



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE
PASLANMAZ ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZKAN TOKA

DANIŞMAN: PROF.DR. İBRAHİM SEVİM

**YALOVA
TEMMUZ 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE PASLANMAZ
ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZKAN TOKA
218113015

DANIŞMAN: PROF.DR. İBRAHİM SEVİM

YALOVA
TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE PASLANMAZ ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Özkan TOKA



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. İbrahim Sevim beyefendiye teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları, benden desteklerini ve dualarını hiçbir zaman esirgemedikleri için anne ve babama, eşim Nuray hanımefendiye ve yavrum Muhammed Selim beyefendiye teşekkür ederim.

Tezimin olgunlaştırılması ve tamamlanmasında çok emeği geçen Doç. Dr. Celaleddin Yüce ve Öğr. Gör. İsmail Kalkan beyefendilere teşekkür ederim.

Deney çalışmalarımızın ve testlerimizin yapılmasında desteklerini hiçbir hususta esirgemeyen ‘Rayflex’ ailesine, ‘Sağlamlar Makine’ yönetici ve çalışanlarına, ‘Bolt Bağlantı Elemanları’ ailesine ve ‘Butekom Ar-Ge’ yönetici ve çalışanlarına gönülden teşekkür ederim.

Temmuz– 2024

Özkan TOKA



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTARATÜR TARAMASI	3
3. PASLANMAZ ÇELİKLER	7
3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	8
3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	9
3.3. Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler	10
3.4. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler.....	11
3.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	12
4. DP ÇELİKLERİ	15
4.1. DP Çeliklerinin Üretimi.....	17
5. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	19
5.1. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı (ENDK)	20
5.1.1. ENDK Yönteminin avantajları	21
5.1.2. ENDK Yönteminin dezavantajları.....	22
5.1.3. Elektrik direnç nokta kaynak aşamaları.....	22
5.1.4. Elektrik direnç nokta kaynağı parametreleri.....	23
5.1.5. ENDK da parametrelerinin kaynağa etkileri:	24
a) Kaynak Akımı	25
b) Kaynak Süresi	25
c) Elektrot Bileşimi ve Şekli	26
d) Kaynak Kuvvetinin Etkisi.....	27
e) Kaynak Yapılacak Metalin Kimyasal Bileşenleri.....	28
f) Esas Metalin Yüzey Etkisi	28
6. ÇELİĞİN NOKTA DİRENÇ KAYNAKLANABİLİRLİĞİ	29
6.1. Kaynak Fiziksel ve Metalürjik Özellikleri	29
6.2. Kaynak Mekanik Performansı	31
6.3. Kırılma Tipi	33
7. DENEY ÇALIŞMALARI	37

7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	37
7.2. Deney Malzemelerinin Boyutları ve Kaynak İçin Hazırlanması	37
7.3. Malzemelerin Kaynatılması	39
7.4. Yapılan Ölçüm ve Testler	44
7.4.1. Kaynak çapı ve elektrot dalma derinliği ölçümü	44
7.4.2. Çekme-makaslama testi.....	46
7.4.3. Mikro sertlik testi	47
7.4.4. Mikro yapının incelenmesi.....	48
8. DENEY SONUÇLARI.....	51
8.1. Kaynak Çekirdek Ölçümü ve Dalma Derinliği İncelemesi	51
8.1.1. DP 980-DP 980 birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri.....	51
8.1.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri	52
8.1.3. 304-304 Kalite çelik birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri.....	53
8.2. Çekme-Makaslama Testi İncelemesi	55
8.2.1. DP 980-DP 980 Çelik çifti birleşimi	55
8.2.1.1. Kaynak akımının etkisi	56
8.2.1.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)	57
8.2.2. DP 980-304 Çelik çifti birleşimi	58
8.2.2.1. Kaynak akımının etkisi	59
8.2.2.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)	60
8.2.3. Paslanmaz 304-304 kalite paslanmaz çelik çifti birleşimi	61
8.2.3.1. Kaynak akımının etkisi	61
8.2.3.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)	62
8.3. Mikro Sertlik Sonuçlarının İncelemesi	63
8.3.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik incelemesi (max gerilim) ...	63
8.3.2. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik incelemesi (min gerilim)	64
8.3.3. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik incelemesi (max gerilim).....	65
8.3.4. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-10 cycle sertlik incelemesi (min gerilim).....	66
8.3.5. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik incelemesi (max gerilim).....	67
8.4. Mikro Yapıların İncelenmesi	68

8.4.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı incelemesi (max gerilim)	68
8.4.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı incelemesi (min gerilim)	70
8.4.3. DP-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı incelemesi (max gerilim)....	71
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
9.1. Sonuçlar	73
9.2. Öneriler.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	81



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
B	: Bor
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CuCrZr	: Bakır Krom Zirkonyum
D	: Kaynak Çekirdek Çapı
Fe	: Demir
I	: Kaynak Akımı
kA	: Kiloamper
kN	: Kilonewton
kVA	: Kilovoltamper
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Nb	: Niobyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
P	: Fosfor
R	: Direnç
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
t	: Zaman
Ti	: Titanyum
Q	: Isı Miktarı

KISALTMALAR

AHSS	: Geliştirilmiş Yüksek Dayanımlı Çelik
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AWS	: Amerikan Kaynak topluluğu
DP	: Dual Phase (çift fazlı)
ENDK	: Elektrik Nokta Direnç Kaynağı
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
TIG	: Tungsten Asal Gaz Kaynağı
TRIP	: Dönüşüme Bağlı Plastisite Çelikleri

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler (Osmanoğlu, 2012)	8
Tablo 3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (Kaya, 2014)	9
Tablo 3.3. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikler (Kaya, 2014).....	9
Tablo 3.4. Dupleks paslanmaz çeliklere ait bazı mekanik özellikler (Kaya, 2014).....	11
Tablo 3.5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri (Türkyılmazoğlu, 2006)	12
Tablo 3.6. Östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikler (Türkyılmazoğlu, 2006).....	13
Tablo 5.1. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları (Hayat, 2005)	26
Tablo 7.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim oranları (%) (Türkyılmazoğlu, 2006).....	37
Tablo 7.2. Deney malzemelerinin bazı mekanik özellikleri (Türkyılmazoğlu, 2006)	37
Tablo 7.3. ENDK makinesinin bazı teknik özellikleri	39
Tablo 7.4. Küresel (16 mm) elektrotun kimyasal bileşim oranları	41
Tablo 7.5. Numune, deney numarası ve parametre çizelgesi.....	42
Tablo 8.1. DP 980-DP 980 kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri	51
Tablo 8.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri	53
Tablo 8.3. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri	54
Tablo 8.4. DP 980-DP 980 kaynak çiftinin çekme-makaslama gerilim değerleri	55
Tablo 8.5. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri	58
Tablo 8.6. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri	61
Tablo 8.7. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik değerleri	63
Tablo 8.8. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik değerleri	64
Tablo 8.9. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik değerleri	65
Tablo 8.10. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-10 cycle sertlik değerleri.....	66
Tablo 8.11. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik değerleri.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Paslanmaz çelik türleri için krom, nikel miktarları (ÇS: çökeltme sertleşmesi uygulanabilen) (Türkyılmazoğlu, 2006)	7
Şekil 4.1. DP çelikleri resimleri (a) şematik ve (b) mikro yapı (Sezgin, 2016)	15
Şekil 4.2. DP çeliklerde çekme dayanımının MHO'ya göre değişimi (Aslan, 2017)	16
Şekil 4.3. DP çeliklerin diğer çeliklere göre gerilim-gerinim grafiği (Alharbi, 2015)	17
Şekil 4.4. DP imalatının şematik gösterimi (Ennis, 2017)	18
Şekil 5.1. Dikiş direnç kaynak yöntemi (Esindir, 2009)	19
Şekil 5.2. Kabartılı kaynak yöntemi a) tekli kabartılı kaynak, b) çoklu kabartılı kaynak (Dolutaş, 2001)	20
Şekil 5.3. Punta kaynağı şematik resmi (Muthu, 2019)	21
Şekil 5.4. Elektrik direnç kaynağı işlem adımları (Kelleci, 2021)	23
Şekil 5.5. Elektrik direnç kaynağı için kullanılan parametreler (Aras, 2016)	24
Şekil 5.6. Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama mukavemetine etkisi	25
Şekil 5.7. İmalat sektöründeki başlıca elektrot ucu formları (Kahraman, 2020)	27
Şekil 5.8. Direnç nokta kaynak boyutları	28
Şekil 6.1. Nokta direnç kaynaklarının makro yapı görüntüsü (Pouranvari, vd 2007)	29
Şekil 6.2. Kaynak metalinde çekme (çekinti) boşlukları (Pouranvari vd, 2001)	31
Şekil 6.3. Kaynak çekirdek çevresi ve arayüzey gerilme dağılımı testleri a) çekme makaslama b) çapraz gerilme c) koç kabuğu testi (Pouranvari, 2013)	32
Şekil 6.4. Çekme makaslama testi süresince tipik yük-yer değiştirme eğrisi (Pouranvari, 2013)	33
Şekil 6.5. ENDK'nın mekanik testlerinde oluşan farklı kırılma tipleri a) arayüzey b) çekme tipi c) kısmi arayüzey d) kısmi kalınlık-kısmi çekme tipi kırılma (Pouranvari, 2013)	34
Şekil 7.1. ENDK Deneyi için hazırlanan sacların boyutları	38
Şekil 7.2. Lazer kesimde sacların kesime hazırlanması	38
Şekil 7.3. Lazer kesimde sacların kesilmesi	39
Şekil 7.4. ENDK makinesi	40
Şekil 7.5. Küresel elektrotlar (kaynak öncesi ve sonrası)	41
Şekil 7.6. DP 980/304 numuneleri	43
Şekil 7.7. Paslanmaz 304/304 numuneleri	43
Şekil 7.8. DP 980/DP 980 numuneleri	44
Şekil 7.9. Stereo mikroskop	45
Şekil 7.10. Stereo mikroskopta örnek çap ölçümü	45
Şekil 7.11. Utest Universal 250kN kapasiteli çekme test cihazı (Uludağ Üniversitesi)	46

Şekil 7.12. Bakalite alınan numuneler	47
Şekil 7.14. Optik mikroskop	49
Şekil 8.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti çap ölçümleri	51
Şekil 8.2. DP-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çifti çap ölçümleri.....	52
Şekil 8.3. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümleri.....	53
Şekil 8.3. (devam) 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümleri	54
Şekil 8.4. DP 980-DP 980 birleşimindeki akım şiddetinin çekme makaslama dayanımına etkisi	56
Şekil 8.5. DP 980-DP 980 birleşimindeki kaynak süresinin çekme makaslama dayanımına etkisi.....	57
Şekil 8.6. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi.....	59
Şekil 8.7. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak süresinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	60
Şekil 8.8. 304-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi.....	61
Şekil 8.9. 304-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak süresinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	62
Şekil 8.10. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik grafiği.....	63
Şekil 8.11. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik grafiği	64
Şekil 8.12. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik grafiği	65
Şekil 8.13. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-11 cycle sertlik grafiği	66
Şekil 8.14. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik grafiği	67
Şekil 8.15. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri.....	68
Şekil 8.15. (devam) DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri.....	69
Şekil 8.16. DP-304 kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri.....	70
Şekil 8.16. (devam) DP-304 kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri.....	71
Şekil 8.17. DP-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı resimleri.....	71
Şekil 8.17. (devam) DP 980-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı resimleri.....	72

ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DP 980 ÇELİK SACLAR İLE PASLANMAZ ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmamızda üstün mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv sektöründe kullanımı hızla artan DP 980 çeliği ile piyasada kolaylıkla bulunan paslanmaz 304 kalite çeliğinin nokta direnç kaynak kabiliyetine, kaynak akımı ve kaynak süresinin etkileri incelenmiştir. Kaynak işlemi sabit 0,5 N/mm² elektrot basıncında 7 kA, 9 kA ve 11 kA kaynak akımlarında ve 10-15-20-25 cycle (1 cycle=0,02 sn) kaynak sürelerinde yapılmıştır. Elektrot olarak 16 mm çapında bakır uçlu küresel elektrot kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda numunelere çekme-makaslama deneyi uygulanmıştır. Çekme-makaslama dayanımının maksimum değerine 25 cycle kaynak zamanı ve 11 kA akım şiddetinde ulaşılmıştır. Kaynak sonrasında kaynak çapı ve dalma derinliği ölçümleri incelenmiştir. En büyük kaynak çapı değerine ve elektrot dalma derinliğine yine 25 cycle kaynak zamanı ve 11 kA akım şiddetinde ulaşılmıştır. Kaynak akımı ve kaynak süresinin önemi belirlenip, çekme-makaslama gerilimi üzerine etkisi gösterilmiştir. Yine kaynak akımı ve kaynak süresinin kaynak çapı ve dalma derinliğine etkisi gösterilmiştir. Aynı zamanda kaynak numunelerinin mikro sertliklerine bakılmıştır. Bunlarla beraber kritik çekme-makaslama gerilme değerlerindeki numunelerin mikro yapıları da incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nokta Direnç Kaynağı, Çekme-Makaslama, Kaynak Çapı, Dalma Derinliği, DP 980.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ELECTRIC SPOT RESISTANCE WELDED DP 980 STEEL SHEETS AND STAINLESS STEEL SHEETS

ABSTRACT

In this study, the effects of welding current and welding time on the spot resistance weldability of DP 980 steel, which is rapidly increasing in use in the automotive sector due to its superior mechanical properties, and stainless 304 grade steel, which is readily available in the market, were investigated. The welding process was carried out at constant electrode pressure of 0.5 N/mm² at welding currents of 7 kA, 9 kA and 11 kA and welding times of 10-15-20-25 cycles (1 cycle=0.02 s). Copper tipped spherical electrode with a diameter of 16 mm was used as electrode. For this purpose, tensile-shear tests were applied to the specimens. The maximum value of tensile-compression strength was reached at 25 cycles welding time and 11 kA current strength. After welding, weld diameter and penetration depth measurements were analysed. The maximum weld diameter value and electrode penetration depth were obtained at 25 cycle welding time and 11 kA current strength. The importance of welding current and welding time were determined and their effect on the tensile-shear stress was shown. The effects of welding current and welding time on weld diameter and penetration depth are also shown. At the same time, the micro hardness of the weld specimens were analysed. In addition, the microstructures of the specimens at critical tensile-compression stress values were also analysed.

Keywords: Spot Resistance Welding, Tensile-Mascining, Weld Diameter, Depth of Penetration, DP 980.

1. GİRİŞ

İhtiyaç medeniyetin üstadıdır. İnsanlığın günümüzdeki en büyük ihtiyaçlarından bazıları güvenlik, enerji ve temiz çevredir. Bu ihtiyaçlar hangi sektöre girerse girsin, o sektörde yeni gelişmelerin oluşumuna sebep olurlar. Otomotiv endüstrisinde de bu ihtiyaçlara cevap vermek için yeni gelişmeler kaydetmiştir. Enerji verimliliği, yakıt tasarrufu, karbon emisyon değerleri gibi unsurlar daha hafif araçlar üretilmesini netice verecek çeliklerin gerekliliğini gösterirken, güvenlik unsuru da daha mukavemetli çeliklerin gerekli olduğunu göstermiştir. Sonuçta hafif ve mukavemetli çeliklerin üretilme çalışmaları sonucunda geliştirilen çeliklerden birisi de çift fazlı (DP) çelikleridir.

Çalışmamızda ele aldığımız Nokta direnç kaynağı, bakır elektrotlar arasına konumlandırılan kaynağa uygun malzemelerin, elektrotlar arasından elektrik akımının geçirilmesi ile oluşan ısı kullanılarak yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak yapılacak malzemeler (genellikle saclar) elektrotlar vasıtasıyla birbirlerine kuvvet uygulanarak bastırıldığında kısmi geçiş direnci meydana gelmektedir. Elektrik akımı verildiğinde, kısmi geçiş direnç bölgesinde oluşan ısı, malzemelerin ergiyip akabinde soğuyarak birleşmesine sebep olur. Bu yöntem “punta kaynak” diye de isimlendirilir. Kaynak için verilen elektrik akımına “kaynak akımı”, akım verildiği ve elektrot baskı kuvveti altında geçen zamana da “kaynak süresi” adı verilir. Bu kaynak akımı ve kaynak süresi parametrelerinin değerleri doğrudan kaynak kalitesini etkilemektedir. Sac malzemelerin kaynak ile birleştirilmesinde çok kullanışlıdır. Bu nedenle otomotiv sektörünün vazgeçilmez bir kaynak tekniğidir.

Elektrikli nokta direnç kaynağı (ENDK) otomotiv üretiminde gövde montajının %90’ını içermektedir. Dolayısıyla kaynak kalitesi doğrudan araç güvenliğini de etkilemektedir.

Nokta direnç kaynağı maliyetinin düşük olması, otomasyonunun kolay olması, kolay işçilik, parça tolerans çeşitliliğine karşı uyumlu olması gibi sebeplerden araç gövde imalatında çok yaygın kullanılmaktadır.

İncelediğimiz araştırmalar neticesinde DP çeliklerin elektrik nokta direnç kaynağı işleminin otomotiv sektöründe ve diğer endüstriyel sektörlerde önemi görülmektedir. Ayrıca araştırmalarımız neticesinde nokta direnç kaynaklı malzemelerin mekanik özelliklerinin incelemesi için nasıl bir yöntem takip edildiği tespit edilmiştir.

2. LİTARATÜR TARAMASI

Aslanlar ve diğ. (2018), çift fazlı DP 800 ve DP 600 çeliklerini elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmişler. Kaynak akımı aralığı 8,2-16,8 kA ve kaynak süresi 5-30 periyot kullanılarak yapılan çalışmada elektrot basınç kuvveti 6 kN düzeyinde tutulmuştur. Gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri, çekme-makaslama testleriyle izlenmiştir. İncelemeler, kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme-makaslama dayanımının belirli bir seviyeye kadar arttığını, sonrasında ise bu değerin ergime bölgesinde görülen küçülmeyle birlikte azaldığını göstermiştir. Çekme-makaslama azami değer, 20 periyot süre ve 12 kA kaynak akımda 15000 N olarak ölçülmüştür. Araştırmacılar, elde ettikleri çekme-makaslama sonuçlarıyla en uygun kaynak parametrelerini belirleme yoluna gitmişlerdir.

Baydemir (2011), ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin farklı nokta direnç kaynağı parametreler altında birleştirilmesini incelediği çalışmasında, 1 mm kalınlığındaki AISI 430 ferritik ve AISI 310 östenitik paslanmaz çelikleri ele almıştır. 6 kN elektrot kuvveti, 4.5-8.5 kA arası kaynak akımı ve kaynak süreleri 5, 15, 25 periyotları olarak ve kendi aralarında kaynak yöntemiyle birleştirme çalışmaları yaptı. Çekme-makaslama testleri, kaynak çekirdek çaplarının ölçümü ve mikro sertlik testleri gibi yöntemlerle optimum birleştirme mukavemetlerini belirledi. İncelemelerin sonucunda, kaynak akımının ve süresinin artmasıyla kaynak çekirdeği çapını ve derinliğini artırdığı, buna paralel olarak birleştirme mukavemetinin arttığını gösterdi. Sertlik testlerinde azami sertlik değerinin kaynak çekirdeğinde görüldüğü, bunu sırasıyla ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve malzemenin kendisi izlediğini gösterdi. Mikro yapı incelemeleri ise kaynak çekirdeğinde tane irileşmesi tespit etmiştir.

Kocabekir ve diğ. (2008), 316 L kalite östenitik paslanmaz çelik malzemelerini 1 mm kalınlığında nokta direnç kaynağı yöntemiyle birleştirmişler ve bu birleşik bağlantıları mikro yapı, sertlik, statik ve dinamik yük taşıma kapasiteleri açısından incelemişlerdir. Ortaya konulan çalışmalar, kaynağın mekanik özelliklerinin direk olarak kaynak zamanı ve kaynak parametreleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, artan kaynak zamanıyla birlikte artan ısı girişi ve çekirdek boyutu, kaynaklı parçaların çekme-makaslama kapasitelerinde bir artışa yol açmıştır.

Sun ve diğ. (2008), direnç nokta kaynağı yöntemiyle TRIP 800 ve DP 800 yüksek mukavemetli çelikleri çalışmışlardır. Bu çalışmada da, kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti gibi parametreler, farklı değerler ile çalışılmıştır. Gerçekleştirilen kaynak birleştirmeleri, mikro yapı, çekme ve sertlik testlerine tabi tutulmuş ve çekme testi neticesinde oluşan kopmalar

incelenmiştir. Sertlik ölçümlerinde, iki ana malzemenin sertlik değerlerinin benzerlik gösterdiği (250 HV) ancak TRIP 800 çeliğinin kaynak bölgesi sertlik değerinin DP 800 çeliğine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Isı tesiri altındaki bölgeler (ITAB) kıyaslandığında ise DP 800 çeliğinin TRIP 800 çeliğine kıyasla daha geniş bir ITAB'a sahip olduğu gözlemlenmiştir. TRIP 800 ve DP 800 çeliklerinin kaynaklı bağlantılarının kopma görüntüleri incelendiğinde, arayüzey, düğmelenme ve kısmi arayüzey şeklinde hasar tipleri görülmüştür.

Diğer bir araştırmada, AISI 316 L östenitik paslanmaz çelik kalınlığı 1 mm olan levhaları kaynak parametrelerini değiştirerek elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştiren Amadeh ve diğ. (2014), çekme-makaslama, mikro sertlik mikro yapı üzerine çalışmalar yapmıştır. İncelemeler sonucunda, artan kaynak akımının, 8 kA'ya kadar olan süreçte kaynak çekirdeği boyutunu artırarak çekme-makaslama yük kapasitesinde artışa neden olduğu fakat 9 kA'da ise mukavemetin azaldığı gözlenmiştir. Mikro yapı çalışmaları da kaynak çekirdeğinin farklı delta ferritlerden meydana geldiğini gösterirken, mikro sertlik testleri, kaynak çekirdeğinin ITAB ve asıl metalden daha düşük bir sertlik değerine sahip olduğu rapor edilmiştir.

Rajarajan ve diğ. (2018), çift fazlı DP 800 çeliğini elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirdiler. Çalışmada, farklı kaynak akımları kullanılmış, elektrot kuvveti ve kaynak süresi gibi parametreler sabit tutulmuştur. Yapılan birleştirmeler mikro yapı, mikro sertlik, çekme-makaslama incelemelerine tabi tutulmuştur. Araştırma neticesinde, kaynak akımının yükselmesiyle çekme-makaslama dayanımının da önce bir noktaya ulaşıncaya kadar arttığı, ardından azaldığı görülmüştür. Ayrıca, artan akımın ergime bölgesinde bir artışa neden olduğu ve mikro sertlik testlerinde azami sertlik değerinin ergime bölgesinde tespit edildiği raporlanmıştır. ITAB 'daki düşük sertlik değerinin sebebi kaynak sırasındaki ısının olduğu belirtilmiştir.

Özyürek (2008), 1 mm kalınlığındaki 316 L kalite paslanmaz çelikleri farklı kaynak akımlarında birleştirerek, yük taşıma kapasitelerini, mikro sertlik ve mikro yapıları incelemiştir. Yapılan çalışmalar, kaynak akımının artmasıyla birlikte çekirdek boyutunun büyüdüğünü ve bu durumun bağlantıların çekme-makaslama dayanımlarında bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, azot gazının etkisini de incelediler. Azot gazı kullanılıncaya yapılan kaynakların atmosferik şartlarda yapılanlardan daha fazla bir dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Mikro yapı, incelemelerinde ise, ITAB 'da daha kaba taneli bir yapı oluştuğunu gözlemlediler. Sertlik testlerinde ise asıl malzemenin, kaynak çekirdeğinin ve ITAB'ın değerlerinin yakın olduğunu göstermiştir.

Zhang ve diğ, (2014) çalışmasında farklı kalınlıklarda DP 600 - DP 780 çelik malzemeleri arasındaki mekanik özellikler ve mikro yapı değişimini analiz etmek amacıyla nokta direnç kaynak çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, alaşım elementlerinin ısı tesiri altında dağılımı incelenmiş ve birleştirilen malzemelerin mikro sertliği belirlenmiştir. Kaynak metalinin mikro yapısı genellikle ferrit ve kaba martenzit fazlarından oluşur. Tane boyutları ve martenzit hacim oranları ana metal, kaynak bölgesi ve ITAB 'da artış gösterir. Bunlarla beraber, alaşım elementleri kaynak bölgesinde homojen bir dağılımı görülmüştür. Kaynak bölgesinde elde edilen sertlik, ana metalden önemli ölçüde daha yüksek ve ana metalin çevresindeki kritik olmayan ITAB'ın içinde, martenzit temperlenmesi sebebiyle yumuşama bölgeleri meydana geldi. Yapılan çekme testleri sırasında, düğmeleme tipi ve arayüzey kırılması olmak üzere iki farklı kırılma tipi gözlemlendi. Bu kusurların birbiriyle çekiştiği ve kaynak parametrelerinin değişmesiyle arayüzey kırılmasından düğmeleme tipi kırılmaya doğru geçildiği tespit edildi. Kaynak çekirdeği boyutunun, birleşmelerdeki kırılma tiplerinde önemli bir rol oynadığı ve kaynak çekirdeği boyutu 6,6 mm değerinin, hata türleri arasındaki geçişte kritik bir eşik nokta olduğu da gözlenmiştir.

İncelediğimiz araştırmalar neticesinde DP ve östenitik paslanmaz çeliklerin elektrik nokta direnç kaynağı işleminin otomotiv sektöründe ve diğer endüstriyel sektörlerde önemi görülmektedir. Ayrıca araştırmalarımız neticesinde nokta direnç kaynaklı malzemelerin mekanik özelliklerinin, mikro sertliğinin, mikro yapısının incelemesi için nasıl bir yöntem takip edildiği tespit edilmiştir.

Literatürde yaptığımız gözlem ve araştırmada nokta direnç kaynaklı DP 980 ve paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri üzerine henüz bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada nokta direnç kaynaklı DP 980 ve paslanmaz çeliğinin mekanik özelliklerinin, kaynak çapının, mikro yapısının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

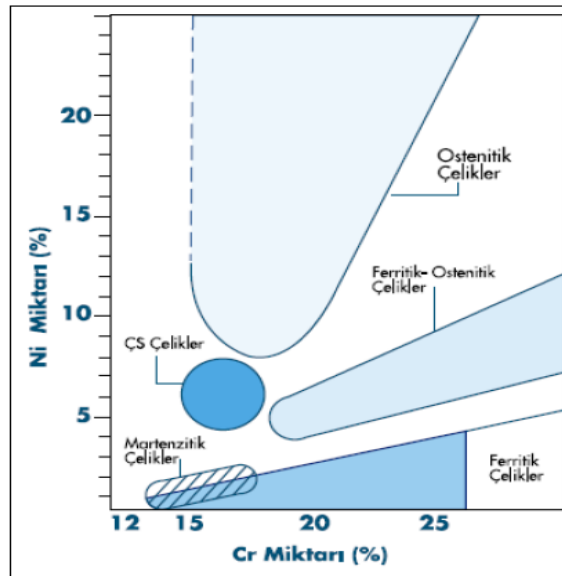
Asrımız endüstrisinde en çok tercih edilen çeliğin, amansız düşmanlarından birisi de korozyondur. Korozyonun çelik üzerindeki tahribatını önlemek, azaltmak veya kırmak için geliştirilen çelik türünün adı paslanmaz çeliktir. Paslanmaz çeliklerin korozyon direncinin yüksek olmasının en önemli sebebi kimyasında bulunan yüksek miktardaki krom'dur. Paslanmaz çeliklerin bileşiminde en az %12 oranında krom miktarı bulunur (Osmanoğlu, 2012).

