uçları çok hızlı bir şekilde ısınarak kontak köprüsü meydana gelmektedir. Ergime sıcaklığına gelindikten sonra malzemelerde manyetik alanında etkisi ile birlikte kesit üzerinde malzeme transferi başlamaktadır.

Oluşan yüzey gerilimi neticesinde köprü tabakasında ince bir örtü oluşmaktadır. Metal buharlaşma basıncının yüksek olması ve ergimiş-yanmış metallik parçacıklar alınlarda kıvılcım demetlerini meydana getirmektedirler. Meydana gelen kıvılcım demetleri yanma işlemi süresince devamlılığını korumaktadırlar. Yanma esnasında oluşması muhtemel metal buharlaşması koruyucu bir gaz ile engellenmektedir. Ergiyen yüzeyde oksidasyon oluşmasına engel olmaktadır. Belirli bir yanma işleminden sonra alın yüzeyleri eşit ve yeterli ısıya sahip olmaktadır. Son aşamada yüzeyler hızla, vuruş şeklinde kapatılmaktadır. Kapatılma ile birlikte alınlardan cüruf, yabancı elemanlar ve akışkan malzeme fazlalılığının dışarıya atılması sağlanabilmektedir. Yanma ile oluşan kraterlerden kapanmaktadır.



şekil 3.4. Kaynaklanma işlemi

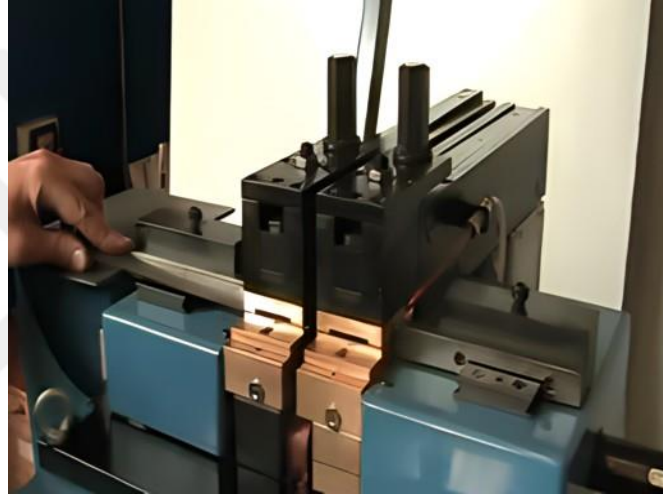
Kaynak: (Megep, 2012: 39)

III. Ön Isıtmalı Yakma Alın Kaynağı:

Yakma alın kaynağı bitişik olan iki alın yüzeylerinin tüm alanlarını kapsayan bir direnç-basınç kaynağı yöntemidir. Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı demirci kaynağının modernleşmiş şeklidir.

Kaynak işleminde kaynaklanması istenilen malzemelerin alın kısımlarının ergime sıcaklığına getirilene kadar ısıtılır. Bu işlem için gerekli olan kaynak ısısı, elektrik akımının aktığı kontak noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanmaktadır.

Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı işlemi uygulanan testere lamasının kaynaklanma işlemi sırasıyla Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kaynak makinesine testere lamalarının bağlanması

Kaynak: (Megep, 2012: 41)

Kaynak yönteminde kaynaklanacak malzemeler aynı kesitte olmalıdırlar. Kaynak ile birleştirilen iki çubuk malzemelerin öncelikle alın kısımlarındaki sıcaklığı yükseltmek ve ergimeyi sağlamak gereklidir. Birleşecek olan alın yüzeyler ergime sıcaklıklarına ulaşır, uç kısımları yeterince tavlandıktan sonra iki parça aksel yönde bastırılarak tavlanmış olan kısımlarda yığma meydana getirilir. Yığma işlemin sonlanması ile birlikte kaynak işlem gerçekleşmiş olmaktadır.

Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı yöntemi ile birleştirilecek malzemeler özel makas tertibatı yardımıyla düz, tam 90° kesilmeli ve çapaksız olmalıdırlar. Kaynak işleminde kaynak akımı, yığma basıncı ve yığma yolu, levha genişliğine göre ayarlanır. Levha uçları, sıkı olacak şekilde makine üzerinde bulunan özel ve çabuk sıkımları mengenalere bağlanırlar. Kaynak kolu hareket ettirilerek kaynak işlemi başlatılır. İki uç birkaç saniye içerisinde kor hale getirilir ve sonrasında otomatik olarak birleştirilirler. Kaynak akımı otomatik olarak kapatılır. Malzemeler sökülür ve kaynak işlemi tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 3.6. Testere lamalarının kaynak ile birleştirilme işlemi

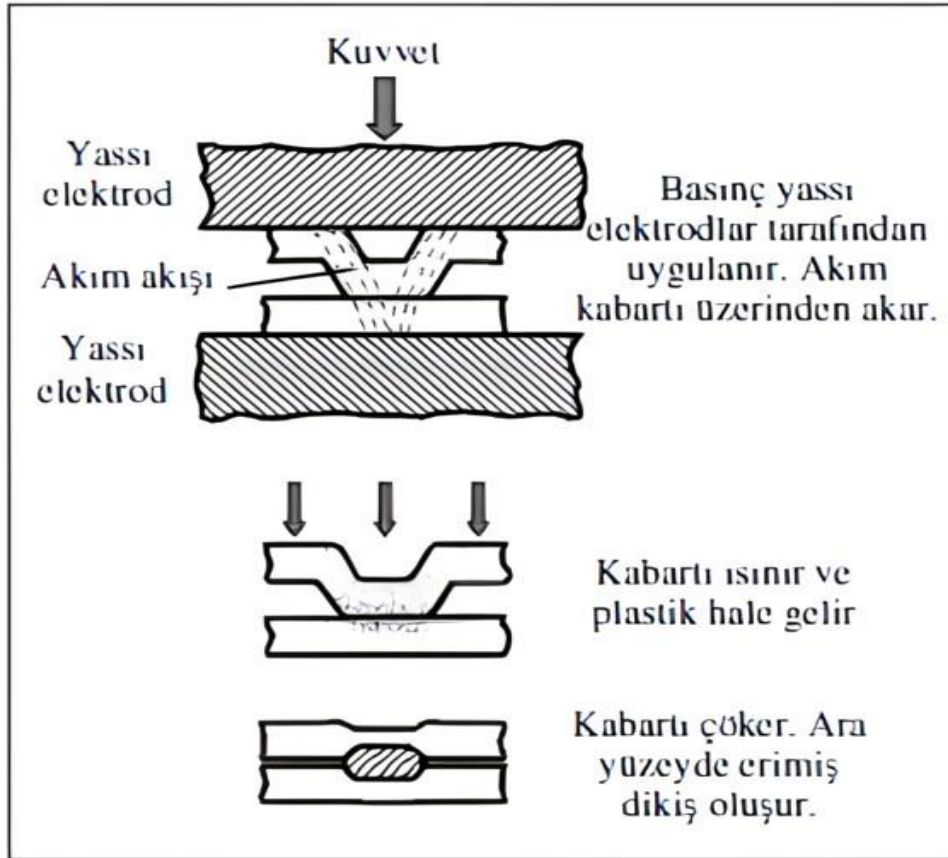
Kaynak: (Megep, 2012: 42)

Direnç alın kaynak yöntemleri genel olarak boruların, yuvarlak kesitli malzemelerin, kare kesitli malzemelerin ve düz sacların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kaynak yöntemi ile çelik ve alaşımların kaynakları yapılabilmektedir.

Kaynak yöntemi işleminde kaynak yapılacak malzemelerin doğru şekilde kaynatılması için en önemli faktör, malzemelerin aynı doğrultuda olmasıdır. Aynı doğrultuda olmayan malzemelerde eksenel kaçıklıklar oluşur. Eksenel kaçıklıkların oluşması kalite kaynağının düşmesine neden olmaktadır (Fujii vd. 2015: 159).

3.3.Kabartılı Nokta Kaynağı Yöntemi

Direnç nokta ve dikiş kaynağı yöntemlerinde ara yüzeydeki akım yoğunlaşması elektrotları şekillendirilerek yapılmakta veya temas halinde bulunan yüzey alanının sınırlandırılması ile gerçekleştirilir. Kabartılı nokta kaynak yönteminde, kaynağın konumu, saclardan birinin yüzeyinde yükselmekte olan bir kabartı yoluyla belirlenmelidir. Kabartı kaynağı yapılacak olan malzemeler sadece kabartının bulunduğu noktadan birbirlerine temas etmektedirler. Kabartı noktasından geçmekte olan elektrik akımı kabartı üzerinde yoğunlaşır ve kabartı hızla ısınır. Kabartı ısının etkisiyle plastik duruma gelmeye başlar ve sonuç olarak ergidiğinden çöker. Çökme neticesinde iki malzeme arasında erimiş bir bölge oluşur. Elektrik akımı kesilir. Basınç devam ettirilmek suretiyle kaynaklanma işlemi yapılır (Gülenç, 2000: 3). Kabartılı nokta kaynağı işlemi Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kabartılı nokta kaynağı şematik gösterimi

Kaynak: (Gülenç, 2000: 3)

Kabartılı nokta kaynak makineleri, temel olarak nokta kaynak makineleri ile aynıdır. Ancak kabartılı nokta kaynak yönteminde nokta kaynağında kullanılmakta olan elektrot tipleri yerine eşit olarak basınç uygulayabilen yassı elektrotlar kullanılmaktadır. Kaynak yöntemi sac yapılar küçük bağlantı elemanlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır.

Özellikle otomotiv sektöründe, sabit olarak konumlandırılan somunların şaseye bağlanmasında, ev aletlerinin vida bağlantılarında, büro mobilyalarında, dişli saplamalar vb. pek çok alanlarda kullanımı görülmektedir.

Genel olarak seri üretim işlemlerinde kullanılması neticesinde elektrotlardan geçen akımın oluşturmakta olduğu dirençten dolayı elektrotta ısınma oluşmaktadır. Elektrot ısısının artması neticesinde kaynak olumsuz yönde etkilenecektir. Bu durumun yaşanmaması için soğutma işlemi yapılması gereklidir. Soğutma işlemi için kaynak makinelerinde soğutma sistemleri kullanılır.

Soğutma sistemlerinde soğutma sıvısı olarak su kullanılır. Su kullanılan soğutma sistemi makine içerisine yerleştirilir.

Kullanıma bağlı olarak kaynak elektrotları zaman içerisinde aşınmaktadırlar. Aşınma neticesinde elektrotların ucu bozularak akım ve basıncın azalmasına neden olmaktadır. Akım ve basıncın az olması sonucunda kaynak kalitesinde düşüş meydana gelmektedir. Bu durumun önüne geçmek için elektrot uçlarının bakımlarının yapılması gereklidir. Bakım işlemi eğe, zımpara vb. araçlarla yapılarak bozulan uca yeniden eski formunun kazandırılması ve akım geçişini engelleyen unsurların ortadan kaldırılması sağlanmaktadır.

3.4.Nokta Direnç Kaynağı

Nokta direnç kaynağı öncelikli olarak iki ya da daha fazla metal levhanın birbirine kaynaklanması için kullanılan direnç kaynağı işlemlerinden biridir. Nokta direnç kaynağı işleminde sırasıyla;

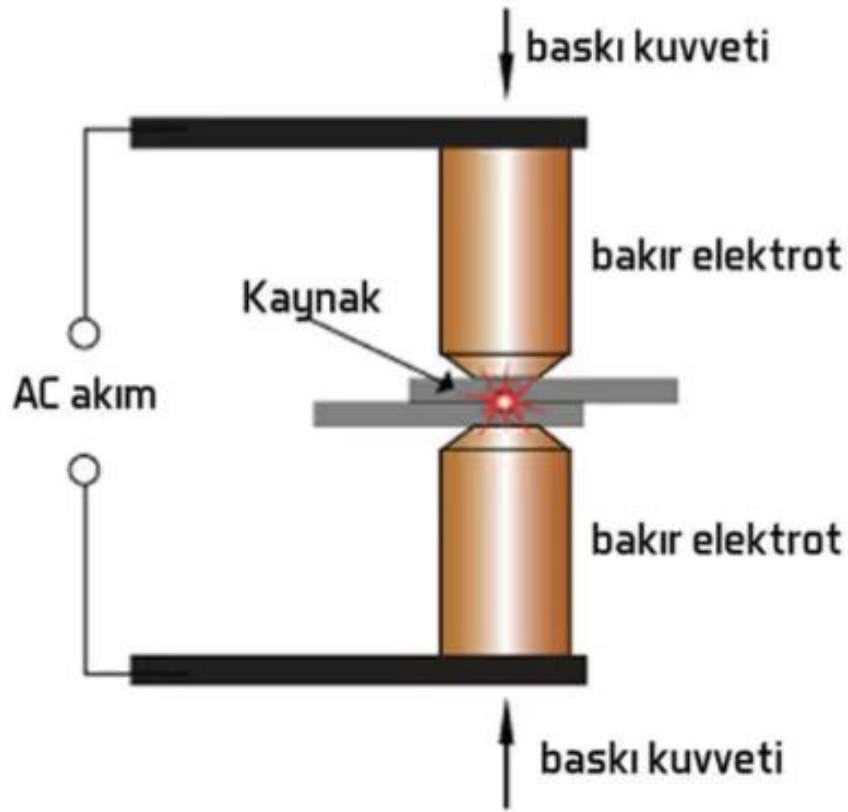
- I. Kaynak işleminden önce elektrot uçlarının bakımları yapılmalıdır.
- II. Malzemeler kaynak işlemine hazır hale getirilerek elektrotların arasına uygun şekilde yerleştirilir.
- III. Elektrotlar malzemelere doğru yaklaştırılır ve sıkıştırılırlar. Malzemelerin birbirlerine temas etmeleri sağlanır.

IV. Sıkıştırma işlemi sırasında malzemelere uygulanan basınç, arttırılarak elektrik akımının geçişi otomatik olarak başlatılır. Malzeme türü ve kalınlığına göre ayarlanmakta olan amper ve zaman dâhilinde akım geçişi malzemeyi ısıtır. Bu süre genelde 1 saniyeden azdır.

V. Elektrotlar malzemelere baskı yaptığı noktada ara yüzeylerde ergime oluşur. Zamana bağlı olarak geçen akım, otomatik olarak kapanarak ergiyik üzerinde oluşan baskı kaldırılmadan soğumaya bırakılır. Bu süre birkaç saniyedir.

VI. Elektrotlara uygulanmakta olan basınç kaldırılarak elektrotların birbirleri üzerinden uzaklaşması sağlanır. Bu süreçte kaynaklanma işlemi gerçekleşmiş olur.

Şekil 3.8’de nokta direnç kaynağı yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Nokta direnç kaynağı şematik gösterimi

Kaynak: (Şimşek, 2022a: 6)

Nokta direnç kaynağı, elektriği ileten sac ve tel örgü malzemeleri birleştirme işleminde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle tipik olarak ince metallerin kaynaklanmasında sıklıkla görülmesine rağmen 25 mm üzerindeki kalınlıklar yalnızca özel ağır hizmet donanım ile mümkün olmaktadır. Özellikle nokta direnç kaynağı ince kalınlıklarda perçin konstrüksiyonunun yerini aldığı gözlemlenmiştir

Nokta direnç kaynağı düşük karbonlu çelikler, galvaniz kaplı (çinko kaplı) çelikler, alüminyum, bakır ve alaşımlarının kaynaklanmasında da kullanılabilir.

Kaynak işlemi otomobil endüstrisinde kullanılan popüler kaynak yöntemlerinden birisidir. Otomobil endüstrisi ile birlikte havacılık, demiryolu, imalat, elektronik, inşaat endüstrilerinde kullanılmaktadır

Nokta direnç kaynağı işleminin avantajları;

- Kaynak işleminin verimli olması,
- Kolay uygulanabilmesi,
- Uzun ömürlü kullanılması,
- Zaman tasarrufu sağlaması,
- Deforme olasılığının düşük olması,
- Kaynak akımının verimli kullanılabilmesi,
- İnce metallerde yakmaya maruz kalmadan uygun kaynak mukavemeti

sonuçlarının elde edilmesi şeklindedir.

Nokta direnç kaynağı işleminin dezavantajları;

- Kaynak metali bölgesi ve etrafındaki malzemeyi sertleştirmesi sonucunda çatlak oluşma olasılığı,
 - Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileme ihtimali,
 - Küçük voltajlar vermesi nedeniyle herhangi bir dalgalanmanın kaynak kalitesini etkilemesi,
 - Malzeme cinsine ve kalınlığına bağlı olarak sık sık onarım ihtiyacının bulunması
- şeklindedir (Karaköse, 2022: 25).

Nokta direnç kaynağı işleminde kaynak yöntemlerinde olduğu gibi malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak akımının seçimi, elektrot şekli ve özellikleri, akım süresi, malzemeye uygulanan basınç süresi etkenleri mevcuttur. Etkenler arasında bulunan kaynak akımı seçimi, kademeli olarak makine üzerinde bulunan anahtar aracılığıyla yapılabilmektedir. Malzemeye uygulanacak basınç oldukça düşük olmalıdır. Gereğinden düşük basınç uygulanması neticesinde kaynak alanında koyu renk bir tabaka oluşmaktadır. Basınç fazla olması durumunda kaynak alanında yanma ve kıvılcımların fazlalaşması meydana gelmektedir.

Nokta direnç kaynağı işleminin gerçekleşmesinde temizlik ön plandadır. Hem malzemenin hem de elektrot temizliği yapılmalıdır. Yabancı maddeler, oksit tabakası, yağ, kir vb. etkenler kaynak alanına akımının iletilmesini zorlaştıracığından hazırlık aşamasında temizlik yapılarak olumsuzluklardan arındırılması gerekmektedir.

Elektrotlarda karşılaşılan sorunlardan birisi uç biçimlerinin bozulmasıdır. Normal şartlarda hareketli üst elektrot ile sabit elektrot birbirlerini hizalaması gerekmektedir. Kaynak işleminde açığa çıkan sıcaklıklar elektrotların etkilenmesine neden olmaktadır. Yanlara doğru elektrotlar genişlemeye ve uç biçimlerinde bozulmalar görülmektedir.

Elektrotların sıcaktan etkilenmelerini önlemek için nokta kaynak makinelerinde soğutma suyu ile sağlanan sistemler bulunmaktadır. Elektrotlar kullanma süreleriyle bağlantılı olarak aşınmaktadırlar. Aşınan elektrotların kullanılmaya devam edilmesi, kaynak başarısını olumsuz yönde etkilemektedirler.

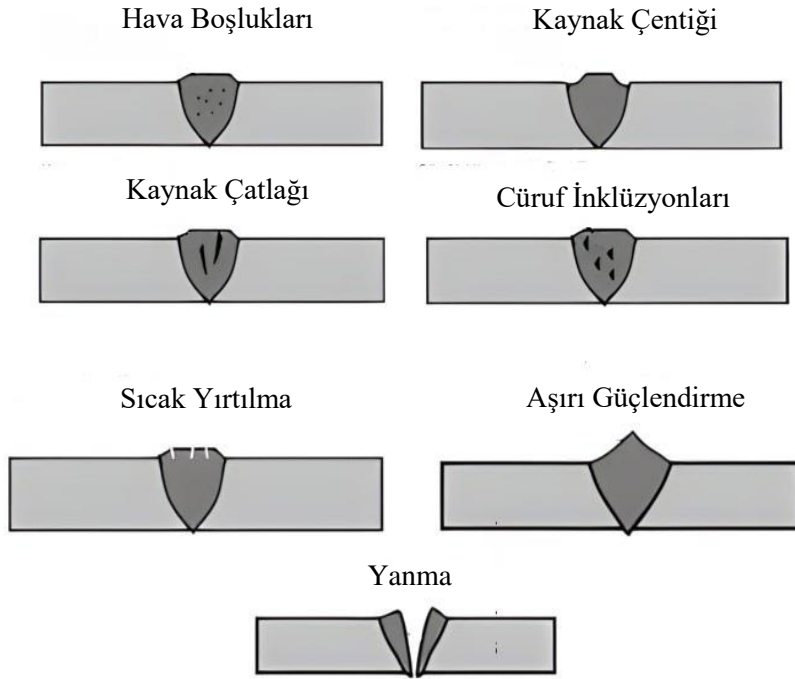
Kaynak alanında dar tutulması gereken bölge, elektrot uçlarının baskı yüzeylerinin genişlemesi ile doğru orantılı olarak büyümektedir. Kaynak başlangıcında elektrotların uç biçimlerinde deformasyon olup olmadığı gözden geçirilmelidir. Gerekli ise eğe ya da zımpara gibi talaş kaldıran araçlar ile düzeltme işlemi yapılmalıdır.

Nokta direnç kaynak işleminde kullanılan makinelerde elektrotlar değiştirilerek çeşitli malzemelere kaynak işlemi yapılabilmektedir. Elektrot ölçüleri ve akım değerleri değiştirilmesi neticesinde aynı makine ile farklı kalınlıklarda olan malzemelerin kaynak işlemi yapılabilmektedir.

Nokta direnç kaynağında oluşan kaynak kusurları kaynak kalitesini ters yönde etkilemektedir. Kaynak kalitesini etkileyen kaynak kusurları;

- Gözenek yapı ve hava deliği: Kaynak işlemi yapılması sırasında sıkışmış gazlar nedeniyle oluşmaktadır.
- Kaynak çentiği: Kaynaklı bölgede esas metalin kesit kalınlığını azaltmakta olan oluklara denmektedir. Kaynak çentiği neticesinde kaynak ve iş parçası zayıflamaktadır.
- Kaynak çatlağı: Kaynak kusurları arasında en tehlikeli olan kaynak kusurudur. Kaynak işlemi yapılmış metallerde ortaya çıkan gerilmeler neticesinde ortaya çıkmaktadır. Sıcak kaynak çatlağı oluşması kaynak dikişinde, soğuk kaynak çatlağı ısı tesiri altındaki bölgede meydana gelmektedir.
- Tamamlanmamış füzyon: Metal ve kaynak arasında uygun füzyon eksikliği nedeniyle ortaya çıkan kusurdur. Bu durum neticesinde, eklemin içinde erimiş metal ile doldurulamayan bir boşluk oluşmaktadır.
- Cüruf inklüzyonları: Malzemelerde veya kaynak ara yüzeylerinde kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan ve metal olmayan partiküllerdir.
- Kaynak sıçraması: Kaynak işlemi sırasında arktan çıkan ve uzunluğu boyunca kaynak dikişinde esas metalin üzerinde birikmekte olan küçük metal parçacıklardır.
- Sıcak yırtılma: Kaynak işlemi sonrasında katılma sürecinde meydana gelen kusurdur. Kaynak kesitinin farklı soğuma hızlarına sahip olması kaynak yırtılmasına en önemli etkidir.
- Mekanik hasar: Kaynak işlemi sırasında oluşan hasarın esas metal ya da kaynağın yüzeyinde oluşturduğu girinti neticesinde oluşan kusurdur.
- Yanlış hizalama: Kaynak işlemi esnasında malzemelerin ve elektrotların doğru şekilde yerleştirilememesi nedeniyle meydana gelen kusurdur. Kaynak işlemi yanlış bir şekilde gerçekleşmektedir.
- Aşırı güçlendirme: Kaynak bağlantısında çok fazla dolgu malzemesinin kullanılması neticesinde meydana gelen kusurdur.
- Yanma: Kaynak işleminde iş parçaları arasında boşluk kalması veya kaynak parametrelerinin olması gerekenden yüksek olup iş parçalarında fazla ısının ortaya çıkması ile oluşan kusurdur (Ľavodová, 2020: 816).

Kaynak kusurlarının geometrik olarak Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kaynak kusurları

Kaynak : (Ťavodová, 2020: 816)

3.4.1.Nokta Direnç Kaynağı İşleminde Kullanılan Makineler

▪ Mekanik Nokta Direnç Kaynak Makinesi:

Akım ve zaman ayarlarını kontrol eden mekanik hareketli elektrotlar bulunan makinelerdir. Soğutma işlemi hava veya su soğutma kanalları ile yapılmaktadır. Özel alaşımlı elektrotlar sayesinde kaynak kapasiteleri 5+5 mm kalınlığa kadar uygulanabilmektedir.