Paslanmaz çeliklerde bulunan krom elementleri, oksijenle etkileşime girdiğinde çelik yüzeyinde ince bir krom oksit tabakası oluşturur. Bu moleküler düzeydeki film, çeliği korozyona karşı etkili bir şekilde korur (Gözütok, 2009).

Korozyon direnci krom oranıyla artar ancak bu durumun olumsuz etkisi de vardır. Krom miktarı arttıkça paslanmaz çeliğin kaynak edilebilirliği azalır ve malzemenin mekanik özelliklerinde de kötüleşme görülür (Hasanbaşıoğlu, 2005).

Paslanmaz çeliğe farklı ve olumlu özellikler kazandırmak için; krom, bakır, azot, nikel, molibden, kükürt, fosfor, alüminyum ve silisyum, niyobyum ve titanyum ilave edilir (Sakarya, 2018).

Paslanmaz çeliklerde malzeme içyapısını belirleyen öncelikli alaşım elementleri, ehemmiyet sırasıyla krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle paslanmaz çeliğin östenitik veya ferritik bir içyapıya sahip olması krom ve nikel miktarlarına bağlıdır (Yürük, 2015).



Şekil 3.1. Paslanmaz çelik türleri için krom, nikel miktarları (ÇS: çökeltme sertleşmesi uygulanabilen) (Türkyılmazoğlu, 2006)

Paslanmaz çelikleri beş grupta inceleyebiliriz:

1. Ferritik paslanmaz çelikler,
2. Martenzitik paslanmaz çelikler,
3. Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler,
4. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler,
5. Östenitik paslanmaz çeliklerdir (Gözütok, 2009).

Tablo 3.1. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler (Osmanoğlu, 2012)

Fiziksel Özellikler	Östenitik paslanmaz çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler	Martenzitik paslanmaz çelikler	Çökelme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl genleşme katsayısı (µm/m°C)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460

3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu tür paslanmaz çeliklerde %12–30 Cr, %0,20'ye kadar Ni, %0,05-0,25 C ve minimum miktarda Al, Mo, Ti, Nb gibi elementler bulunur. Bunlar genellikle ferritik bir yapıya sahip oldukları için her sıcaklıkta östenit oluşturmazlar, bu nedenle ısıtılma işlemle sertleştirilemezler (Türkyılmazoğlu, 2006).

Manyetik özelliktedirler ve kaynak edilebilme kabiliyetleri çok azdır. Diğer bir paslanmaz sınıfı olan Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler ve korozyon dayanımı bunlara nispeten daha düşük olduğu için şekillendirme ve korozyon dayanımının nisbi olarak çok aranmadığı yerlerde tercih edilir (Temel ve Aran, 2004).

Ferritik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları içerdiği krom miktarına bağlı olup üç ana grupta incelenebilir:

- Krom miktarı %10,5-13 arasındakiler (405 ve 409 numaralı sınıfları)
- Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (430 ve 434 numaralı sınıfları)

- Yüksek kromlular %19-30 (süperferitikler 442 ve 446 numaralı sınıfları) (Şenyüz, 2008).

Tablo 3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (Kaya, 2014)

Çelik Türü (AISI)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
405	480	275	30	60
409	450	240	25	-
430	515	310	30	60
434	530	365	23	-
436	530	365	23	-
442	550	310	25	50
446	550	345	23	50

3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelik türleri, demir temelli alaşımlar olup Fe-Cr-C içeriğine sahiptir. AISI 400 serisi kategorisine dahil edilirler. Kompozisyonlarında karbon oranı %0,1 ila 1,2 aralığındadır. Yüksek karbon içerikli olanlarında krom oranı %18'e kadar çıkabilir. %11,5 ile %18 arasında krom içeren bu çelikler, her türlü soğuma koşulunda östenitik fazdan martenzit fazına dönüşen paslanmaz çelik grubunu oluştururlar (Kaya, 2014).

Bu tür çeliklerin hızlı bir şekilde 1000°C'den soğutulması, içerdikleri martenzit oranını maksimum seviyeye çıkarır. Isıtma ve soğutma işlemleri, martenzitik paslanmaz çeliğin kaynak davranışını ve kabiliyetini belirlemede önemlidir. Bu çeliklerin kaynak kabiliyeti düşüktür. Ancak, çekme dayanımı, miktarca aynı sayıda karbon içeren, az alaşımlı ve karbonlu çeliklere kıyasla belirgin bir şekilde yüksektir (Hasanbaşoğlu, 2005).

Tablo 3.3. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikler (Kaya, 2014)

Çelik Türü (AISI)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
410	483	241	30	70
414	793	621	20	60
416-416S	517	276	30	60
420	655	345	25	55
431	862	655	20	55
440 A	724	414	20	45
440 B	738	427	18	35
440 C	756	468	14	25

Martenzitik paslanmaz çeliklerde, yüksek alaşımlı diğer çelikler gibi sertleştirme ve temperleme işlemlerine tabi tutulabilirler. Bu çelik türleri manyetik özellik gösterir ve güçlü dayanım özelliklerine sahiptir. Yüksek çekme dayanımı ile karakterize edilen bu çelikler, su verme işlemine tabi tutulmuş ve temperlenmiş bir şekilde kolaylıkla temin edilebilirler. Farklı dayanım seviyeleri, temperleme işleminin uygulandığı sıcaklıkla kontrol edilebilir (Kaya, 2014).

3.3. Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler

Dubleks (östenitik-ferritik) paslanmaz çeliklerde Nikel oranı %4-8 arasında iken Krom oranı %18-28 arasındadır. Nikel oranının östenitik yapı olmak için miktarı yetersiz olduğundan bu çelikler hem östenitik hem de ferritik yapıdadır. Böylece çok yüksek mukavemet ve süneklik özellikleri taşırlar. Bununla beraber çok iyi kaynak edilebilirler ve yüksek şekillendirilebilme özelliğine de sahiptirler (Temel ve Aran, 2004).

Bu çelikler, ferritik ve östenitik fazlarının korozyon dayanımı ve mekanik özelliklerini bir çelik türünde birleştirmek için imal edilmektedir. Tokluk ve genel korozyon dayanımı östenitik yapı tarafından sağlanırken, mukavemet ve gerilmeli korozyona dayanım ise ferritik yapı tarafından sağlamaktadır. Sanayide ve piyasada yaygın kullanıma sahip östenitik paslanmaz çeliklere alternatif olabilmesi için geliştirildiler. Yüksek mukavemet ve klorlu gerilmeli korozyon çatlaması dayanım özelliklerine sahipler ve bazı durumlarda ise östenitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek çukurcuk ve aralık korozyon dayanım özelliği gösterirler. Moleküler yapılarında %18-28 Cr (yüksek miktarda) ve %4,5-8 Ni (orta miktarda) bulunur. Mümkün olabilecek azami Ni oranı %8'dir ve bu oran ise tamamen östenitik yapı için yeterli olmaz. Ferritik-Östenitik yapı, 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama ve akabinde hızlıca soğutma ile elde edilmektedir (Türkyılmazoğlu, 2006).

Ferritik-Östenitik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler ile hemen hemen aynı çekme mukavemeti gösterirlerken, akma mukavemetleri ise östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla biraz daha yüksektir. Bu sebeple bu çelikler yüksek akma mukavemeti ve ağırlık azaltma yani hafifleştirme gibi dikkat çekici özellikleriyle de tasarımda önemli üstünlükler sağlamaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin ise % uzaması ise dubleks paslanmaz çeliklere kıyaslandığında daha yüksektir. Tablo 3.4'te dubleks paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinden bazıları verilmiştir (Kaya, 2014).

Bu paslanmazların ekseri %2,5-4 Mo içerir, iyi mukavemet ve sünekliğe sahiptirler. İlave olarak da korozyon ortamlarda dahi uygun yorulma mukavemet özelliği gösterirler. Kaynaklanabilirliği talimatlara uygunluk nispetinde yükselmektedir (Türkyılmazoğlu, 2006).

Tablo 3.4. Dupleks paslanmaz çeliklere ait bazı mekanik özellikler (Kaya, 2014)

Çelik Türü (AISI)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
2205	827	448	25
2304	758	414	25
255	758	552	15
2507	800	550	15

3.4. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmesine eğilim gösteren demir esaslı çelikler, kimyasal bileşimlerinde bulunan alaşım elementleri sayesinde öne çıkan bir malzeme grubunu oluşturur. Bu çelikler, genellikle Cu, Al, Ti, Ni, Mo gibi alaşım elementlerini içerirler. Yapılarındaki bu elementlerin varlığı, çökelme sertleşmesine neden olan süreçlere katkıda bulunur (Yumuşak, 2008).

Özellikle demir, krom ve nikel içeren bu çelikler, alaşım elementlerinin etkisiyle çökelme sertleşmesi mekanizmalarını deneyimleyerek mekanik özelliklerini artırabilirler. Çökelme sertleşmesi, alaşım elementlerinin çökelme oluşturarak malzemenin yapısını güçlendirdiği bir sertleşme sürecidir.

Bu özel çelik türleri, endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir ve özellikle yüksek mukavemet ve dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Alaşım elementlerinin belirli oranlarda ve kombinasyonlarda kullanılması, çeliklerin özel mekanik özelliklere sahip olmalarını sağlar (Aydın, 2002).

Çökelme sertleşmesi, bir alaşımın çözeltiliye alma tavlamasını takiben hızlı bir soğutma işlemi ile gerçekleştirilen ve sonrasında yaşlandırma işlemi ile devam eden bir sertleşme yöntemidir. Bu süreçte kullanılan çeliklerin kimyasal içeriğinde bulunan özel elementler, çözeltiliye alındıkları sıcaklıkta çözünür hale gelir ve yaşlandırma işlemi sırasında çok küçük çökeltiler halinde matrise yayılır. Bu çökeltiler, malzemenin sertliğini ve dayanımını artırarak çökelme sertleşmesini sağlar.

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ile östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direncini birleştirme avantajına sahiptir. Üstelik, bu çelik türleri normalize edildikten sonra kolayca şekillendirilebilir ve işlenebilir. Isıl işleme tabi tutulduklarında, mekanik özellikleri geliştirilebilir ve dayanımları 1700 MPa kadar ulaşabilir. Bu özellikleri, çökelme sertleşmeli çelikleri özellikle endüstriyel uygulamalarda tercih edilen malzemeler haline getirir (Yumuşak, 2008).

Bu sınıf paslanmazlar, çözeltiye alma tavı sonrasındaki işlemlerle oluşan yapı değişikliğine ve özelliklerine göre üç türe ayrılmaktadır. Bunlar ise; Martenzitik, Yarı-Östenitik ve Östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir (Aydın 2002).

Halen, bu tür paslanmazlar geliştirilerek uzay, uçak ve savunma sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadırlar (Aydın 2002).

Tablo 3.5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikleri (Türkyılmazoğlu, 2006)

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
15-5 PH	H900	1310	1172	10	35
15-5 PH	H1150	931	724	16	50
17-4 PH	Çözelti Tavlama	1034	758	10	45
17-4 PH	H900	1379	1227	12	48
17-7 PH	Çözelti Tavlama	896	276	35	
Custom 450	Tavlı	862	655	10	40
Custom 450	H900	1241	1172	10	40
Stainless W	Çözelti Tavlama	827	517	7	
Stainless W	H950	1344	1241	7	25

3.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler, Fe-Cr-Ni içeren demir esaslı alaşımlar olup ve AISI 300 serisi olarak adlandırılırlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimlerinde %12-25 Cr ve %8-25 Ni bulunmaktadır. Nikel, östenit oluşumunu destekleyen güçlü bir östenit yapıcı element olduğundan, katılaşma esnasında oluşan östenit oda sıcaklığında dahi dönüşüm göstermez. Bu durum, su verme işlemi ile sertleştirimin östenitik paslanmaz çeliklerde gerçekleşmediği anlamına gelir (Kuştutan, 2003).

Bu tür paslanmazların asgari %16 Cr içerdiği belirtilmiştir. Cr, çeliğin oksidasyon ve korozyon direncini artırırken, Mn ve Ni soğumanın yüksek olduğu hızlarda dahi oda sıcaklığında kararlı

bir östenitik yapı oluşmasına neden olurlar. Çeliği oluşturan yapı içeriğine bağlı olarak, mikro yapısı bütünüyle östenitik veya östenit matrisi içinde ferrit şeklinde olabilir (Kaya, 2014).

Bu sebeple, östenitik paslanmaz çelikler ısıtılma işlemle büyük ölçüde sertleştirilemezler. Manyetik olmayan bu çelikler, tok ve sünek bir yapıdadırlar. Genellikle, mukavemetleri soğuk şekillendirmeyle artırılabilir gibi alaşımlama işlemi de kullanılarak artırılabilir. Bu malzemelerde C (karbon) ve N (azot), en etkili alaşım elementleri olarak bilinir. Toplam paslanmaz çelik imalatının %70' ini bu sınıf paslanmazlardan meydana gelir (Şenyüz, 2008).

Bu paslanmazların önemli özellikleri şunlardır: yüksek korozyon direnci, üstün kaynak kabiliyeti, süneklikleri nedeniyle iyi şekil verilebilme özelliği, hijyenik, temizlik ve bakım kolaylığı, yüksek ve düşük sıcaklıklarda da iyi mekanik özellikler, anti-manyetik özelliktedirler ve dayanımları sadece soğuk şekillendirme (pekleşme) ile artırılabilir (Kaya, 2014). Bunlarla birlikte korozyon dirençleri ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha üstündür (Hasanbaşoğlu, 2005).

Bu çeliklerin kaynaklanabilirliğindeki temel sorunlar;

- (1) ITAB'da "Krom Karbür" oluşumundan kaynaklı meydana gelen hassas yapı,
- (2) kaynak metalindeki "Sıcak Çatlaklar",
- (3) çalışma sıcaklıkları yüksek olması halinde meydana gelen "Sigma Fazı" (Yürük, 2015).

Tablo 3.6. Östenitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik özellikler (Türkyılmazoğlu, 2006)

Çelik Türü (AISI)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
301	758	276	60.0	-
304	580/565-586	290/241	60.0	- /70
310	655	310	50	-
316L	539	207	55	-

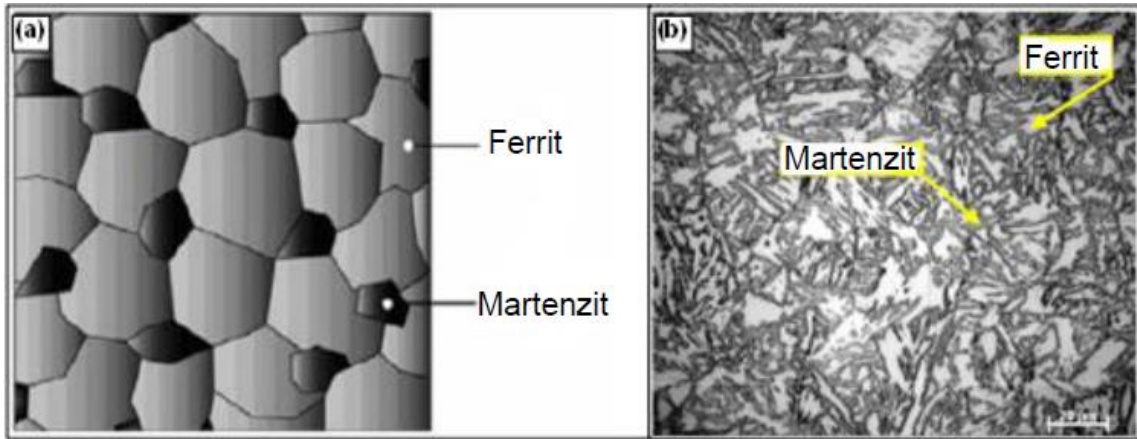


4. DP ÇELİKLERİ

Günümüz teknolojisinde en hızlı şekilde gelişen malzeme gruplarının başında Gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) gelmektedir. Otomotiv sektöründe olan düşük ağırlık, yüksek mukavemet-performans özellikleri ihtiyacından, çelik üreticileri daha hafif ve sağlam parçalar üretmek zorundalar. “İhtiyaç medeniyetin üstadıdır” sırrı burada da kendini göstermiş. Bu ihtiyaçla üretilen çift fazlı (DP) çelikler, yüksek mukavemetli çelik ailesi içerisinde kendine yer bulmuş (Öztürk, 2021).

1970 ‘lerden sonra sürekli olarak geliştirilen ve ilerleyen DP çeliklerinin yüksek mukavemet özelliği olması, HSS çeliklerine göre daha iyi şekillendirilebilmesi, yorulma direnci ve tokluk gibi özellikleri sebebiyle sıkça tercih edilmekteler (Aslan, 2017). Bunun yanı sıra, ekonomik açıdan maliyet hesabı yapıldığında, sunduğu avantajlar ve piyasada kolaylıkla bulunabilir olması nedeniyle DP çelikleri, AHSS grubundaki çelikler arasında önemli bir yer tutmaktadır (Aydın, 2023).

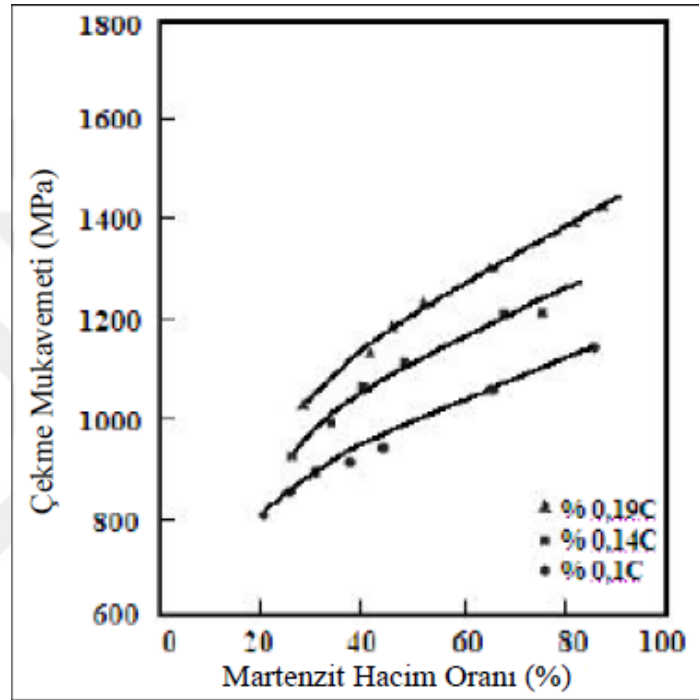
DP (Çift fazlı) çelikleri, ferritik matris içinde martenzitik adacıkların bulunduğu mikro yapıdan oluşurlar. Bu mikro yapıda martenzit malzemeye yüksek dayanım sağlarken, ferrit matrisi yüksek şekil verme kabiliyeti sağlar. DP çelikleri, yüksek çekme mukavemeti, düşük akma mukavemeti, kalıcı şekil değişimi ile pekleşme göstermesi, sürekli akma göstermesi, yüksek uzama nitelikleri ve kolay şekillendirilmesi gibi karakteristik özellikleri sayesinde otomotiv sektöründe en çok kullanılan çelik grubudur (Çetinkaya, 2019).



Şekil 4.1. DP çelikleri resimleri (a) şematik ve (b) mikro yapı (Sezgin, 2016)

Şekilde DP çeliğine ait şematik ve optik mikroskop ile alınmış mikro yapı görüntüsü bulunmaktadır. Bu yapı; DP çeliklerini ferrit fazından dolayı şekil değişimine elverişli hale getirirken, martenzit fazı da yapının sertliğini dolayısıyla da mukavemetin artmasını sağlar.

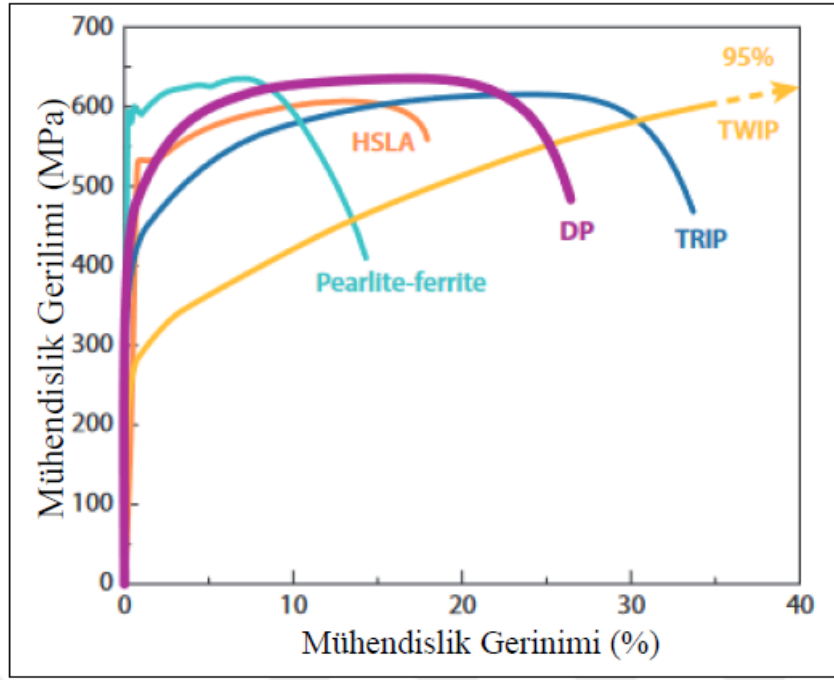
DP çeliklerin mekanik eğilimleri; kimyasal yapılarına, segregasyonlara, tane boyutlarına ve fazların hacim oranlarına, dislokasyonlara bağlıdır. Martenzit fazının yapıda bulunması çift fazlı çeliklerin mukavemetini arttırdığı, yapıdaki martenzit fazının karbon (C) miktarına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir (Belgasam, 2017). Bunlarla beraber çift fazlı DP çeliklerinde martenzit hacim oranı %20-30 arasında olması talep edilmektedir (Göktaş, 2020). Şekil 4.2’de DP çeliklerin farklı martenzit hacim oranlarında (MHO) çekme değerleri verilmiştir (Aslan, 2017).



Şekil 4.2. DP çeliklerde çekme dayanımının MHO'ya göre değişimi (Aslan, 2017)

DP çeliklerinin gerilim-gerinim davranışlarına bakıldığında, diğer yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelik türlerinden farklı davrandığı görülür. Bu çelikler, yüksek çekme mukavemetine sahip olup, sürekli ve düşük akma dayanımlarıyla karakterizedirler (Aslan, 2017)

Bu nedenlerden ötürü deformasyon kabiliyeti oldukça yüksektir ve bu sebepler mükemmel şekil değiştirme ve dayanım özelliklerine sahip olmasını netice verir. Bu özelliği, bu tür çeliklerin neden otomotiv sanayisinde çokça tercih edildiğinin de cevabıdır (Alharbi, 2015). Şekil 4.3'te DP çeliklerin diğer çelik türleri ile kıyaslanmış gerilim-gerinim eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. DP çeliklerin diğer çeliklere göre gerilim-gerinim grafiği (Alharbi, 2015)

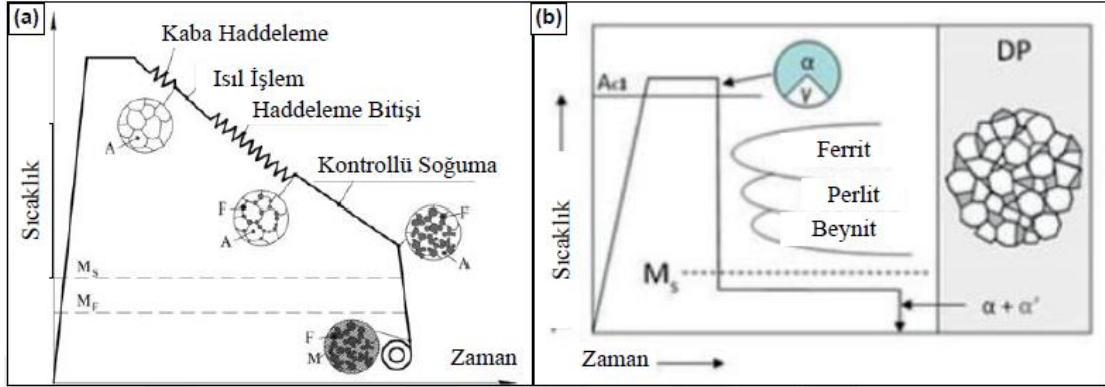
4.1. DP Çeliklerinin Üretimi

DP çeliklerin imalatında hedef önceden de belirtildiği gibi mikro yapıda; kolay şekillendirebilmek için ferrit, sertlik ve mukavvemeti temin etmek için de yapı içerisinde adalar şeklinde bulunan martenzit fazı elde etmektir. Ferrit ve martenzit yapıya sahip DP çeliklerinin imalatı, sıcak halde haddeleme ya da kritik tavlama gibi işlemlerin tatbik edilmesiyle yapılmaktadır.

Ferritik bir yapıda olan çelik, belirli bir süre boyunca kontrollü bir şekilde kritik bir sıcaklıkta (yaklaşık 750 °C) tavlınır ve bu süreçte ferrit fazına ek olarak östenit fazı da oluşur. Ardından, östenit fazının mikro yapıda korunması isteniyorsa, çelik oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bu süreçte, mikro yapıda belirli bir oranda kalıntı östenit bulunabilir (Alharbi, 2015).

Alternatif bir imal yöntemi, östenit çeliklerine 800 °C'nin üzerinde belirli bir su verme hızıyla kontrollü bir şekilde soğutularak üretilmesidir. Bu şekilde, östenit yapının bir miktarı ferrit fazına dönüşürken, diğer kalan kısmı martenzit fazına dönüşür. Östenit fazının istenen dönüşüm sıcaklıkları A_{C1} 'den ve A_{C3} sıcaklığına kadardır. Daha sonra çelik oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğutularak östenit fazının tamamen martenzit fazına dönüşmesi sağlanır. Soğutmanın daha yavaş olduğu hızlarda, martenzitik olmayan bileşenlerin (beynit) oluşturması mümkündür. Soğutmanın hızı yüksek olduğunda ise östenit fazının bütünü martenzit fazına dönüştürülür.

(Madrid, 2018). Aşağıdaki şekilde (a)'da sıcak haddeleme, (b)'de ise kritik tavlama işlemleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. DP imalatının şematik gösterimi (Ennis, 2017)

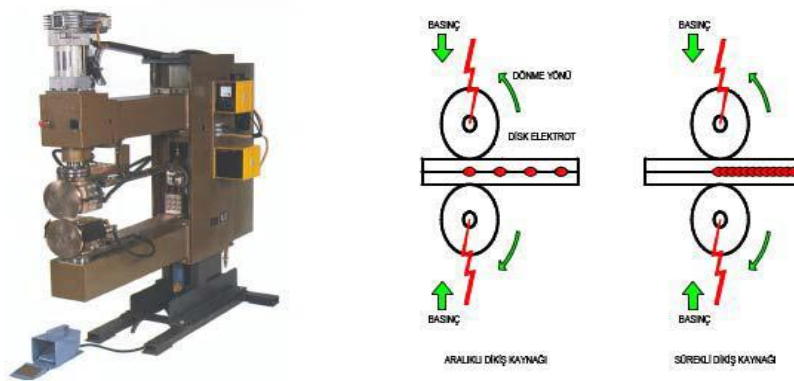
5. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Elektrik direnç kaynağı, temel olarak elektrotlar arasında uygun baskı kuvveti ile sıkıştırılan iş parçalarından belirli bir süre geçen uygun elektrik akımına karşı oluşan direnç nedeniyle yüksek ısılar meydana gelir. Oluşan bu yüksek ısıyla iş parçaları arasındaki birleşmeyi sağlayan bir kaynak türüdür. Bu kaynak türü, parçalar arasında ek bir malzeme kullanmaksızın bir bağ oluşturur ve düşük maliyetlidir.

Bu kaynağın farklı türleri, birleştirilecek parçaların şekline ve geometrilerine göre farklılık gösterir; punta (nokta), dikiş, projeksiyon, alın kaynak gibi çeşitleri bulunmaktadır. Elektrik ve ısı iletkenlik gerektiren bu işlemde, bakır alaşımlı ve su ile soğutmalı elektrotlar kullanılmaktadır.

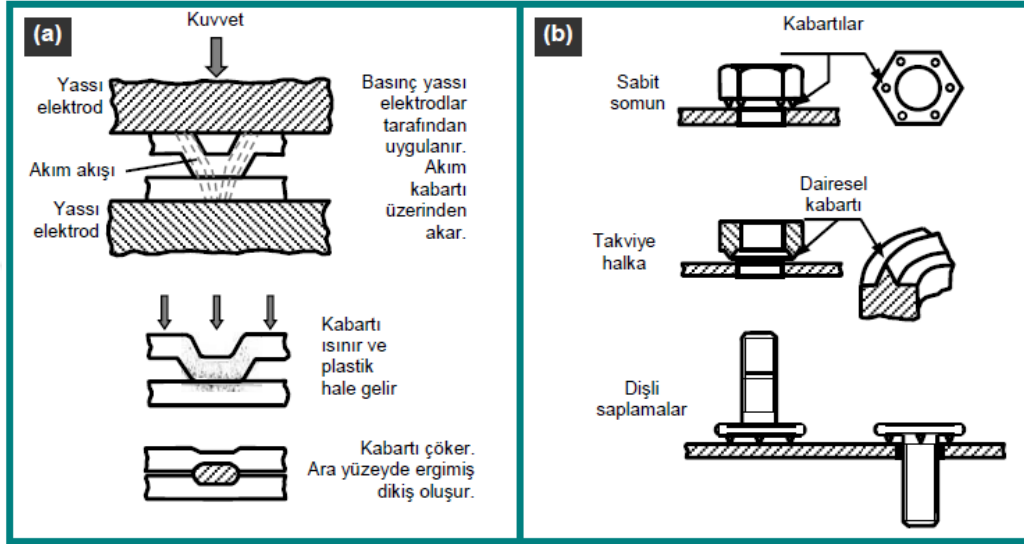
Elektrik direnç kaynak yöntemi, beyaz eşya imalatında, otomotiv ve havacılık gibi pek çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır. Uygun otomasyon sistemleri sayesinde bu yöntemle yüksek kalitede, tekrar edilebilir ve seri üretim sağlanabilir.

- Punta (nokta) kaynağı, iş parçalarının punta elektrotları arasında uygun baskı kuvveti ile sıkıştırılması ve bu parçalardan geçen elektrik akımına karşı gösterdikleri dirençle ortaya çıkan ısıyla birleşmelerini sağlayan bir kaynak türüdür. Otomotiv endüstrisinde sıkça tercih edilen bir birleştirme yöntemidir.
- Dikiş kaynak yöntemi, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi dönen iki elektrot arasına yerleştirilen parçaların aralıklı veya sürekli olarak kaynatılması usulüdür. En az bir elektrot tahrik edilir ve elektrotlardan geçecek akım ve uygulanacak kuvvet, malzemelerin sızdırmaz bir şekilde birleşmesini sağlayacak şekilde ayarlanır. Kaynak akımı sürekli veya aralıklı olarak uygulanabilir.



Şekil 5.1. Dikiş direnç kaynak yöntemi (Esindir, 2009)

- Projeksiyon (kabartılı) kaynağı; çoklu noktalı kaynak için, malzemeye kabartma (buckel) yapılır ve uygun formda ve sayıda iki düz elektrot arası kaynak yapma yöntemi kullanılır. Şekil 5.2’de görülen bu yöntemde, kaynatılacak parçaların birleştirileceği bölgelere uygun şekilde kabartmalar oluşturulur. Oluşan bu kabartmalar, kaynak akımının sadece bu noktalardan geçmesini sağlar. Doğru parametrelerle uygulanan akım sadece bu kabartıların olduğu bölgelerden geçebilir, böylece bu alanlar ısınarak kaynağı oluşturur.



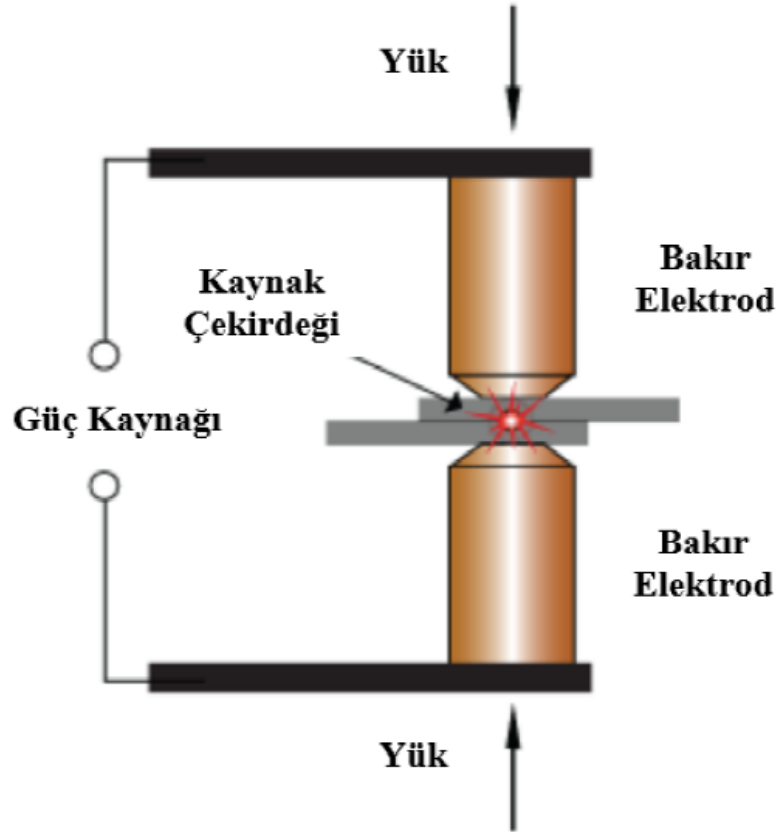
Şekil 5.2. Kabartılı kaynak yöntemi a) tekli kabartılı kaynak, b) çoklu kabartılı kaynak (Dolutaş, 2001)

- Alın kaynağı yöntemi, kaynatılacak malzemelerin alınları bir araya getirilerek önce gerilim altında temas ettirilmesiyle başlar. Sonrasında kıvılcımlanma başlatılır ve gerekli ısınma sağlandıktan sonra parçalar F kuvvetiyle birbirine bindirilerek kaynak oluşturulur. Bu teknik, boru veya profil şeklindeki parçaların yanı sıra dolu yüzeyler için de kullanılabilir. Kaynak işlemi, parçaların birleşim yerlerini I akımı altında alınları temas ettirerek kıvılcımlanmayı başlatmak ve t süresinde devam ettirmek suretiyle gerçekleşir. Isınma sağlandıktan sonra parçalar, F kuvvetiyle birleştirilerek kaynak işlemi tamamlanır.

5.1. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı (ENDK)

Elektrik nokta direnç kaynağı (ENDK), bakır elektrotlar arasına konumlandırılan kaynağa uygun malzemelerin elektrotlar arasından elektrik akımının geçirilmesi ile oluşan ısı kullanılarak yapılan kaynak yöntemidir. Sac malzemelerin kaynak ile birleştirilmesinde çok kullanışlıdır. Bu nedenle otomotiv sektörünün vazgeçilmez bir kaynak tekniğidir (Akkaş, 2017).

Aşağıda şekil 5.3’de olduğu gibi parçalar elektrotlar vasıtasıyla birbirlerine kuvvet uygulanarak bastırıldığında kısmi geçiş direnci meydana gelmektedir. Elektrik akımı verildiğinde, kısmi geçiş direnç bölgesinde oluşan ısı, malzemelerin eriyip akabinde soğuyarak birleşmesine sebep olur. Bu yöntem punta kaynak diye de isimlendirilir (Muthu, 2019).



Şekil 5.3. Punta kaynağı şematik resmi (Muthu, 2019)

Bu işlem bir saniyeden daha az zamanda düşük gerilim, yüksek akımın malzemelerin temas yüzeylerinde oluşan kaynak banyosunun soğuyup katılaşarak yeni ve sağlam bir yapı haline gelmesiyle gerçekleşir. İnce kesitli malzemeler için çok uygun tekniktir. Kaynak zamanının kısa olması ve parametrelerin değiştirilmesiyle ısının kontrolü, kalıcı şekil bozulmasını da önleyebilmektedir (Acış, 2019).

5.1.1. ENDK Yönteminin avantajları

- Operatör becerisi ve tecrübesine ihtiyaç yok.
- Otomasyona uygundur.
- Üretimde yüksek hızlara ulaşmak mümkündür.
- Bu teknikte dolgu maddesine ihtiyaç duyulmaz.

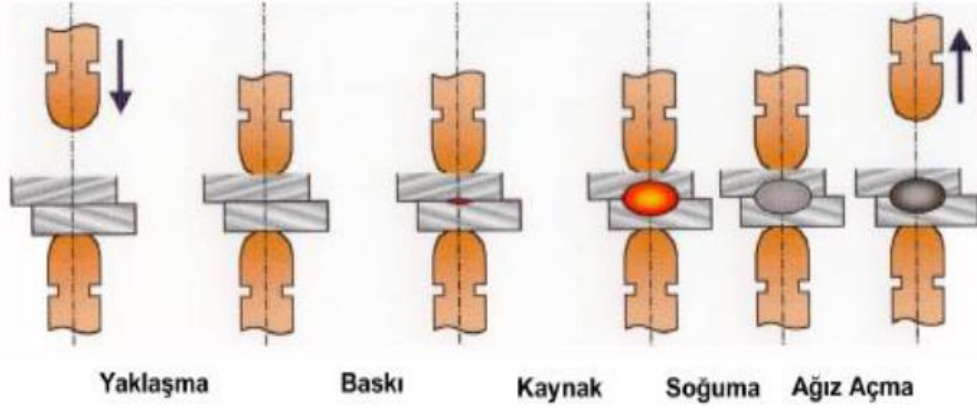
- Uygun yenilenebilirlik ve güvenilirlik sağlamaktadır.

5.1.2. ENDK Yönteminin dezavantajları

- Yüksek maliyet gerektirmektedir.
- Bu teknik kalın kesitli parçaların kaynağına uygun değildir (Şafak, 2011).

5.1.3. Elektrik direnç nokta kaynak aşamaları

- Yaklaşma: Pense üzerindeki sabit ve hareketli elektrotun parça üzerine yaklaşma zamanıdır. Elektrotun parçayı deformasyona uğratmaması için çeşitli dengeleme mekanizmaları bulunmaktadır.
- Baskı: Elektrot kuvvetinin başladığı an ile kaynak akımının uygulandığı birincil an arasındaki süreyi ifade eder. Bu süre, solenoid hareketli silindir valfinin işlev göstermesi, üst elektrot tutucusunun kaynak yapılacak parçayla temas etmesi ve elektrot kuvvetinin tam olarak uygulanması için bir zaman dilimi sağlar. Bu süre, kaynak yapılacak parçanın yakın temasını sağlayacak kadar olmalıdır.
- Kaynak: Bu süre, kaynak akımının devrede olduğu zaman aralığıdır. İnce taneli yapıdaki çoğu çelikte, normal koşullarda olduğundan bir miktar daha uzun olan bir kaynak süresinin, kaynak kabiliyeti eğrisini genişlettiği ve bu sayede kabul edilebilir kaynak akım sınırlarının da genişlediği yani arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Soğuma: Uygulanan kaynak akımının durdurulmasından sonra, kaynak bölgesi katılaşmaya kadar uygulanan elektrot kuvvetinin tesirinin devam ettiği süreçtir. Bazı ince taneli olan yapı malzemelerinden üretilen parçalar, bu tutma süresine son derece hassastır ve bu sürenin uzunluğu, kaynak sonrası malzemenin kalitesini etkileyebilir.
- Ağız açma: Kaynak pensesindeki hareketli ve sabit elektrotların parçadan uzaklaşırken geçen zamandır. Ağız açma işleminin sonundan, bir sonraki baskı işleminin başlamasına kadar geçen süre, elektrotların kaynak yapılacak malzemeyle temas etmediği aralık olarak adlandırılan ölü zamanı ifade eder. Otomatik kaynak sistemlerinde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve kaynatılmış parçanın kaldırıldığı veya duruş şeklinin değiştirildiği zamandır. Eğer bu süreç otomasyon ile değilde manuel olarak yapılıyorsa, kontrol cihazı tarafından belirlenmiş bir azami süre olmayıp, operatörün yeni bir döngüye başlamasına kadar geçen süreye bağlıdır (Kelleci, 2021).



Şekil 5.4. Elektrik direnç kaynağı işlem adımları (Kelleci, 2021)

5.1.4. Elektrik direnç nokta kaynağı parametreleri

Direnç kaynak uygulamalarında oluşan ısı değeri Joule yasası ile tespit edilmekte, kaynaktaki ısı oluşumu

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (5.1)$$

denklemini ile bulunmaktadır.

Q: ısı

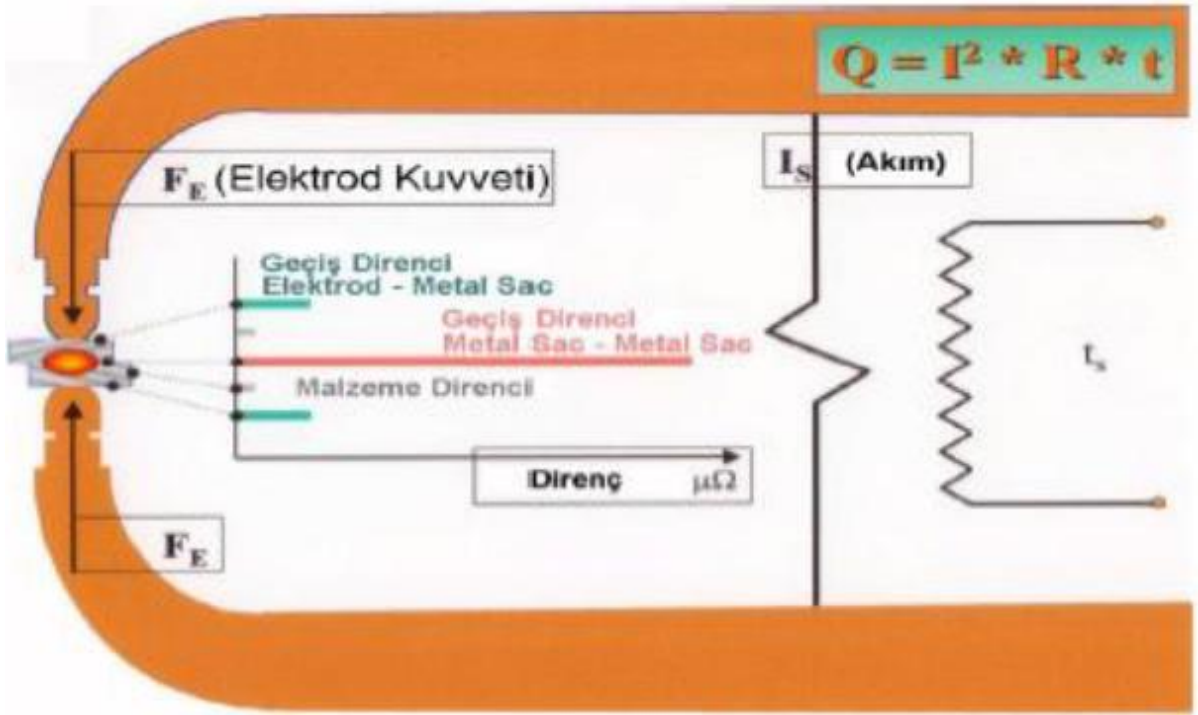
I: kaynak akımı

R: direnç

t: kaynak süresi

denkleminde de görüleceği gibi elektrik akımının artması, ısı girdisini arttırmaktadır.

Önceleri AC elektrik güç kaynağı ile bu akım sağlanırken, sonraları özel uygulama ihtiyaçları için DC akım kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde artan enerji verimliliği bilinciyle orta frekanslı DC (MFDC) güç kaynaklarının kullanımı giderek artmıştır (Aras, 2016).



Şekil 5.5. Elektrik direnç kaynağı için kullanılan parametreler (Aras, 2016)

5.1.5. ENDK da parametrelerinin kaynağa etkileri:

Kaynak işleminde kullanılan kaynak süresi, uygulanan elektrot kuvveti ve akım şiddeti oldukça önemlidir. Bu değişkenlerin birbiriyle uyumlu olması, kaliteli kaynaklı bağlantıların oluşmasını sağlar. Optimum değerlerin elde edilmesi için değişkenlerin kontrolü genellikle elektronik birimlerle yapılır. Kontrol ünitesi kullanılarak istenen kaynak süresi, akımın şiddeti ve oluşacak çekirdek çapı ayarlanabilir ve böylece en iyi parametreler elde edilebilir.

Kısa bir kaynak süresi, kaynak çapında küçülme oluşturabilirken, uzun bir süre ergiyik malzemenin dışarı doğru fıskırmasına sebep olabilir (Ertek, 2016).

Elektrik direnç nokta kaynağı işleminde kaynağın kalitesine tesir eden faktörler vardır. Bunlar;

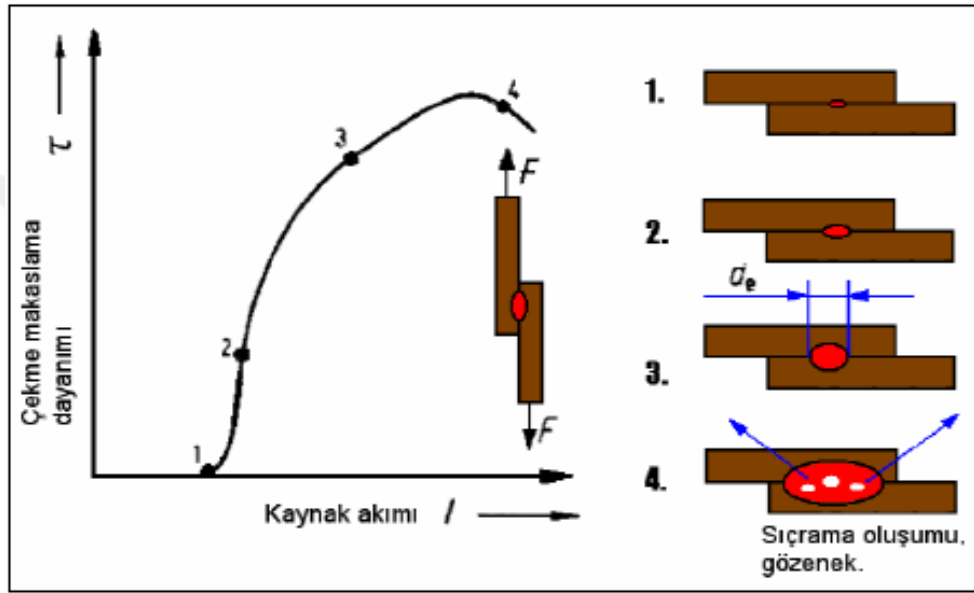
- Elektrotun alaşım, yapı ve geometrisinin ısınma üzerine etkisi,
- Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin etkisi,
- Uygulanan elektrot baskı kuvvetinin etkisi,
- Kaynatılacak malzeme,
- Kaynak yapılacak malzemenin ve yüzeyinin etkisi

gibi unsurlardır.

a) Kaynak Akımı

Kaynak işlemi esnasında oluşan ısı, kaynak akımının karesiyle ve kaynak zamanıyla doğru orantılı gösterir. Zaman ve akım parametreleri oluşan ısı miktarını etkilerken, kaynak ısısının oluşum hızı büyük ölçüde kaynak akım şiddetine bağlıdır (Aslanlar, 2007).

Isı (enerji) denkleminde de anlaşıldığı gibi kaynak akım şiddetinin değişimi, çekme-makaslama dayanımı (Şekil 5.6), sertlik ve çekirdek çapı gibi özellikleri fazlasıyla etkilemektedir.



Şekil 5.6. Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama mukavemetine etkisi

b) Kaynak Süresi

ENDK uygulamasında kaynak süresi, meydana gelen ısıyı etkilemekte ve sürenin artmasıyla ısı artışı paraleldir. Bu sebeple kaynak çekirdeğinin h yüksekliği ve çapı artar. Böylece ENDK uygulanan bağlantının dayanımında artar. Bunun ile beraber kaynak süresindeki artmayla birlikte, kaynak akım şiddetindeki artışta görüldüğü gibi ergime bölgesinde fışkırmalara neden olur ve çatlak, gözenek ve dalma derinliği benzeri kaynak hatalarının oluşumuna sebep olur (Ferik, 2019).

Denklemden de anlaşıldığı gibi Kaynak zamanının düşürülebilmesi için, elektrot basıncının ve akımın şiddetinin artırılması gereklidir. Ergime bölgesinde akımın şiddetinden ötürü oluşması muhtemel fışkırmayı önleyebilmek için de yüksek elektrot basınç kuvvetine ihtiyaç olmaktadır. Aynı ergime nokta çap değerini tutturabilmek için, uzun süre-düşük akım şiddeti veya kısa süre-yüksek akım şiddeti uygulanmalıdır (Ertek, 2016).

c) Elektrot Bileşimi ve Şekli

Elektrotların ısınması istenilmez, asgari düzeyde tutabilmek için, elektrotların temas dirençleri elektrik iletkenlikleri düşük olmalıdır.

Elektrotun ucu ile ENDK uygulanacak iş parçasının temas ettiği bölgelerde oluşan ısının uzaklaştırılabilmesi için yüksek bir ısı iletkenliği önemlidir. Bununla birlikte, elektrotlara yüksek kuvvetler uygulandığı için deformasyonlara mukabil direnç göstermelidirler. Kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısınma nedeniyle oluşabilecek alaşımlandırma eğiliminin düşük olması da önemlidir. Bu, kaynak sonucunda istenmeyen alaşımların oluşumunu en aza indirir ve kaynaklı bölgedeki malzeme özelliklerini korur (Aydın, 2023)

Evet, elektrolit bakır, kaynak elektrotlarında tercih edilen bir malzemedir. Saf bakırdan daha düşük bir iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen, belirtilen özelliklere sahiptir. Ancak, bazı özel durumlarda bakır alaşımları veya tungsten-molibden elektrot malzemeleri de tercih edilebilir. Bunun sebepleri şunlar olabilir:

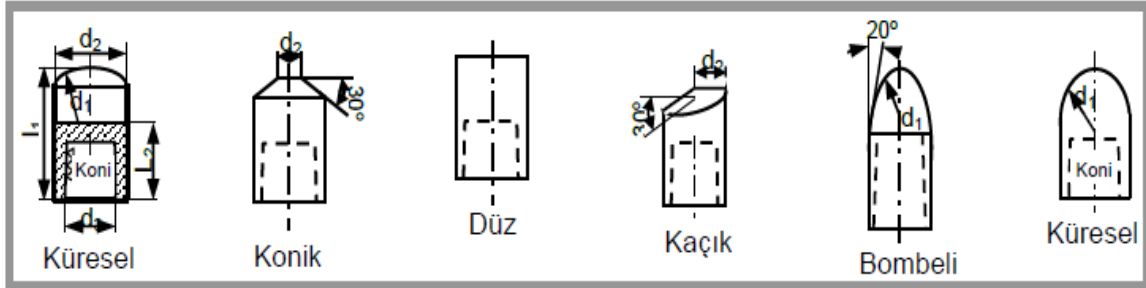
1. Dayanıklılık: Bakır alaşımları veya tungsten-molibden gibi malzemeler, daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Bu da daha yoğun kaynak işlemlerinde tercih edilebilir.
2. Özel Uygulamalar: Bazı özel kaynak uygulamaları, özellikle yüksek sıcaklıklar veya spesifik malzeme gereksinimleri nedeniyle farklı elektrot malzemelerini gerektirebilir.
3. İşleme Kolaylığı: Bazı alaşımlar veya tungsten-molibden gibi malzemeler, işleme kolaylığı veya özel kaynak yöntemlerine daha uygun olabilir.

Tablo 5.1. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları (Hayat, 2005)

Alaşım	Sertlik (HRB)	İletkenlik (% Cu)	Yumuşama Sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı Yer
Bakır (soğuk çekilmiş)	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

Genel olarak, elektrot seçimi, kaynak işleminin gereksinimlerine ve uygulama alanına bağlıdır. Elektrot malzemesi, kaynak performansı ve sonuçlanan kaynak kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, belirli bir uygulama için en uygun elektrot malzemesinin seçilmesi önemlidir.

Elektrotların boyut ve şekilleri, kaynak uygulanacak iş parçasının boyut, şekil ve metalürjik özelliklerine göre seçilir. Çoklukla kullanılan elektrotların, kesik konik ve küresel uç formuna sahip olduğu görülmektedir (Kaya, 2010). Şekil 5.7 ‘de imalat sektöründe kullanılan elektrotların uç formları gösterilmiştir.



Şekil 5.7. İmalat sektöründeki başlıca elektrot ucu formları (Kahraman, 2020)

d) Kaynak Kuvvetinin Etkisi

ENDK elektrotları bir araya getirilerek kaynak yapılacak esas metaller sıkıştırılır ve kuvvet sabitlendiğinde kaynak işlemi başlar. Kaynak için gereken temas direnci, elektrot basınç kuvvetiyle ters orantılıdır. Kuvvet arttıkça oluşan temas kaynaklı direnç azalır ve bu azalan direnç, malzeme özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Direnç azalması sonucunda, kaynak işlemi için yeterli olan ısı oluşmayabilir ve iş parçaları birleşmez.

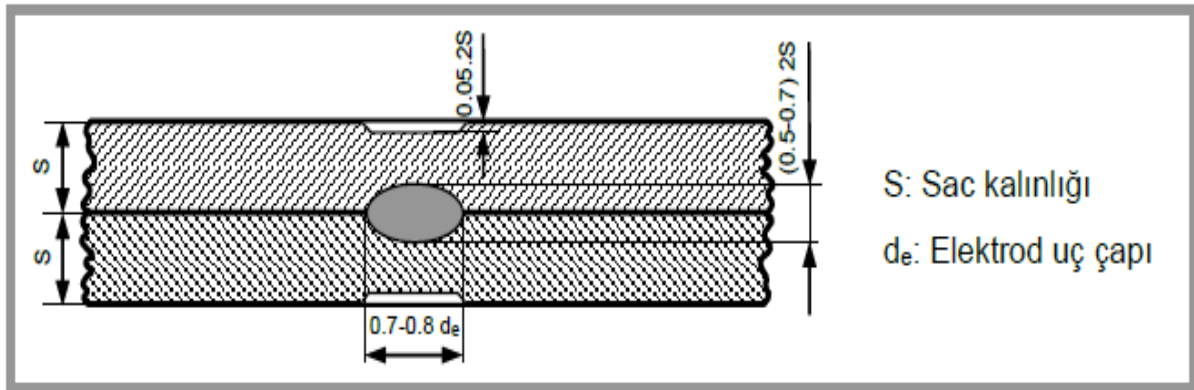
Uygulanan elektrot basınç kuvvetinin ENDK üç önemli rolü vardır. İlki; parçalar arasında belirli ve yeterli bir temas direnci sağlar ve bununla beraber de iş parçasıyla elektrot arasındaki temas direncinin asgari düzeyde tutulmasına sebep olur. Bu, ENDK başlamadan önce önemlidir.