Çelik, kaplamalı çelikler ve paslanmaz çeliklerin kaynaklanma işleminde kullanılabilmektedir.

Mekanik nokta direnç kaynak makineleri çelik konstrüksiyon, havalandırma sanayinde, otomotiv yedek parça, beyaz eşya, çelik eşya üretiminde kullanılmaktadırlar.

Mekanik nokta direnç kaynağı makinesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Mekanik nokta direnç kaynak makinesi

Kaynak: (Megep, 2012: 21)

▪ Pnömatik Nokta Direnç Kaynak Makinesi:

Mekanik nokta direnç kaynak makinesinden farklı olarak pnömatik ayak pedalı bulunan makinedir. Soğutma işlemleri su soğutma kanalları ile yapılmaktadır. Kaynak kapasiteleri 5+5mm kalınlığa kadar uygulanabilmektedir. Otomotiv sektörü, beyaz eşya, çelik eşya, Pazar arabası, pano, havalandırma kanalları, asansör, aydınlatma (avize), soba kovaları, soba boruları, mangal, tel ızgara, sepet, kafes, raf standı, ütü masası, doğalgaz kelepçesi, cıvata somun gibi özel imalatlarda kullanılan çok yönlü makinalardır. Şekil 3.11.'de pnömatik nokta direnç kaynak makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Pnömatik nokta direnç kaynak makinesi

Kaynak: (Megep, 2012: 21)

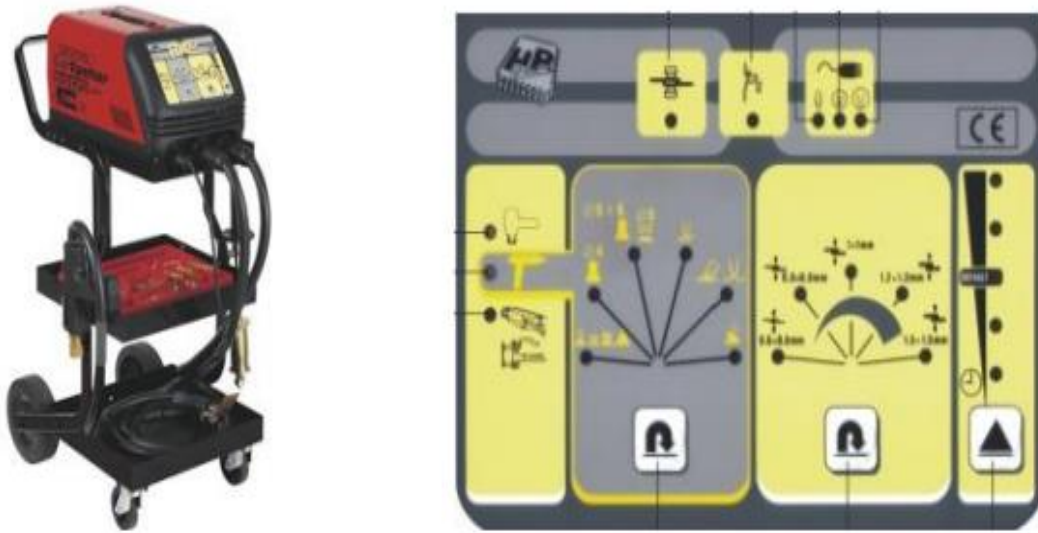
▪ Elde Taşınabilir Nokta Direnç Kaynak Makinesi:

Elde taşınabilir olan kaynak makineleri akım sabitliği ve kararlılığı ile bölgesel ısıtma özellikleri neticesinde 1+1 mm'ye kadar kalınlığa kadar kaynak işlemi yapılabilir.

Makineye takılan kaynak tabancası ve donanımlar ile ayar hatasının yapılması önlenmektedir.

Çelik, kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik malzemelerin kaynak işlemlerinde elde taşınabilir nokta direnç kaynak makinesi kullanılabilir. Karoser üretimi, onarımı ve donanımlar ile birlikte saplama kaynağı işleminde rol alabilmektedirler.

Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Arabalı elde taşınabilir nokta kaynak makinesi ve kontrol paneli

Kaynak: (Megep, 2012:19)

- Robot Kollu Nokta Direnç Kaynak Makinesi:

Üretim alanlarında en çok kullanılan kaynak makineleridir. Elde taşınabilir nokta kaynak makinelerinin ulaşamadığı noktalarda robot kollu nokta direnç kaynak makineleri daha karmaşık işlemleri yapabilmektedirler. Makinelerde bulunan kollar yaklaşık olarak 100 kg yükü 1.8-2.4 m'ye ulaştırabilmektedirler.

Başta otomotiv sektöründe kullanılmakta olan robot kollu nokta direnç makineleri kaynak işlemini otomatikleştirmek, hızlı, kolay ve mükemmel bir ekonomik çözüm sunmaktadırlar.

Gemi, uçak imalatlarının kaynak işlemlerinde robot kollu nokta direnç makineleri kullanılmaktadır. Şekil 3.13.'de robot kollu nokta direnç kaynak makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Robot kollu nokta direnç kaynak makinesi

Kaynak: (Megep, 2012: 20)

3.4.2.Nokta Direnç Kaynağı Değişkenleri

Nokta direnç kaynağı işlemi yapılırken ayarlanan işlem parametreleri;

- Elektrot basıncı
- Kaynak akımı
- Akımın uygulandığı zaman
- Soğutma süresi şeklindedir.

Elektrotlar aracılığı ile uygulanan basınç malzemeleri birbirlerine kenetler. Basınç elektrotlar ve levhalar arasındaki temas direncini de belirlemektedir. Düşük elektrot kuvveti neticesinde malzeme tabakaları arasında olan temasta azalmaya neden olmakla beraber temas direnci yüksek olacaktır. Elektrot kuvvetinin artırılması ile temas direnci azalmaktadır. Basınç düşük ise kaynak tamamen oluşmadan önce ergimiş malzeme dışarı atılacaktır. Basınç yüksek ise, malzeme yumuşadıkça sac malzemede girinti oluşacaktır.

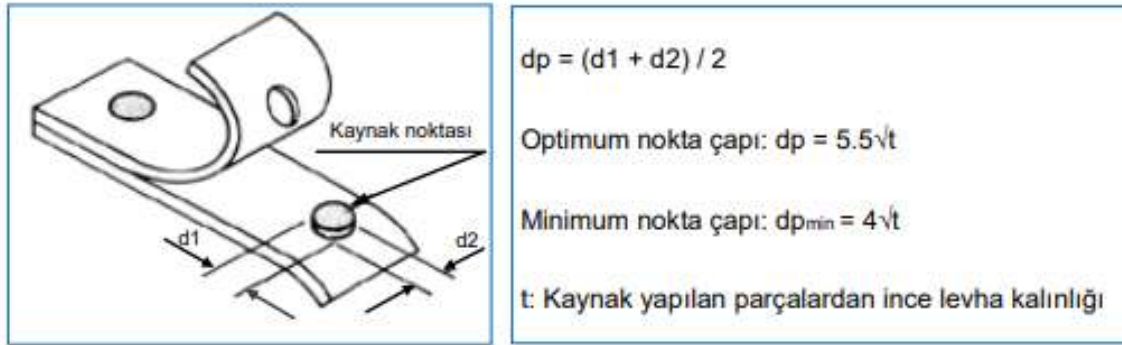
Elektrik nokta direnç kaynağı işleminde kaynak kalitesini de etkileyen değişkenler mevcuttur.

Bu değişkenler;

- Elektrot bileşimi ve şeklinin ısınma üzerine etkisi
- Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının etkisi
- Kaynak elektrot baskı kuvvetinin etkisi
- İş parçasının malzemesi
- Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin etkisi
- Kaynaklanan noktalar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi şeklindedir.

Nokta direnç kaynağı işleminde nokta çapının büyüklüğü kullanılmakta olan elektrot çapına bağlı olarak değişmektedir. Kusursuz olarak kabul edilen bir nokta direnç kaynağı işleminde elektrot uç çapı 0.7-0.8 olarak belirlenmelidir. Kaynak işlemi esnasında nokta çapının değeri, ince olan malzemenin kalınlığının beş buçuk katı iken, minimum ortalama çap bu kalınlığın karekökünün dört katından az olmamalıdır (Kahraman ve Gülenç, 2020b: 160).

Nokta çapının belirlenmesi Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14.Nokta çapının belirlenmesi

Kaynak: (Kahraman ve Gülenç, 2020b: 160)

3.4.3.Nokta Direnç Kaynağında Mikro yapı ve Sertlik İlişkisi

Kaynak bölgelerinde oluşan sertlik ve mikro yapı özellikleri, kaynak metali bölgesinin maruz kalmakta olduğu ısıl çevrim, kimyasal kompozisyon ve esas metalin başlangıç mikro yapısı arasındaki bağ ile açıklanmaktadır.

Kaynak çekirdeğinde oluşan sertleşme ve ısı tesiri altındaki bölgede oluşan yumuşama miktarını belirlemek için Denklem 3.1-3.2 kullanılmaktadır;

HEM= Ana(esas) Metal

HKM=Kaynak metali bölgesi

Hmin=Isı Tesiri Altındaki Bölgede oluşan sertlik değerlerini ifade etmektedirler.

$$\text{Sertleşme Oranı} = HKM / HEM \quad (3.1)$$

$$\text{Yumuşama Oranı} = Hmin / HEM \quad (3.2)$$

Formülleri kullanılmaktadır (Cho ve Hu, 2006: 45).

Nokta direnç kaynağının mikro yapısal gelişimini ve sertlik karakteristiklerini etkileyen faktörler;

- Malzemelerin kimyasal kompozisyonu
- Malzemelerin kalınlığı
- Soğuma hızı
- Elektrotların kalınlığı

Kaynak parametreleri olarak sıralanmaktadır.

3.4.4.Nokta Direnç Kaynağında Soğuma Hızı

Nokta direnç kaynağı işleminde ısınma ve soğuma hızı ark kaynağı, lazer kaynağı gibi diğer kaynak proseslerine göre daha yüksektir.

Yüksek olan soğuma hızı proses süresince faz dönüşümlerine etkileyerek değişimlere neden olmaktadır. Sac kalınlığı arttıkça soğuma hızlarının arttığı ark kaynağı işleminin aksine, nokta direnç kaynağı işleminde, artan sac kalınlığı neticesinde su soğutmalı elektrottan sıvı havuzun mesafesinin artmasından dolayı artan sac kalınlığı soğuma hızını azaltmaktadır. Azalmakta olan sac kalınlıkları, elektrotların soğuma etkisi ve kısa kaynak süresi ile birlikte soğuma hızını önemli derecede arttırmaktadır.

Soğuma hızı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisi ile birlikte tutma süresi arttırmak ısı dağılımını ve soğuma hızını arttırmaktadır. İşlemde ısı girdisini arttırmak soğuma hızının azalmasına neden olacaktır (Elitaş, 2018: 3).

3.4.5.Nokta Direnç Kaynağında Isı Oluşumu

Nokta direnç kaynağı işleminde kaynak yapılacak malzemelerin yüzeyleri birbirleri ile temas edecek şekilde alt ve üst çenelerde bulunan elektrotlar arasında sabit tutulmaktadır. Elektrotların uygulamakta olduğu baskı kuvveti yardımı ile temas halinde bulunan malzemeler üzerinden kaynak akımı geçirilmektedir. Akım neticesinde temas eden yüzeylerde ısı meydana gelmektedir. Isının etkisi neticesinde oluşan direnç temas etmekte olan yüzeylerde sıvılaşma oluşmasına ve üzerinden geçen akım ile birlikte elektrotlar tarafından uygulanmakta olan baskı kuvvetiyle iki malzemenin birleştirilmesi sağlanır (Ramazani vd, 2015: 1704).

Birbirleri ile temas ederek kaynaklanan malzemelerin kaynak yüzeyleri arasında meydana gelmekte olan ısı;

$$Q = K . I^2 . R_{toplam} . t \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile açıklanmaktadır.

Q : Oluşan ısı değeri

K : Sabit değer (0,239)

I : Akım değeri

R_{toplam} : Elektrik dirençlerinin toplam değeri

t : Akımın uygulandığı süre

Denklemde yer alan elektrik dirençlerinin toplam değerinin düşük olması nedeniyle gerekli olan kaynak ısıısının meydana gelmesi için yüksek akıma ihtiyaç vardır. Gerekli olan akım transformatörlerden sağlanmaktadır (Aras, 2016: 14).

3.4.6.Nokta Direnç Kaynağında Oluşan Dirençler

Direnç kaynağı ile iki sac levhanın kaynatılması esnasında elektrotlar ve malzemeler arasında teknik olarak 7 farklı direnç meydana gelmektedir.

R1: Üst çenedeki elektrot ile üstteki ana malzeme arasındaki temas direnci

R2: Üstteki ana malzemenin direnci

R3: Üst ana malzeme ile alt ana malzeme arasındaki temas direnci

R4: Alttaki ana malzemenin direnci

R5: Alt çenedeki elektrot ile alttaki ana malzeme arasındaki temas direnci

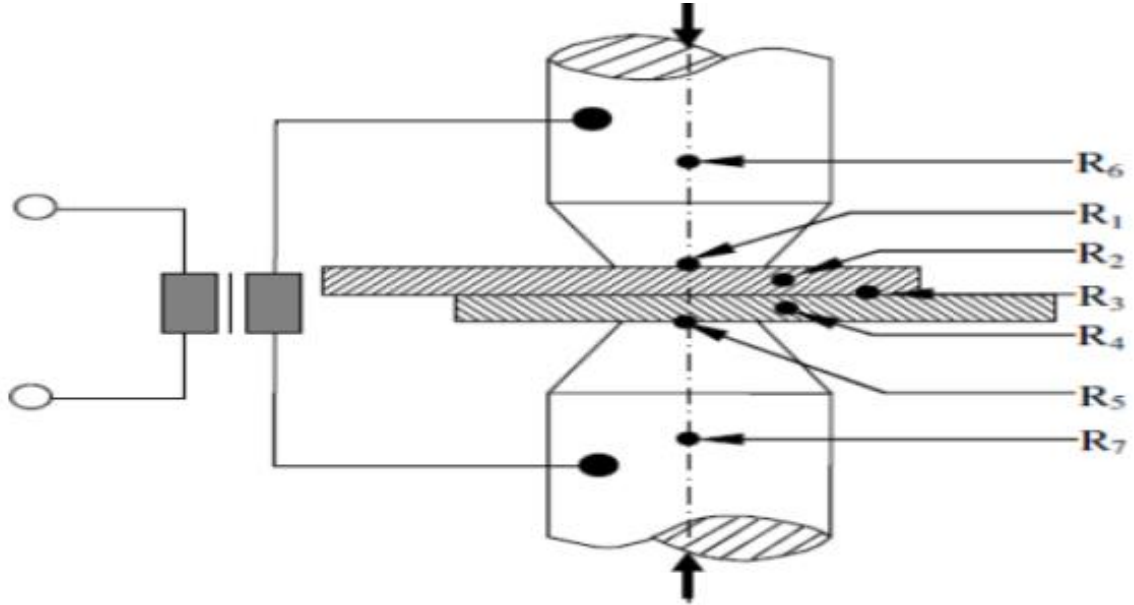
R6: Üst çenedeki elektrotun direnci

R7: Alt çenedeki elektrotun direnci

Toplam direnç Denklem 3.4 ile belirlenmektedir.

$$R_{Toplam} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 \quad (3.4)$$

Nokta direnç kaynağı işleminde oluşan dirençler Şekil 3.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Nokta direnç kaynak makinesinde kaynak işleminde oluşan dirençler

Kaynak: (Tanses,2019:70)

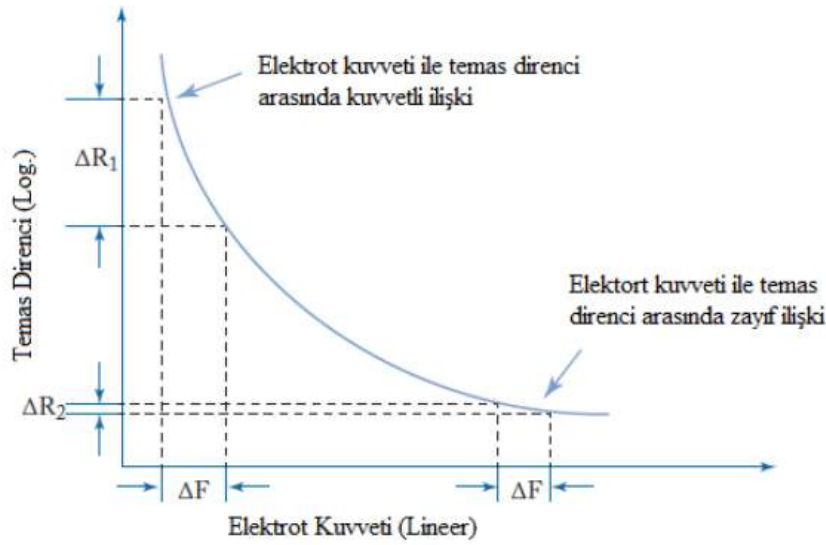
Malzeme direnci, kaynak malzemelerinin fiziksel özellikleri ile ilgili olmasından dolayı değişkenlik göstermemektedir. Temas direnci, elektrot ucu ve kaynak malzemelerinin kaynak yüzeyi ile ilişkisi olmasından dolayı farklılık göstermektedir (Erik, 2010a: 4).

Kaynak malzemelerine akım ve basınç verildikten sonra kaynak malzemeleri arasında meydana gelmekte olan R_3 direncinin oluşturduğu temas bölgesi, kaynak malzemelerinin sıvılaşması ile kaynak çekirdeğinin meydana geldiği bölgedir. R_3 direncinin şiddetine bağlı olarak kaynak kabiliyeti orantısal olarak değişiklik göstermektedir. Şiddetin yeterli seviyede olmaması durumunda kaynak işlemi gerçekleşmemektedir.

Temas direnci haricinde elektrotlar ile kaynak malzemeleri arasında meydana gelmekte olan tüm dirençlerde, ısı girdisi küçük olmalıdır. Kaynak malzemesine uygulanmakta olan akım, kaynak süresi ve elektrot basınç kuvvetleri uygun seçilmelidir (Hıdıroğlu, 2022b: 41).

Kaynak işleminde elektrotlar ve kaynak malzemesi arasında R_1 ve R_5 temas dirençlerinin oluşturmakta olduğu ısıyı düşük tutmak için, ısı iletkenliği yüksek olan elektrot kullanımı ve kaynak malzemeleri üzerinde olabilecek pas, yağ, boya gibi elektrik akımının geçmesini engelleyecek tabakaların olmaması gereklidir (Erik, 2010b: 28).

Kaynak işleminde kaynak malzemeleri arasında oluşan temas direnci ile uygulanan elektrot kuvveti arasındaki etkileşim önemlidir. Elektrot kuvvetlerinin düşük olduğu durumlarda kuvvetlerde meydana gelecek küçük değişikliklerin, temas yüzeylerinde oluşan dirençlerde büyük değişikliklere sebep olacaktır. Temas direnci ile elektrot kuvveti arasındaki oluşan eğriyi Şekil 3.16.'da göstermektedir.

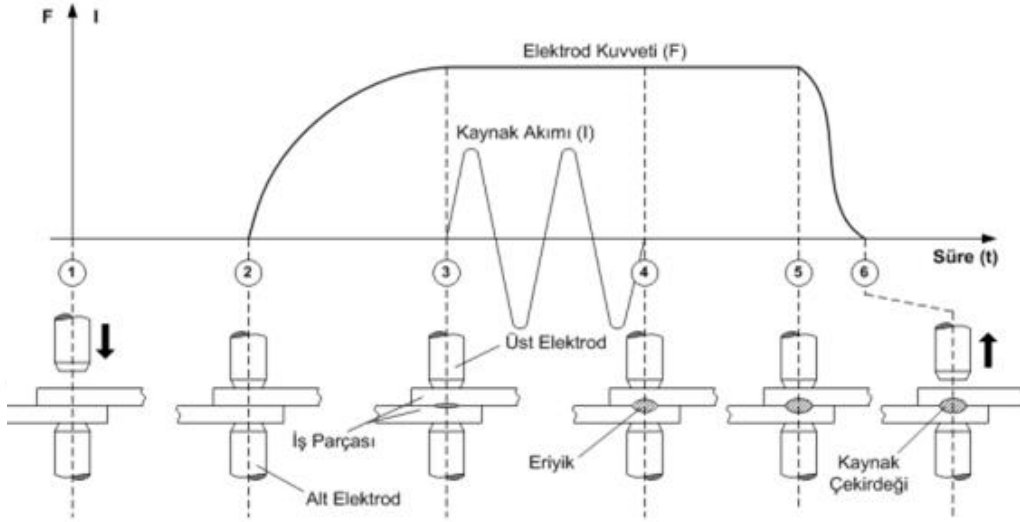


Şekil 3.16. Elektrot kuvveti ile temas direnci arasındaki etkileşim

Kaynak: (Kimchi ve Phillips, 2017: 34)

3.4.7.Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Çevrimi

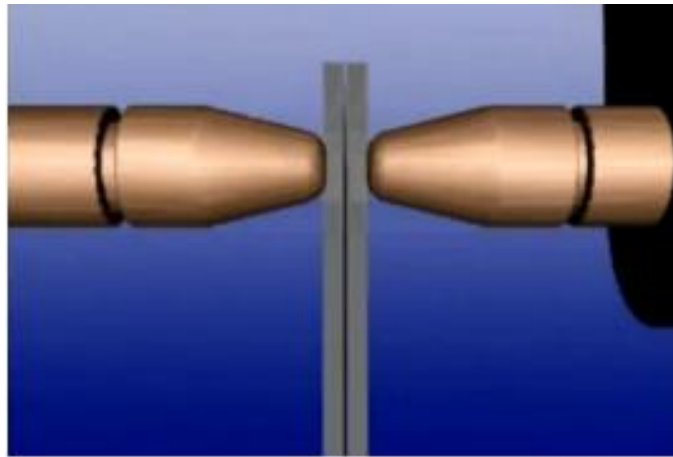
Nokta direnç kaynağı işleminde kaynak malzemelerinin birleştirilmesi 6 aşamadan oluşmaktadır. Aşamalar Şekil 3.17.'de gösterilmiştir. (Yıldırım, 2010: 35)



Şekil 3.17. Nokta direnç kaynağı çevrim aşamaları

Kaynak: (Yıldırım, 2010: 35)

1. Yaklaşma Süresi: Kaynatılarak birleştirilecek malzemeler, elektrotlar arasına yerleştirildikten sonra elektrotların kaynatılacak malzemelerle temas etmesi sağlanır.
2. Ön Tutma Süresi: Kaynaklanacak malzemeler elektrotlar aracılığıyla baskı kuvveti oluşturularak sıkıştırılır (Şekil 3.18.).

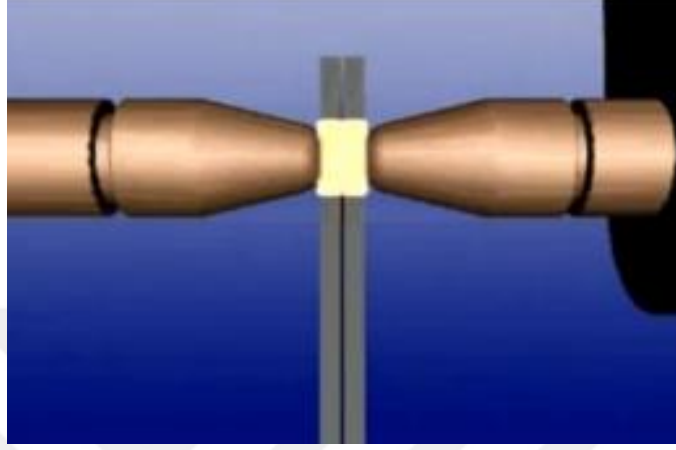


Şekil 3.18. Ön tutma süresi

Kaynak: (Megep,2012:23)

3. Ön Isıtma Süresi: Malzemeler kaynak akımına maruz bırakılmadan önce küçük akımların uygulandığı süredir.

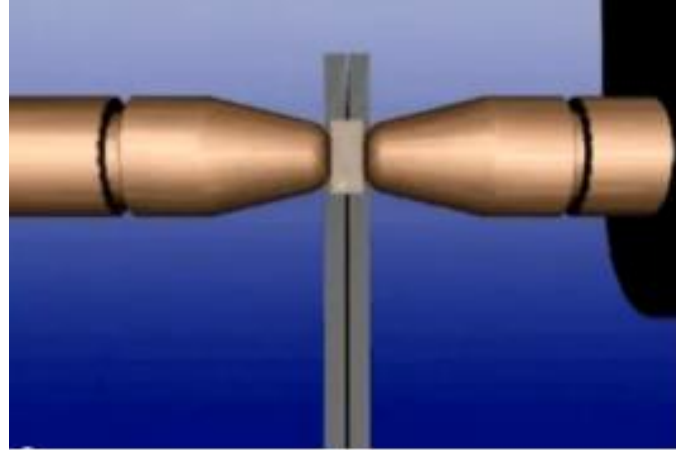
4. Kaynak Süresi: Akım elektrotlardan belirli bir süre geçirilerek kaynak malzemeleri arasında ısı üretimi sağlanır. Akım devam ettiği süre kaynak malzemeleri arasında sıvılaşma meydana gelerek kaynaklanmanın olduğu süredir (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Kaynak süresi

Kaynak: (Megep,2012:23)

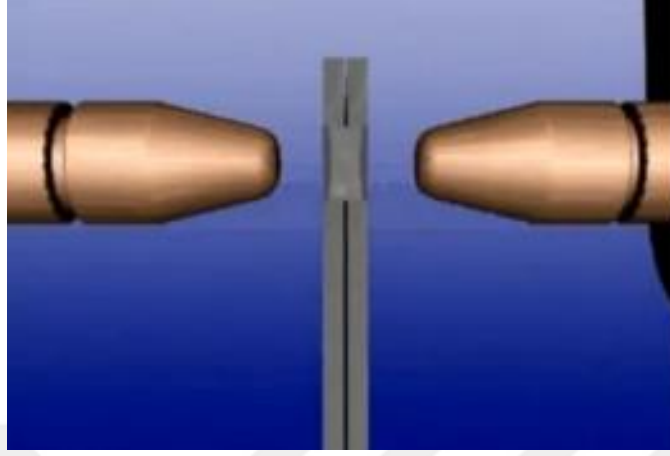
5. Kaynak Sonrası Tutma Süresi: Kaynak akımının kesilmesinden sonra elektrot kuvvetinin malzemeye etkisinin devam ettiği ve kaynak malzemelerinin soğumaya bırakıldığı süredir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Kaynak sonrası tutma süresi

Kaynak: (Megep,2012:23)

6. Ayrılma Süresi: Soğuma işlemine bırakılan kaynak malzemelerinin, kaynak birleşim bölgelerinin homojen yapıya ulaştıktan sonra elektrotların ayrıldığı ve malzemenin alındığı süredir. Ölü süre olarak ta adlandırılır (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Ayrılma süresi

Kaynak: (Megep,2012:24)

Ön ısıtma işleminin amacı kaynak malzemelerin birleştirilmesi için gerekli olan kaynak akımının azaltılması neticesinde malzemeler arasında oluşan kaynağında, soğuma hızının da azalmasını sağlamaktadır (Megep,2012:22-24).

4.MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada HRP6222 ve DC04 sacları kullanılmıştır.HRP6222 ve DC04 saclarından numuneler hazırlanarak nokta direnç kaynağı yöntemi ile birleştirme işlemi yapılmıştır.

4.1.Kullanılan Malzemeler

4.1.1. DC04 Çelik Malzeme

Deneyler sırasında kullanılan DC04 çelik sacları sıcak haddeleme işlemi üretilen sacların üzerinde oluşmakta olan tufal ve pasların giderilmesi amacıyla temizlenme işlemine uğrayan DKP sac grubunda bulunmaktadır.

DC04 Sacları düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelik türüdür. Yaşlandırma işlemine dayanıklı, ekstra derin çekme işlemine uygundur (Narayanasamy,2007:29).

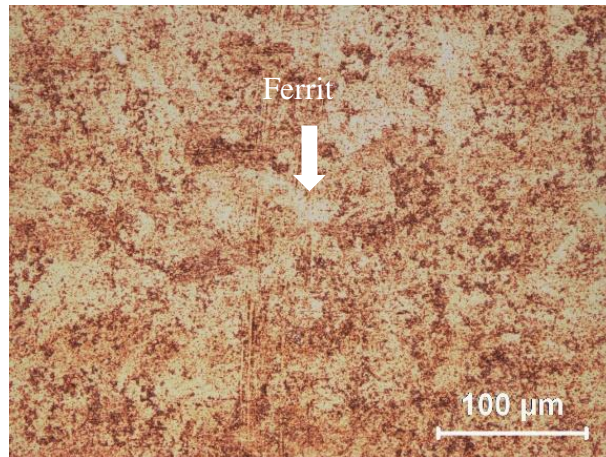
DC04 Sacların kimyasal özellikleri Tablo 4.1. mekanik özellikleri Tablo 4.2. ve mikro yapısı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. DC04 Sacların kimyasal özellikleri

Karbon (C)	Manganez (Mn)	Kükürt (S)	Fosfor (P)
0,08%	0,40%	0,02%	0,03%

Tablo 4.2. DC04 Sacların mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama (80 mm)
210	280	28%



Şekil 4.1. DC04 Sacların mikro yapısı (Ferrit yapısı)

DC04 malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri neticesinde yüksek mukavemet, yüksek şekillenebilir olması ve iyi yüzey kalitesi sayesinde başta otomotiv endüstrisi olmak üzere beyaz eşya, ambalaj endüstrisi, inşaat ve çelik yapıların üretilmesinde kullanılmaktadır.

4.1.2.HRP6222 Çelik Malzeme

Deneyler sırasında kullanılmakta olan HRP6222 çelik sacları sıcak olarak dökülen farklı malzemelerin karıştırılması neticesinde elde edilmekte olan HRP sacları grubundadır. Sıcak haddeleme ile üretilmekte olan düşük karbonlu çelik türüdür.HRP6222 sacları bükme, soğuk şekillendirme uygulamaları işlemlerinde mükemmel olarak performans gösteren, derin çekilebilir ve yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir.

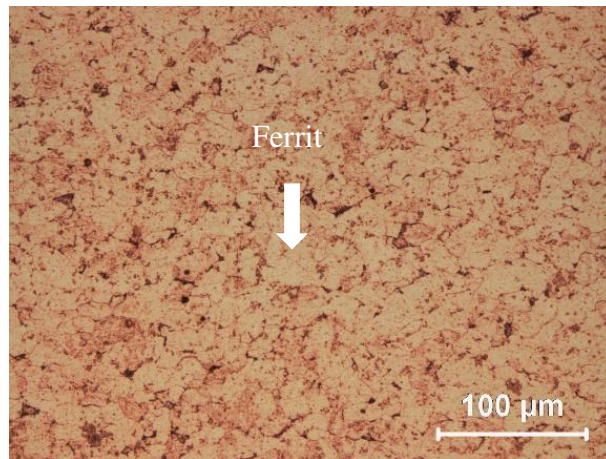
HRP6222 Sacların kimyasal özellikleri Tablo 4.3.'de, mekanik özellikleri Tablo 4.4'te ve mikro yapısı Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. HRP6222 Sacların kimyasal özellikleri

Karbon (C)	Manganez (Mn)	Kükürt (S)	Fosfor (P)
0,08%	0,60%	0,02%	0,04%

Tablo 4.4. HRP6222 Sacların mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama (80 mm)
260	310	38%



Şekil 4.2. HRP6222 Sacların mikro yapısı

HRP6222 malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri neticesinde yüksek formabilite ve düşük karbon içeriği, mükemmel yüzey kalitesi, boyanabilir ve kaynaklanabilir özelliklerine sahip olması sayesinde otomotiv, beyaz eşya, elektrikli ev aletleri, inşaat, boru imalatı gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır.

4.2.Numune Ölçüleri

NDK işleminde kullanılmak üzere 2 mm kalınlığa ve 100x1200 mm ölçülerine sahip DC04 ve HRP6222 sacları Durma-SBT 3006 devirmeli giyotin makas ile 100 mm uzunluğunda (Şekil 4.3.) ve 30 mm genişliğinde (Şekil 4.4.) EN ISO 14273 standartlarına göre kesilmiştir.



Şekil 4.3. DC04-HRP6222 Sacların 100 mm kesilmesi



Şekil 4.4. DC04-HRP6222 Sacların 30 mm kesilmesi

4.3.Nokta Direnç Kaynağı İşlemi

ISO 14273 standartlarına uygun olarak kesilen DC04 ve HRP6222 sacları BAYKAL SPP-60 Punta Kaynak Makinesi ile NDK işlemi uygulanmıştır.

NDK işlemi sırasında;

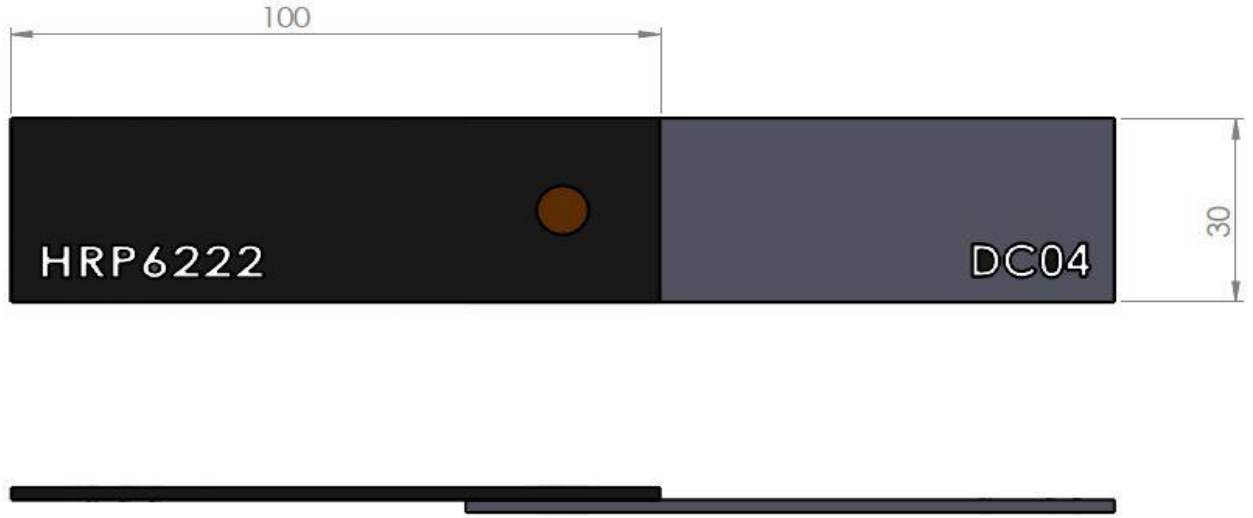
- A grubunda DC04-DC04 sacları,
- B grubunda HRP6222-HRP6222 sacları,
- C grubunda DC04-HRP6222 sacları olacak şekilde 3 farklı kombinasyonda kaynaklı birleşimler yapılmıştır.

NDK işleminde Tablo 4.5’de gösterilen 2 farklı elektrot kuvveti ve 3 farklı akım değerleri uygulanmıştır.

Tablo 4.5. NDK bilgi tablosu

Grup Bilgisi	Birleşim Bilgisi	Elektrot Kuvveti	Kaynak Akımı
A1	DC04-DC04	2,1	4
A2	DC04-DC04	2,1	6
A3	DC04-DC04	2,1	8
A4	DC04-DC04	2,4	4
A5	DC04-DC04	2,4	6
A6	DC04-DC04	2,4	8
B1	HRP6222-HRP6222	2,1	4
B2	HRP6222-HRP6222	2,1	6
B3	HRP6222-HRP6222	2,1	8
B4	HRP6222-HRP6222	2,4	4
B5	HRP6222-HRP6222	2,4	6
B6	HRP6222-HRP6222	2,4	8
C1	DC04-HRP6222	2,1	4
C2	DC04-HRP6222	2,1	6
C3	DC04-HRP6222	2,1	8
C4	DC04-HRP6222	2,4	4
C5	DC04-HRP6222	2,4	6
C6	DC04-HRP6222	2,4	8

Nokta direnç kaynağı işlemi sonrasında oluşan birleşimlerin sembolik çizimleri Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. NDK işlemi sonrasında oluşan kaynaklı numuneleri sembolik çizimi

NDK işlemi sonrasında;

A Grubu Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. A Grubu NDK işlemi

B grubu Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. B Grubu NDK işlemi

C grubu Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. C Grubu NDK işlemi

4.4.Mikro Yapı İnceleme Çalışmaları

Mikro yapı ve faz yapılarının incelenmesi için NDK işlemi yapılmakta olan

DC04-HRP6222 birleşimleri zımparalama ve parlatma işlemi uygulanacak olan numunelerin kesilmesini sağlayan METKON METACUT-300 hassas kesme cihazında kesilmiştir.(Şekil 4.9.)

Hassas kesme işleminde kullanılan cihazın teknik özellikleri;

- Kesme Gücü:4/5.1 kW
- Disk Dönüş Hızı:2800 rpm
- Disk Çapı:250/300 mm
- Kesme Kapasitesi:Ø110 mm
- T-Kanal Tabla Boyutları:300mm x 380 mm
- T-Kanal Genişliği:12 mm
- Cihaz Boyutları:740 mm x 770 mm x 670 mm
- Soğutma Ünitesi Hacmi:80 lt şeklindedir.



Şekil 4.9. METKON METACUT-300 hassas kesme cihazı

Hassas kesim sonucunda kaynaklı birleşimlere bakalite alma işlemi uygulanmıştır. Bakalite alma işleminden sonra MEKTON FORCİPOL 2V ZIMPARALAMA ve PARLATMA CİHAZI (Şekil 4.10.) yardımıyla 120-220-360-600-800-1200-1500-2000 mesh zımparalar vasıtasıyla zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemi sonrasında numunelere parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi sırasında 3 ve 1 mikron elmas pasta kullanılarak yapılmıştır.

Zımparalama ve parlatma işleminde kullanılan cihazın özellikleri;

- Çift zımparalama ve parlatma bölgesi
- Motor Gücü:0.75 HP
- Dönüş Hızı:50-600 rpm
- Boyutlar:700 mm x 690 mm x 340 mm şeklindedir.



Şekil 4.10. MEKTON FORCİPOL 2V zımparalama ve parlatma cihazı

Parlatma işlemi sonrasında numunelere %2 Nital (%2 Nitrik asit+%98 Metanol içeren) çözeltisine yanma riskini karşı 2 saniyelik süreler ile kademeli olarak dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işlemi sonrasında numunelerin Kaynaklı birleşimlerin Esas Metal (EM), Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve Kaynak metali bölgesi (KM) mikro yapıları NİKON ECLİPSE LV150N ENDÜSTRİYEL MİKROSKOP (Şekil 4.11.) ile incelenmiştir.

İnceleme işleminde kullanılan cihazın özellikleri;

- Maksimum Örnek Boyutu:150 mm x 150 mm
- Maksimum Örnek Yüksekliği:38 mm
- Maksimum Büyütme Oranı:100x şeklindedir.



Şekil 4.11. NİKON ECLİPSE LV150N endüstriyel mikroskop

4.5. Mikro Sertlik Testi

Mikro yapı incelemeleri için kullanılmakta olan numuneler mikro sertlik ölçümü incelemelerinde de kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri EM, ITAB ve KM bölgeleri boyunca eksenlere paralel doğrultuda yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri Vickers ve Knoop sertlik uçlarıyla Vickers sertlik ölçüm prensine göre (malzeme yüzeyine tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesi) sertlik ölçümü yapabilen EMCOTEST DUROSCAN 20 cihazıyla yapılmıştır. (Şekil 4.12.)

Yük miktarı 1-150 kg arasında değişir. Bekleme süresi sert malzemelerde 15 sn, yumuşak malzemelerde 30 sn olarak seçilebilir (Aran, 2008: 18).

Mikro sertlik işlemi HV0,5 yük 10 saniye süreyle uygulanmıştır. Her numune için 15 adet ölçüm yapılmıştır.

Mikro sertlik ölçüm cihazının ölçme yük aralığı 1g-10kg arasında olup, iz görüntülerini 10x,40x ve 60x olacak şekilde odaklama yapabilmektedir.



Şekil 4.12. EMCOTEST DUROSCAN 20 mikro sertlik ölçüm cihazı

4.6.Çekme Makaslama Testi ve Kaynak Çekirdek Çap Ölçümü

NDK işlemi uygulanan DC04 ve HRP6222 numunelerine çekme makaslama testi uygulanmıştır. Çekme makaslama testi işleminde her parametre için 3 adet numune kullanılmıştır. Çekme makaslama testleri öncesinde kaynaklı numunelerin çekirdek çap ölçümleri dijital kumpas ile yapılmıştır.

Çekme makaslama testi işlemleri 100kN çekme-basma işlemini uygulayabilen SHİMADZU AG-IC cihazında 2 mm/dk çene hızında gerçekleştirilmiştir.(Şekil 4.13.)



Şekil 4.13. SHİMADZU AG-IC çekme makaslama test cihazı

4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu

NDK işlemi uygulanan A2-A3-B1-B3-C1-C3 numuneleri yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazıyla incelenmiştir.

SEM Cihazı vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektro manyetik lensler ile inceltirmekte olan elektron demetiyle beraber malzemeyi analiz etmeye yarayan cihazdır.

İnceleme işleminde;

- Mikro yapı karakterizasyonu
- Malzeme yüzeyi ve kesitinde bulunan hataların tespiti
- Kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır.

İşlem sırasında;

Maksimum çözünürlüğü 1 nm ve büyütme aralığı 12x-900.000 x olan ZEISS / Supra 40 VP olan cihaz kullanılmıştır. (Şekil 4.14.)



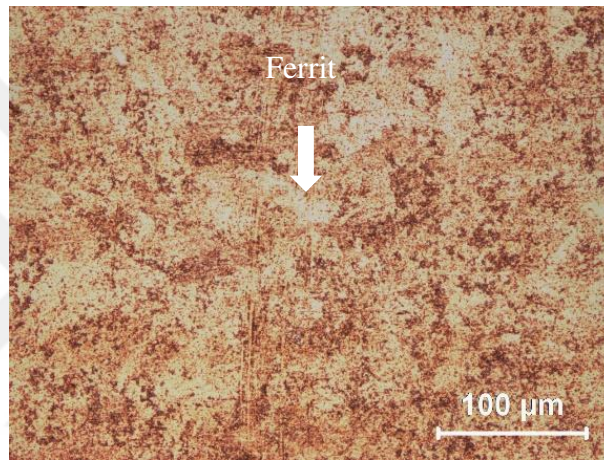
Şekil 4.14. ZEISS / Supra 40 VP taramalı elektron mikroskobu (SEM)

5.BULGULAR ve TARTIŞMA

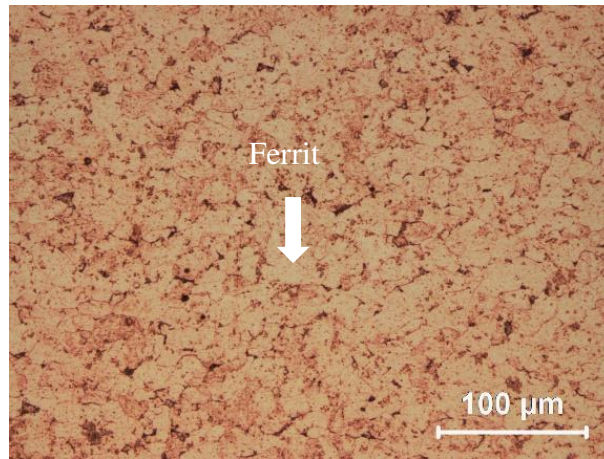
5.1.Mikro yapı

Kaynak işlemi sonucunda malzemelerin kaynak özelliklerine mikro yapının etkilerini belirlemek için kaynak uygulanan bölge ve esas metal bölgesinde oluşan mikro yapısal değişimler belirlenmelidir. Çalışmada farklı kaynak parametrelerinde gerçekleştirilen NDK prosesi ile elde edilen DC04-DC04 (A Grubu), HRP6222-HRP6222 (B Grubu) ve DC04-HRP6222 (C Grubu) çeliklerinin makro görüntüleri incelenmiştir.

İncelenen makro görüntülerde DC04 ve HRP6222 çeliklerinin esas metal yapıda ferrit yapıda olduğu gözlemlenmiştir.(Şekil 5.1.-Şekil 5.2.)



Şekil 5.1. DC04 çelik malzemenin esas metal bölgesi makro görüntüsü



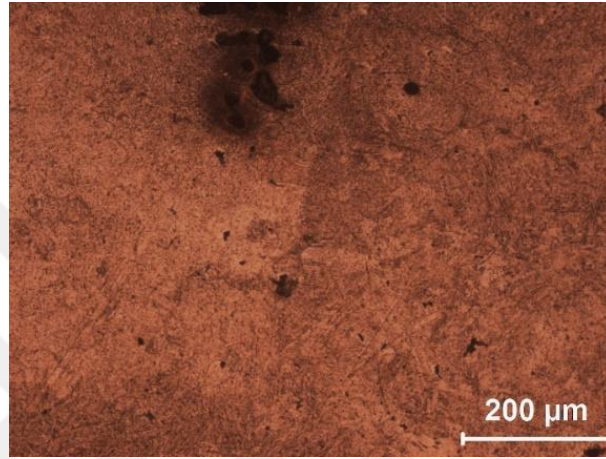
Şekil 5.2. HRP6222 çelik malzemenin esas metal bölgesi makro görüntüsü

DC04 ve HRP6222 çelikleri esas metal bölgesinde ferrit yapıda olmalarından dolayı hacim merkezinde bir ve köşelerinde sekiz atomun bulunduğu, kübik bir birim hücreye sahip olan hacim merkezli kübik yapıya sahiptirler.

Nokta direnç kaynak işleminde kullanılan DC04 ve HRP6222 numunelerin ince sac ve nokta direnç kaynak elektrotları su soğutmalı olması nedeniyle kaynak metalı bölgesinde soğuma hızı oldukça yüksek ve karbon difüzyonu için yeterli zaman bulunmamaktadır.