İkincisi; kaynak esnasında ise, elektrot kuvveti ergiyik metalin fışkırmasını önler, böylece metalin katı haldeki çukur içinde kalmasına sebep olur. Bu, kaynağın hatalarını azaltmaya yardımcı olur.

Üçüncüsü; dövme esnasında ise, elektrot kuvveti, kaynak yapılan bölgenin soğuma ve katılaşma zamanında oluşması muhtemel çatlaklar veya boşluklar benzeri hatalardan kurtulmaya yardımcı olur (Kaya, 2010).

ENDK’da, kaynak dikişlerinde olabilecek kusurları önlemek için akım uygulandıktan sonra elektrot kuvveti artırılır. Nokta çapının boyutu, elektrot çap boyutuna bağlı olarak değişebilir ve kusursuz bir nokta çapı için genellikle 0.7-0.8 d_e arasında olması tavsiye edilir. Ayrıca, bu

Çapın elektrot çapına eşit olması da önemlidir (Aydın, 2023). ENDK’da boyutlar ve alabilecekleri azami değerler şekil 5.8 ’de görünmektedir.



şekil 5.8. Direnç nokta kaynak boyutları

e) Kaynak Yapılacak Metalin Kimyasal Bileşenleri

Metallerin kimyasal yapısı ve bileşenleri, özgül ısı değerlerini, yoğunluğunu, ısı ve elektrik iletkenliklerini, ergime sıcaklıklarını vs. zelliklerini etkiler. Örneğin, gümüş (Ag) ve bakır (Cu) gibi malzemeler, elektrik iletkenliği yüksek olan metalik malzemelerdir; ancak yüksek akım değerlerinde bile düşük ısı üretirler. Ayrıca, metalik malzemelerin ısıl iletkenlikleri çok iyidir, bu da iş parçaları ve elektrotların doğrudan etkilenmesine neden olacak çok az miktarda ısı oluşmasını sağlar (Hayat, 2005).

Fosfor (P) ve kükürt (S) gibi kimyasal elementler, kaynak kabiliyetini etkileyebilir ve bu, kaynaklı bağlantının çekirdek arayüzeyinde yırtılma gibi hatalara yol açabilir. Titanyumun yapı içindeki etkisi incelendiğinde, çekirdek çapı ve çekme-makaslama dayanımını artırdığı gözlemlenir. Kaynak esnasında iş parçaları üzerinde bulunan kir, yağ ve pas gibi olumsuzluklar hidrojenin (H) yayılmasına neden olarak kaynak bölgesine zarar verebilir (Aydın, 2023)

f) Esas Metalin Yüzey Etkisi

ENDK’nın optimal parametre değerleri, kaynak edilecek esas parçaların yüzeylerinde kir, yağ, pas ve hadde cürufu gibi manilerin bulunmaması durumundadır. Aksi halde optimal değerler ile ENDK yapılırsa da en iyi sonuç alınamayacaktır. Bu sebeple, kaynak sırasında oluşabilecek inklüzyonları önlemek için iş parçalarının yüzeyleri mekanik veya kimyasal yöntemlerle temizlenmelidir. Mekanik temizliklerde, malzeme yüzeylerinin çizilmesini önleyecek düzeyde temizlik yapılmalıdır. Yabancı maddelerin kaynak bölgesinden uzaklaştırılması, kullanılan elektrotların alaşımlanabilme eğilimini azaltarak elektrot ömrünü uzatır (Hayat, 2005).

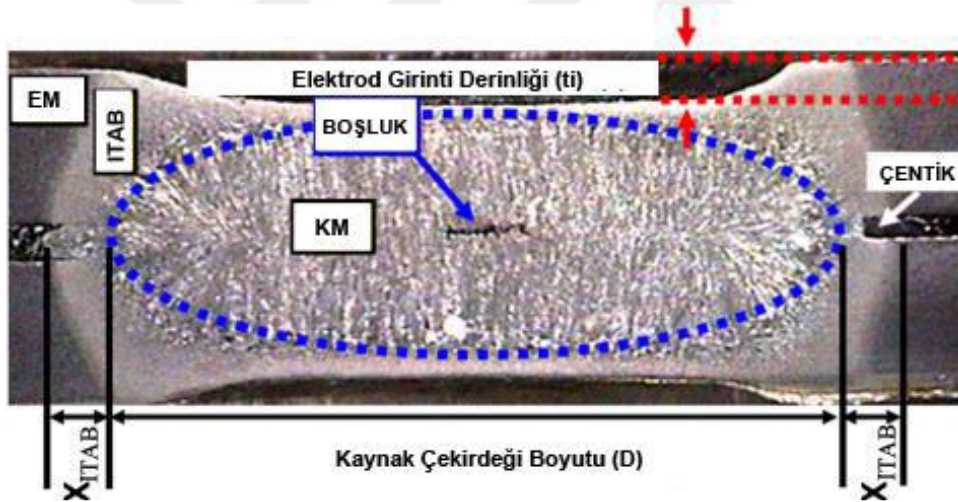
6. ÇELİĞİN NOKTA DİRENÇ KAYNAKLANABİLİRLİĞİ

Kaynak işleminin fiziksel ve metalürjik özellikleri, mekanik performansı ve kırılma tipi; çeliğin nokta direnç kaynağına olan uygunluğunu belirlemede sıkça kullanılan üç ana göstergedir.

6.1. Kaynak Fiziksel ve Metalürjik Özellikleri

Genellikle ENDK'nın mukavemeti, kaynağın özellikleri ile sıkça ilişkilendirilir. ENDK özellikleri genellikle şu parametrelerle bağlantılıdır:

- Kaynak metali veya kaynak çekirdeği boyutu (D), sac/sac arayüzeyinde uzunlamasına yönde kaynak çekirdeğinin genişliğini tanımlar ve ENDK kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan biridir (Şekil 6.1) (Pouranvari, vd 2007). Kaynak akımının şiddeti, kaynak süresi ve uygulanan elektrot basınç kuvveti gibi parametreler, birleşimin genel bağlanma alanını belirleyen kaynak çekirdeği boyutunu etkileyen ısı girdisi ile bağlantılıdır.

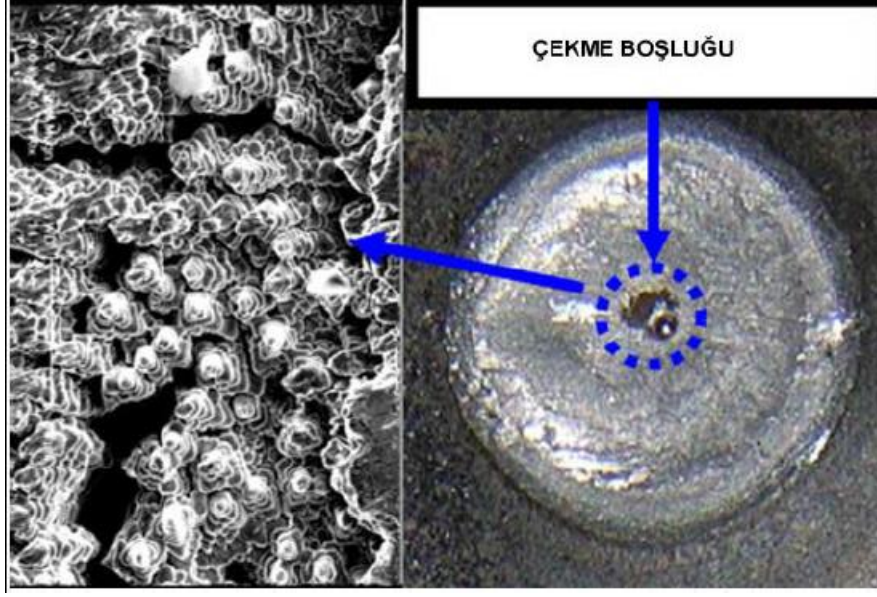


Şekil 6.1. Nokta direnç kaynaklarının makro yapı görüntüsü (Pouranvari, vd 2007)

- Girinti derinliği, bir malzemenin kalınlık yönünde erimiş bölgenin genişliği olarak tanımlanır.
- Kaynak çekirdeğindeki boşluklar, genellikle kaynak havuzundan sıçrayan erimiş malzemenin katılaşması ve çekirdeği tam olarak dolduramamasından kaynaklanır (Uijl, vd. 2008) Soğuma sürecinde, oluşan boşluklar elektrot kuvvetine bağlı olarak belirginleşebilir. Elektrot kuvveti istenen yükseklikte ise, kaynak çekirdeği bütünsel olacak ve soğuma sonrasında boşluk veya gözenek bırakmayacaktır. Bununla birlikte, nokta direnç kaynak birleşimi sırasında, katılaşma sonucu geniş boşluklar ve gözenekler

oluşabilir. Bu durum, katılaştan kaynak metalinin hem katılaştırken ki çekintisi hem de ısıl büzölme sebebiyle küçölme eğiliminde olmasından kaynaklanır. Katılaştan metal, çevresindeki ana metalden farklı olarak büzölme eğilimindedir çünkü daha az ısınmış veya eritilmemiştir. Bu durum, katılaştan metalin küçölmesini engelleyebilecek potansiyel bir etkiye sahiptir. Sonuç olarak, katılaştan kaynak metalinde gerilimler meydana gelir. Eğer elektrotlar, kaynak havuzu tam donmadan serbest bırakılırsa, esas malzeme aşırı küçölerek gözenek oluşumuna sebep olabilir. Bu oluşumlar genellikle katılaştmanın en son meydana geldiği yerde, özellikle de kaynak merkezinde bulunur (Joaquin vd, 2007). Şekil 6.1’de nokta kaynağında tipik bir kırılma yüzeyini göstermektedir. Çekmenin oluşturduğu boşluklar, kaynak donma ve soğumasıyla bağı ısıl gerilimlerin sonucunda kırılma yüzeylerinde belirginleşir. Şekil 6.2’deki detaylı görselde, boşlukların oluşumunu gösteren dentritik kırılma yüzeyi görülüyor. Bu, oluşan boşlukların katılaştma gerilmesi neticesinde meydana geldiğini göstermektedir. Çekme kaynaklı boşluklar ve katılaştma neticesi oluşan çatlaklar, kaynak çekirdeğinde bulunur ve bu durum farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Pouranvari vd, 2010).

- Elektrot girinti derinliği (Şekil 6.1), nokta kaynakların mekanik özelliklerini etkileyebilir ve elektrot basıncı ile elektrot ile esas malzeme arasındaki yüzey sıcaklığına bağıdır. Isı girdisi arttıkça, bu yüzey sıcaklığı yükselir. Bu hal ise, elektrot basıncına maruz esas malzeme yüzeyinde oluşabilecek plastik deformasyonu artırır (Goodarzi, 2009). Girinti derinliğini en aza indirebilmek için, kaynak parametreleri ve elektrot geometrisi kontrol altında tutulmalıdır.
- Kabul edilen bir gerçek olarak, ENDK, kaynak çekirdeği çevresinde doğal çatlak veya çentik oluşturur (Şekil 6.2). Bu çentiklerin biçimi, nokta direnç kaynaklarının kırılma davranışını etkileyebilir (Shi vd, 2004).
- ITAB boyutu, ısı transferiyle kaynak metalinden çevresine doğru belirlenen bir ölçüdür. Bu boyut, nokta kaynaklı birleşimlerin sünekliğini etkileyebilir (Zhou vd, 2003).
- Kaynak metalinin ve ITAB’ın sertlik değeri ve mekanik özellikleri, uygulanan kaynak ısıl işlem, kimyasal bileşenler ve asıl metalin kaynak öncesi mikro yapısı arasındaki ilişkiyle belirlenir.



Şekil 6.2. Kaynak metalinde çekme (çekinti) boşlukları (Pouranvari vd, 2001)

Görseldeki durum, kaynak metalindeki çekme boşluklarının, etkili yük taşıma alan miktarını azaltarak ve nokta kaynaklarının arayüzey modunda kırılma eğilimini artırarak sonuçlandığını göstermektedir. Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS), klasik düşük mukavemetli çeliklere kıyasla nokta ENDK sırasında daha fazla çekme boşluğu oluşturma eğilimi göstermektedir.

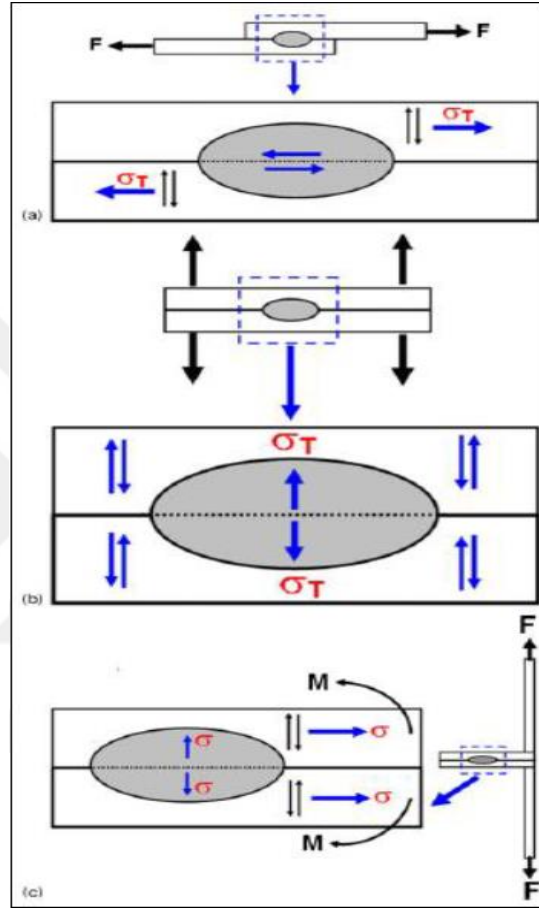
6.2. Kaynak Mekanik Performansı

Kaynak mekanik performansı, birleştirilen malzemelerin kaynak işleminden sonra sahip olduğu mekanik özelliklerdir. Bu, kaynaklı bir bağlantının dayanıklılığı, esnekliği, gerilme mukavemeti, kırılma direnci ve diğer mekanik özelliklerini içerir. Kaynak mekanik performansı, kaynak işlemi sırasında kullanılan parametreler, malzeme yapısı, kaynak tekniği ve işlem sonrası durum gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu performans, birleştirilen malzemelerin uygulama gereksinimlerine ve kullanım koşullarına uygun olup olmadığını belirlemekte önemlidir.

Nokta kaynaklarının mekanik özellikleri genellikle statik ve yarı statik koşullar, yorulma ve darbe etkileri altında değerlendirilir. Çoğu nokta kaynağı, yorulma mekanizmalarına dayanan kırılmalarla ilişkilendirilse de, araçların pürüzlü yollarda veya kayma şartlarında maruz kaldığı aşırı yükler gibi durumlar, nokta kaynaklarında aşırı yük kaynaklı kırılmaları tetikleyebilir (Walsh vd, 2001)

Otomotiv sektöründeki ENDK, servis süresi boyunca kaynaklı ve montajlı saçların nispi yer değiştirmesi veya dönüşü sebebiyle meydana gelen makaslama yükleri ile saçlar arasında

uygulanan çekme yükleri gibi farklı kuvvetlere maruz kalır (Pouranvari vd, 2012). ENDK'nın mekanik performansını test etmek için yaygın kullanılan yöntemler çekme makaslama, çapraz gerilme ve koç kabuğu testleridir (Zhang vd, 2005). Şekil 6.3'de, numunelerin geometrileri ve yükleme koşulları için gerilme durumu gösterilmektedir. Bu testler, sırasıyla makaslama yükleri (kaynak arayüzeyine paralel kuvvetler), çekme yükleri (sac birleşim arayüzeylerine dik kuvvetler) ve eğilme momentumundan kaynaklı çekme yüklerini temsil eder.

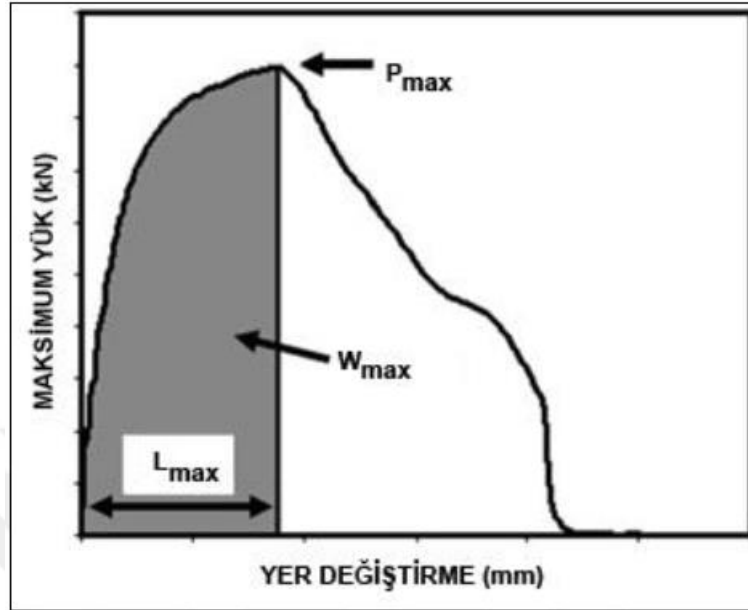


Şekil 6.3. Kaynak çekirdek çevresi ve arayüzey gerilme dağılımı testleri a) çekme makaslama b) çapraz gerilme c) koç kabuğu testi (Pouranvari, 2013)

Şekil 6.4'deki grafikte, çekme makaslama yüklemesinde nokta kaynağının nasıl yer değiştirme gösterdiği görülüyor. ENDK mekanik özelliklerinin tam olarak anlaşılması için, yük-yer değiştirme grafiğinden aşağıdaki parametreler çıkarılmalıdır (Pouranvari, 2013).

- ✓ Maksimum yük (P_{max})
- ✓ Yük değeri maksimum olduğundaki uzama miktarı (L_{max})
- ✓ Yük değeri maksimum olduğu andaki kırılma enerjisi (W_{max})

L_{max} , kaynaklı parçanın süneklik derecesini belirlerken, W_{max} ise kaynak enerjisinin absorbe edilme yeteneğini ölçer. Daha yüksek bir W_{max} değeri, darbe yüklemelerine karşı kaynak performansındaki güvenilirliğin arttığını gösterir.

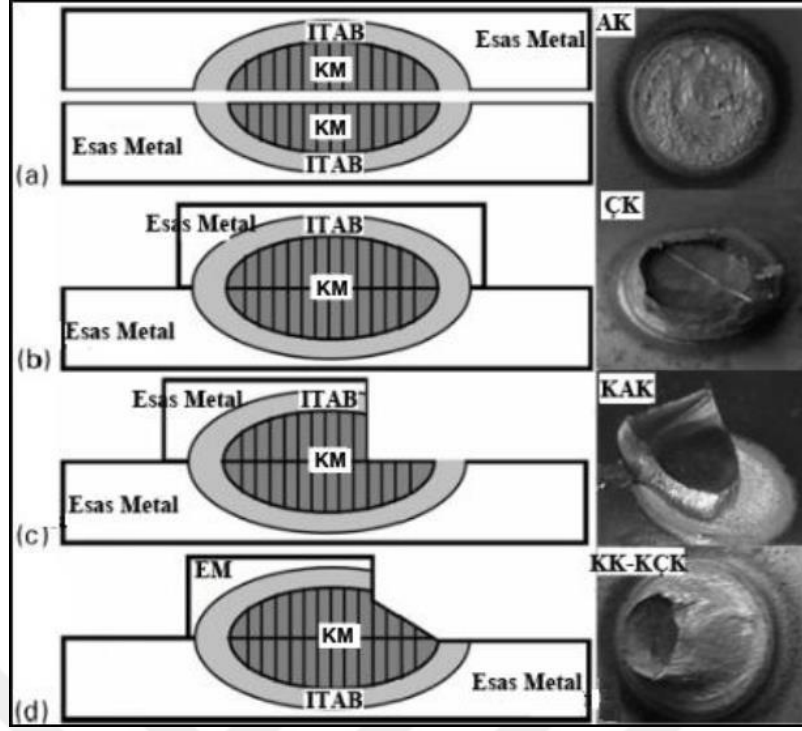


Şekil 6.4. Çekme makaslama testi süresince tipik yük-yer değiştirme eğrisi (Pouranvari, 2013)

6.3. Kırılma Tipi

ENDK'nın kırılma tipi, mekanik performansının belirleyicisi olarak kullanılabilir (Pouranvari, 2012). Şekil 6.4'te mekanik test sürecinde ortaya çıkan ana kırılma tipleri şematik olarak gösterilmiştir. Genellikle, nokta kaynakları dört farklı şekilde kırılabilir (Pouranvari, 2010):

- Kırılmanın kaynak çekirdeğinin sac yüzeyinden uzaklaşmasıyla meydana geldiği bir kırılma tipi çekme kırılmasıdır. Bu tip kırılmada, kırılma noktası, kaynak metalinin yapısal ve geometrik özelliklerine, ayrıca uygulanan yük koşullarına bağlı olarak ana metalde, ITAB'da veya ITAB ile kaynak metali arasında başlayabilir. Genellikle, çekme tipi kırılma en tatmin edici mekanik özellikleri belirlememize olanak sağlar.
- Arayüzey kırılma tipi, kırılmanın başlangıçta kaynak metalinde başlayıp daha sonra kalınlık yönünde yayıldığı kısmi bir kırılma türüdür. Kırılmanın kaynak metali boyunca yayıldığı arayüzey kırılması, genellikle araçların çarpışma dayanımını olumsuz etkileyebilen bir kırılma tipidir.
- Oluşan eğik çatlağın, kaynatılmış parçanın içine doğru yayılarak sac kalınlığının bir kısmının ayrılma sürecinde uzaklaştırdığı kısmi kalınlık-kısmi çekme kırılma tipidir.



Şekil 6.5. ENDK'nın mekanik testlerinde oluşan farklı kırılma tipleri a) arayüzey b) çekme tipi c) kısmi arayüzey d) kısmi kalınlık-kısmi çekme tipi kırılma (Pouranvari, 2013)

Nokta direnç kaynaklarında kırılma tipi, enerjiyi absorbe etme kapasitesi ve yük taşıma yeteneği üzerinde büyük etki yapabilir. Çekme tipi kırılma genellikle tercih edilen bir kırılma tipidir çünkü daha fazla plastik deformasyon ve enerji absorbe etme kabiliyetine sahiptir. Araç çarpışma direnci gibi konularda, arayüzey kırılması, nokta kaynakların dayanıklılığını önemli ölçüde azaltabilir (Khan vd, 2008). Kalite kontrol süreçlerinde, çekme tipi kırılma, bileşenler arasında yüksek bir kuvvet iletimine izin verdiğini göstermektedir. Bu da çarpışma durumlarında gerilim enerjisi dağılımını artırabilir. Dolayısıyla, çekme tipi kırılmayı sağlamak için kaynak parametrelerinin ayarlanması önemlidir.

Malzemenin ENDK edilebilirliğini araştırırken, proses parametreleri ve bu üç kırılma tipi endeksleri göz önünde bulundurulmalıdır. Geleneksel otomotiv çelikleri üzerinde yapılan araştırmalar, proses-yapı-performans ilişkisini iyi anlamamıza yardımcı olmuştur. Ancak, AHSS (yüksek mukavemetli çelikler) nokta direnç kaynakları daha karmaşık olabilir. Bu durumun başlıca nedenleri şunlardır (Pouranvari, 2013)

- AHSS nokta direnç kaynaklarında, mikro yapısal değişimler (örneğin, aynı derecede ITAB'ın yumuşaması ve kaynak metalinde sertlik ve kırılgan fazların ortaya çıkması gibi) daha karmaşık bir süreç gösterebilmektedir.
- AHSS nokta direnç kaynaklarında, arayüzey tipi kırılma daha fazla gözlemlenebilir.

- AHSS nokta direnç kaynaklarında, kaynak metalinde katılaşma esnasındaki çekmelere (çekintiye) daha fazla eğilim görülebilir.
- AHSS, nokta direnç kaynağı sürecinde sıçramaya duyarlı olabilir. Bu hal ise, kırılma davranışını etkiler.





7. DENEY ÇALIŞMALARI

7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

Bu çalışmamızda DP 980 çelikleriyle, östenitik paslanmaz çelik grubundan 304 kalite çelikleri kullanılmıştır. Çalışmamıza konu olan bu çeliklerin Tablo 7.1’de kimyasal özellikleri, Tablo 7.2’de ise bazı mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 7.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim oranları (%) (Türkyılmazoğlu, 2006)

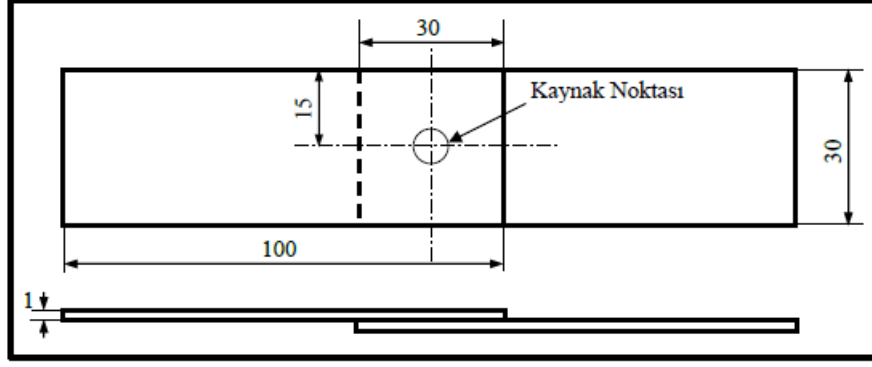
Malzeme	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni
304 kalite paslanmaz çelik	≤ 0,08	≤ 2	≤ 0,045	≤ 0,03	≤ 0,75	18-20	-	8-10
DP 980	0,13	1,91	0,01	0,005	0,03	0,16	0,33	-

Tablo 7.2. Deney malzemelerinin bazı mekanik özellikleri (Türkyılmazoğlu, 2006)

Malzeme	Akma mukavemeti (MPa)	Kopma mukavemeti (MPa)	Sertlik değeri	Uzama katsayısı (%)
304 kalite paslanmaz çelik	210	515-720		50
DP 980	600	980-1005		16,66

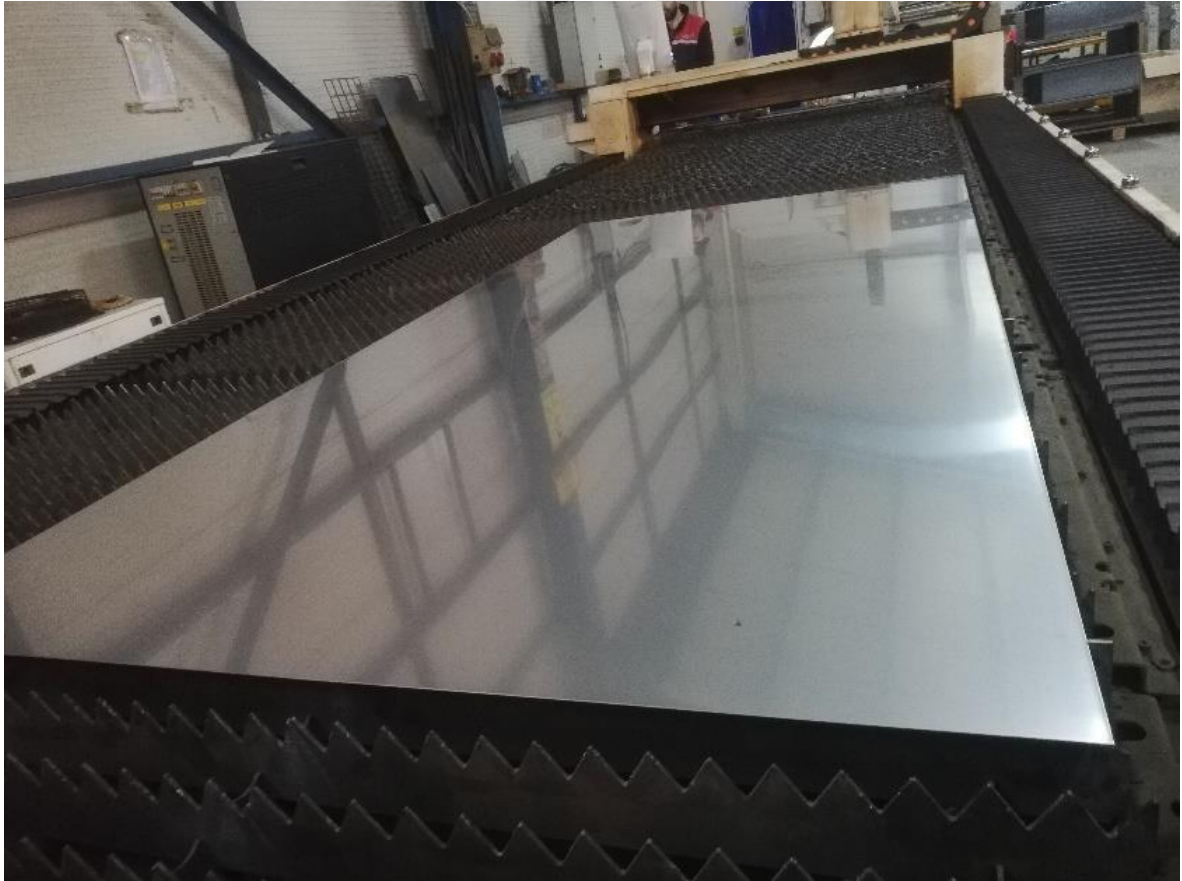
7.2. Deney Malzemelerinin Boyutları ve Kaynak İçin Hazırlanması

Deney için yapılan kaynaklarda 1,1 mm kalınlığında DP 980 çeliğiyle, 1 mm kalınlığında östenitik paslanmaz 304 kalite çelik kullanılmıştır. Deney malzemesinin boyutları Şekil 7.1 de verilmiştir.



Şekil 7.1. ENDK Deneyi için hazırlanan sacların boyutları

Piyasadan tabaka halinde temin edilen saclar Şekil 7.1 de gösterildiği gibi 100 mm x 30 mm ölçülerinde lazer kesim makinesinde kesilmiştir. Resim 7.1 ve 7.2 de sacların lazer kesim makinesinde istenen boyutlarda kesimleri görülüyor. Lazer kesim işlemi Rayflex firmasında Bodor marka 2 kW'lık lazer makinesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.2. Lazer kesimde sacların kesime hazırlanması



Şekil 7.3. Lazer kesimde sacların kesilmesi

Kesilen 304 kalite paslanmaz ve DP980 çelikleri, alkol ile yüzeyleri silinip temizlendikten sonra kaynağa hazır hale getirilmiştir.

Kaynak deneyi analizlerinde standart sonuçlar oluşabilmesi ve aynı zamanda sert malzeme olduğu için DP 980 çeliklerinin alt çenede, 304 kalite çeliklerin ise üst çenede kaynatılması temin edilmiştir.

Kaynak boyunca aksel kaçıklığı önlemek ve doğru noktaya kaynak yapmak için ısıya dayanıklı malzemeden fikstür kullanılmıştır.

7.3. Malzemelerin Kaynatılması

Deney parçalarının nokta direnç kaynak işlemi Sağamlar Makine de Sağlam marka PP060 model tipi su soğutmalı, pnomatik kontrollü projeksiyon punta kaynak makinesinde yapılmıştır. Makinenin teknik özellikleri Tablo 7.3'te, görüntüsü ise Şekil 7.4'te görülmektedir.

Tablo 7.3. ENDK makinesinin bazı teknik özellikleri

Marka-model	Sağlam PP060
Anma gücü	60 kVA
Soğutma suyu debisi	6 lt/dk
Elektrot baskı kuvveti	980 N-3920 N
stroke	80 mm



Şekil 7.4. ENDK makinesi

Deneyde kullanılan elektrotlar 16 mm çapında, küresel uçludur. Elektrotların aşınma etkisini asgari düzeyde tutmak için her çelik çiftinde, alt ve üst çenedeki küresel elektrotlar yenileri ile değiştirilmiştir. Elektrotların kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri Tablo 7.4’te, görüntüleri Şekil 7.5 de verilmiştir.

Tablo 7.4. Küresel (16 mm) elektrotun kimyasal bileşim oranları

Elektrot	Cu (%)	Cr (%)	Zr (%)	Diğer (%)	Sertlik (Vickers)
BICRM 16P CuCrZr	99,18	0,70	0,04	0,08	167 HV



Şekil 7.5. Küresel elektrotlar (kaynak öncesi ve sonrası)

Öncelikle DP 980 çelik sacıyla, 304 kalite paslanmaz çelik sacın doğru kaynak parametrelerini belirlemek ve uygun parametre değerlerinde çalışmak için ön deney çalışması yapılmıştır.

Sabit 0,5 MPa elektrot basıncı, 7 kA kaynak akımı ve 10 cycle ile yapılan ön kaynak sonucu malzeme yüzeylerinde deformasyon olmadığı gözlenmiştir. Daha sonra malzemeler mengeneyle bağlanarak çekiç yardımıyla kopmaya zorlanmasına rağmen kopmamış, ITAB bölgesinden yırtılmıştır.

Ön deneyler neticesinde sabit 0,5 MPa elektrot basıncıyla, 7, 9, 11 kA kaynak akımı ve 10, 15, 20, 25 cycle (1 cycle = 0,02 sn) kaynak zamanı parametrelerine karar verilmiştir.

Fikstür yardımıyla 3 farklı eşleşmenin (1.Eşleşme DP 980/DP 980, 2.Eşleşme DP 980/304, 3.Eşleşme 304/304) 12 farklı kombinasyonu için kaynaklar yapılmıştır. Her bir kombinasyon için de 4 adet çekme deneyine, 1 adet mikro yapı incelemesi ve sertlik deneyine, 1 adet çap ölçümüne, 1 adette ihtiyat olmak üzere 7 adet kaynak yapılmıştır. Toplamda 3 farklı eşleşme için $12 \times 7 \times 3 = 252$ adet END kaynağı yapılmıştır. Deney çalışmalarında kullanılan parametre çizelgesi tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5. Numune, deney numarası ve parametre çizelgesi

Deney No	Kaynak akımı (kA)	Kaynak zamanı (Cycle)	DP980 / DP980	DP 980 / 304	304 / 304
1	7	10	7 adet	7 adet	7 adet
2	7	15	7 adet	7 adet	7 adet
3	7	20	7 adet	7 adet	7 adet
4	7	25	7 adet	7 adet	7 adet
5	9	10	7 adet	7 adet	7 adet
6	9	15	7 adet	7 adet	7 adet
7	9	20	7 adet	7 adet	7 adet
8	9	25	7 adet	7 adet	7 adet
9	11	10	7 adet	7 adet	7 adet
10	11	15	7 adet	7 adet	7 adet
11	11	20	7 adet	7 adet	7 adet
12	11	25	7 adet	7 adet	7 adet

Tablo 7.5’de ki numara ve parametrelere göre kaynak eşleşmeleri yapılmış ve numuneler markalanmıştır. Şekil 7.6, 7.7, 7.8 de görülmektedir.



Şekil 7.6. DP 980/304 numuneleri



Şekil 7.7. Paslanmaz 304/304 numuneleri



Şekil 7.8. DP 980/DP 980 numuneleri

7.4. Yapılan Ölçüm ve Testler

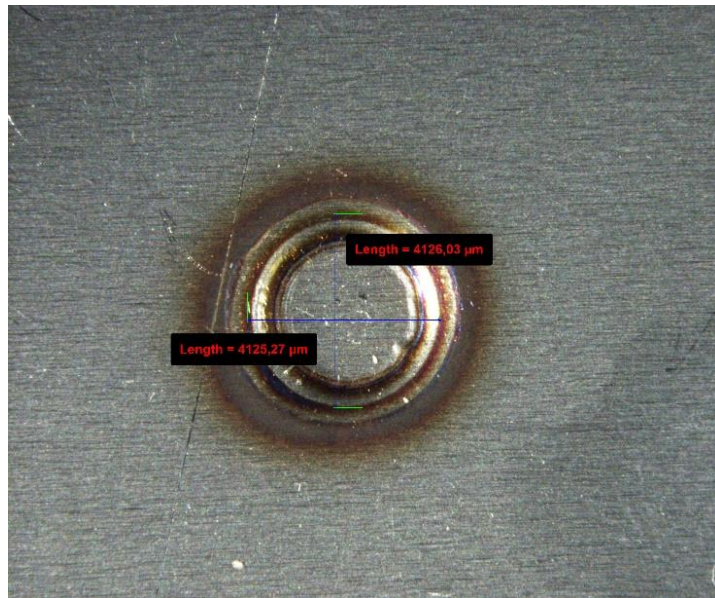
7.4.1. Kaynak çapı ve elektrot dalma derinliği ölçümü

DP 980 ve östenitik paslanmaz 304 kalite çelik sacların ENDK yöntemiyle kaynatılmasında kaynak akımı ve kaynak süresinin, kaynak çekirdek çapına ve derinliğine nasıl etki ettiğini incelemek maksadıyla kaynak çapı ve çekirdek derinliği ölçümü yapılmıştır.

Çapların ölçümü Bursa Ticaret ve Sanayi Odasına bağlı Butekom'da Nikon SMZ-18 marka Stereo Mikroskobu ile, elektrot derinliği ölçümü ise 1/100 mm'lik hassas kumpas kılıç kısmıyla ile yapılmıştır. Stereo Mikroskobun şekil 7.9'da görseli sunulmuştur.



Şekil 7.9. Stereo mikroskop



Şekil 7.10. Stereo mikroskopta örnek çap ölçümü

7.4.2. Çekme-makaslama testi

ENDK yöntemiyle birleşen DP 980 ve paslanmaz 304 kalite sacların çekme dayanımlarının kaynak akımı ve kaynak süresi ile nasıl değiştiğini incelemek için çekme-makaslama testi yapılmıştır. Bu test Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarında Utest marka 250 kN kapasiteli universal çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çekme-makaslama testi hızı 5 mm/s dir.

3 farklı eşleşme ve 12 farklı parametre ile yapılan yaklaşık 140 adet deney numunesi çekme-makaslama testinden geçirilmiştir.

Her parametreden 3 (bazen 4) çekme-makaslama testi yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamasına göre inceleme yapılmıştır.

Şekil 7.11’de testin yapıldığı çekme makinesinin görseli verilmiştir.



Şekil 7.11. Utest Universal 250kN kapasiteli çekme test cihazı (Uludağ Üniversitesi)

7.4.3. Mikro sertlik testi

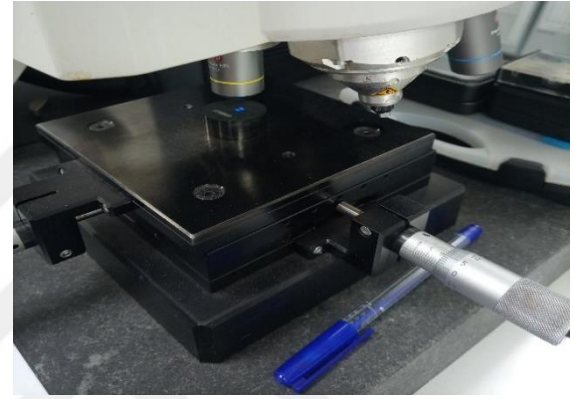
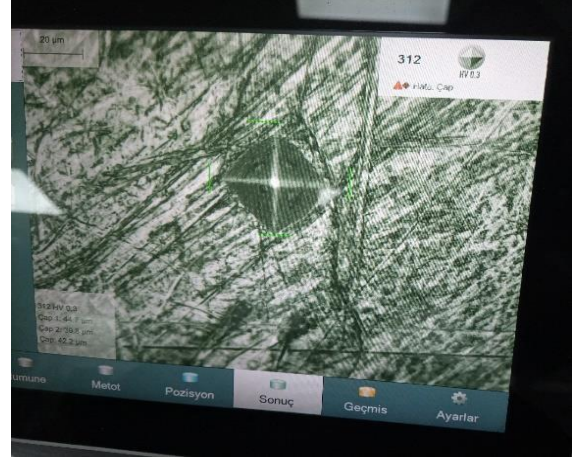
Farklı eşleşme ve farklı parametreler ile ENDK yapılarak birleştirilen sac numunelerinin, ITAB ve çekirdek bölgesinin mikro sertliklerinin kaynak akımı ve kaynak süresi ile nasıl değiştiğinin incelenmesi için mikro sertlik testi yapılmıştır.



Şekil 7.12. Bakalite alınan numuneler

Çekme makaslama testi sonucunda max ve min dayanım gösteren 3 farklı eşleşmenin 6 numune parçası tam merkezinden kesilip bakalite alınır. Bakalite alınan numuneler zımparalama, parlatma ve dağlama işleminden geçirilir. Dağlanan numunelerin önce optik mikroskop ile mikro yapısı incelenmiş akabinde ise mikro sertlik ölçüm testine sokulmuştur. Mikro sertlik testi Bolt Bağlantı Elemanları A.Ş.'de Emco Test Marka mikro sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Test 0,3 HV (2,942 N) da yapılmıştır.

Kaynak çekirdeği merkez noktası 0 konumu olmak üzere alt ve üst metalin baz kısımlarına doğru 0,6 mm aralıklarla 13 noktadan değer alınarak sonuçlar incelenecektir.



Şekil 7.13. Mikro sertlik ölçüm cihazı

7.4.4. Mikro yapının incelenmesi

Farklı eşleşme ve farklı parametreler ile ENDK yapılarak birleştirilen sac numunelerinin, ITAB ve çekirdek bölgesinin mikro yapılarının, tanecik yapısının kaynak akımı ve kaynak süresi ile nasıl değiştiğinin incelenmesi için mikro yapı görüntüleri optik mikroskopta alınmıştır.

Çekme makaslama testi sonucunda max ve min dayanım gösteren 3 farklı eşleşmenin 6 numune parçası merkezinden kesilip bakalite alınmıştır. Akabinde ilk olarak bu numunelerin 180-320-600-1000-2000 numara sulu zımparalama işlemleri yapılmıştır. Sonrasında 6 mikron ve 1 mikron keçe ile elmas solüsyonlu parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. %2'lik Nital çözeltisi ile dağlandıktan hemen sonra da optik mikroskopta 8X, 50X, 100X mikro yapı görüntüleri alınmıştır.

Mikro yapının incelenmesi Bolt Bağlantı Elemanları A.Ş.'de Nikon marka optik mikroskop cihazı ile yapılmıştır. Şekil 7.14'de mikro yapı incelemesi yapılan optik mikroskopun görseli verilmiştir.



Şekil 7.14. Optik mikroskop

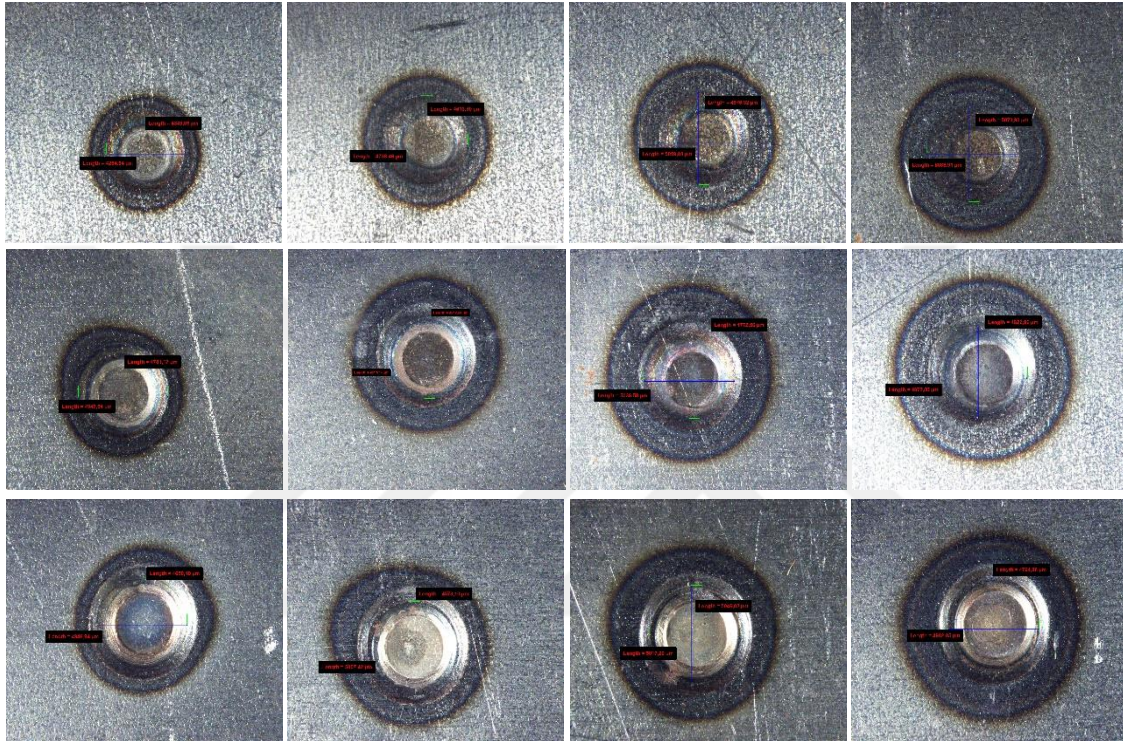


8. DENEY SONUÇLARI

8.1. Kaynak Çekirdek Ölçümü ve Dalma Derinliği İncelemesi

8.1.1. DP 980-DP 980 birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri

Aşağıda şekil 8.1’de DP 980-DP 980 birleşim numunelerinden, kaynak çapı ölçümü için alınmış stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti çap ölçümleri

Tablo 8.1. DP 980-DP 980 kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri

Numune no	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (cycle)	Kaynak çapı (mm)	Toplam Dalma Derinliği (mm)
1	7	10	4,30	0,52
2	7	15	4,70	0,58
3	7	20	5,00	0,61
4	7	25	5,10	0,73
5	9	10	5,25	0,72
6	9	15	5,45	0,80
7	9	20	5,90	0,90
8	9	25	6,06	0,95
9	11	10	6,16	1,15
10	11	15	6,19	1,16
11	11	20	6,26	1,32
12	11	25	6,30	1,39

Tablo 8.1’de ölçüm ve deney sonuçlarında görüldüğü gibi;

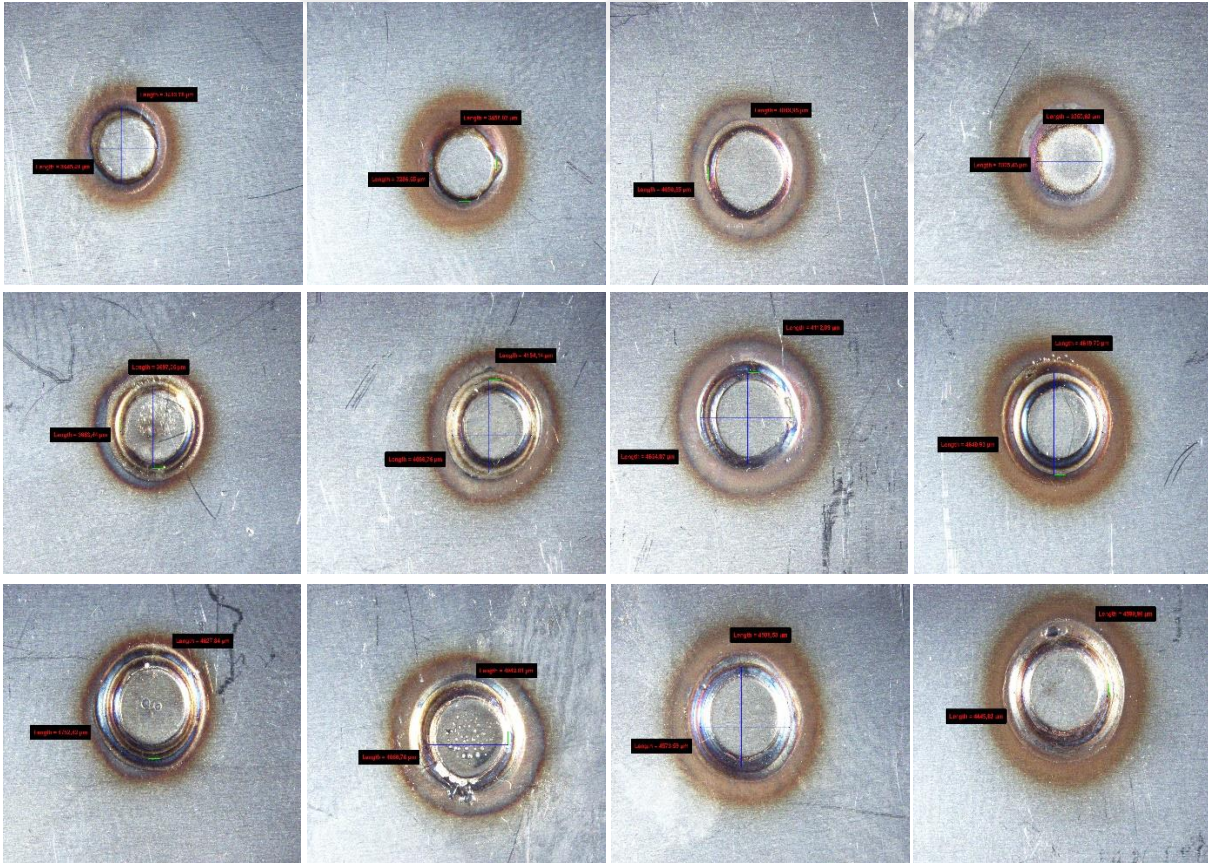
Kaynak akımı ve kaynak süresi arttıkça ısıl girdi artacağından kaynak çapları büyümüştür, toplam dalma derinliği de artmıştır.

Kaynak çapı büyüme hızı, ısı girdisi artış hızından daha yavaştır. Yani gittikçe çapın büyümesi yavaşlamaktadır. Bunun nedeni dalma derinliğinin artmasının etkisi olarak yorumlanabilir.

Kaynak akımı 11 kA olduğunda ise kaynak çapları ve elektrot dalma derinliği artmakta ama çekme-makaslama dayanımı genel olarak 9 kA’lı kaynaklara nispeten düşmüştür. Bunun nedeni ise ısıl girdinin artmasıyla kaynak fışkırmalarının artması ve dalma derinliğinden ötürü hacim kaybı ve kaynaklı bölgenin kesit daralması olduğu söylenebilir.

8.1.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri

Aşağıda DP 980 ve 304 kalite paslanmaz birleşim numunelerinden, kaynak çapı ölçümü için alınmış stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8.2. DP-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çifti çap ölçümleri

Tablo 8.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri

Numune no	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (cycle)	Kaynak çapı (mm)	Dalma Derinliği (mm)
1	7	10	3,40	0,48
2	7	15	3,48	0,54
3	7	20	4,10	0,64
4	7	25	4,77	0,66
5	9	10	4,98	0,72
6	9	15	4,86	0,74
7	9	20	5,23	0,87
8	9	25	5,58	1,04
9	11	10	5,80	1,07
10	11	15	5,81	1,14
11	11	20	5,92	1,12
12	11	25	6,37	1,26

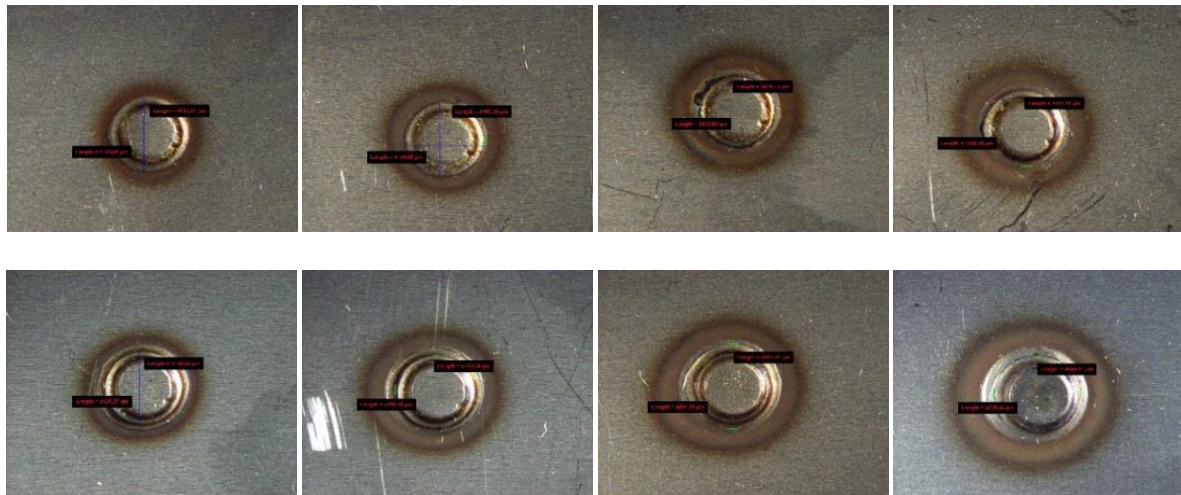
Tablo 8.2’de ölçüm ve deney sonuçlarında görüldüğü gibi;

Kaynak akımı ve kaynak süresi arttıkça ısı girdi artacağından kaynak çapları büyümüştür, toplam dalma derinliği de artmıştır.

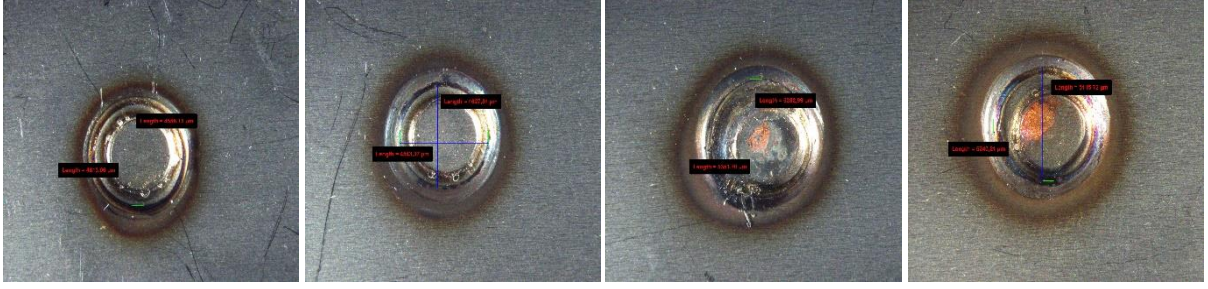
Artan dalma derinliği, kaynak fişkırımları ve hacim kaybı sebebiyle çekme-makaslama dayanımını olumsuz etkilemiştir.