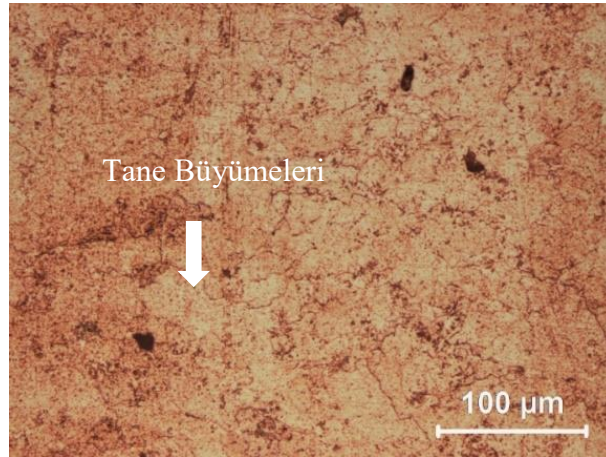
Hızlı soğuma ve yetersiz karbon difüzyonu işlemi neticesinde DC04 çeliğinin ITAB bölgesi incelendiğinde; ITAB ilerledikçe ısıdan dolayı tane büyümelerinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

DC04 çelik malzemenin esas metal-ITAB değişim makro görüntüsü Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. DC04 çelik malzemenin esas metal-ITAB değişim makro görüntüsü

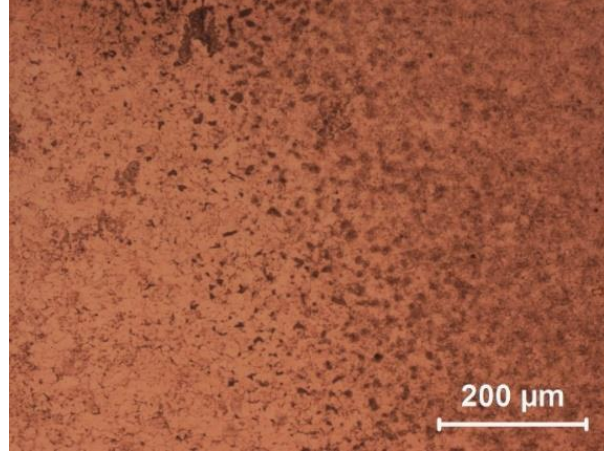
Isı tesiri altındaki bölgede oluşan tane büyümeleri Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. DC04 çelik malzemenin ITAB Bölgesinin makro görüntüsü

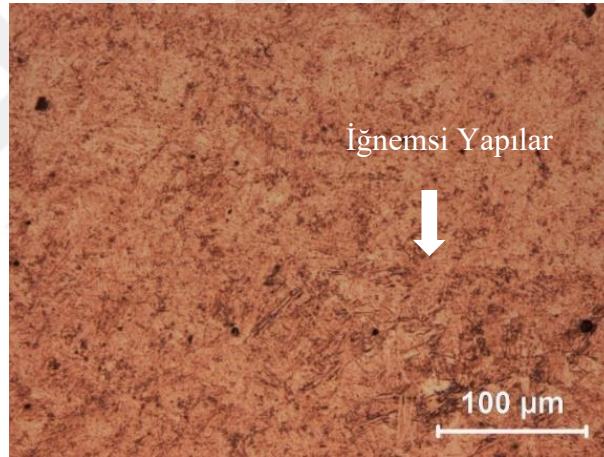
Hızlı soğuma ve yetersiz karbon difüzyonu işlemi neticesinde HR6222 çeliğinin ITAB bölgesi incelendiğinde; ITAB doğru ilerlendiğinde sac yapısında iğnemi yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir.

HRP6222 elik malzemenin esas metal-ITAB değişim makro görüntüsü őkil 5.5.'te gösterilmiştir.



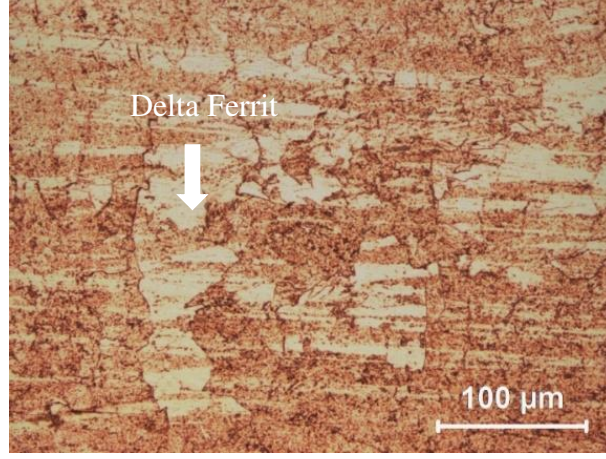
őkil 5.5.HRP6222 elik malzemenin Esas Metal-ITAB değişim makro görüntüsü

Isı tesiri altındaki bölgede oluşan iğnemsli yapılar őkil 5.6.'da gösterilmiştir.



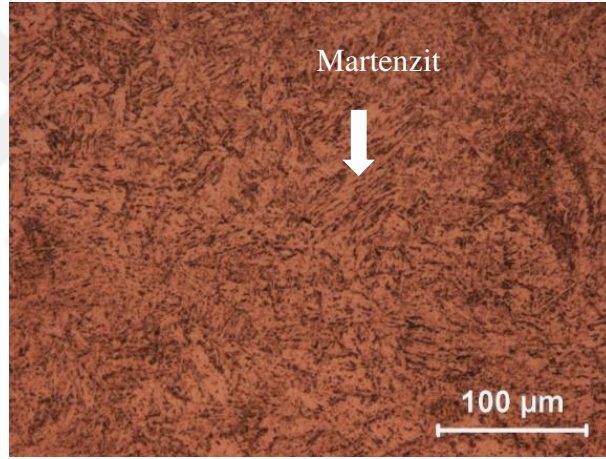
őkil 5.6. HRP6222 elik malzemenin ITAB Bölgesinin makro görüntüsü

Nokta direnç kaynağı işlemi neticesinde DC04 eliğinin esas metal bölgesinden kaynak metali bölgesi metali bölgesine doğru yüksek sıcaklık nedeni ile ferrit yapının delta ferrit yapıda olduğu gözlemlenmiştir.(őkil 5.7.)



Şekil 5.7. DC04 çelik malzemenin kaynak metali bölgesinin makro görüntüsü

Nokta direnç kaynağı işlemi neticesinde HRP6222 çeliğinin esas metal bölgesinden kaynak metali bölgesi metal bölgesine doğru yüksek sıcaklık nedeni ile yapının martenzit yapıda olduğu gözlemlenmiştir.(Şekil 5.8.)



Şekil 5.8. HRP6222 çelik malzemenin kaynak metali bölgesinin makro görüntüsü

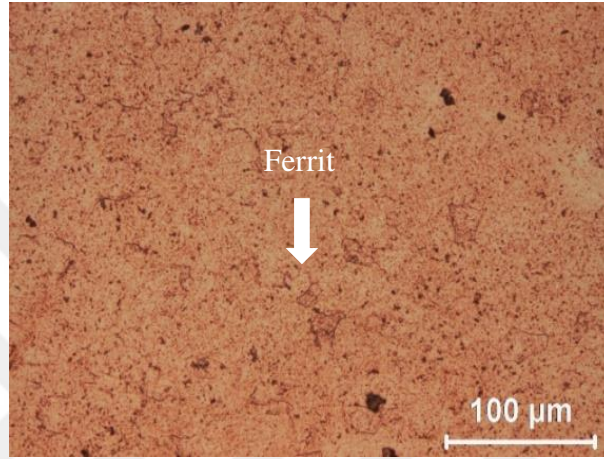
NDK prosesi ile elde edilen DC04-DC04 (A Grubu) ve HRP6222-HRP6222 (B Grubu) numuneleri incelendikten sonra DC04-HRP6222 (C Grubu) incelenmiştir.

İnceleme neticesinde;

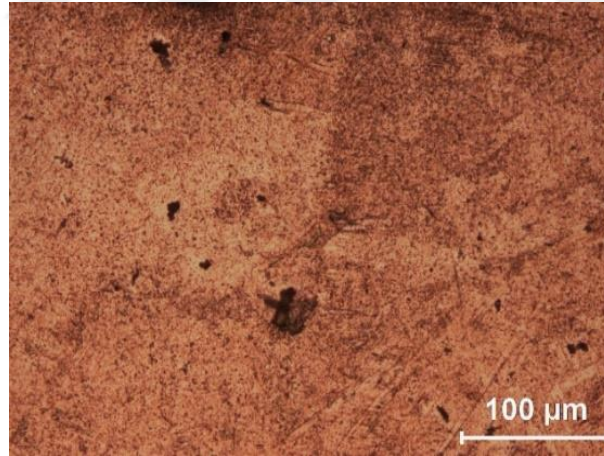
DC04 Çelik Sacının;

-Ana malzemenin ferritik yapıda (Şekil 5.9.),

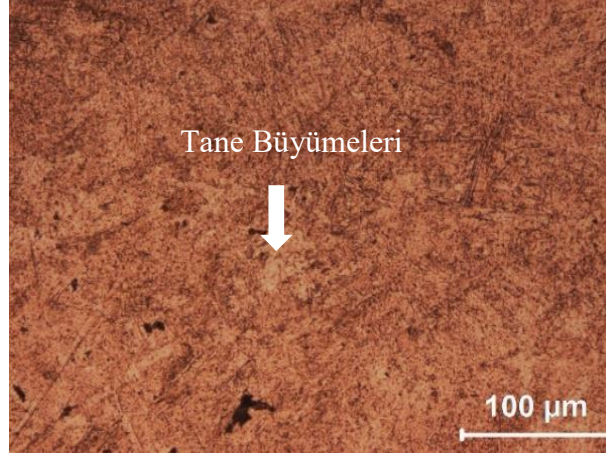
-ITAB Bölgesinde ısıdan dolayı tane büyümesi olduğu (Şekil 5.10.-Şekil 5.11.) gözlemlenmiştir.



Şekil 5.9. DC04 esas metal bölgesi



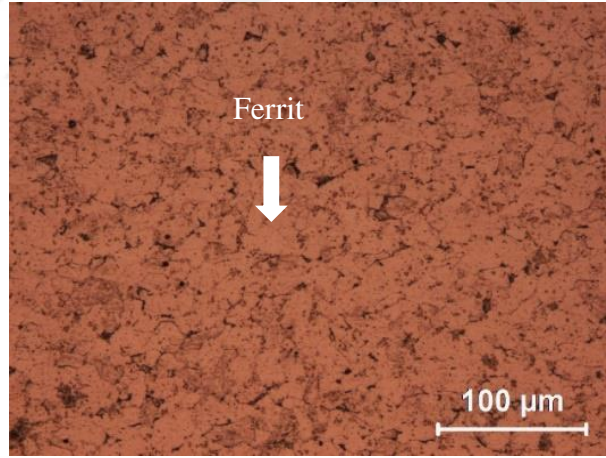
Şekil 5.10. DC04 EM-ITAB bölgesi



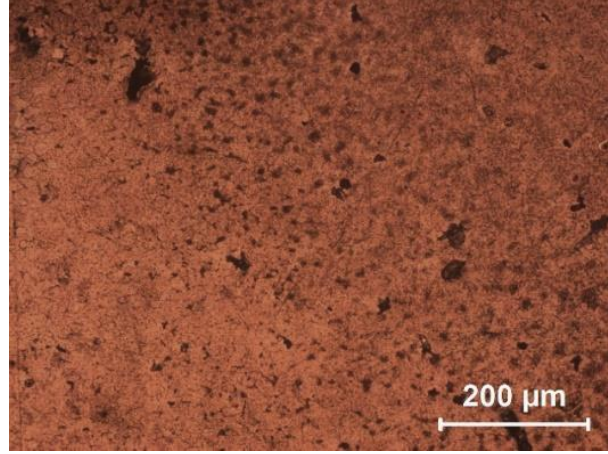
Şekil 5.11. DC04 çelik malzemenin ITAB bölgesi

HRP6222 Çelik Sacının;

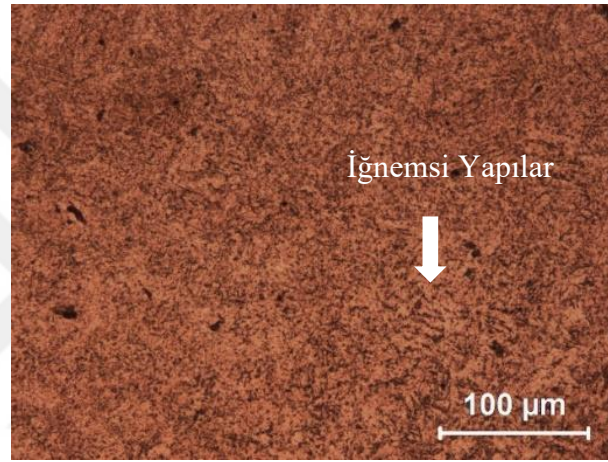
- Ana malzemenin ferritik yapıda (Şekil 5.12.),
- ITAB Bölgesine doğru ilerlendiğinde sac yapısında iğnemi yapılar oluştuğu tekrardan gözlemlenmiştir.(Şekil 5.13.-Şekil 5.14.)



Şekil 5.12. HRP6222 esas metal bölgesi

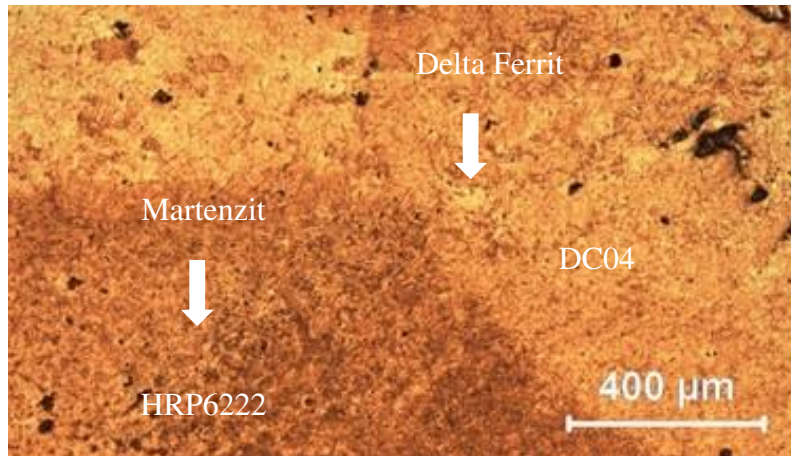


Şekil 5.13. HRP6222 EM-ITAB bölgesi



Şekil 5.14. HRP6222 çelik malzemenin ITAB bölgesi

DC04-HRP6222 birleşiminde ITAB bölgesinden KM bölgesine geçiş sırasında yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma neticesinde DC04 çeliğinde yapının deltaferrit, HRP6222 çeliğinin martenzit yapıda olduğu tekrardan gözlemlenmiştir. (Şekil 5.15.)

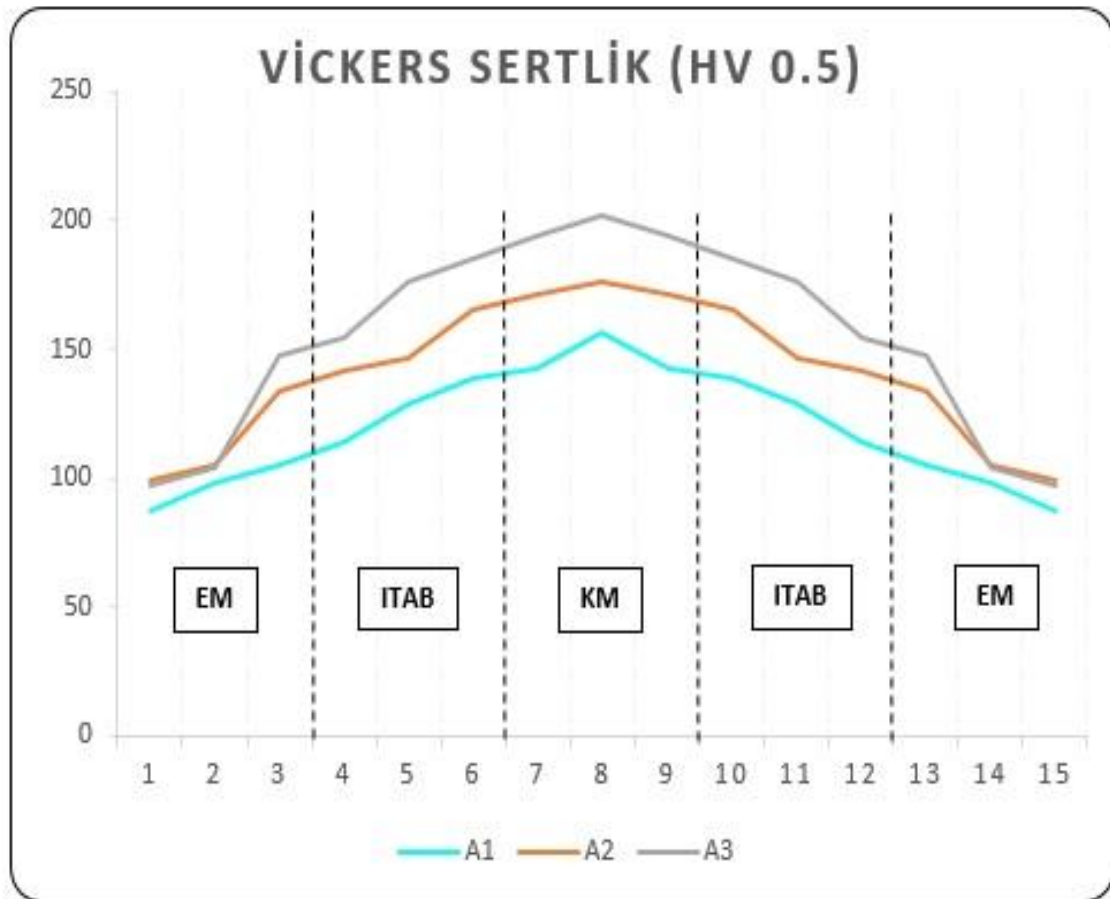


Şekil 5.15. DC04-HRP622 birleşimlerinin kaynak çizgisi

5.2.Mikro Sertlik Sonuçları

Farklı parametrelerde kaynaklı birleşimler elde edilen DC04 ve HRP6222 çeliklerin mikro sertlik değerleri elektrot basıncı ve kaynak akımı değerlerine göre incelenmiştir.

Elektrot basıncı 2,1 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan DC04 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.1.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.1. DC04 Çeliğinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

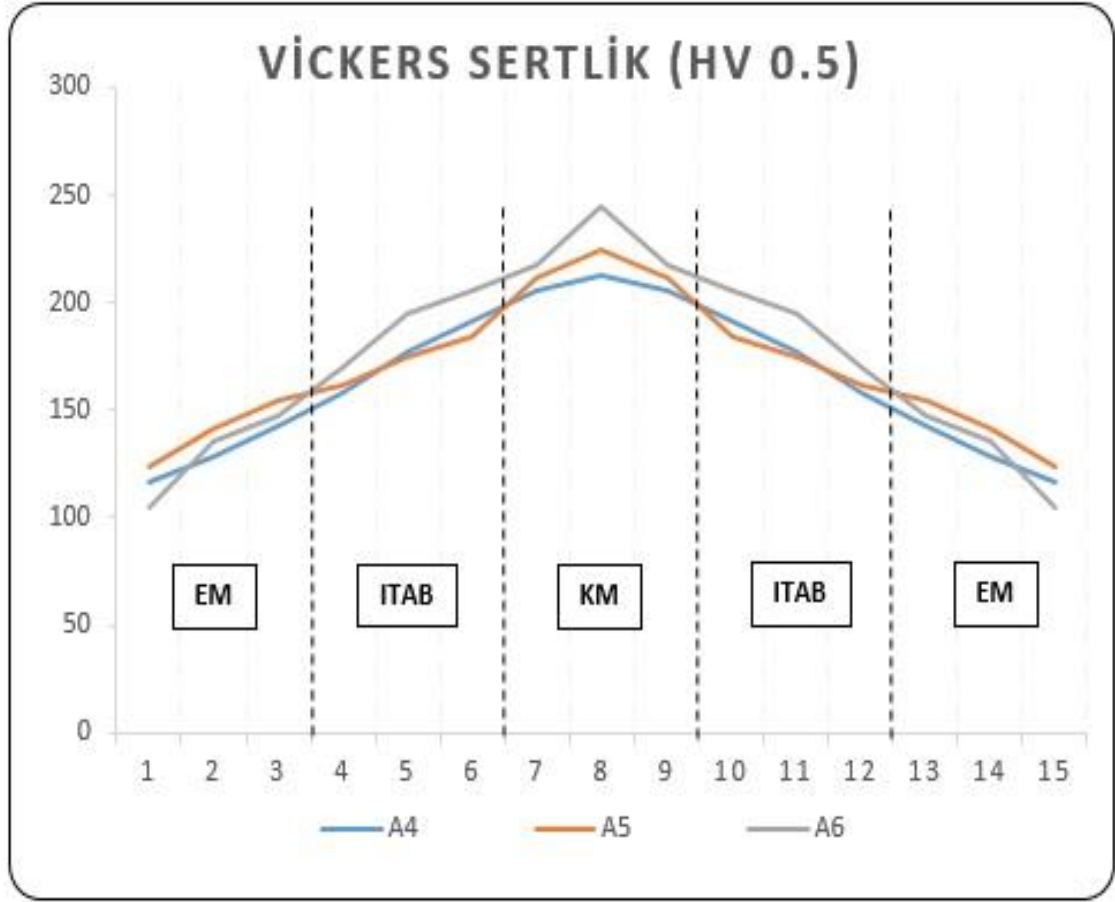
Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

-4 kA olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A1) 143-156 HV,

-6 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (A2) 171-176 HV,

-8 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (A3) 194-202 HV olduğu gözlemlenmiştir.

Elektrot basıncı 2,4 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan DC04 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.2.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.2. DC04 Çeliğinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

-4 kA olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A4) 205-213 HV,

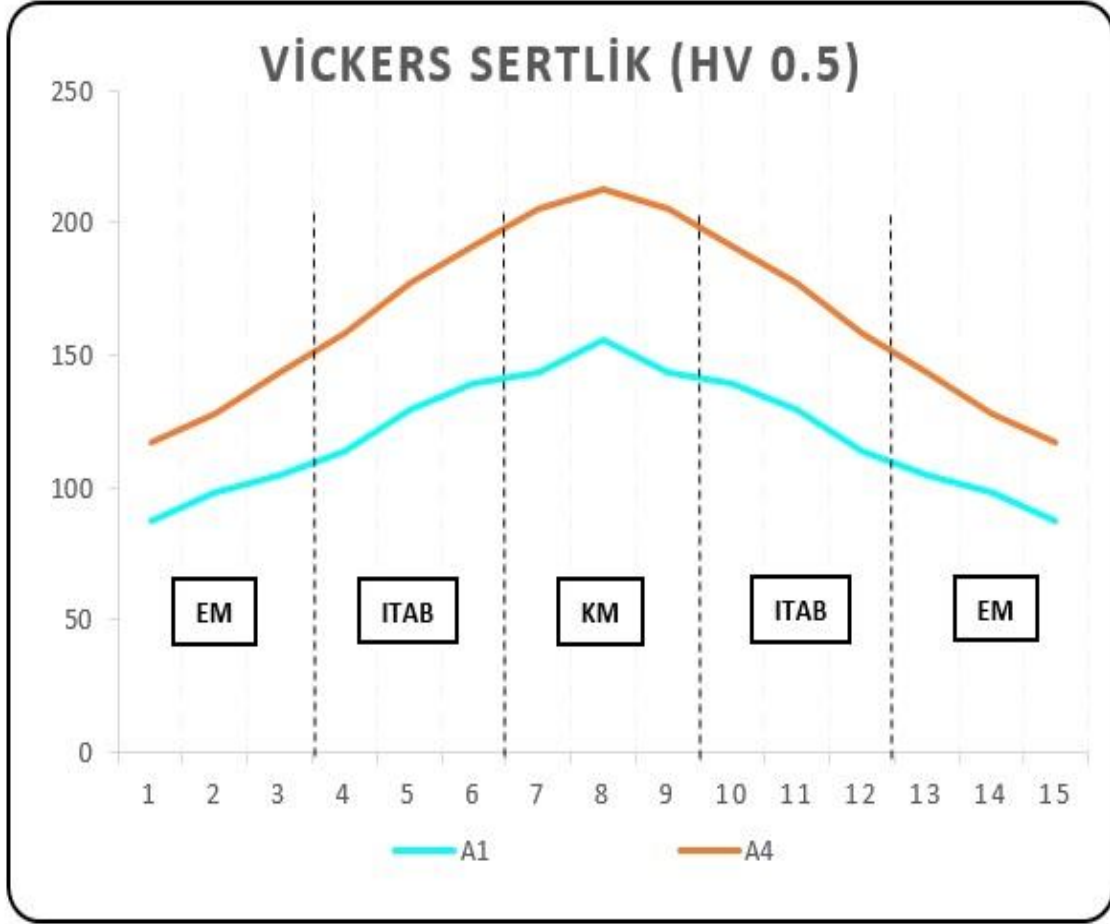
-6 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (A5) 212-225 HV,

-8 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (A6) 218-245 HV olduğu gözlemlenmiştir.

İnceleme neticesinde nokta direnç kaynağı işleminde elektrot basınçları aynı olan DC04 çeliklerinin, kaynak akımı değerleri arttıkça sertlik ve dayanımları arttığı gözlemlenmiştir.

Nokta direnç kaynağı işlemi prosesi sonrasında sabit kaynak akımı, farklı elektrot değeri olan birleşimler incelenmiştir.

Kaynak akımı 4 kA olan DC04 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.3.'de gösterilmiştir.