8.1.3. 304-304 Kalite çelik birleşimlerinin kaynak çapı ve dalma derinliği ölçüm değerleri

Aşağıda 304-304 kalite paslanmaz çeliklerin birleşim numunelerinden, kaynak çapı ölçümü için alınan stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8.3. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümleri



Şekil 8.3. (devam) 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin çap ölçümleri

Tablo 8.3. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri

Numune no	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (cycle)	Kaynak çapı (mm)	Dalma Derinliği (mm)
1	7	10	4,20	0,44
2	7	15	4,31	0,49
3	7	20	4,58	0,56
4	7	25	4,92	0,58
5	9	10	4,87	0,73
6	9	15	5,09	0,76
7	9	20	5,35	0,79
8	9	25	5,52	0,92
9	11	10	5,76	1,11
10	11	15	5,95	1,19
11	11	20	6,58	1,53
12	11	25	6,60	1,60

Tablo 8.3’de ölçüm ve deney sonuçlarında görüldüğü gibi;

Kaynak akımı ve kaynak süresi arttıkça ısı girdi artacağından kaynak çapları büyümüştür, toplam dalma derinliği de artmıştır.

Artan dalma derinliği, kaynak fişkırmaları ve hacim kaybı sebebiyle çekme-makaslama dayanımını olumsuz etkilemiştir.

8.2. Çekme-Makaslama Testi İncelemesi

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş çelik çiftlerinin çekme-makaslama dayanımına sabit 0,5 N/mm² elektrot basıncı altında kaynak akımı ve kaynak süresi parametrenin tesiri değerlendirilecektir.

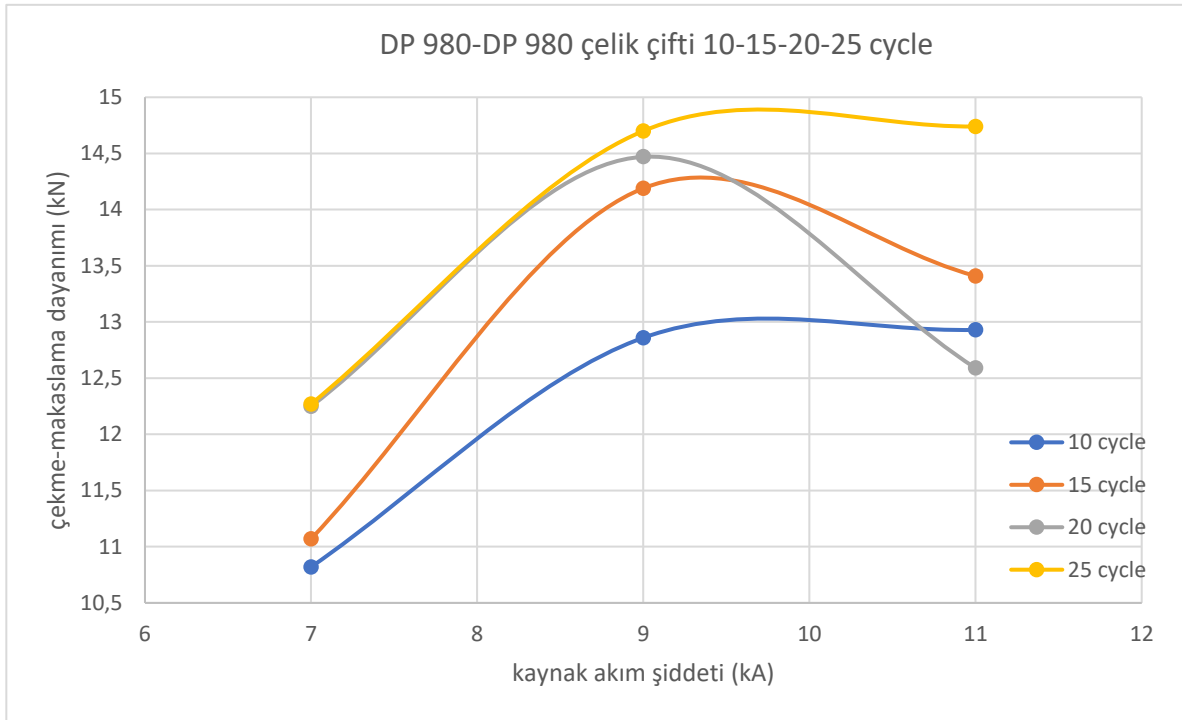
8.2.1. DP 980-DP 980 Çelik çifti birleşimi

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş DP 980 çeliklerinin değişen kaynak akımı ve kaynak sürelerine göre deney sonuçlarında ölçülmüş çekme-makaslama gerilim sonuçları aşağıda Tablo 8.4’de verilmiştir.

Tablo 8.4. DP 980-DP 980 kaynak çiftinin çekme-makaslama gerilim değerleri

Numune no	Elektrot Basıncı (MPa)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (cycle)	Çekme-makaslama Gerilimi (kN)
1	0,5	7	10	10,82
2	0,5	7	15	11,07
3	0,5	7	20	12,25
4	0,5	7	25	12,27
5	0,5	9	10	12,86
6	0,5	9	15	14,19
7	0,5	9	20	14,47
8	0,5	9	25	14,70
9	0,5	11	10	12,93
10	0,5	11	15	13,41
11	0,5	11	20	12,59
12	0,5	11	25	14,74

8.2.1.1. Kaynak akımının etkisi



Şekil 8.4. DP 980-DP 980 birleşimindeki akım şiddetinin çekme makaslama dayanımına etkisi

Şekil 8.4’de gösterildiği gibi çekme-makaslama dayanımının maksimum değerine 25 cycle kaynak zamanı ve 11 kA akım şiddetinde ulaşılmıştır. Bu akım ve cycle’da ortalamaya dahil edilmemiş başka düşük dayanımlarda gerçekleşmiştir (bu parametrelerde 4 numune test edildi, en yüksek 3 değerın ortalaması alındı).

Kaynak zamanı 10 cycle olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 11 kA’de 12930 N’dur, 9 kA’de ise 12860 N’dur.

Kaynak zamanı 15 cycle olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 9 kA’de 14190 N’dur.

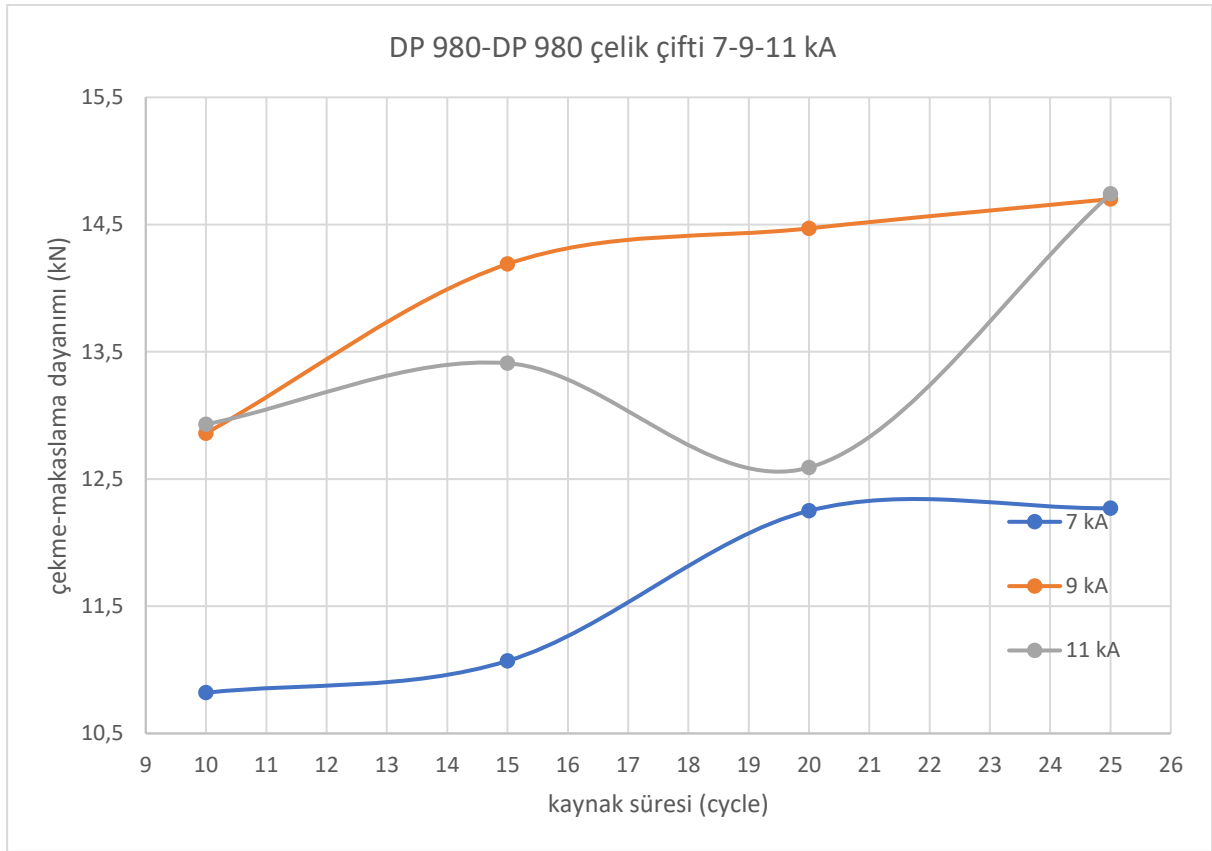
Kaynak zamanı 20 cycle olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 9 kA’de 14470 N’dur.

Kaynak zamanı 25 cycle olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 11 kA’de 14740 N’dur. Bu akım ve cycle’da ortalamaya dahil edilmemiş başka düşük dayanımlarda gerçekleşmiştir. Bu ve yukarıdaki 9 kA’ da ki dayanım değerleri gösteriyor ki akım şiddeti belirli bir optimum değeri geçince çekme-makaslama mukavemetini olumsuz etkilemektedir.

Bulca (2019) yaptığı ENDK çalışmasında kaynak akımının şiddeti arttıkça fişkırmaların arttığını bunun da kaynak dayanımını azalttığını beyan etmiştir. Bunun sebebi ise malzemede oluşan hacim kaybı dolayısıyla kesit daralmasıdır. Şekil 8.4 incelendiğinde 10, 15, 20, 25 cycle'ın hemen hepsinde 9-10 kA arasındaki maksimum gerilme değerlerinden sonra mukavemette bir düşüş gözlenmektedir.

Sebebi ise elektrot dalma derinliğinin ve fişkırmaların artması sonucu gerçekleşen malzemedeki hacim kaybı ve kaynak bölgesindeki kesit daralmasıdır.

8.2.1.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)



Şekil 8.5. DP 980-DP 980 birleşimindeki kaynak süresinin çekme makaslama dayanımına etkisi

Şekil 8.5'te gösterildiği gibi çekme-makaslama dayanımının maksimum değerine 25 cycle kaynak zamanı ve 11 kA akım şiddetinde ulaşılmıştır.

Kaynak akımı 7 kA olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 25 cycle'de 12270 N'dur.

Kaynak zamanı 9 kA olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 25 cycle'de 14700 N'dur.

Kaynak zamanı 11 kA olan testte maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip kaynaklı numune 25 cycle'de 14740 N'dur.

Her üç kaynak akım (7,9,11 kA) değerinde de en yüksek çekme-makaslama dayanımına 25 cycle'de ulaşılmıştır. Bu da gösteriyor ki kaynak zamanı belli optimum değere kadar kaynağın çekme mukavemetini olumlu yönde etkilemektedir. Ama şekildeki eğrilerin eğiminden de anlaşıldığı gibi çekme-makaslama dayanımının artış hızı cycle'ın artış hızından azdır. Bu da bize bir kema noktasından sonra düşüşün başlayacağını gösteriyor.

11 kA eğrisinde görülen dalgalanmanın sebebi yüksek ısı girdisinin sebep olduğu elektrot derinliği ve fişkırmaların neticesinde gerçekleşen hacim kaybı ve kesit daralmasıdır. Kendini çekme-makaslama dayanımında göstermiştir.

8.2.2. DP 980-304 Çelik çifti birleşimi

Tablo 8.5. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri

Numune No	Elektrot Basıncı (MPa)	Kaynak akımı (kA)	Kaynak süresi (cycle)	Çekme-Makaslama dayanımı (kN)
1	0,5	7	10	8,07
2	0,5	7	15	9,31
3	0,5	7	20	9
4	0,5	7	25	8,23
5	0,5	9	10	6,71
6	0,5	9	15	7,11
7	0,5	9	20	6,94
8	0,5	9	25	6,59
9	0,5	11	10	7,59
10	0,5	11	15	8,2
11	0,5	11	20	7,51
12	0,5	11	25	7,45

8.2.2.1. Kaynak akımının etkisi



Şekil 8.6. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi

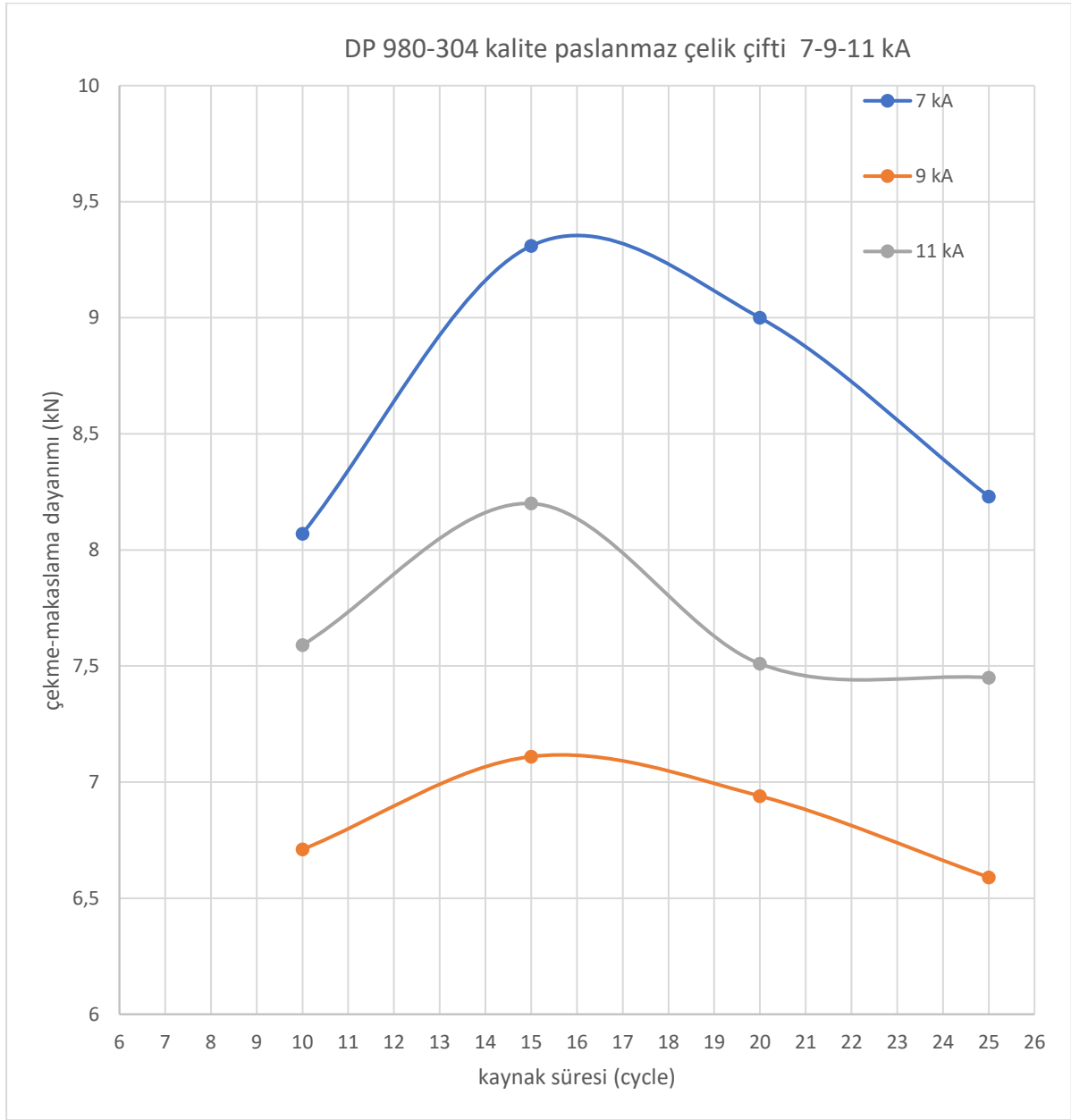
Maksimum çekme-makaslama değerine 7 kA akım, 15 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır.

Minimum çekme-makaslama değerine 9 kA akım 25 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır.

9 kA kaynak akım değerinin DP 980-304 kaynak çifti için uygun olmadığı gösterilmiştir.

Bunun sebebi paslanmaz 304 ve DP 980 çeliklerinin kaynak nüfuziyetlerinin düşük olması olarak yorumlanabilir. Diğer çekme makaslama değerlerinin de nispeten düşük olması bu yoruma kuvvet vermektedir.

8.2.2.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)



Şekil 8.7. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak süresinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 8.7’de ki 3 eğriden de anlaşıldığı gibi Maksimum çekme makaslama dayanımı 15-16 cycle kaynak süresi civarındadır.

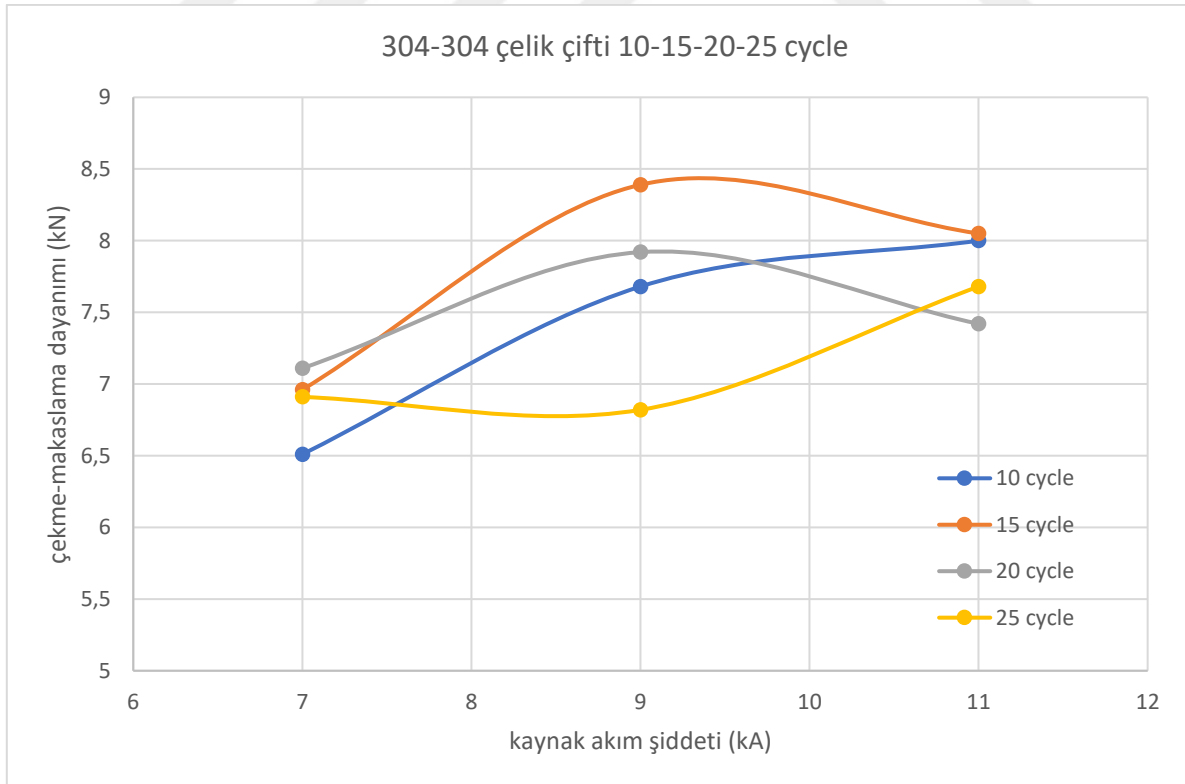
Maksimum çekme makaslama değerine 7 kA eğrisinde 15-16 cycle değerinde ulaşılmıştır.

8.2.3. Paslanmaz 304-304 kalite paslanmaz çelik çifti birleşimi

Tablo 8.6. 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin kaynak çap ölçümü ve elektrot dalma derinlikleri

Numune No	Elektrot Basıncı (MPa)	Kaynak akımı (kA)	Kaynak süresi (cycle)	Çekme-Makaslama dayanımı (kN)
1	0,5	7	10	6,51
2	0,5	7	15	6,95
3	0,5	7	20	7,11
4	0,5	7	25	6,91
5	0,5	9	10	7,68
6	0,5	9	15	8,39
7	0,5	9	20	7,92
8	0,5	9	25	6,82
9	0,5	11	10	8,00
10	0,5	11	15	8,05
11	0,5	11	20	7,42
12	0,5	11	25	7,68

8.2.3.1. Kaynak akımının etkisi



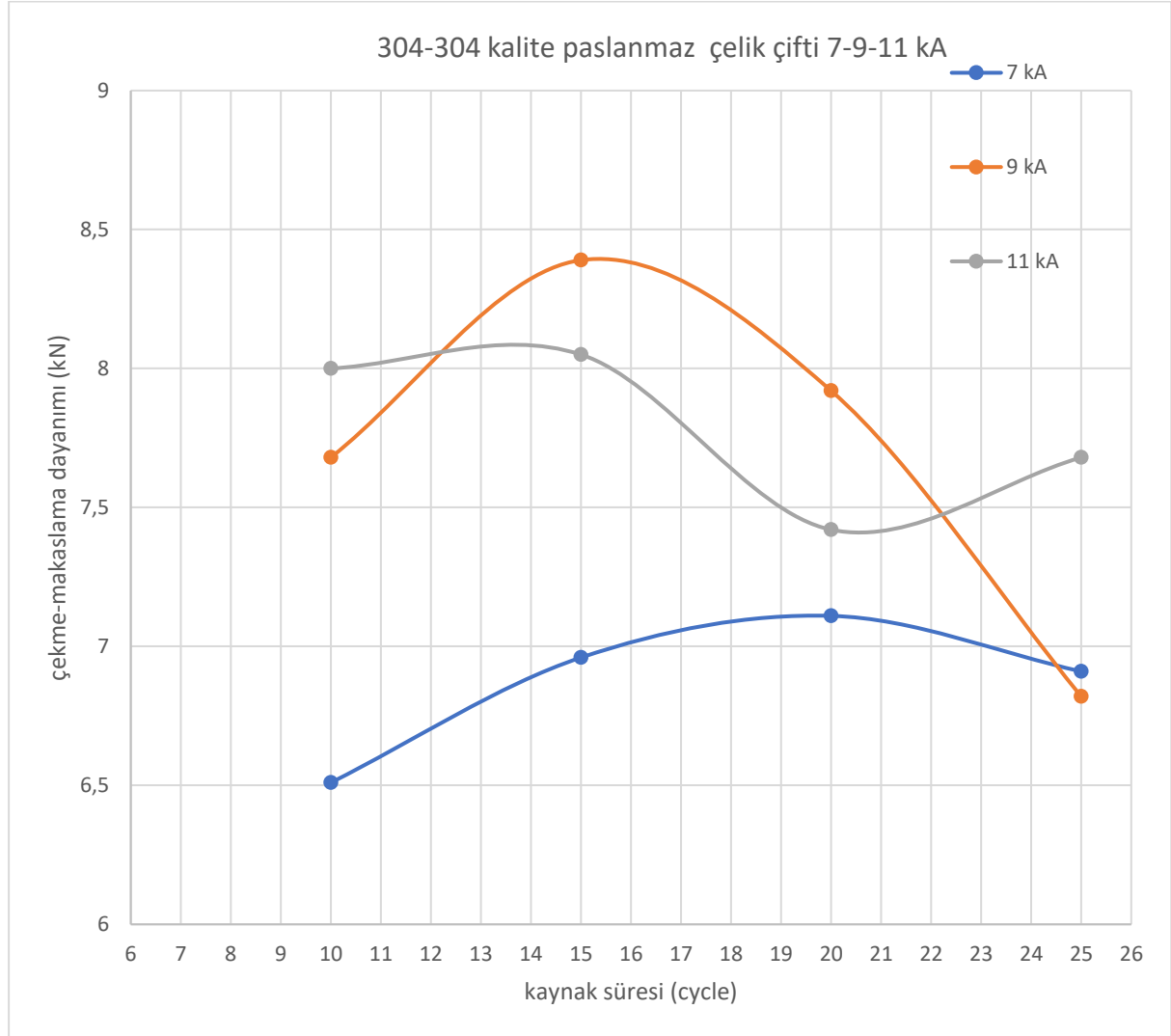
Şekil 8.8. 304-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi

Maksimum çekme-makaslama değerine 9 kA akım, 15 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır.

Minimum çekme-makaslama değerine 7 kA akım 10 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır.

Şekil 8.8’de 4 eğriden anlaşıldığı gibi en uygun 9-9,5 kA lik kaynak akımıdır. Bu değerden sonra çekme makaslama gerilmesinde düşüş gözlenmektedir. Sebebi akım şiddetlendikçe kaynak fışkırmasında olan artmalar, hacim kaybı ve kesit daralması olarak yorumlanabilir.

8.2.3.2. Kaynak süresinin etkisi (cycle)



Şekil 8.9. 304-304 kalite paslanmaz çelik birleşimindeki kaynak süresinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Maksimum çekme-makaslama değerine 9 kA akım, 15 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır.

Minimum çekme-makaslama değerine 7 kA akım 10 cycle kaynak süresinde ulaşılmıştır

Maksimum çekme makaslama için ideal kaynak süresi 15-20 cycle olduğu görülmektedir.

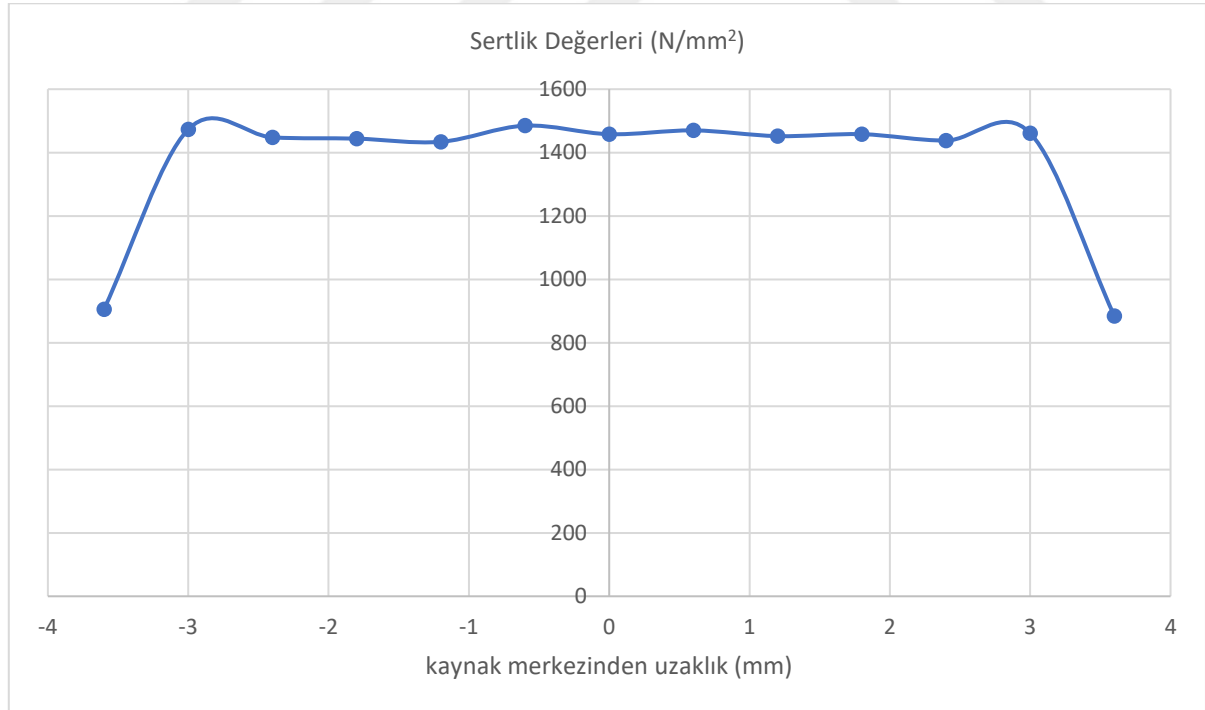
8.3. Mikro Sertlik Sonuçlarının İncelemesi

Sertlik testi DP 980-DP 980, DP 980-304 kalite paslanmaz, 304-304 kalite paslanmaz kaynak çiftlerinden maksimum ve minimum çekme gerilmesi değerini veren numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

8.3.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik incelemesi (max gerilim)

Tablo 8.7. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik değerleri

Baz Metal DP	ITAB	Çekirdek Bölge					Çekirdek Bölge					ITAB	Baz Metal DP
-3,6 mm	-3,0 mm	-2,4 mm	-1,8 mm	-1,2 mm	-0,6 mm	0 noktası	0,6 mm	1,2 mm	1,8 mm	2,4 mm	3,0 mm	3,6 mm	
282 HV	456 HV	440 HV	447 HV	444 HV	460 HV	451 HV	455 HV	449 HV	451 HV	445 HV	452 HV	276 HV	
906 N/mm ²	1473 N/mm ²	1448 N/mm ²	1444 N/mm ²	1434 N/mm ²	1485 N/mm ²	1458 N/mm ²	1470 N/mm ²	1452 N/mm ²	1458 N/mm ²	1438 N/mm ²	1461 N/mm ²	884 N/mm ²	



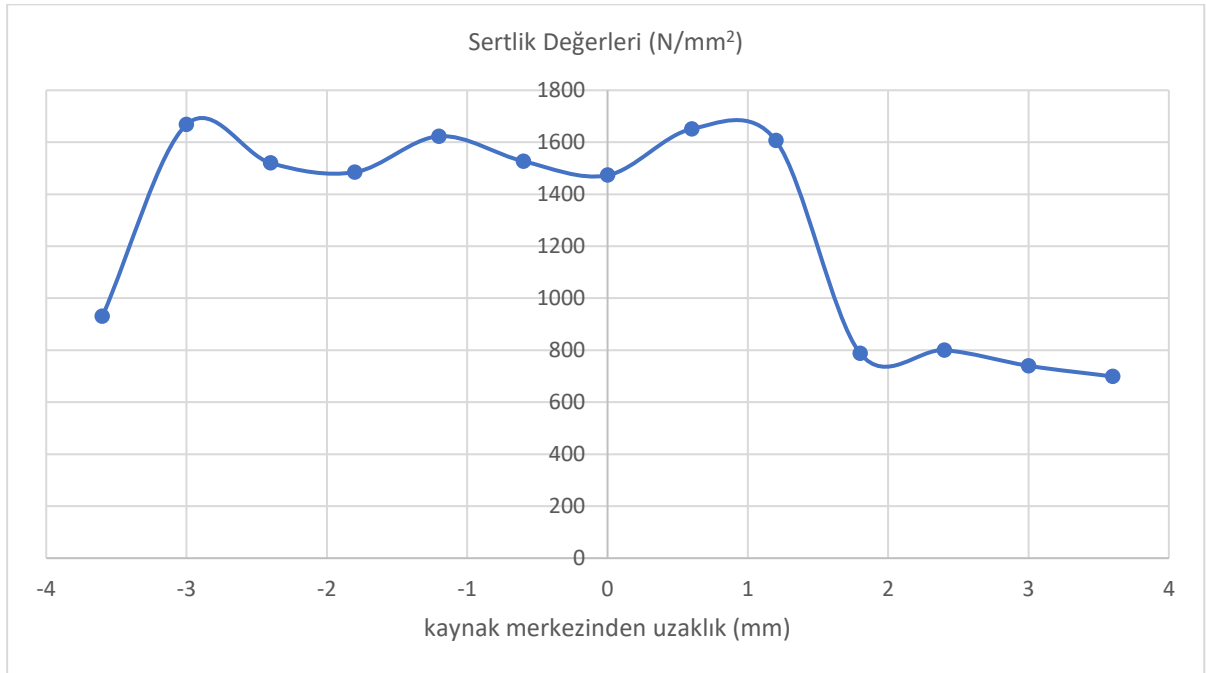
Şekil 8.10. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle sertlik grafiği

Elde edilen sertlik değerlerine bakıldığında 11 kA-25 cycle parametreleri altında DP 980 esas metal bölgesinden ergime bölgesine yaklaştıkça sertliğin ciddi bir şekilde arttığı görülmüştür. Bir sebebi, kaynak süresinde oluşan yüksek ısı sonrası hızlı soğuma ve neticede oluşan martenzitik hacimdeki artış olarak yorumlanabilir. Khan (2007) yüksek mukavemetli çeliklerin ENDK’da martenzitin, ferrit matrisi içerisinde kaynak merkezine doğru gidildikçe arttığını göstermiştir.

8.3.2. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik incelemesi (min gerilim)

Tablo 8.8. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik değerleri

Esas metal DP	ITAB		Çekirdek Bölge					Çekirdek Bölge				ITAB	Baz Metal 304
-4,2 mm	-3,6 mm	-3,0 mm	-2,4 mm	-1,8 mm	-1,2 mm	-0,6 mm	0 noktası	0,6 mm	1,2 mm	1,8 mm	2,4 mm	3,0 mm	3,6 mm
290 HV	511 HV	470 HV	460 HV	498 HV	472 HV	477 HV	456 HV	506 HV	493 HV	246 HV	250 HV	230 HV	218 HV
930 N/mm ²	1668 N/mm ²	1520 N/mm ²	1485 N/mm ²	1623 N/mm ²	1527 N/mm ²	1544 N/mm ²	1473 N/mm ²	1651 N/mm ²	1606 N/mm ²	788 N/mm ²	800 N/mm ²	740 N/mm ²	699 N/mm ²



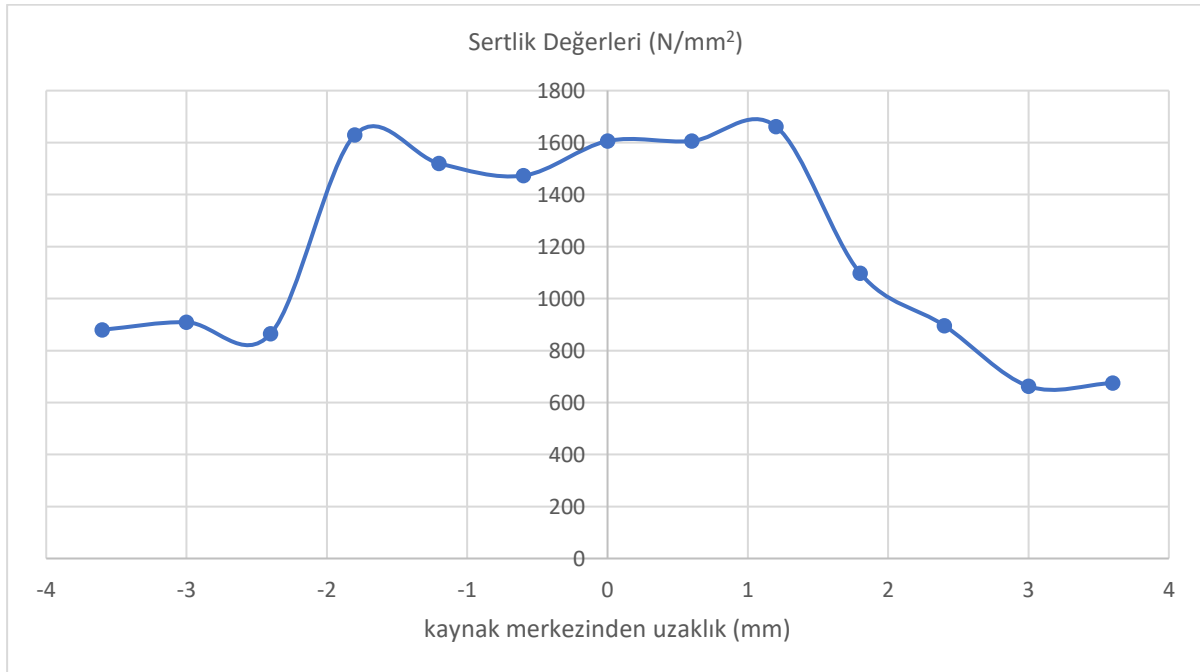
Şekil 8.11. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-25 cycle sertlik grafiği

Elde edilen sertlik değerlerine bakıldığında 9 kA-25 cycle parametreleri altında DP 980 ve 304 kalite paslanmaz çeliklerin esas metal bölgesinden ergime bölgesine yaklaştıkça sertliğin arttığı gözlemlenmiştir. Önemli bir sebebi, ergime bölgesinde DP çelikten kaynaklanan martenzitik yapının oluşumudur. Kaynak süresinde oluşan yüksek sıcaklık sonrasında hızlı soğuma ve neticede oluşan martenzitik hacimdeki artış olarak yorumlanabilir. Khan (2007) yüksek mukavemetli çeliklerin ENDK’da martenzitin, ferrit matrisi içersinde kaynak merkezine doğru gidildikçe arttığını göstermiştir.

8.3.3. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik incelemesi (max gerilim)

Tablo 8.9. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik değerleri

Baz Metal DP	ITAB	Çekirdek Bölge					Çekirdek Bölge					ITAB	Baz Metal 304
-3,6 mm	-3,0 mm	-2,4 mm	-1,8 mm	-1,2 mm	-0,6 mm	0 noktası	0,6 mm	1,2 mm	1,8 mm	2,4 mm	3,0 mm	3,6 mm	
275 HV	283 HV	270 HV	500 HV	470 HV	456 HV	493 HV	493 HV	509 HV	341 HV	279 HV	206 HV	210 HV	
880 N/mm ²	909 N/mm ²	865 N/mm ²	1630 N/mm ²	1520 N/mm ²	1473 N/mm ²	1606 N/mm ²	1606 N/mm ²	1662 N/mm ²	1098 N/mm ²	896 N/mm ²	663 N/mm ²	675 N/mm ²	



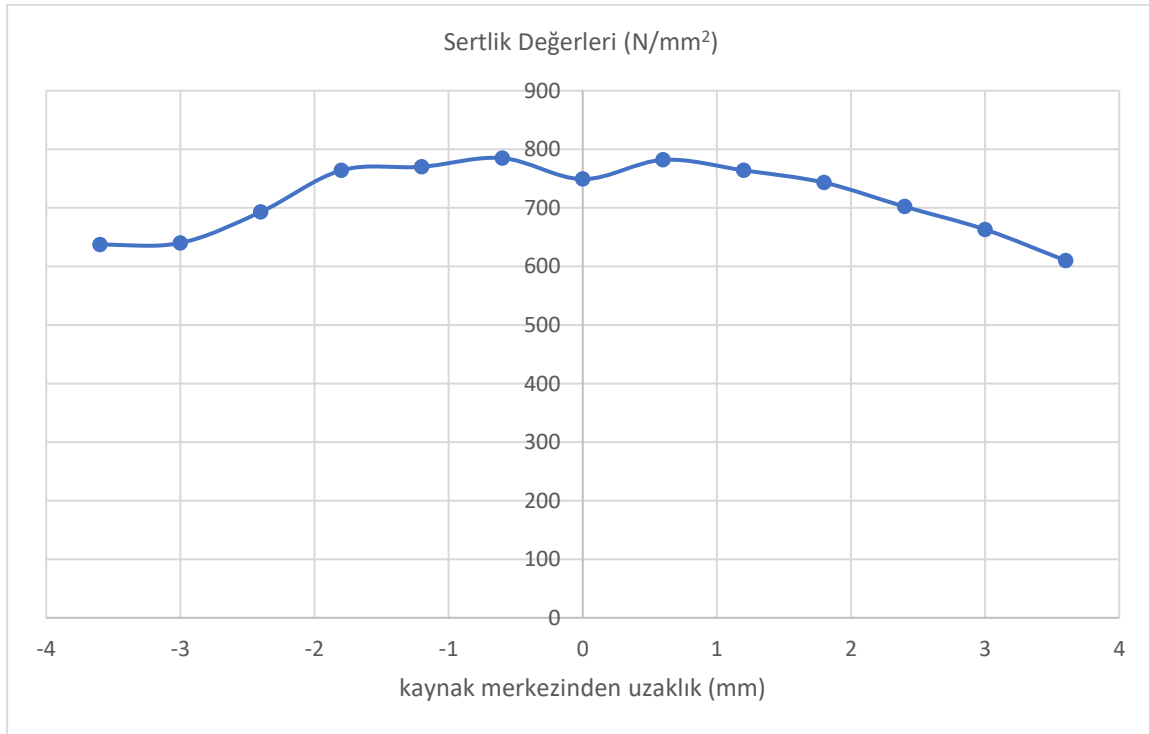
Şekil 8.12. DP 980-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-15 cycle sertlik grafiği

Elde edilen sertlik değerlerine bakıldığında 7 kA-15 cycle parametreleri altında DP 980 ve 304 esas metal bölgesinden ergime bölgesine yaklaştıkça sertliğin arttığı gözlemlenmiştir. Önemli bir sebebi, ergime bölgesinde DP 980 çelikten kaynaklanan martenzitik yapının oluşumudur. Kaynak süresinde oluşan yüksek sıcaklık sonrasında hızlı soğuma ve neticede oluşan martenzitik hacimdeki artış olarak yorumlanabilir.

8.3.4. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-10 cycle sertlik incelemesi (min gerilim)

Tablo 8.10. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-10 cycle sertlik değerleri

Baz Metal 304	ITAB	Çekirdek Bölge					Çekirdek Bölge					ITAB	Baz Metal 304
-3,6 mm	-3,0 mm	-2,4 mm	-1,8 mm	-1,2 mm	-0,6 mm	0 noktası	0,6 mm	1,2 mm	1,8 mm	2,4 mm	3,0 mm	3,6 mm	
199 HV	200 HV	216 HV	238 HV	240 HV	245 HV	233 HV	244 HV	238 HV	231 HV	219 HV	206 HV	190 HV	
637 N/mm ²	640 N/mm ²	693 N/mm ²	764 N/mm ²	770 N/mm ²	785 N/mm ²	749 N/mm ²	782 N/mm ²	764 N/mm ²	743 N/mm ²	702 N/mm ²	663 N/mm ²	610 N/mm ²	



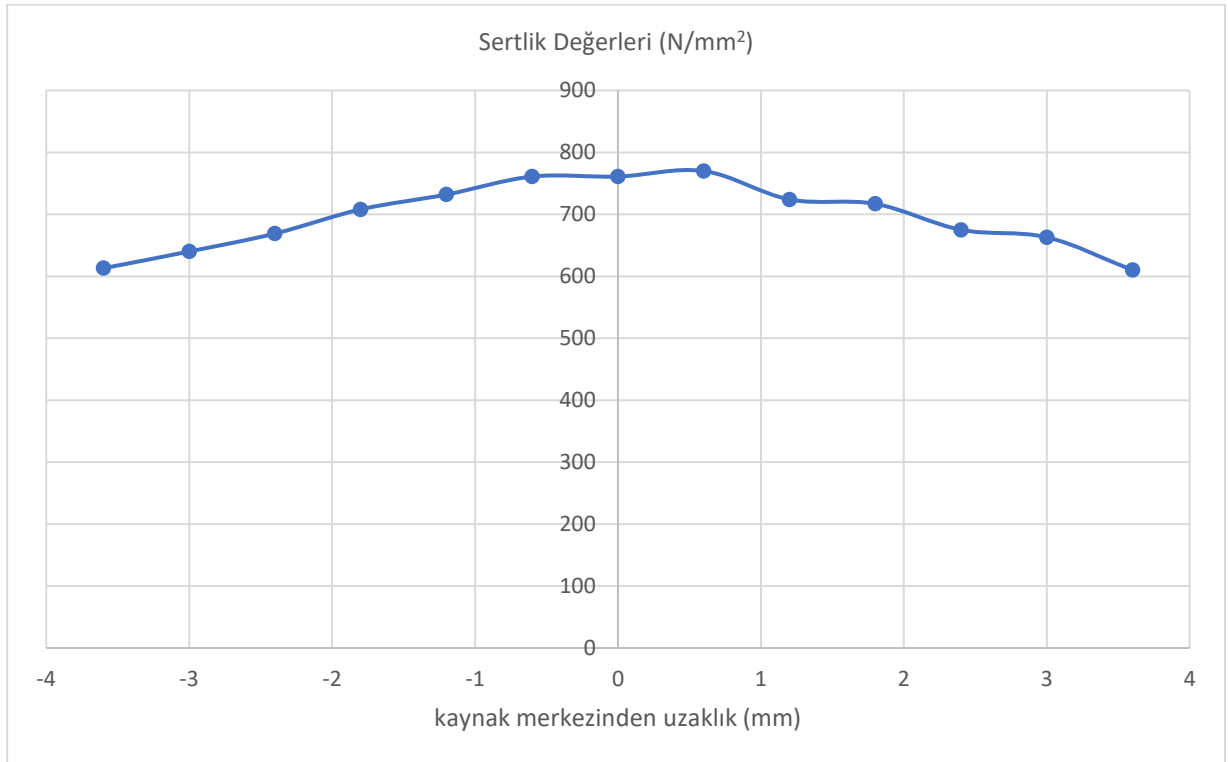
Şekil 8.13. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 7 kA-11 cycle sertlik grafiği

304 kalite paslanmaz çelik çiftlerinin kaynaklarında 7 kA-11 cycle için sertlik değerleri incelendiğinde esas metal, ITAB ve ergime bölgesi arasında çok ciddi bir fark gözlemlenmemiştir. Az bir sertleşme ise paslanmaz çelikte yeterli miktardaki bulunan krom ve karbondan kaynaklı krom karbür yüzey sertleşmesi olarak yorumlanabilir. Oğuz (2018) çalışmasında 304 kalite paslanmaz çeliklerin ENDK ile birleşmelerindeki krom karbür oluşumunu incelemiş ve mikro yapı resimlerinde göstermiştir.

8.3.5. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik incelemesi (max gerilim)

Tablo 8.11. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik değerleri

Baz Metal 304	ITAB	Çekirdek Bölge					Çekirdek Bölge					ITAB	Baz Metal 304
-3,6 mm	-3,0 mm	-2,4 mm	-1,8 mm	-1,2 mm	-0,6 mm	0 noktası	0,6 mm	1,2 mm	1,8 mm	2,4 mm	3,0 mm	3,6 mm	
191 HV	200 HV	208 HV	221 HV	228 HV	237 HV	237 HV	240 HV	226 HV	224 HV	210 HV	206 HV	190 HV	
613 N/mm ²	640 N/mm ²	669 N/mm ²	708 N/mm ²	732 N/mm ²	761 N/mm ²	761 N/mm ²	770 N/mm ²	724 N/mm ²	717 N/mm ²	675 N/mm ²	663 N/mm ²	610 N/mm ²	



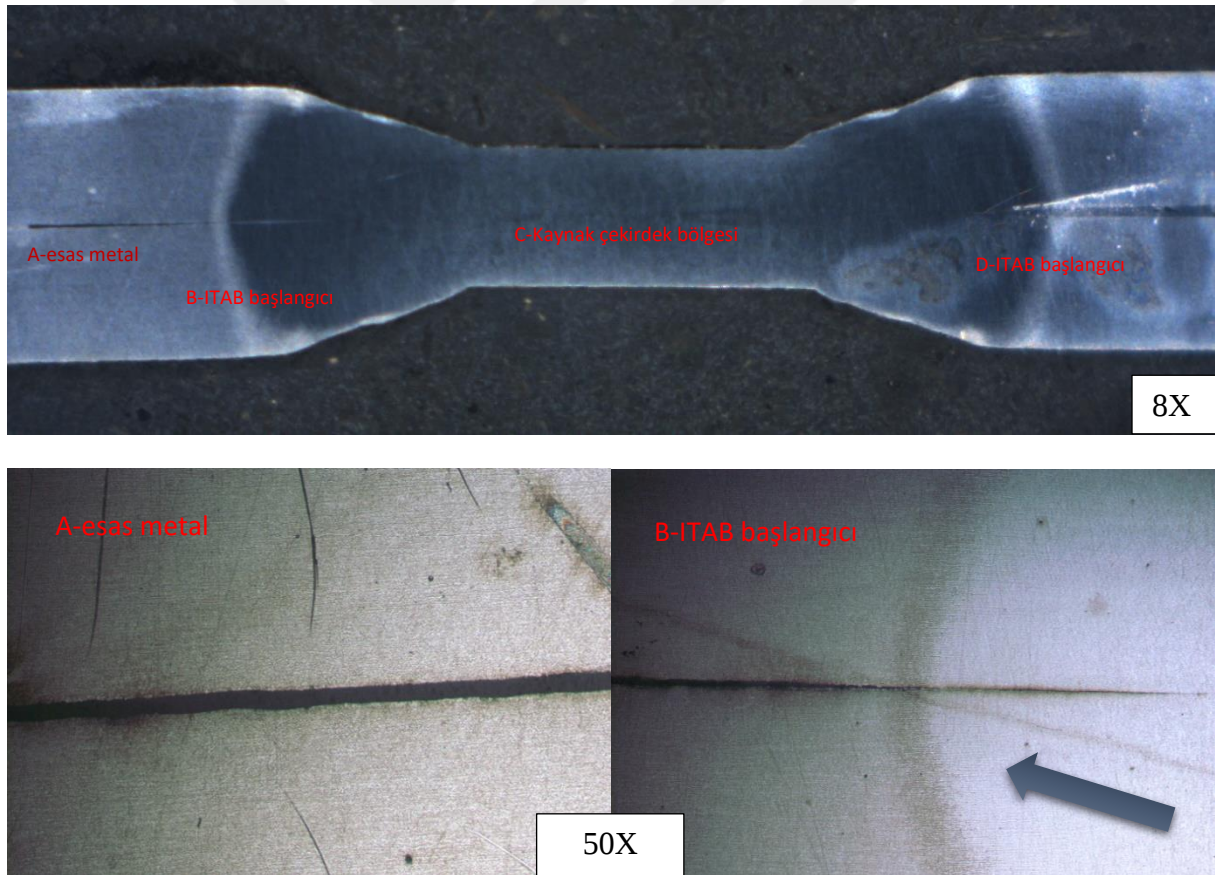
Şekil 8.14. 304-304 kalite paslanmaz kaynak çifti 9 kA-15 cycle sertlik grafiği

304 kalite paslanmaz çelik çiftlerinin kaynaklarında 9 kA-15 cycle için sertlik değerleri incelendiğinde esas metal, ITAB ve ergime bölgesi arasında çok ciddi bir fark gözlemlenmemiştir. Az bir sertleşme ise paslanmaz çelikteki kromdan kaynaklı krom karbür oluşumunun sebep olduğu yüzey sertleşmesi olarak yorumlanabilir. Oğuz (2018) çalışmasında 304 kalite paslanmaz çeliklerin ENDK ile birleşmelerindeki krom karbür oluşumunu incelemiş ve mikro yapı resimlerinde göstermiştir.

8.4. Mikro Yapıların İncelenmesi

Mikro yapı incelemesi DP 980-DP 980, DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftlerinden maksimum ve minimum çekme gerilmesi değerini veren 3 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

8.4.1. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı incelemesi (max gerilim)



Şekil 8.15. DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri



Şekil 8.15. (devam) DP 980-DP 980 kaynak çifti 11 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri

Mikro yapı resimleri incelenince;

A-Esas metal bölgesinde DP çeliğinin mikro yapısı gözlenmektedir.

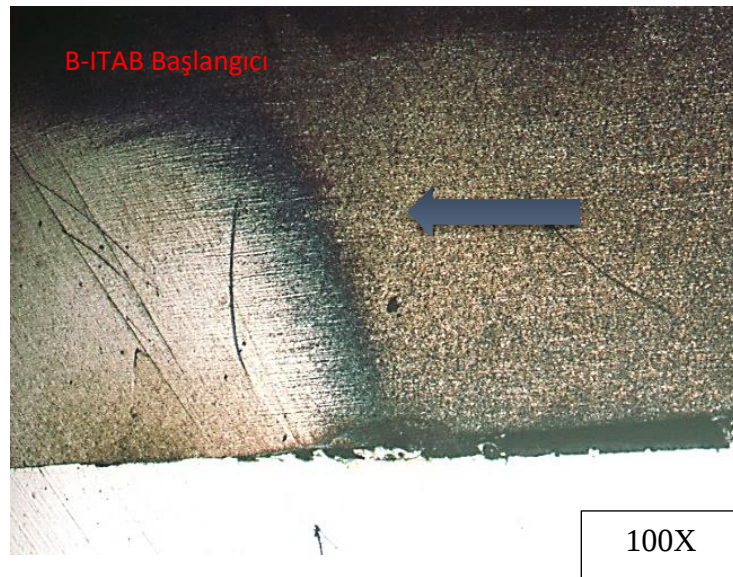
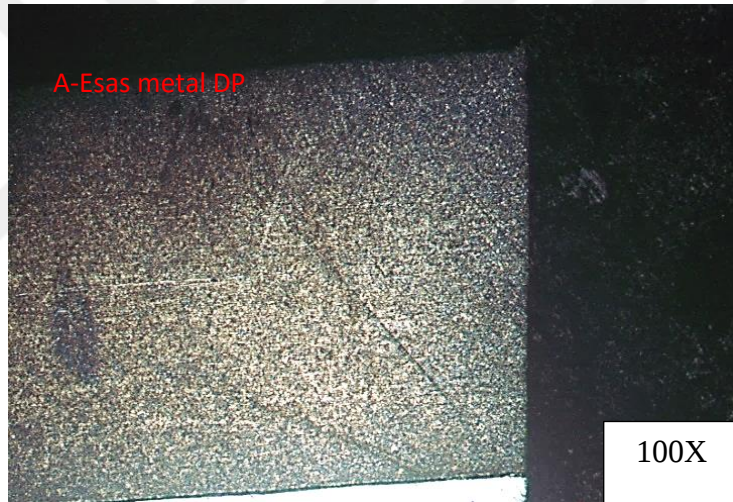
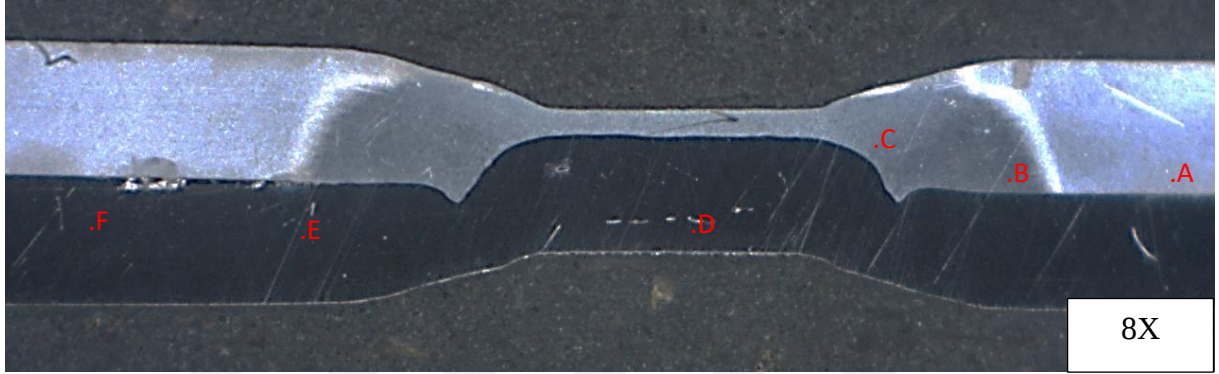
B-ITAB bölgesinde mikro yapının değişime başladığı görülmektedir.