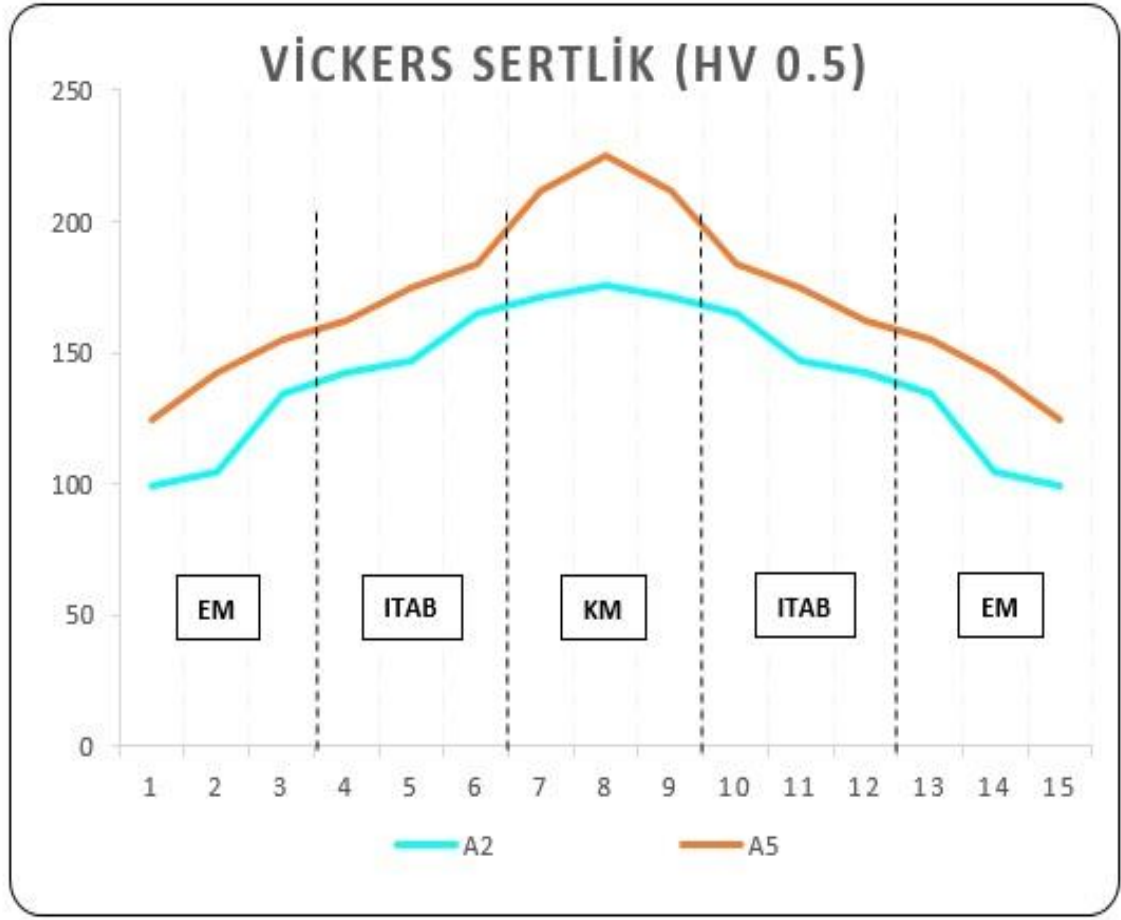
Grafik 5.3. DC04 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A1) 143-156 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A4) 205-213 HV olduğu belirlenmiştir.

Kaynak akımı 6 kA olan DC04 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.4.'de gösterilmiştir.



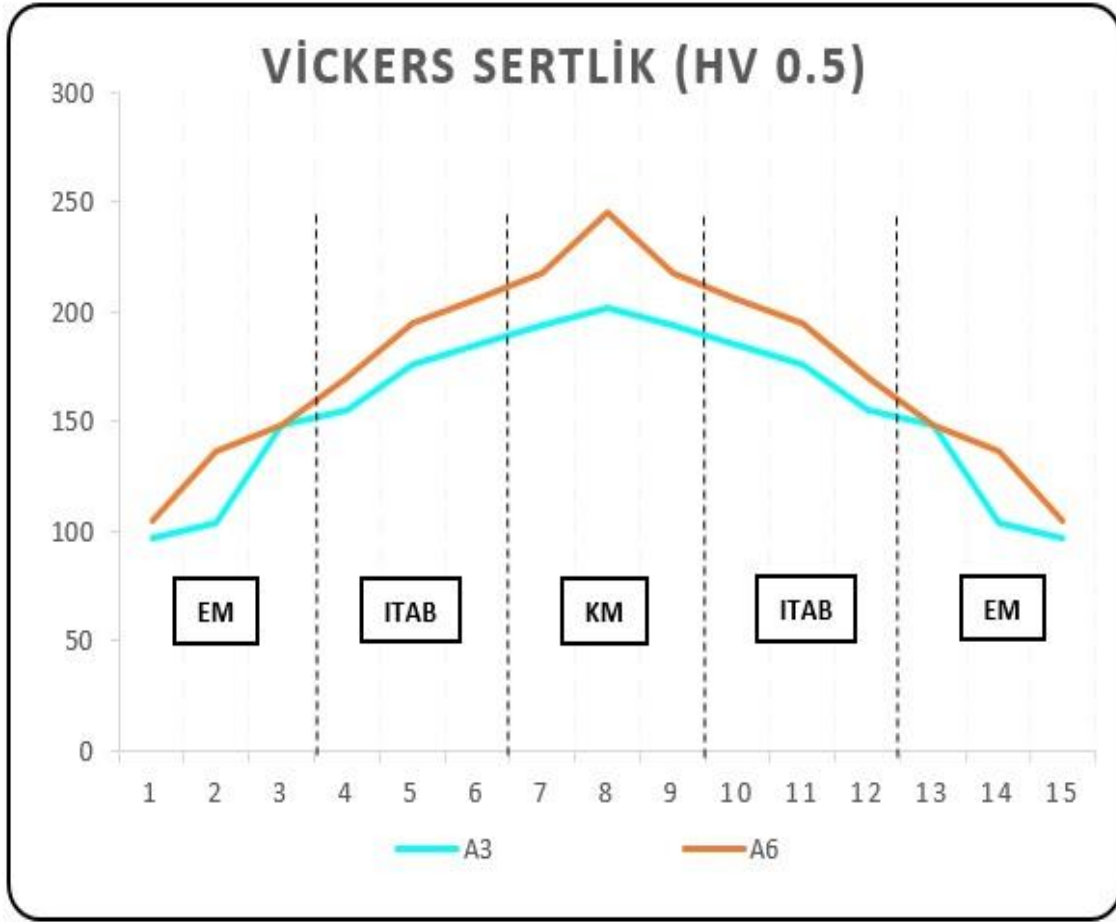
Grafik 5.4. DC04 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A2) 171-176 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A5) 212-225 HV olduğu belirlenmiştir.

Kaynak akımı 8 kA olan DC04 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.5.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.5. DC04 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

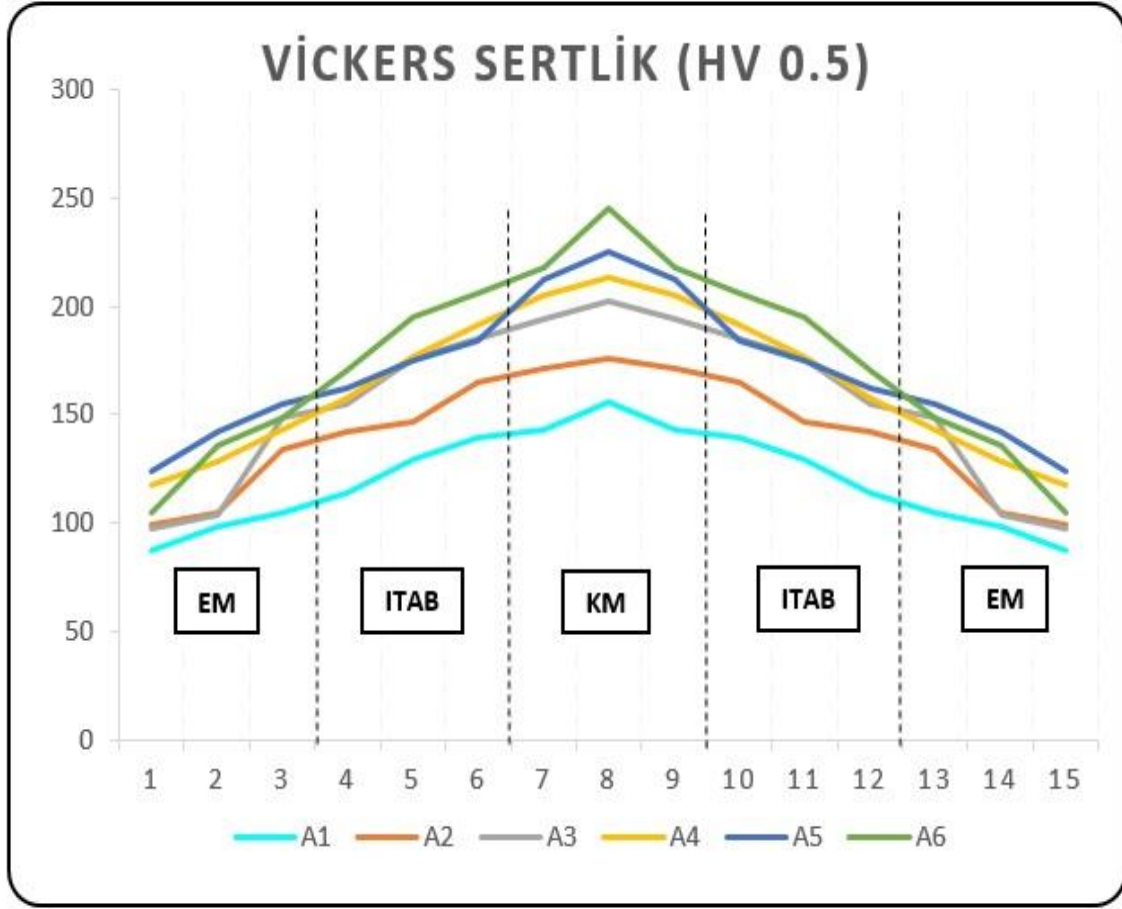
Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A3) 194-202 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (A6) 218-245 HV olduğu belirlenmiştir.

İnceleme neticesinde nokta direnç kaynağı işleminde kaynak akımları aynı olan DC04 çeliklerinin, elektrot basınç değerleri arttıkça sertlik ve dayanımları arttığı gözlemlenmiştir.

2 farklı elektrot basıncı ve 3 farklı kaynak akımı ile birleştirilen DC04-DC04 çelik numunelerin mikro sertlik değerleri Grafik 5.6.'de gösterilmiştir.



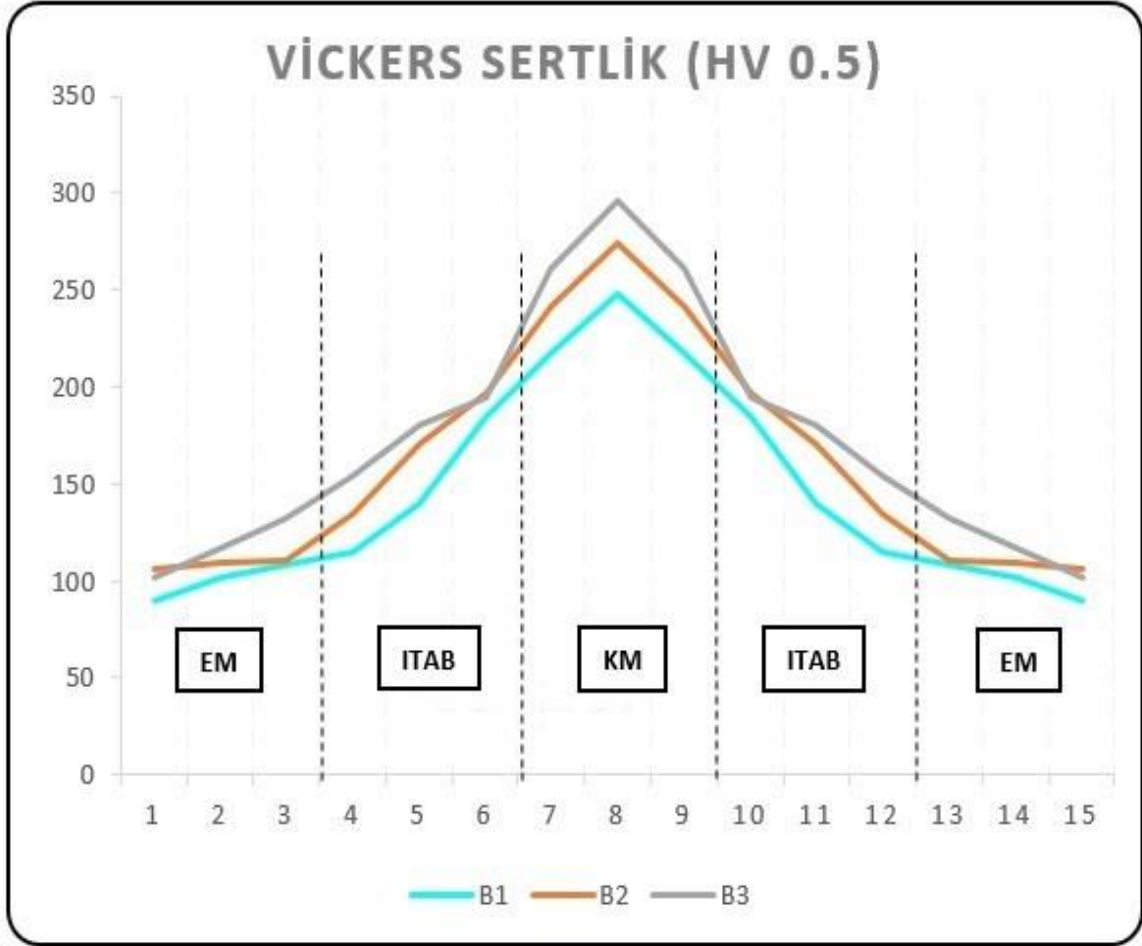
Grafik 5.6. DC04-DC04 (A Grubu)) NDK birleşimlerin mikro sertlik değerleri

DC04-DC04 NDK birleşimleri incelenmesi neticesinde;

A6 (2,4 kN ve 8 kA parametre değerlerinde) numunesinin sertlik ve dayanımının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Nokta direnç kaynağı işlemi uygulanan DC04-DC04 numunelerinin incelenmesi sonrasında HRP6222-HRP6222 numunelerinin mikro sertlik değerleri incelenmiştir.

Elektrot basıncı 2,1 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.7.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.7. HRP6222 Çeliğinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

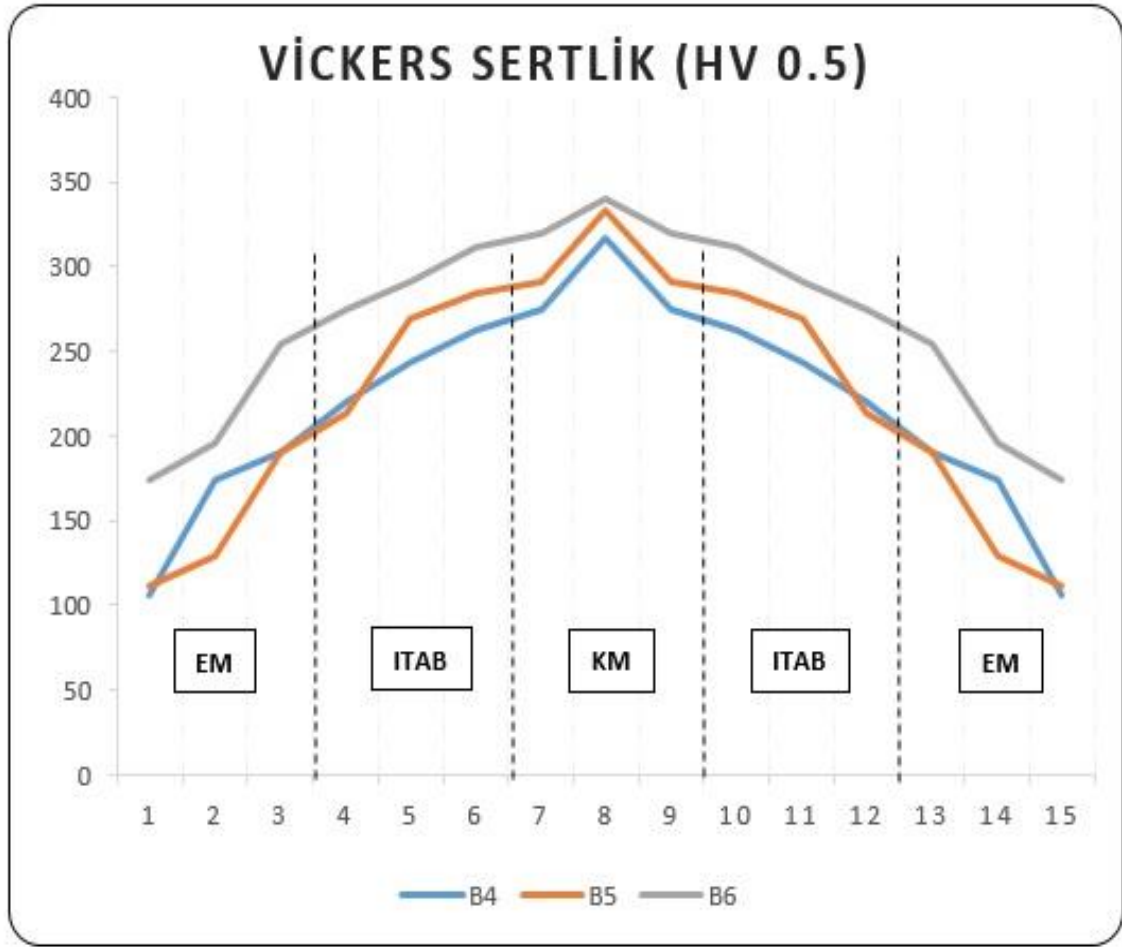
Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

-4 kA olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B1) 217-248 HV,

-6 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (B2) 241-274 HV,

-8 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (B3) 261-296 HV olduğu gözlemlenmiştir.

Elektrot basıncı 2,4 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.8.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.8. HRP6222 Çeliğinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

-4 kA olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B4) 275-317 HV,

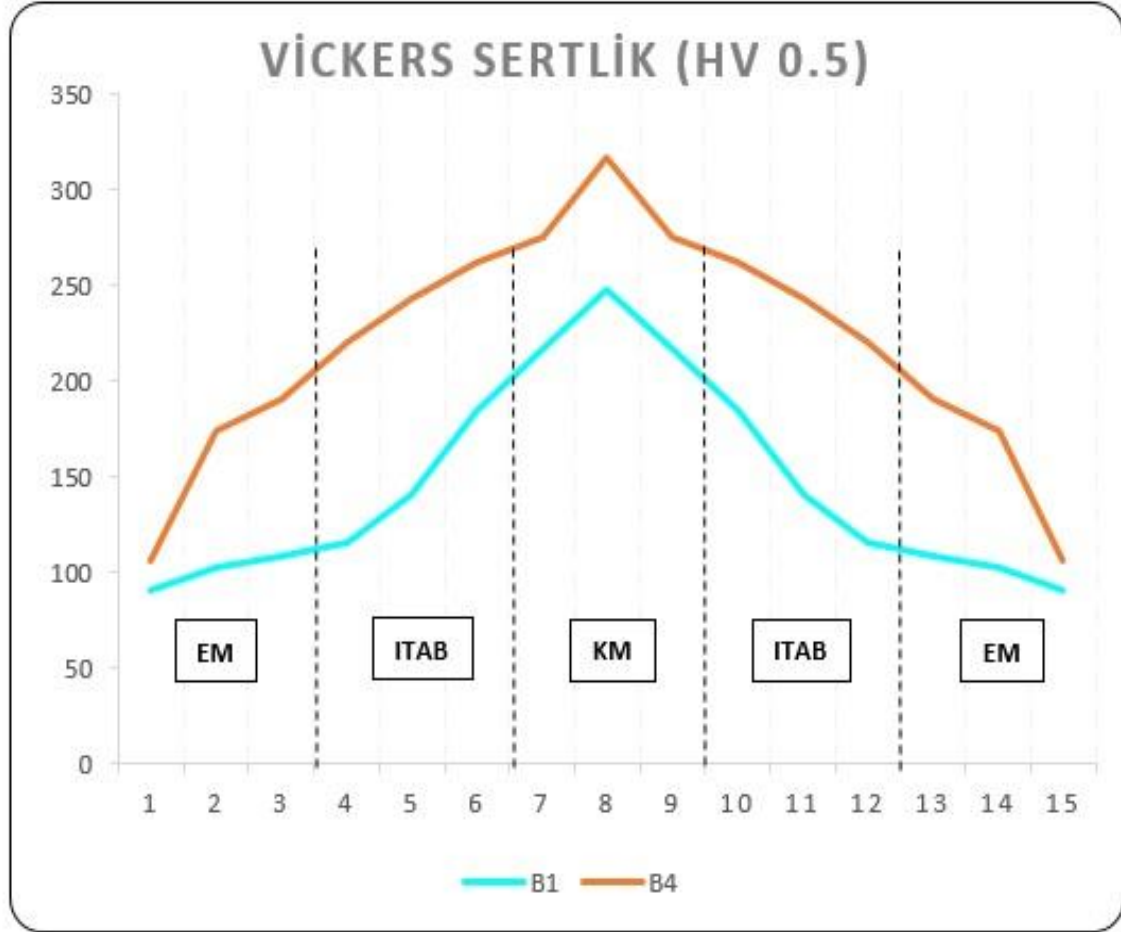
-6 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (B5) 291-333 HV,

-8 kA olduğu kaynak metali bölgesi sertliği (B6) 320-340 HV olduğu gözlemlenmiştir.

İnceleme neticesinde nokta direnç kaynağı işleminde elektrot basınçları aynı olan HRP6222 çeliklerinin, DC04 çelikleri gibi kaynak akımı değerleri arttıkça sertlik ve dayanımları arttığı gözlemlenmiştir.

Nokta direnç kaynağı işlemi prosesi sonrasında sabit kaynak akımı, farklı elektrot değeri olan birleşimler incelenmiştir.

Kaynak akımı 4 kA olan HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.9.'da gösterilmiştir.



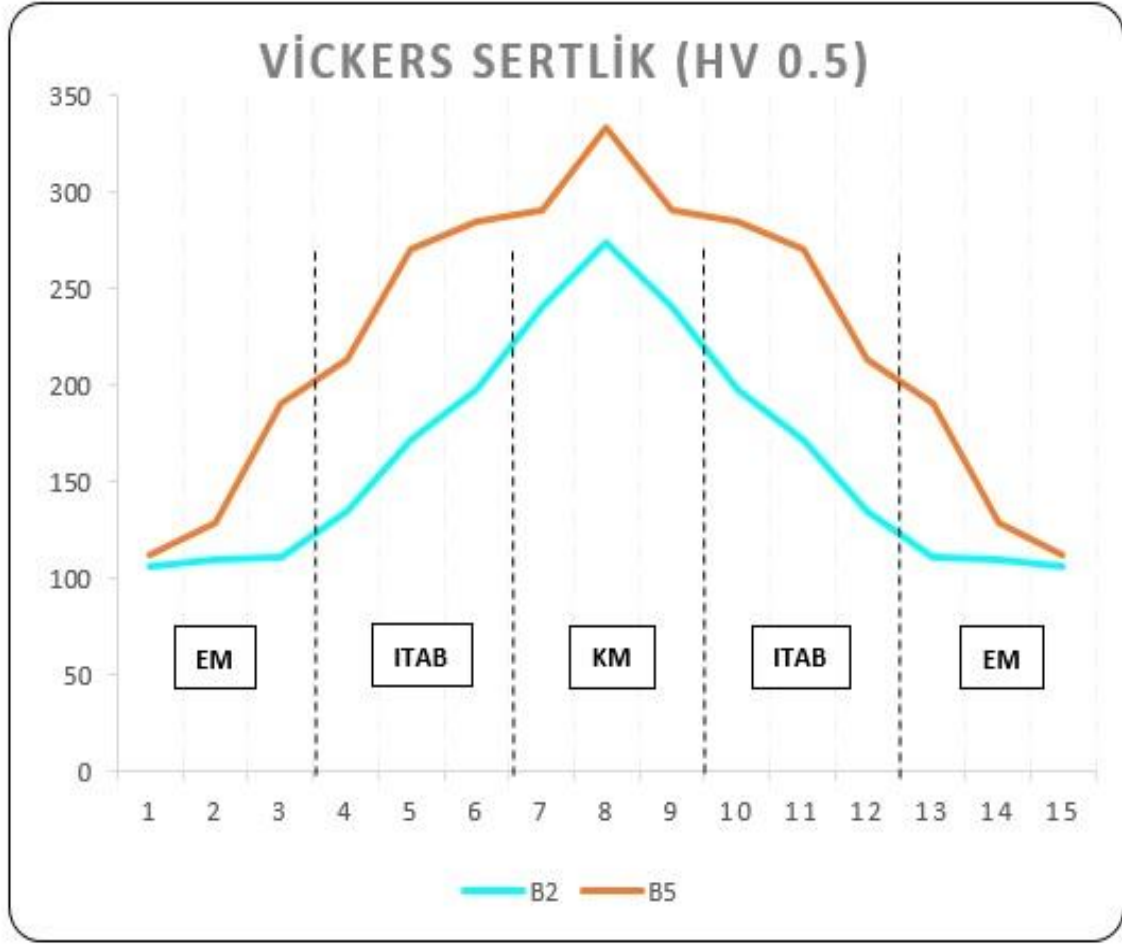
Grafik 5.9. HRP6222 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B1) 217-248 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B4) 275-317 HV olduğu belirlenmiştir.