C-Ergime bölgesinde çizgisel ve iğne görünümlü bir mikro yapının oluşumu gözlenmektedir. Özgüven (2021) DP 1000 saclarındaki çalışmasında ergime bölgesindeki iğne yapılı, çizgisel mikro yapı oluşumunun füzyon bölgesindeki hızlı ısınma ve soğumadan kaynaklanan martenzitik yapı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Khan (2007) yüksek mukavemetli çeliklerin

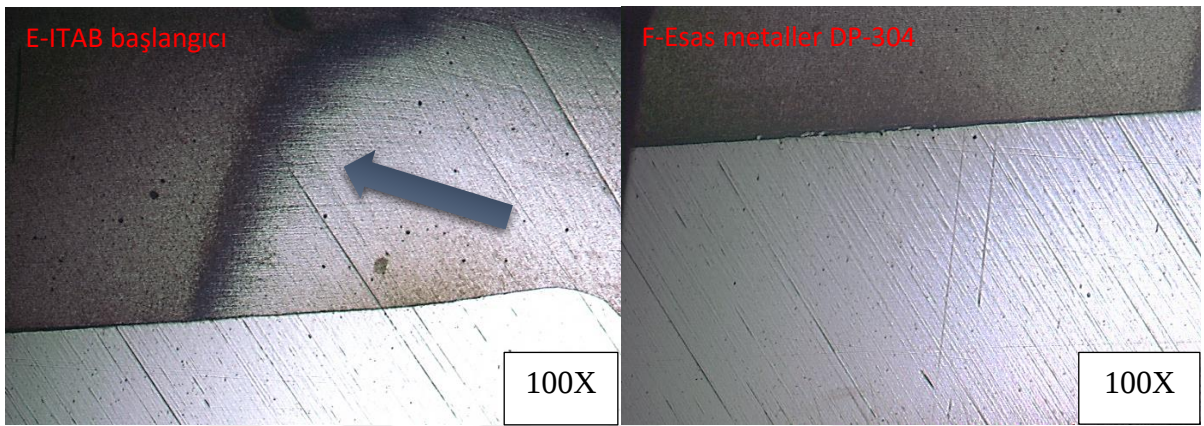
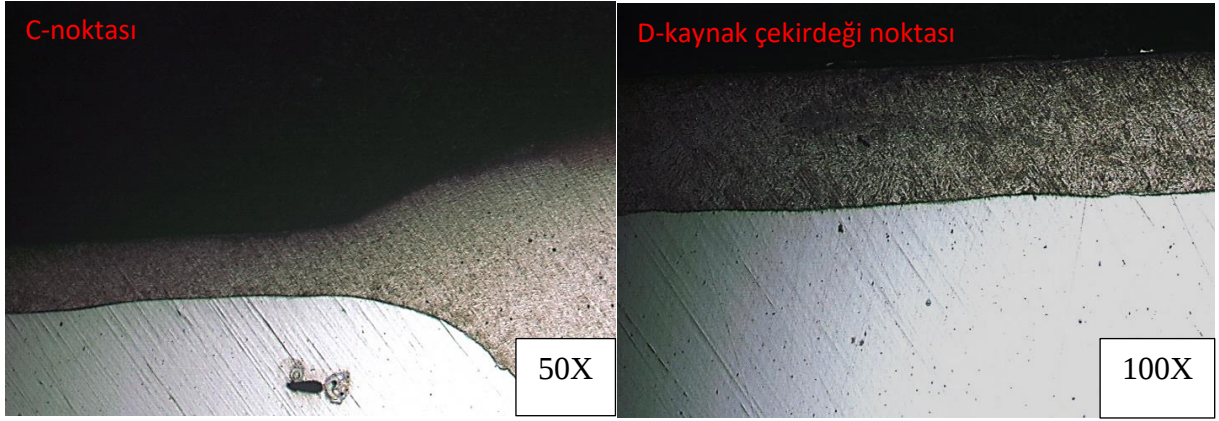
ENDK birleşimlerinde martenzitin, ferrit matrisi içerisinde kaynak merkezine doğru gidildikçe arttığını göstermiştir.

D-ITAB bölgesinde mikro yapının değişimi net bir şekilde gözlenmektedir.

8.4.2. DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı incelemesi (min gerilim)

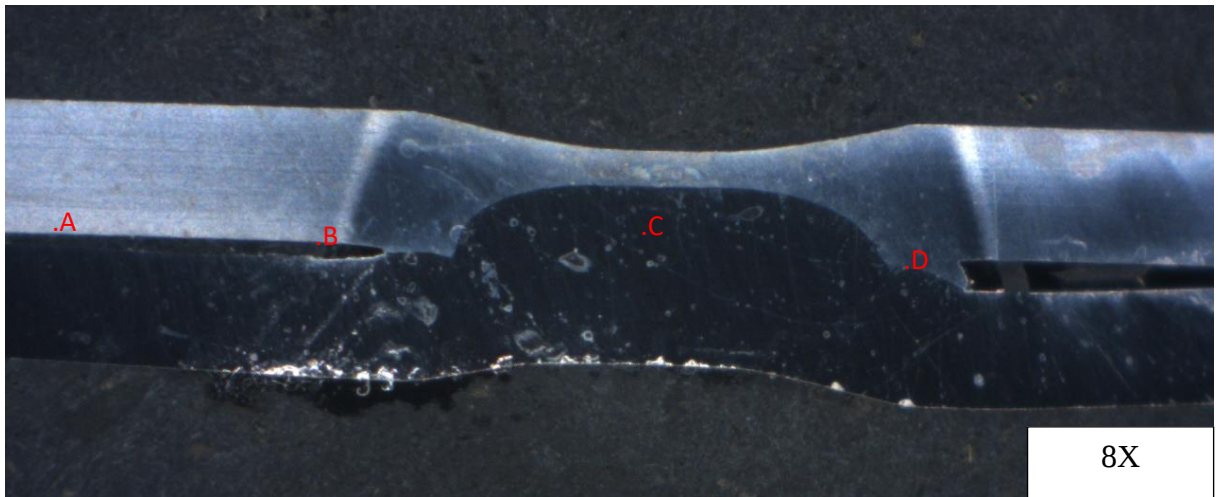


Şekil 8.16. DP-304 kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri

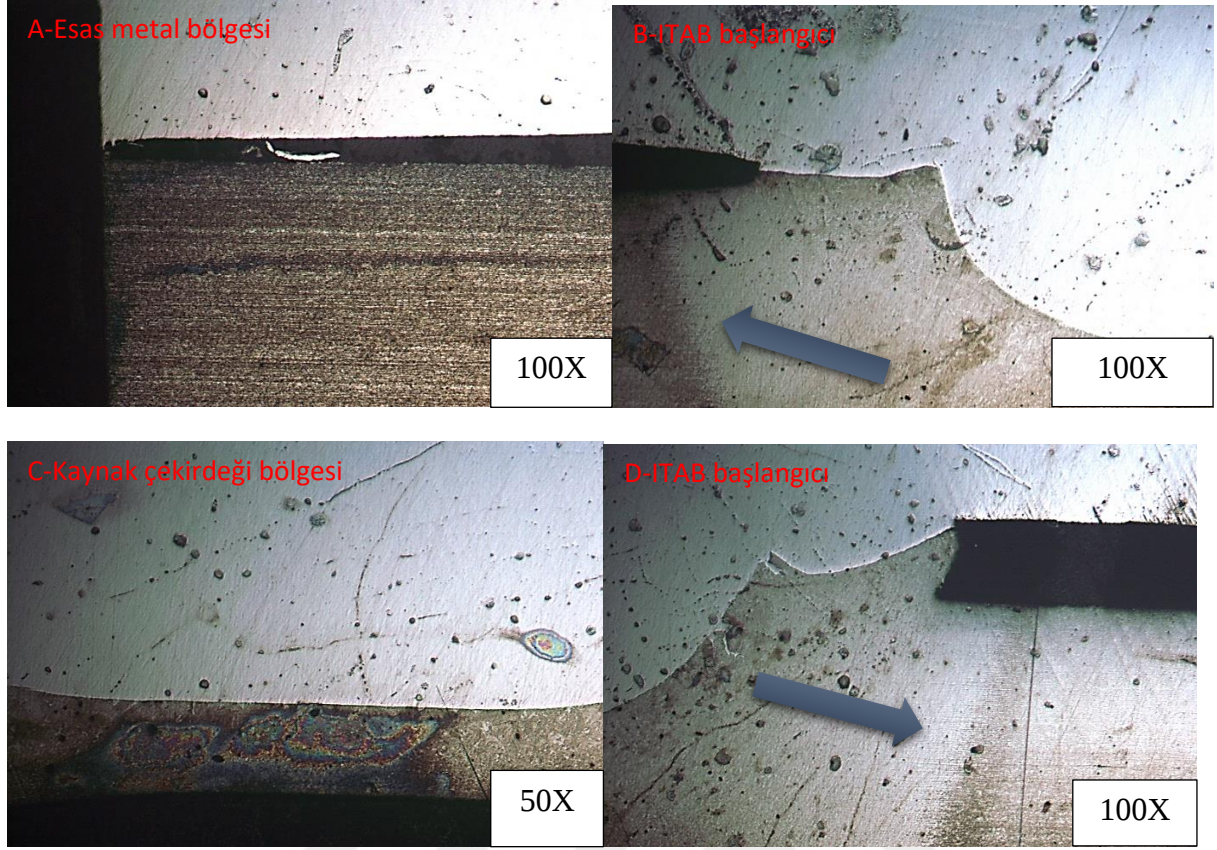


Şekil 8.16. (devam) DP-304 kaynak çifti 9 kA-25 cycle için mikro yapı resimleri

8.4.3. DP-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı incelemesi (max gerilim)



Şekil 8.17. DP-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı resimleri



Şekil 8.17. (devam) DP 980-304 kaynak çifti 7 kA-15 cycle için mikro yapı resimleri

Mikro yapı resimleri incelenince;

A-Esas metal bölgesinde DP çeliğinin mikro yapısı gözlenmektedir.

B-ITAB bölgesinde mikro yapının değiştiği görülmektedir.

C-Ergime bölgesinin yeni mikro yapı oluşumu gözlenmektedir.

D-ITAB bölgesinde mikro yapının değişimi gözlenmektedir.

Çekme-makaslama gerilmesi sonuçları incelenirken görüldüğü gibi ve buradaki mikro yapılardan da anlaşılıyor ki DP 980 ile 304 kalite paslanmaz çelikler, çalıştığımız akım ve periyotta birbirleriyle iyi bir kaynak nüfuziyeti gerçekleştiremedi denilebilir. Ergime bölgesindeki mikro yapı görüntülerinde nüfuziyetlerinin zayıf olduğu görülüyorlar.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

- ENDK yönteminde kaynak kalitesinin en önemli unsuru olan çekme-makaslama gerilimini etkileyen en önemli parametrelerin kaynak akımı ve kaynak süresi olduğu görülmüştür. Tablo 8.4, 8.5 ve 8.6'da sunulmuştur. Benzer şekilde Erik (2010) çalışmasında değişen kaynak akım değerlerinin ve kaynak çevrim sürelerinin çekme-makaslama gerilim değerlerini etkilediğini belirtmiştir.
- ENDK yönteminde kaynak çapının ve dalma derinliğinin doğrudan kaynak akımı ve tutma süresi ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Artan kaynak akımı ve tutma süresinin kaynak çaplarını ve dalma derinliğini nasıl arttırdığı Tablo 8.1, 8.2 ve 8.3 de gösterilmiştir. Baydemir (2011) çalışmasında artan kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi ile kaynak çekirdek çapı ve elektrot dalma derinliği arttığını vurgulamıştır.
- DP 980-DP 980 çelik kaynak çiftinin birleştirme sonrası mekanik özellikleri Vickers mikro sertlik testinde ve çekme-makaslama gerilmesi testinde incelenmiştir.
- ENDK yöntemiyle birleştirilen DP 980 çeliklerinin maksimum ve minimum çekme-makaslama dayanımını hangi parametrelerde sağladığı incelenmiştir. Maksimum gerilme değeri 14,74 kN'a 11 kA akım ve 25 cycle tutma süresinde, minimum gerilme değeri 10,82 kN'a 7 kA akım ve 9 cycle tutma süresinde ulaşılmıştır. Tablo 8.4'te elde edilen tüm değerler verilmiştir. Hayat ve diğ. (2010), kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla kaynak çekirdek çapının arttığı buna istinaden çekme-makaslama dayanımının belirli bir parametre eşğine kadar arttığını belirtmişlerdir.
- Esas metal olarak DP 980 çeliğinin sertliği 266 HV olarak ölçülmüştür. ENDK yöntemiyle birleştirilen DP 980-DP 980 çeliklerinin ergime bölgesinde 460 HV kadar sertleştiği görülmüştür. Diğer bir çalışmada, Baydemir (2011), en yüksek sertlik değerinin kaynak çekirdeğinden ölçüldüğünü onu sırasıyla ITAB ve esas metalin izlediğini belirtmiştir. Ergime bölgesindeki ciddi sertleşmenin sebebi, yüksek sıcaklık sonrasında hızlı soğuma sebebiyle değişen mikro yapı olarak yorumlanmıştır. Tablo 8.7'de sertlik değerleri verilmiştir.
- 304-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin, birleştirme sonrası mekanik özellikleri Vickers mikro sertlik testinde ve çekme-makaslama gerilmesi testinde incelenmiştir.

- ENDK yöntemiyle birleştirilen 304 kalite paslanmaz çeliklerinin maksimum ve minimum çekme-makaslama dayanımını hangi parametrelerde sağladığı incelenmiştir. Maksimum gerilme değeri 8,39 kN'a 7 kA akım ve 10 cycle tutma süresinde, minimum gerilme değeri 8,39 kN'a 9 kA akım ve 15 cycle tutma süresinde ulaşılmıştır. Tablo 8.6'da elde edilen tüm değerler verilmiştir. Hayat ve diğ. (2010), kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla kaynak çekirdek çapının arttığı buna istinaden çekme-makaslama dayanımının belirli bir parametre eşiğine kadar arttığını belirtmişlerdir.
- Esas metal olarak 304 kalite paslanmaz çeliğinin sertliği 190 HV olarak ölçülmüştür. ENDK yöntemiyle birleştirilen 304-304 paslanmaz çiftinin ergime bölgesinde 245 HV kadar sertleştiği görülmüştür. Nisbi yüzey sertleşmesinin sebebi yüksek sıcaklık sonrasında oluşan mikro yapı değişikliği olarak yorumlanmıştır. Ortaya konulan diğer bazı çalışmada, Baydemir (2011), en yüksek sertlik değerinin kaynak çekirdeğinden ölçüldüğü onu sırasıyla ITAB ve esas metalin izlediğini belirtmiştir. Özyürek (2008) 316 L paslanmaz çelikler ile yaptığı çalışmada esas metal, ITAB ve kaynak çekirdeğinden ölçülen değerlerin birbirlerine yakın değerler olduğunu raporlamışlardır. Elde edilen sertlik değerleri Tablo 8.10 ve 8.11'de verilmiştir.
- DP 980-304 kalite paslanmaz çelik kaynak çiftinin, birleştirme sonrası mekanik özellikleri Vickers mikro sertlik testinde ve çekme-makaslama gerilmesi testinde incelenmiştir.
- ENDK yöntemiyle birleştirilen 304 kalite paslanmaz çelik ve DP 980 çeliklerinin maksimum ve minimum çekme-makaslama dayanımını hangi parametrelerde sağladığı incelenmiştir. Maksimum gerilme değeri 9,31 kN'a 7 kA akım ve 15 cycle tutma süresinde, minimum gerilme değeri 6,59 kN'a 9 kA akım ve 25 cycle tutma süresinde ulaşılmıştır. Tablo 8.5'te elde edilen tüm değerler verilmiştir.
- Esas metal; olarak DP 980 çeliğinin sertliği 275 HV, 304 kalite paslanmaz çeliğin sertliği 210 HV olarak ölçülmüştür. ENDK yöntemiyle birleştirilen DP 980-304 kalite paslanmaz çeliklerinin ergime bölgesinde 493 HV kadar sertleştiği görülmüştür. Çalışmasında, Baydemir (2011), en yüksek sertlik değerinin kaynak çekirdeğinden ölçüldüğünü onu sırasıyla ITAB ve esas metalin izlediğini belirtmiştir. Yine burada da füzyon bölgesindeki ciddi sertleşmenin sebebi, yüksek sıcaklık sonrasında hızlı soğuma

sebebiyle değişen mikro yapı olarak yorumlanmıştır. Tablo 8.8 ve 8.9’da sertlik değerleri verilmiştir.

- ENDK yöntemiyle birleştirilen DP 980-DP 980 ve DP 980-304 kalite paslanmaz elik kaynak çiftlerinden maksimum çekme-makaslama gerilmesini sağlayan numunelerin mikro yapıları incelenmiştir.
- Mikro yapı incelemeleri sonucunda ITAB da mikro yapıların değişmeye başladığı, ergime bölgesinde ise iğne uçlu bir yapı oluştuğu grlmştir.

9.2. neriler

- Çalışmamız; 0,5 N/mm² sabit elektrot basıncında, 16 mm küresel uçlu elektrot ile yapılmıştır. Farklı tip ve çaptaki elektrotlar ile de çalışma yapılması önerilebilir. Aynı zamanda elektrot basıncının etkilerini daha net görebilmek için basıncın da değişken bir parametre olduğu çalışmalar yapılabilir.
- Çalışmamız 7, 9, 11 kA kaynak akımlarında ve 10, 15, 20, 25 cycle tutma sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Yine bu parametreler de değiştirilerek yeni çalışmalar yapılırsa 304 kalite paslanmaz ve DP 980 eliklerinin ENDK karakterleri daha detaylı okunabilir.
- Biz alışmamızda DP 980 ve 304 kalite paslanmaz çelikler için çekme testlerinden yalnızca çekme-makaslama gerilmesini inceledik. Çekme-sıyırma testi yapılması, bahsi geçen eliklerin ENDK kabiliyetlerini daha net okumaya vesile olabileceği için önerilebilir.
- ENDK yöntemiyle birleştirilen parçaların korozyona uğratılarak çekme gerilmesinin nasıl etkilendiği de yeni bir çalışma konusu olarak önerilebilir.



KAYNAKLAR

- Amadeh, A. A., Kianersi, D., Mostafaei, A. (2014). Resistance spot welding joints of AISI 316 L austenitic stainless steel sheets: Phase transformations, mechanical properties and microstructure characterizations, *Materials and Design*, 61: 251-263.
- Aslanlar, Y. S., Öz Saraç, U., Kekik, M., Barlas, Z., Aslan, H., and Aslanlar, S. (2018). *The Effect of Welding Parameters on Tensile-Shear Force of Resistance Spot Welded Dissimilar Dual-Phase Steels*, 19th International Metallurgy and Materials Congress, 1-3, İstanbul.
- Aydin, K., Hidiroğlu, M., and Kahraman, N. (2022). Characterization of the Welding Zone of Automotive Sheets of Different Thickness (DP600 and DP800) Joined by Resistance Spot Welding, *Transactions Of The Indian Institute Of Metals*, 75(5).
- Baydemir, M. (2011). *Ostenitik AISI 310-ferritik AISI 430 paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-159.
- Bulca, M., Aslanlar, S. (2019). *Twip çelik saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi*, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dolutaş, H., Cavcar, M. (2001). *Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı*, Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş., İstanbul, 2-14.
- Ennis, B. L., Jimenez-Melero, E., Atzema, E. H., Krugla, M., Azeem, M. A., Rowley, D., Daisenberger, D., Hanlon, D. N., and Lee, P. D. (2017). Metastable austenite driven work-hardening behaviour in a TRIP-assisted dual phase steel, *International Journal Of Plasticity*, 88: 126–139.
- Esindir, E. (2009). *Farklı metallerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-9.
- Erik, M. (2010). *Farklı kalınlıklarda galvaniz kaplanmış çelik sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37-70.
- Goodarzi, M., Marashi, S. P. H. and Pouranvari, M., (2009). Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (9): 4379–4384.
- Gözütok, E. (2009). *Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 4-8.
- Gündüz, S., Hayat, F., Kaçar, R., Kocabekir, B. (2008). An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 195: 327–335.

- Gündüz, S., Kaçar, R., Karcı, F. (2009). The effect of process parameter on the properties of spot welded cold deformed AISI 304 grade austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (8): 4011-4019.
- Hasanbaşoğlu, A. (2005). *Direnç kaynak yöntemiyle birleştirilen IF çelikleri ile östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 1-36.
- Hayat, F. ve Sevim, İ. (2012). The effect of welding parameters on fracture toughness of resistance spot-welded galvanized DP600 automotive steel sheets, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (9-12): 1043–1050.
- Hayat, F., Demir, B., Acarer, M., Aslanlar, S. (2010). Adhesive weld bonding of interstitial free steel at spot welding for automotive application”, *Kovove Mater.* 48, 137-143.
- Joaquin, A., Elliott, A. N. A. and Jiang, C. (2007). Reducing shrinkage voids in resistance spot welds, *Welding Journal*, 86 (2): 24–27.
- Kaluç, E. (1988). *Ferritik-Ostenitik Paslanmaz Çelik Çiftinin Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme – Makaslama Mukavemetine ve Taneler arası Korozyona Etkisi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, Y. (2010). *Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2-41, 80-86.
- Kaya, Y. (2014). *Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen grade a gemi sacı-paslanmaz çelik kompozitlerin mikro yapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-215.
- Khan, M. I., (2007). *Spot welding of advanced high strength steels*, University of Waterloo, Degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering.
- Khan, M. I., Kuntz, M. L. and Zhou, Y. (2008). Effects of weld microstructure on static and impact performance of resistance spot welded joints in advanced high strength steels, *Science and Technology of Welding and Joining*, 13 (3): 294–304.
- Kocabekir, B., Kaçar, R., Gündüz, S., Hayat, F. (2008). An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 195: 327-335.
- Oğuz, H. (2018) *Paslanmaz Çelik-Galvanizli Çelik Çiftinin Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım ve Mikro yapı Özellikleri Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 68.
- Osmanoğlu, T. (2012). *AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-27.

- Özgüven, I. C., (2021). *Otomotiv Sektöründe Kullanılan DP 1000 Ve Boron Çeliğinin Farklı Parametreler Altında Nokta Direnç Kaynağı Ve Parametrelerin Kaynak Kalitesine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 59.
- Özyürek, D. (2008). An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 316 L austenitic stainless steel, *Materials and Design*, 29: 597–603.
- Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H. (2001). Failure mode transition in AHSS resistance spot welds. Part I. controlling factors, *Materials Science and Engineering: A*, 528 (29-30): 8337–8343.
- Pouranvari, M., Marashi, S. P. H. and Mousavizadeh, S. M. (2010). Failure mode transition and mechanical properties of similar and dissimilar resistance spot welds of DP600 and low carbon steels, *Science and Technology of Welding and Joining*, 15 (7): 625–631.
- Pouranvari, M. (2011). Influence of welding parameters on peak load and energy absorption of dissimilar resistance spot welds of DP600 and AISI 1008 steels, *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, 50 (4): 381–388.
- Pouranvari, M. (2012). Failure mode transition in similar and dissimilar resistance spot welds of HSLA and low carbon steels, *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, 51 (1): 67-74.
- Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H. (2013). Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties, *Science and Technology of Welding and Joining*, 18 (5): 361-403.
- Rajarajan, C., Sivaraj, P., and Balasubramanian, V. (2018). Microstructural Characteristics and Load Carrying Capability of Resistance Spot Welded Dual Phase (DP800) Steel Joints, *Journal Of Advanced Microscopy Research*, 13 (2): 198–203.
- Rathbun, R. W., Matlock, D. K. and Speer, J. G. (2003). Fatigue behavior of spot welded high strength sheet steels, *Welding Journal*, 82 (8): 207-218.
- Shi, G. and Westgate, S. A. (2004). Resistance spot welding of high strength steels, *International Journal for the Joining of Materials*, 16 (1): 9-14.
- Sun, X., Stephens, E. v., and Khaleel, M. A. (2008). Effects of fusion zone size and failure mode on peak load and energy absorption of advanced high strength steel spot welds under lap shear loading conditions, *Engineering Failure Analysis*, 15 (4): 356–367.
- Şenyüz, G. (2008). *304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli sacların şekillendirme kabiliyetlerinin çeşitli yönlerden incelenerek karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-22.
- Temel, M.A. ve Aran, A. (2004). *Paslanmaz Çelik Üretimi Kullanımı Standartları*, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, İstanbul, 113s.

- Tumuluru, M. (2010). Resistance spot weld performance and weld failure modes for dual phase and TRIP steels, *Failure Mechanisms of Advanced Welding Processes*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 43–63.
- Türkyılmazoğlu, A. (2006). *Dublesk, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 16-55.
- Uijl, N. J. D., Smith, S., Goos, C., van der Aa, E., Moolevliet, T. and van der Veldt, T. (2008). Failure modes of resistance spot welded advanced high strength steels, 5th International Seminar on Advances in Resistance Welding, Toronto, 78–104.
- Walsh, T., Ourchane, A., Stewart, W. and Jie, M. (2001). Failure of spot welds under in-plane static loading, *Experimental Mechanics*, 41 (1): 100–106.
- Yang, Y. S., Son, K. J., Cho, S. K., Hong, S. G., Kim, S. K. and Mo, K. H. (2001). Effect of residual stress on fatigue strength of resistance spot weldment, *Science and Technology of Welding and Joining*, 6 (6): 397–401.
- Zhang, H. and Senkara, J. (2005). Resistance welding: fundamentals and applications, *Taylor & Francis CRC Press*, London, 53-59.
- Zhang, H., Wei, A., Qiu, X. and Chen, J. (2014). Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded dissimilar thickness DP780/DP600 dual phase steel joints, *Materials and Design*, 54: 443–449.
- Zhou, M., Zhang, H. and Hu, S. J. (2003). Relationships between quality and attributes of spot welds, *Welding Journal*, 82 (4): 72-77.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 1997 yılında girdiği Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılından beri özel sektörde Doğalgaz İç Tesisat Mühendisi ve Yapı Denetim firmalarında Proje ve Uygulama Denetçisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Toka, Ö., Sevim, İ. (16-17 May 2024). *Elektrik Nokta Direnç Kaynaklı DP 980 Çelik Saclarında Değişen Kaynak Akımı ve Kaynak Süresinin Çekme-Makaslama Gerilimine, Kaynak Çapına ve Dalma Derinliğine Etkisinin İncelenmesi*, 3. International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, Konya.