Kaynak akımı 6 kA olan HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.10.'da gösterilmiştir.



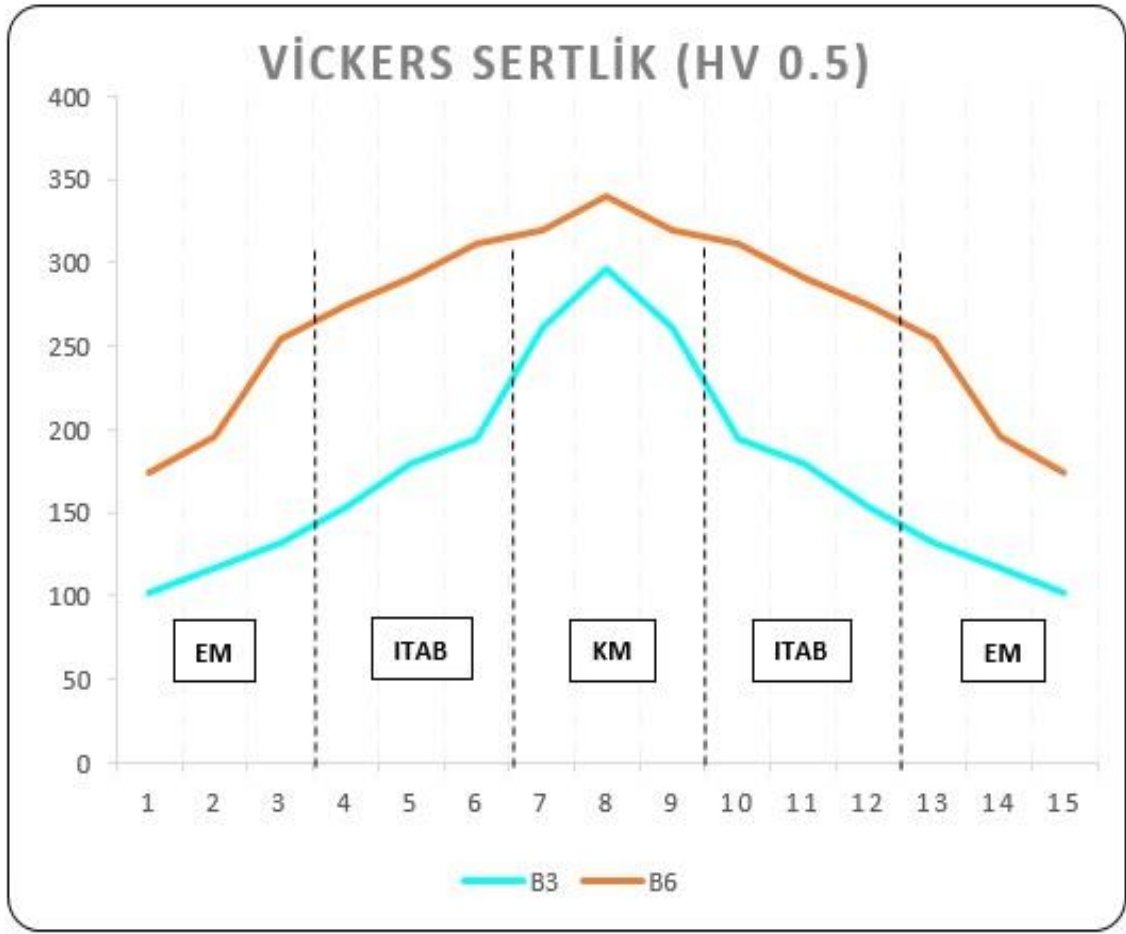
Grafik 5.10. HRP6222 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B2) 241-274 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B5) 291-333 HV olduğu belirlenmiştir.

Kaynak akımı 8 kA olan HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.11.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.11. HRP6222 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

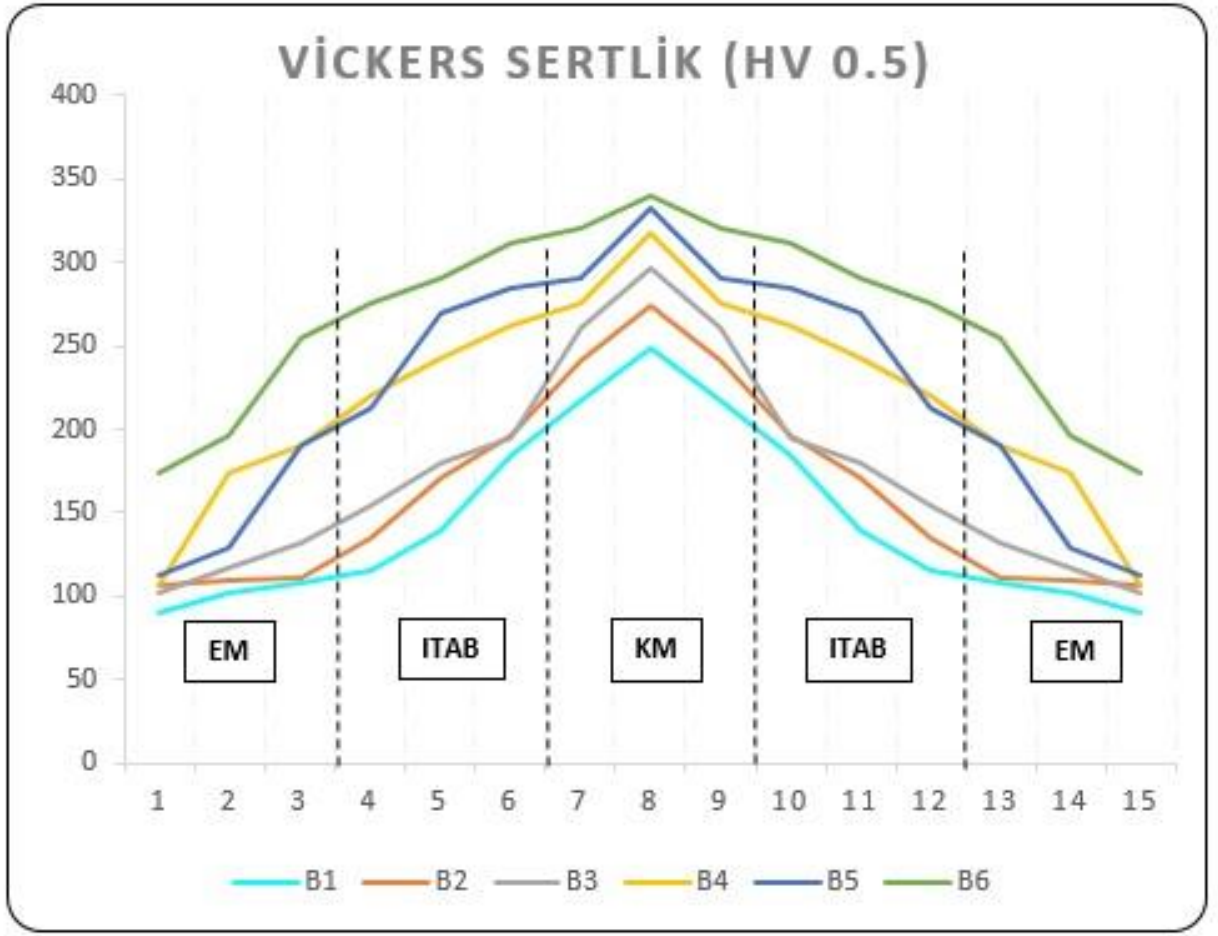
Kaynak akımı sabit değerde olup, elektrot basıncı değeri;

-2,1 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B3) 261-296 HV,

-2,4 kN olduğunda kaynak metali bölgesi sertliği (B6) 320-340 HV olduğu belirlenmiştir.

İnceleme neticesinde nokta direnç kaynağı işleminde kaynak akımları aynı olan HRP6222 çeliklerinin, DC04 çeliklerinde olduğu gibi elektrot basınç değerleri arttıkça sertlik ve dayanımları arttığı gözlemlenmiştir.

2 farklı elektrot basıncı ve 3 farklı kaynak akımı ile birleştirilen HRP6222 çelik numunelerin mikro sertlik değerleri Grafik 5.12.'de gösterilmiştir.



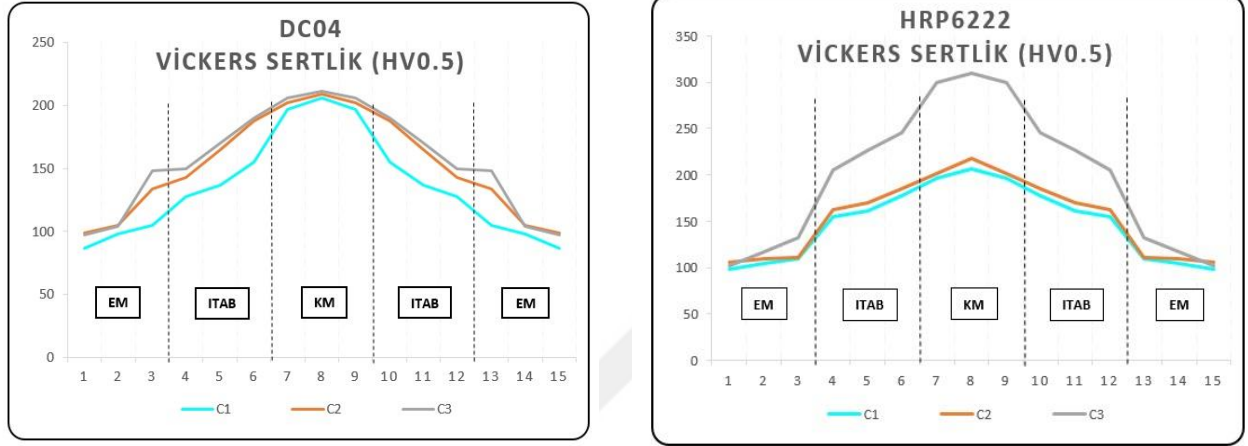
Grafik 5.12. HRP6222-HRP6222 (B Grubu)) NDK birleşimlerin mikro sertlik değerleri

HRP6222-HRP6222 NDK birleşimleri incelenmesi neticesinde;

B6 (2,4 kN ve 8 kA parametre değerlerinde) numunesinin sertlik ve dayanımının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

DC04-DC04 (A Grubu) ve HRP6222-HRP6222 (B Grubu) kaynaklı numunelerin incelenmesi sonrasında iki çeliğin birbirleriyle olan kaynaklı işlemlerin oluşturduğu C grubu numunelerin mikro sertlik değerleri incelenmiştir

Elektrot basıncı 2,1 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan DC04-HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.13.'de gösterilmiştir.



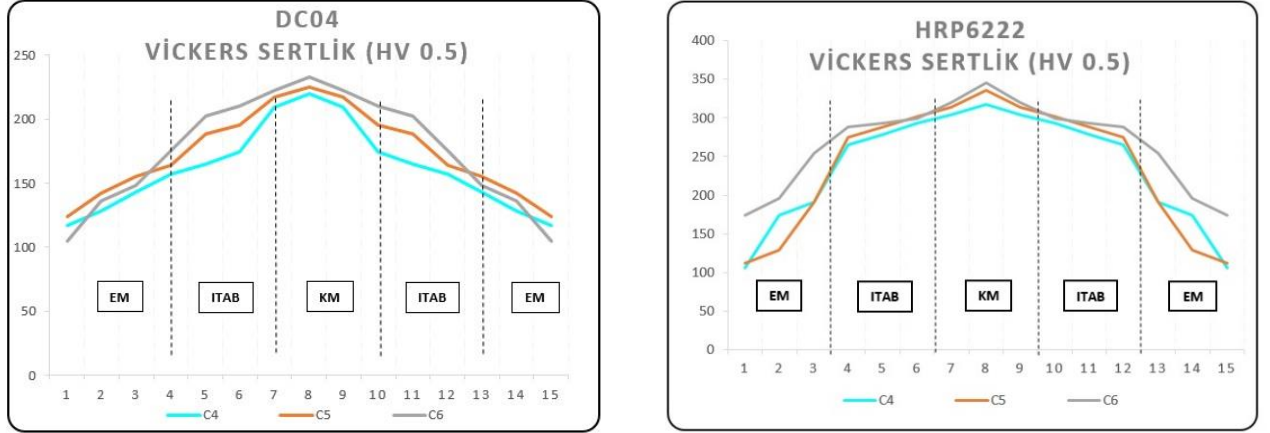
Grafik 5.13. DC04-HRP6222 Çeliklerinin 2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

- 4 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C1) 197-206 HV,
- 4 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C1) 197-208 HV,
- 6 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C2) 202-209 HV,
- 6 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C2) 202-218 HV,
- 8 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C3) 206-211 HV,
- 8 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metal bölgesi sertliği (C3) 300-310 HV olduğu gözlemlenmiştir.

2,1 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminde, A ve B grubunda olduğu gibi numunelerde kaynak akımı arttığında sertlik ve dayanımın arttığı belirlenmiştir.

Elektrot basıncı 2,4 kN ve 4-6-8 kA kaynak akımı olan DC04-HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.14.'de gösterilmiştir.



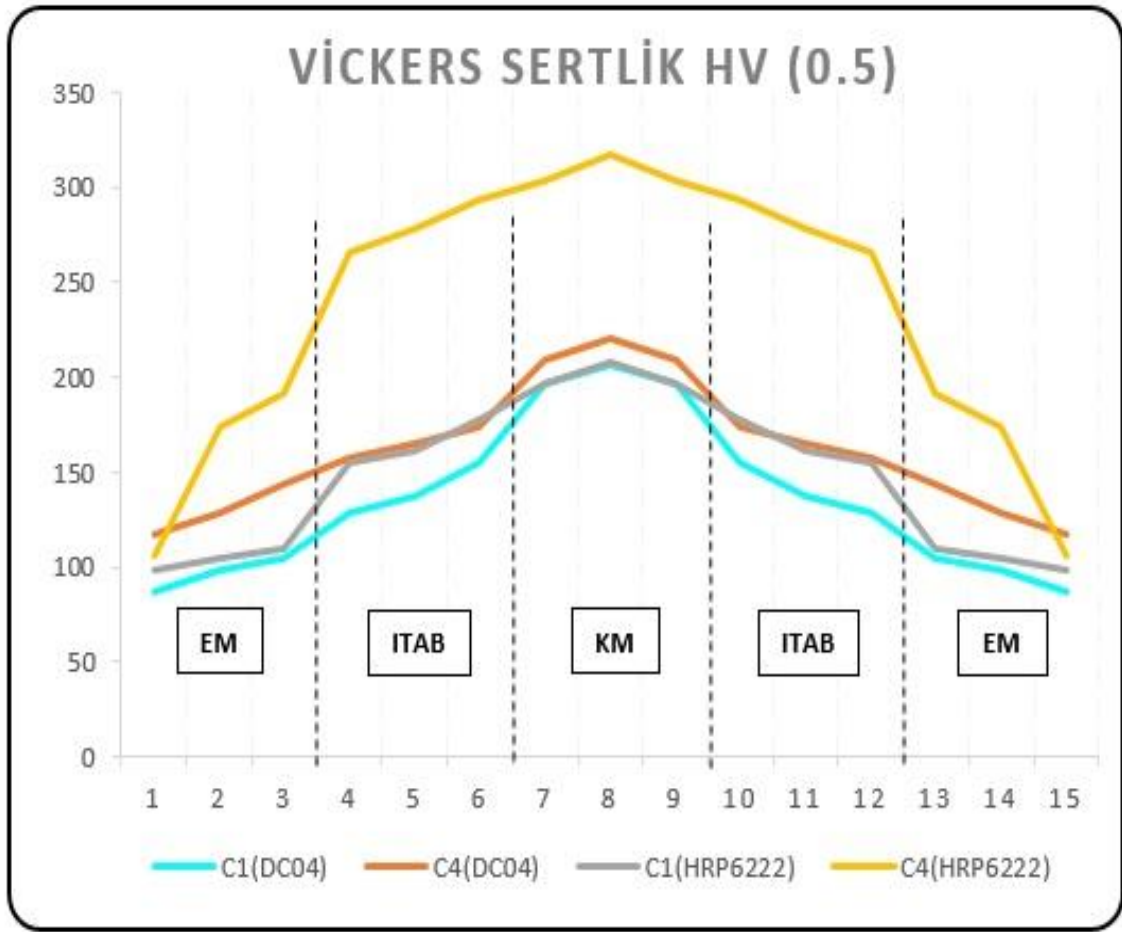
Grafik 5.14. DC04-HRP6222 Çeliklerinin 2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Elektrot basıncı sabit değerde olup, kaynak akımı parametresi;

- 4 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C4) 209-220 HV,
- 4 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C4) 304-317 HV,
- 6 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C5) 217-225 HV,
- 6 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C5) 314-336 HV,
- 8 kA olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C6) 222-233 HV,
- 8 kA olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C6) 320-345 HV olduğu gözlemlenmiştir.

2,4 kN Elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı ile gerçekleştirilen NDK işleminde, numunelerde kaynak akımı arttığında sertlik ve dayanımın arttığı belirlenmiştir.

Kaynak akımı 4 kA olan DC04-HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.15.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.15. DC04-HRP6222 Çeliğinin 4 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı parametresi sabit değerde olup, elektrot basıncı parametresi;

-2,1 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C1) 197-206 HV,

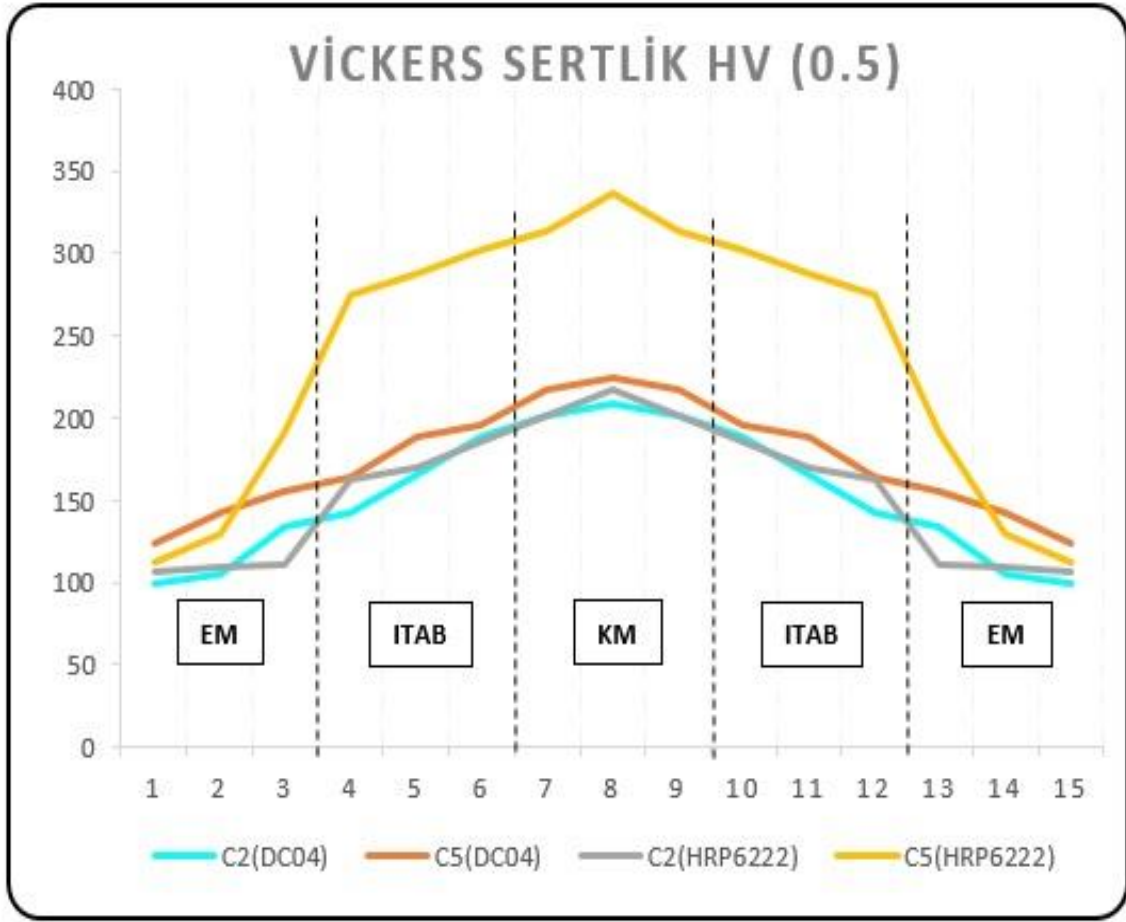
-2,4 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C4) 209-220 HV,

-2,1 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C1) 197-208 HV,

-2,4 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C4) 304-317 HV olarak belirlenmiştir.

Kaynak akımı 4 kA değerinde ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı değerlerinde yapılan NDK prosesinde C1 kaynağında sertlik değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Elektrot basıncı arttırıldığında C4 kaynağında sertlik değerleri arasında oluşan fark yükselmektedir.

Kaynak akımı 6 kA olan DC04-HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.16.'da gösterilmiştir.



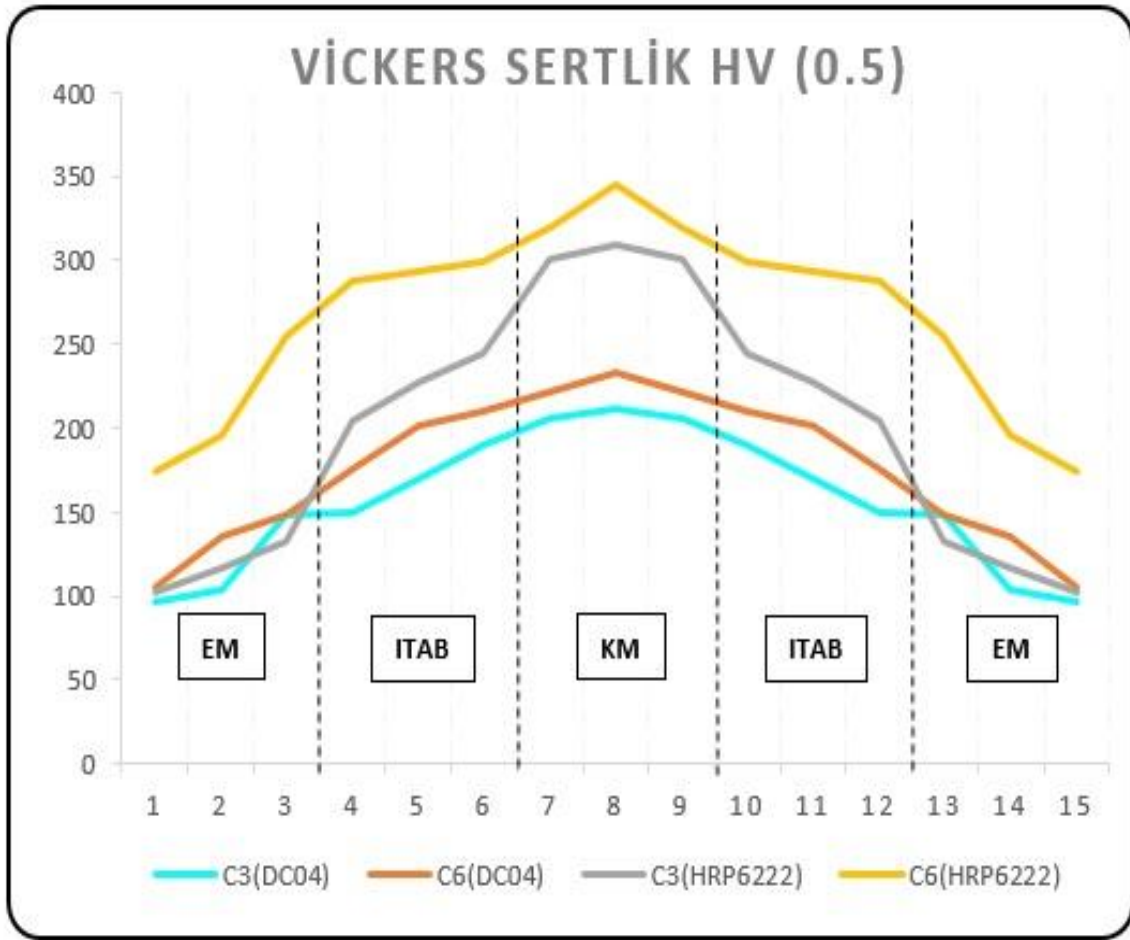
Grafik 5.16. DC04-HRP6222 Çeliğinin 6 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı parametresi sabit değerde olup, elektrot basıncı parametresi;
-2,1 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C2) 202-209 HV,
-2,4 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C5) 217-225 HV,
-2,1 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C2) 202-218 HV,
-2,4 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C5) 314-336 HV olarak belirlenmiştir.

Kaynak akımı 6 kA değerinde ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı değerlerinde yapılan NDK prosesinde C2 kaynağında sertlik değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Elektrot basıncı arttığında, sertlik artmaktadır.

Kaynak akımı 8 kA olan DC04-HRP6222 çeliklerinin NDK işlemi sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri Grafik 5.17.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.17. DC04-HRP6222 Çeliğinin 8 kA kaynak akımı ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı ile gerçekleştirilen NDK işleminden sonra elde edilen mikro sertlik değerleri

Kaynak akımı parametresi sabit değerde olup, elektrot basıncı parametresi;

-2,1 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C3) 206-211 HV,

-2,4 kN olduğunda DC04 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C6) 222-233 HV,

-2,1 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C3) 300-310 HV,

-2,4 kN olduğunda HRP6222 Çeliğinde kaynak metali bölgesi sertliği (C6) 320-345 HV olarak belirlenmiştir

Kaynak akımı 8kA değerinde ve 2,1-2,4 kN elektrot basıncı değerlerinde yapılan NDK prosesinde C3 kaynağında sertlik değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

2,1- 2,4 kN elektrot basıncı ve 4-6-8 kA kaynak akımı parametrelerinde NDK işlemine tutulan DC04 ve HRP6222 çelikleri HV 0,5 Vickers sertliğinde ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde DC04 ve HRP6222 çeliklerinin kaynak proses işleminden sonra kaynak metali bölgesinde sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.

KM bölgesinde sertlik artışı DC04 çeliğinde esas metale göre yaklaşık 1,7 kat, HRP6222 çeliğinde esas metala göre yaklaşık 2,5 kat artış olduğu görülmüştür. Sertlik değerinin artması neticesinde dayanımın da arttığı belirlenmiştir.

Elektrot basıncı artırıldığında C8 kaynağında sertlik değerleri arasında oluşan fark yükseldiği gözlemlenmiştir. Elektrot basıncı arttığında, sertlik artmaktadır.

DC04 ve HRP6222 çelikleri ana malzemede ferritik yapıda bulunmaktadırlar. Nokta direnç kaynağı işlemi sonrasında çeliklerin içyapısında meydana gelen değişimler sertlik dayanımlarını etkilemektedir.

Ferrit yapıda bulunan HRP6222 çeliği NDK işlemi sonrasında martenzit yapıya dönüşmüştür. Çelik malzemeler için, martenzit olarak dönüşüm sertleşme ve dayanımlarına etkisi olduğu belirlenmiştir. Kaynak işlemi boyunca hızlı ısıtma ve soğutma çevrimi neticesinde oluşan martenzit fazı neticesinde esas metale göre kaynak metali bölgesi ve ITAB'da sertleşme daha fazladır.

Ferritik yapıda bulunan DC04 çeliği NDK işlemi sonrasında delta ferrit yapıya dönüşmüştür. NDK işlemi sırasında tane büyümeleri çeliğin sertliğinin artmasına etki etmiştir. Elektrot basıncı ve kaynak akımı değerleri NDK işleminde arttıkça, sertlik değerleri doğru orantılı olacak şekilde arttığı incelenmiştir.

Genel olarak sertlik değerleri çeliklerin mikro yapının sonucu olarak esas metal, ITAB ve kaynak metali bölgesi boyunca sırasıyla arttığı görülmüştür. Tüm NDK işlemleri parametrelerinde ısı girdisi ve hızlı soğumaya bağlı olarak ITAB ve kaynak metali bölgesinde sertlik değerleri de artış göstermiştir.

5.3.Çekme Makaslama Dayanımı

Kaynak işlemlerinde birleşimin kalitesine etki eden faktörlerden biriside çekme makaslama yük kapasitesidir. Çekme makaslama yük kapasitesi belirlenmesi amacıyla NDK işlemleri numunelere çekme makaslama testleri yapılmıştır. Çekme makaslama testi boyunca kırılmanın meydana geldiği en yüksek yük taşıma değeri belirlenerek birleşimlerin dayanım özellikleri incelenmiştir. İnceleme ile birlikte farklı elektrot basınçları ve kaynak akımlarının makaslama özelliklerine etkisi gözlemlenmiştir.

Nokta direnç kaynağı işleminde düşük elektrot basıncı uygulanmasında büyük boyutta mikro boşluklar oluşmaktadır. Elektrot basıncı arttırıldığında kaynak metali bölgesinde daha az boşluklar meydana gelmektedir. Elektrot basınçlarında artış olukça aynı kaynak süresinde birleştirilen numunelerde oluşan temas daha geniş ve daha güçlü sağlanması nedeniyle kaynak akımı da artmaktadır.

NDK işleminde kaynak akımı değeri arttıkça çekirdek çap ve maksimum yük taşıma kabiliyeti de artmaktadır.

Çekme deneyleri orijinal DC04 ve HRP6222 çeliklerine de uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda, nokta direnç kaynaklı birleşimlerin orijinal çeliklere göre çekme makaslama yük taşıma kabiliyetinde NDK işlemi sonucunda kaynak çekirdeğinde oluşan çentik etkisinden ve esas metal, ITAB ve kaynak metali bölgesi arasında oluşan mikro yapı heterojenliğinden dolayı düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

DC04 ve HRP6222 çeliklerinin çekme makaslama deney sonuçları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. DC04-HRP6222 Çeliklerinin çekme makaslama deneyleri sonuçları

Malzeme Bilgisi	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
DC04 Çeliği	17,756	16,863
HRP6222 Çeliği	18,987	19,633

2 farklı elektrot basıncı ve 3 farklı kaynak akımı ile nokta direnç kaynağı uygulanan DC04çeliklerinin çekme makaslama deney sonuçları Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.2.'de 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.2. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	8,344	2,130
6	13,205	4,666
8	14,076	5,288

Tablo 5.3.'de 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.3. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	12,790	3,803
6	14,860	5,870
8	15,392	6,809

2 farklı elektrot basıncı ve 3 farklı kaynak akımı ile nokta direnç kaynağı uygulanan HRP6222 çeliklerinin çekme makaslama deney sonuçları Tablo 5.4. ve Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4.'te 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.4. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	15,468	3,778
6	16,953	4,611
8	17,983	4,752

Tablo 5.5.'de 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.5. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	16,978	4,653
6	17,992	5,017
8	18,745	5,150

2 farklı elektrot basıncı ve 3 farklı kaynak akımı ile nokta direnç kaynağı uygulanan DC04-HRP6222 çeliklerinin çekme makaslama deney sonuçları Tablo 5.6. ve Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.6.’da 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.6. 2,1 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04-HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

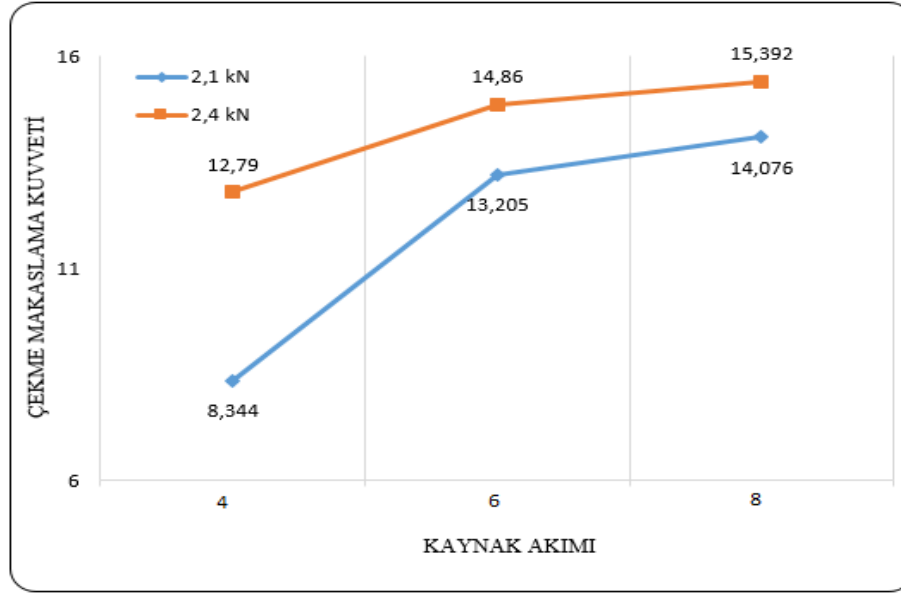
Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	12,314	3,042
6	14,146	4,496
8	15,719	5,528

Tablo 5.7.’de 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.7. 2,4 kN elektrot basıncı ile birleştirilen DC04-HRP6222 birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekme makaslama deney sonuçları

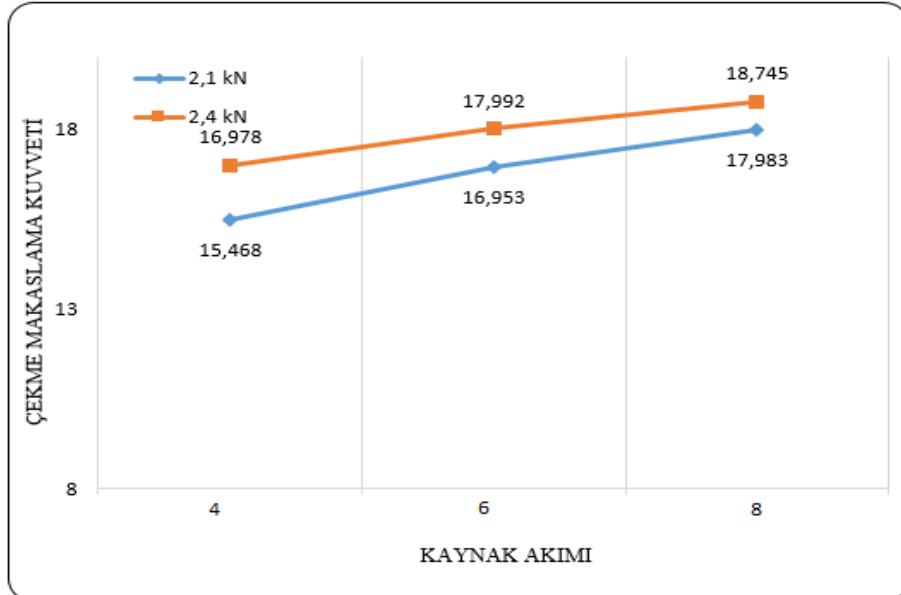
Kaynak Akımı (kA)	Maksimum Kuvvet (kN)	Maksimum Uzama (mm)
4	15,493	5,050
6	15,898	5,485
8	16,605	6,092

DC04 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri Grafik 5.18.'de gösterilmiştir.



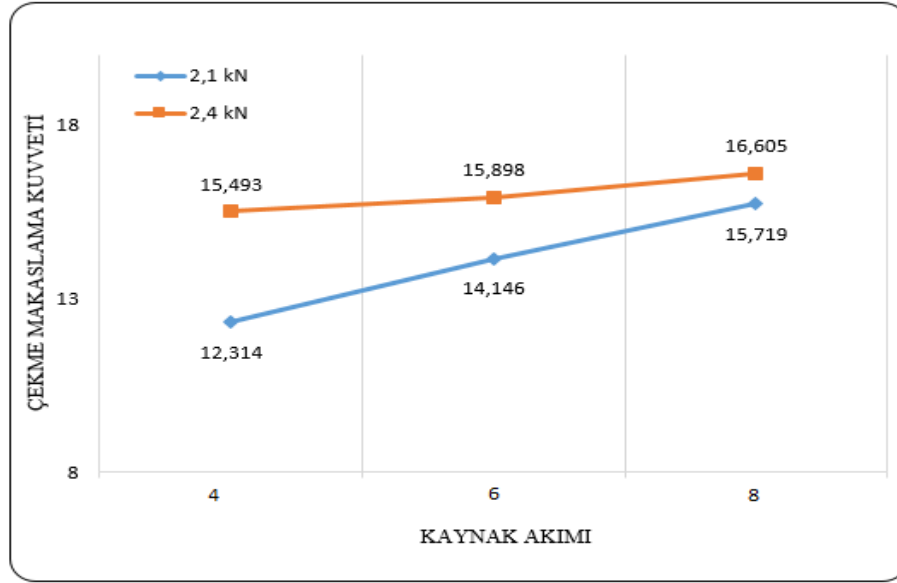
Grafik 5.18. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı DC04 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri

HRP6222 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri Grafik 5.19.'da gösterilmiştir.



Grafik 5.19. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı HRP6222 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri

DC04-HRP6222 çeliklerinin kaynaklı birleşimlerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri Grafik 5.20.'de gösterilmiştir.



Grafik 5.20. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen nokta direnç kaynaklı

DC04-HRP6222 çeliklerinin maksimum çekme makaslama kuvvet değerleri

Nokta direnç kaynaklı DC04-DC04,HRP6222-HRP6222 ve DC04-HRP6222 çeliklerinde 8 kA akımı için 2,4 kN elektrot basıncında maksimum yük taşıma kabiliyetleri görülmüştür.

Grafik 5.18.-5.35.'te verilen grafiklerde kaynak akımının etkisi incelendiğinde, kaynak akımı arttıkça birleşimlerin çekme makaslama yük taşıma kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kapasitenin artması nokta direnç kaynağında kaynak metali bölgesinde oluşan ısı girdisi ile belirlenebilmektedir. Birbirleri ile temas ederek kaynaklanan malzemelerin kaynak yüzeyleri arasında meydana gelmekte olan ısı;

$$Q = K . I^2 . R_{toplam} . t \quad (5.1)$$

Denklem 5.1 ile açıklanmaktadır.

Q:Oluşan ısı değeri

K:Sabit değer (0,239)

I:Akım değeri

R_{toplam}: Elektrik dirençlerinin toplam değeri

t: Süre

Denklem neticesinde akım arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Kaynaklı birleşimlerde, kaynak akımı çekme makaslama yük taşıma kapasitelerini arttırmaktadır. Kaynak akımının artmasının çekme makaslama yük taşıma kapasitesini arttırdığı yönünde belirtmişlerdir.

Elektrot basıncının çekme makaslama yük taşıma kapasitesine etkisi değerlendirildiğinde, elektrot basınç değeri arttıkça ısı girdisi arttığı için çekme makaslama yük kapasitesi artmaktadır.

Malzemelerin mikro yapısal özellikleri dayanım ve kırılma tiplerine etki eden faktörler arasındadır. DC04 çelikleri ferrit yapıda ısı girdisiyle birlikte tane büyümeleri sonrasında martenzit yapıya,HRP6222 çelikleri ferrit yapıdan ısı girdisiyle birlikte iğnemsiz yapıların oluşması sonrasında martenzit yapıya dönüşmüştür. Isı girdisinin artmasıyla martenzit fazında daha yüksek miktarda deformasyon indüklenmesi meydana gelmesi neticesinde daha yüksek sertlik elde edilebilmektedir. Çeliklerde çekme dayanımları Brinell, akma dayanımları Vickers sertliği ile doğru orantılıdır. Sertlik değerlerindeki artış, dayanımı arttırmaktadır. Ancak sertlik arttıkça kaynak metali bölgesi çevresinde kırılma bölgesi oluşmaktadır.

Kırılma bölgede süneklik azalmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde nokta direnç kaynağı işlemi sonrasında çekirdek boyutu ile çekme makaslama yük taşıma kapasitesi arasında ilişkinin olduğunu göstermektedir.

2,1-2,4 kN elektrot basıncı ve 4,6,8 kA kaynak akımları değerlerinde elde edilen nokta direnç kaynaklı DC04 ve HRP6222 çeliklerinin çap değerleri Tablo 5.8.-5.13.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	6,80
6	7,44
8	7,68

Tablo 5.9. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-DC04 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	7,74
6	8,78
8	9,38

Tablo 5.10. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	7,02
6	7,70
8	8,18

Tablo 5.11. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen HRP6222-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	8,26
6	8,94
8	9,58

Tablo 5.12. 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	6,92
6	7,50
8	7,98

Tablo 5.13. 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde birleştirilen DC04-HRP6222 çeliklerinin birleşimlerinin 4-6-8 kA kaynak akımı değerlerinde çekirdek çap değerleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
4	8,16
6	8,28
8	9,16

Kaynak çekirdek çap değerleri incelendiğinde DC04 ve HRP6222 sac çeliklerinde $4\sqrt{t}$ kuralı kullanılabilmektedir.(t sac kalınlığı)

Sonuçlar $5\sqrt{t}$ kuralı ile açıklanabilmektedir. Kural Japon JIS Z3140 ve Alman DVS2923 standartlarına göre en uygun kural olarak görülmektedir.

Sonuçlar neticesinde DC04 ve HRP6222 çeliklerinde sabit elektrot basıncı parametre değerinde kaynak akımı arttıkça çekirdek çapı doğru orantılı arttığı, Sabit kaynak akımı parametre değerinde elektrot basıncı arttıkça çekirdek çapının arttığı belirlenmiştir. Çekirdek çap değerinin artmasıyla birlikte çekme makaslama yük taşıma kapasitesi arttığı gözlemlenmiştir.

5.4.Kırılma Tipleri

Çekme makaslama testi uygulanan DC04 ve HRP6222 çelik numunelerinde değişen elektrot basıncı ve kaynak akımı parametrelerine bağlı olarak ara yüzey, düğme ve tam düğme (yırılma) türünden kırılma tipleri meydana geldiği görülmüştür. Numunelerde oluşan kırılma tipleri nokta direnç kaynağında sıklıkla görülen kırılma tipleridir.

Ara yüzey kırılma tipinde hasar genellikle çatlağın kaynak çekirdeği boyunca ilerlemesiyle, düğme tipi kırılmada hasar çekirdeğin bir kısmının ya da tamamının kaynaklı birleşimlerinden çıkmasıyla oluştuğu belirlenmiştir.

Nokta direnç kaynağı işleminde kırılma tipi kaynaklı birleşimin taşıma kapasitesini ve enerji emilim kabiliyetini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Birleşimlerde oluşan düğme tipi kırılmanın ara yüzey kırılma tipine göre daha yüksek enerji emilim ve taşıma kabiliyetine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

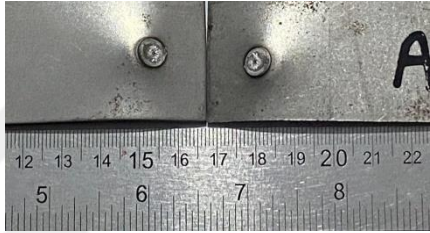
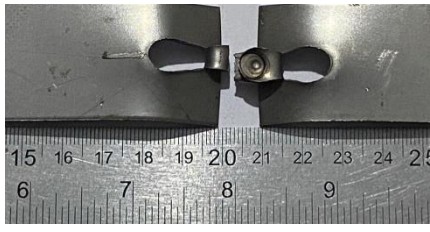
Çekme makaslama testleri sonucunda uygun parametrelerde kaynak bütünlüğünün sağlanması ve malzemede hasar oluşması istenilen bir sonuç olması nedeniyle, düğme ve tam düğme tipi kırılma istenilen bir kırılma tipidir. Ara yüzey tipi kırılmalar nokta direnç kaynaklı numunelerde istenilmeyen kırılma tipleridir.

Nokta direnç kaynağı işleminde düşük akım parametrelerinde kaynak bilgesine giren ısı miktarı düşüktür. Isı miktarının düşük olması nedeniyle kaynak çekirdek çap değerleri de küçüktür. Bu duruma bağlı olarak genellikle ara yüzey kırılma tipi görülmektedir. Yüksek akım parametrelerinde kaynak bölgesine giren ısı miktarı yüksektir. Isı miktarının yüksek olması nedeniyle çekirdek çap değerleri de büyüktür. Büyük çekirdek çap değerlerine bağlı olarak düğme ve tam düğme(yırılma) kırılma tipi görülmektedir.

Numunelerde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.14.-5.19.'da gösterilmiştir.

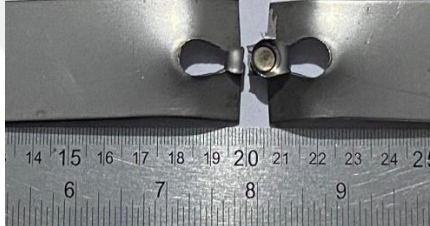
NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.14. NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
DC04 & DC04	A1	2,1	4	Ara yüzey	
	A2		6	Ara yüzey	
	A3		8	Tam düğme	

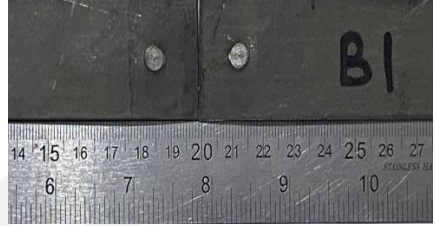
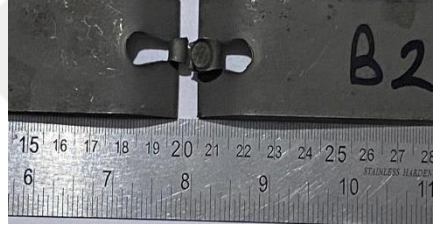
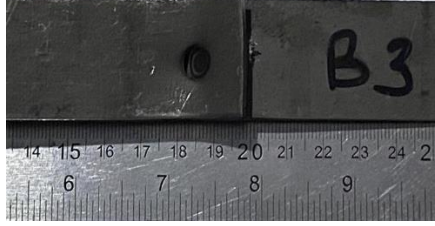
NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.15.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.15. NDK işlemi uygulanan DC04 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
DC04 & DC04	A4	2,4	4	Ara yüzey	
	A5		6	Tam düğme	
	A6		8	Tam düğme	

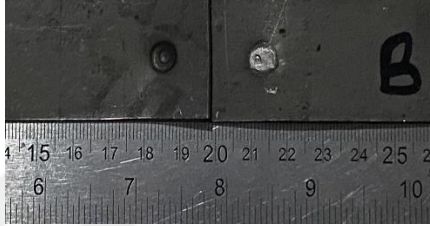
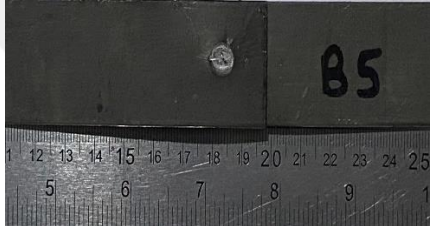
NDK işlemi uygulanan HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.16. NDK işlemi uygulanan HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
HRP6222 & HRP6222	B1	2,1	4	Ara yüzey	
	B2		6	Tam düğme	
	B3		8	Düğme	

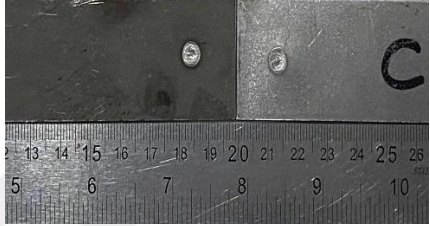
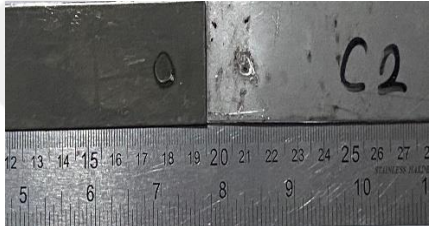
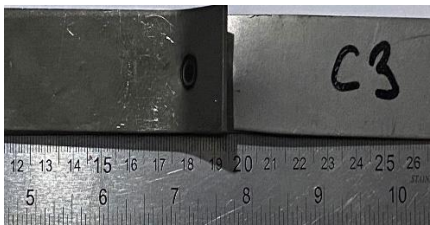
NDK işlemleri uygulanan HRP6222 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17. NDK işlemleri uygulanan HRP6222-çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
HRP6222 & HRP6222	B4	2,4	4	Ara yüzey	
	B5		6	Ara yüzey	
	B6		8	Ara yüzey	

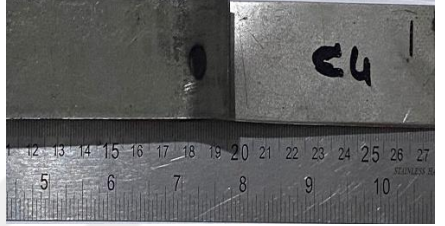
NDK işlemleri uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.18. NDK işlemleri uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,1 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
DC04 & HRP6222	C1	2,1	4	Ara yüzey	
	C2		6	Ara yüzey	
	C3		8	Düğme	

NDK işlemleri uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri Tablo 5.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.19. NDK işlemleri uygulanan DC04-HRP6222 çelik numunelerin 2,4 kN elektrot basıncı parametresinde oluşan kırılma tipleri

Birleşim Bilgisi	Grup Bilgisi	Elektrot Basıncı (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kırılma Tipi	Kırılma Görüntüsü
DC04 & HRP6222	C4	2,4	4	Düğme	
	C5		6	Düğme	
	C6		8	Düğme	

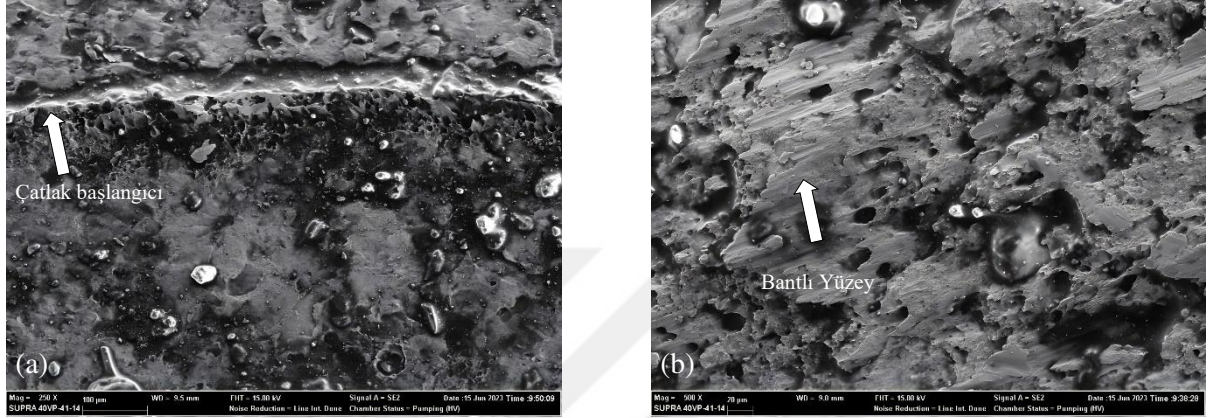
Kırılma tipleri incelendiğinde;

İstenilmeyen kırılma tipi olan ara yüzey kırılma tipi A1-A2-A4-B1-B4-B5-B6-C1-C2 kaynaklı birleşimlerde görülmüştür.

İstenilen kırılma tiplerinden biri olan düğme tipi kırılma B3-C3-C4-C5-C6 kaynaklı birleşimlerde, tam düğme tipi kırılma A3-A5-A6-B2 kaynaklı birleşimlerde görülmüştür.

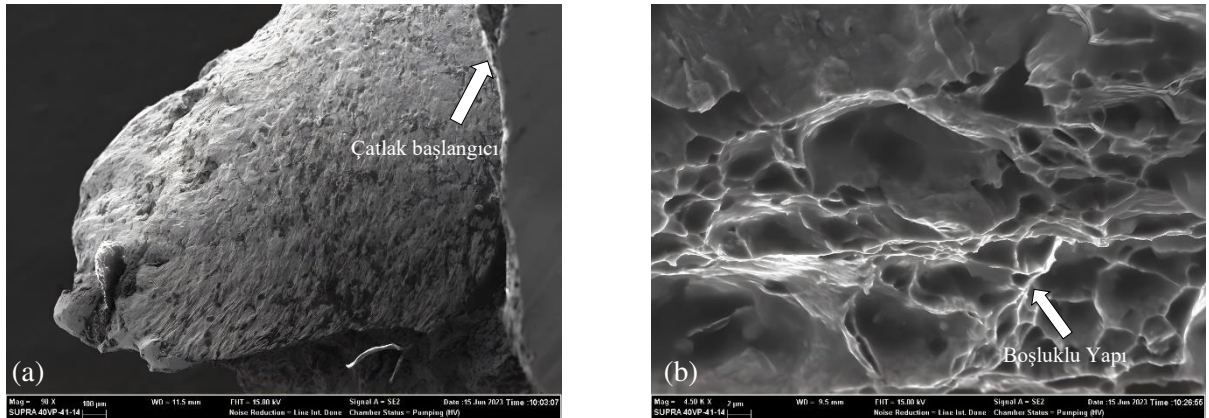
Nokta direnç kaynaklı numunelerin kopmanın başlamış olduğu kırılma bölgelerinden Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile DC04-DC04 kaynaklı A2-A3 birleşimlerinin, HRP6222-HRP6222 kaynaklı B1-B4 birleşimlerin ve DC04-HRP6222 kaynaklı C1-C3 birleşimlerin görüntüleri alınmıştır. Görüntüler Şekil 5.16.-5.21.'de gösterilmiştir.

2,1 kN elektrot basıncı ve 6 kA kaynak parametre değerlerinde (A2 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.16.'da gösterilmiştir.



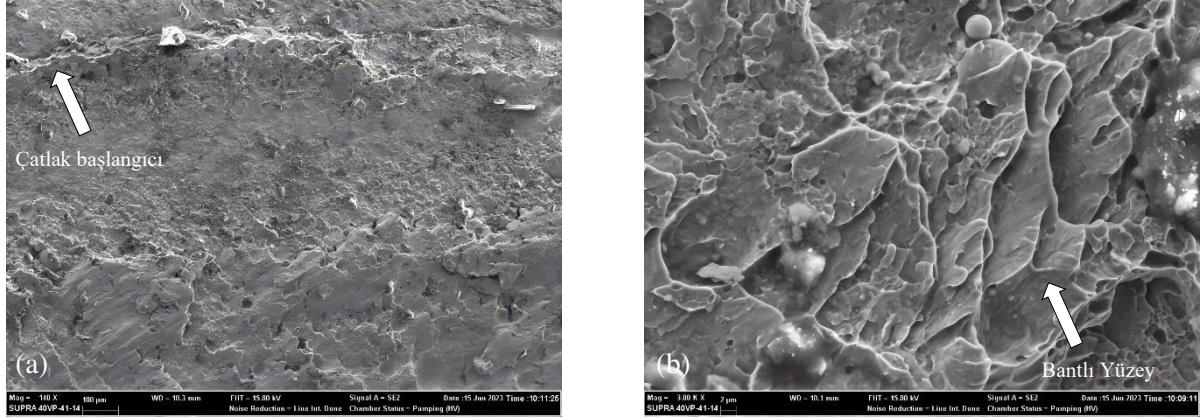
Şekil 5.16. 2,1 kN elektrot basıncı ve 6 kA kaynak parametre değerlerinde (A2 Grubu) NDK uygulanan DC04-DC04 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri

2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (A3 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.



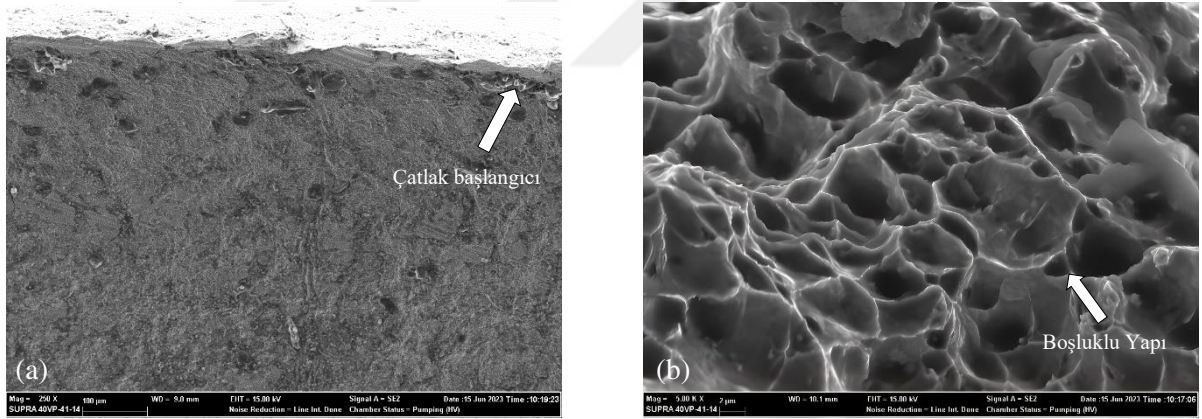
Şekil 5.17. 2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (A3 Grubu) NDK uygulanan DC04-DC04 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri

2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B1 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.



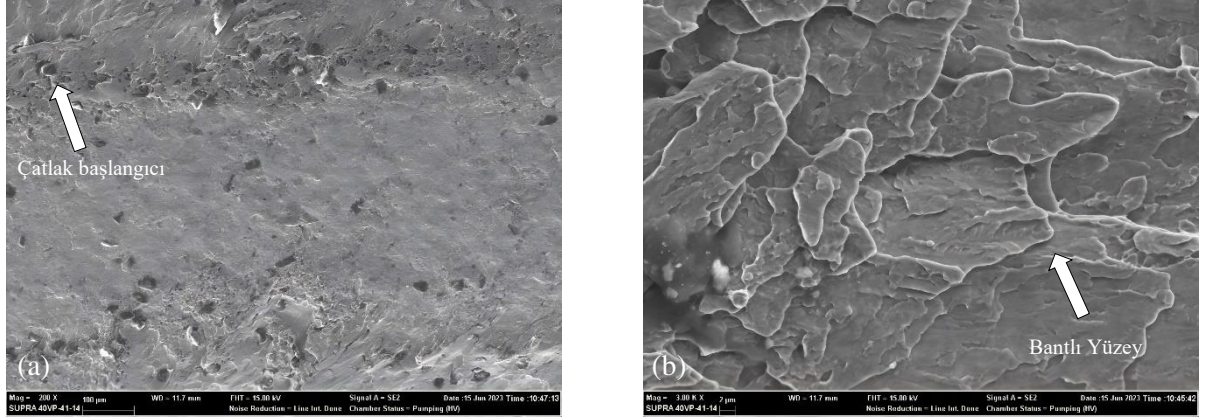
Şekil 5.18. 2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B1 Grubu) NDK uygulanan HRP6222-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri

2,4 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B4 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.19.'da gösterilmiştir.



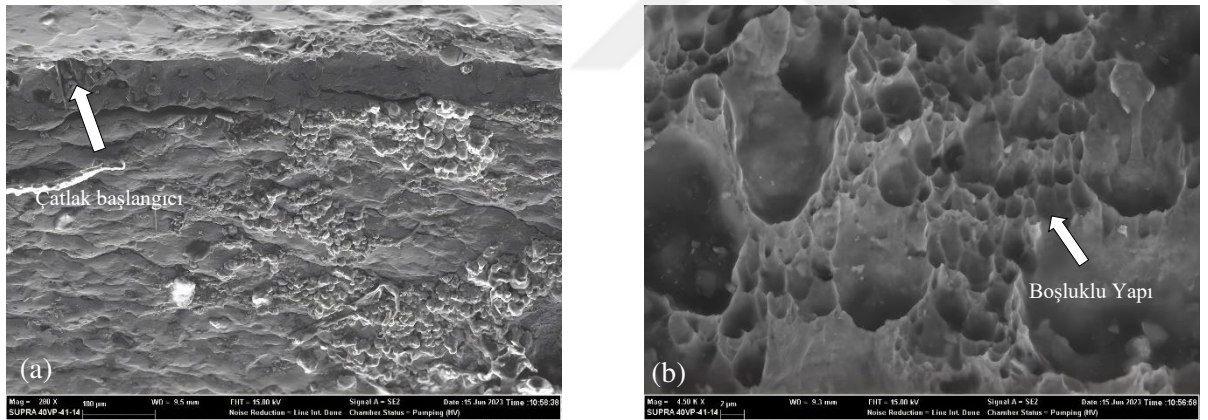
Şekil 5.19. 2,4 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (B4 Grubu) NDK uygulanan HRP6222-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri

2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (C1 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.20.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.20. 2,1 kN elektrot basıncı ve 4 kA kaynak parametre değerlerinde (C1 Grubu) NDK uygulanan DC04-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Bantlı Yüzey SEM görüntüleri

2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (C3 Grubu) SEM görüntüleri Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. 2,1 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak parametre değerlerinde (C3 Grubu) NDK uygulanan DC04-HRP6222 birleşimlerinin: (a) Çatlak Başlangıcı (b) Boşluklu Yapı SEM görüntüleri

Nokta direnç kaynaklı numunelerin SEM görüntüleri incelenmesi neticesinde;

A2,B1 ve C1 birleşimlerinde görülen ara yüzey kırılmasında bantlı yüzeylerin olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerde bantlı yüzeylerin oluşması neticesinde; malzeme yüzeyinde çok az veya hiçbir plastik deformasyon oluşmadan meydana gelen gevrek kırılma tipi görülmüştür. Gevrek kırılma ansızın oluşmasından dolayı genellikle istenmeyen kırılma türüdür. A3,B4 ve C3 birleşimlerinde düğme tipi kırılmadan dolayı boşluklu yapının olduğu gözlemlenmiştir. Boşluklu yapının oluşması ile birlikte malzeme yüzeyinde plastik deformasyon oluşması sonucunda meydana gelen sünek kırılma tipi görülmüştür. Sünek kırılma yapıda beklenen ve olması istenilen kırılma türüdür.



6.SONUÇLAR

Yapılan çalışmada DC04 ve HRP6222 çelik saclarının farklı elektrot basıncı ve kaynak akımı parametre değerleri ile nokta direnç kaynağı yöntemi birleşimleri gerçekleştirilmiştir. Birleşimlerin mikro yapı, sertlik ve çekme makaslama dayanımı değerleri incelenmiştir.

İnceleme sonucunda;

1. Ferrit yapıda olan DC04 ve HRP6222 çeliklerinin yüksek ısı girdisi ile birlikte DC04 çeliğinin kaynak metali bölgesinin mikro yapısının delta ferrit yapıda, HRP6222 çeliğinin kaynak metali bölgesinin mikro yapısının martenzit yapıda olduğu görülmüştür.
2. Nokta direnç kaynağı işleminde elektrot basıncı ve kaynak akımı değerleri artırıldığında birleşimlerin sertlik ve dayanımları arttığı belirlenmiştir.
3. Nokta direnç kaynağı işlemi sonrasında çeliklerin içyapısında meydana gelen değişimlerin sertlik dayanımlarını etkilediği görülmüştür.
4. Kaynak işlemi boyunca hızlı soğutma faktörünün ITAB ve kaynak metali bölgesinde sertlik değerlerinin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.
5. Isı tesiri altında kalan bölge ve kaynak metali bölgesinin esas metal bölgesine göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir.
6. Nokta direnç kaynaklı numunelerde HRP6222 çeliğinin DC04 çeliğine göre sertlik dayanımı değerlerinin fazla olduğu görülmüştür.
7. Sertlik dayanımı değeri en yüksek olarak DC04-HRP6222 birleşimlerinin (C6) 2,4 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak akımı parametre değerlerinde belirlenmiştir.
8. Nokta direnç kaynağı işlemi neticesinde kaynak akımı ve elektrot basıncı değeri arttıkça çekirdek çap değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
9. Isı girdisinin yüksek olması ile birlikte çekirdek çap değerlerinin büyüdüğü belirlenmiştir.
10. Nokta direnç kaynaklı numunelerde çekirdek çap değerinin 2,4 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak akımı parametre değerlerinde büyük olduğu görülmüştür. En yüksek çekirdek çap değeri HRP6222-HRP6222 birleşim grubunda B6 kaynaklı birleşimlerinde ölçülmüştür.

11. Nokta direnç kaynaklı numunelerde çekme makaslama değeri 2,4 kN elektrot basıncı ve 8 kA kaynak akımı parametre değerlerinde büyük olduğu görülmüştür. En yüksek çekme makaslama değeri HRP6222-HRP6222 birleşim grubunda B6 kaynaklı birleşimlerinde ölçülmüştür.

12. Kaynak parametre değerleri, mikro yapı ve çekirdek çapının malzemelerin çekme makaslama dayanımı özelliklerine etki ettiği görülmüştür.

13. Kaynak akımı ve elektrot basıncı değerlerinin artması ile doğru orantılı olarak çekme makaslama dayanımı özelliklerinin arttığı belirlenmiştir.

14. Çekme makaslama dayanımı özelliklerinin çekirdek boyutu ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

15. Çekme makaslama testleri boyunca nokta direnç kaynaklı numunelerde ara yüzey, düğme ve tam düğme(yırtırma) tipi kırılmalar görülmüştür.

16. DC04-DC04 kaynaklı birleşimleri ve HRP6222-HRP6222 kaynaklı birleşimlerinde ara yüzey, düğme ve tam düğmelenme (yırtırma) tipi kırılmalar mevcut olduğu belirlenmiştir.

17. Kırılma tipleri incelendiğinde istenmekte olan kırılma tipi şekillerinin düğme tipi kırılma B3-C3-C4-C5-C6 ve tam düğme tipi kırılma A3-A5-A6-B2 birleşimlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

18. Kırılma tipleri incelendiğinde istenmeyen kırılma tipi şekli olan ara yüzey kırılma tipi A1-A2-A4-B1-B4-B5-B6-C1-C2 birleşimlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

19. Nokta direnç kaynaklı numunelerin kopmanın başlamış olduğu kırılma bölgelerinde bantlı yüzey ve boşluklu yapıların oluştuğu görülmüştür.

20. Kırılma bölgelerinde bantlı yüzeylerin oluşması neticesinde gevrek kırılma olduğu, boşluklu yapılarda sünek kırılma olduğu incelenmiştir.

KAYNAKÇA

- Akkuş, A.** (2006). *Galvanizli Ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. s. 9.
- Anık, S.** (2000). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi*, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 120-128.
- Aran A.** (2008). *Malzeme Bilgisi Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul, s.18.
- Aras, S.** (2016). *Nokta Direnç Kaynağı Uygulanan Farklı Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, s.14.
- Aslanlar, S.** (2006). The Effect Of Nucleus Size On Mechanical Properties İn Electrical Resistance Spot Welding Of Sheets Used İn Automotive İndustry, *Materials And Design*, s. 125–131.
- Cho, Y. Li. & Hu, S. J.** (2006). Design Of Experiment Analysis And Weld Lobe Estimation For Aluminum Resistance Spot Welding, *Supplement To The Welding Journal*, s. 45-51.
- Erik, M.** (2010a). *Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 4.
- Erik, M.** (2010b). *Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 28.
- Elitaş, M.** (2018). *Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilen İleri Dayanımlı Otomotiv Sac Çeliklerinin Yorulma Davranışlarının İncelenmesi*, (Doktora Tezi). Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, s. 3-43.
- Esendir, E.** (2008a). *Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 20.
- Esendir, E.** (2008b). *Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 15-16.
- Fujii, M., Nakanowatari, H., & Nariai, K.** (2015). Rail Flash Butt Welding Technology, *JFE Technical Report*, s. 159-163

Gallagher, M. (2003). *Electrode Wear In The Resistance Spot Welding Of Galvanized Steel Sheet*, (MS Thesis). University of Windsor, Ontario, s. 41-45.

Gülenç, B. (2000). *Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları*, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, s. 3-8.

Hıdıroğlu, M. (2022a). *Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilen Yüksek Ve Ultra Yüksek Dayanımlı Otomotiv Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi*, (Doktora Tezi). Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, s. 38.

Hıdıroğlu, M. (2022b). *Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilen Yüksek Ve Ultra Yüksek Dayanımlı Otomotiv Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi*, (Doktora Tezi). Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, s.41.

Kahraman, N. & Gülenç, B. (2020a). *Modern Kaynak Teknolojisi*, Epa-Mat Basımevi, Ankara, s. 160-184.

Kahraman, N. & Gülenç, B. (2020b). *Modern Kaynak Teknolojisi*, Epa-Mat Basımevi, Ankara, s. 160-184.

Karaköse, M. (2022). *Punta Kaynağında Farklı Desen ve Kaynak Parametrelerinin Çekme Dayanımı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya, s. 25-26.

Kaya, Y. (2010). *Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, s. 27.

Kimchi, M. & Phillips, D. H. (2017). Resistance Spot Welding: Fundamentals and Applications for The Automotive Industry, *Synthesis Lectures on Mechanical Engineering*, s. 34.

Narayanasamy, R. (2006). Forming, Fracture and Wrinkling Limit Diagram for If Steel Sheets Of Different Thicness, *Materials And Design*, s. 29.

Ramazani, A., Mukherjee, K., Abdurakhmanov, A., Abbasi, M. & Prahl, U. (2015). Characterization Of Microstructure And Mechanical Properties Of Resistance Spot Welded DP600 Steel, *Metals*, 5(3), s. 1704-1716.

Serfiçeli, Y. (2005). *Makine Bilgisi ve Şekillendirme*, MEB Yayınları.

Şimşek, G. (2022a). *Twip Ve Kompleks Fazlı Çeliklerinin Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilebilirliği*, (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, s. 7.

Şimşek, G. (2022b). *Twip Ve Kompleks Fazlı Çeliklerinin Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilebilirliği*, (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, s. 8.

Tanses, A. (2019). *Demir Alüminat Metallerarası Bileşiğinin Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s. 70.

Ťavodová, M. (2020). Quality Evaluation Of Welding Joints By Different Methods, *FME Transactions*, s. 816-824.

Yıldırım, O. (2010). *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Nokta Direnç Kaynak Uygulamalarında İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 35.

Zavadski, A. (2018). *Advanced Welding Technologies Used In Aerospace Industry*, (Master's Thesis). Saimaa University Of Applied Sciences Department Of Technology, Finland, s. 75.

Zhang, H. & Senkara, J. (2006). *Resistance Welding: Fundamentals and Applications*. CRC Press; ISBN 0-8493-2346-0, s. 229-287.