



**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN  
FARKLI DAYANIM SEVİYELERİNE SAHİP ÇİFT  
FAZLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Emre KATILMIŞ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ**

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI DAYANIM  
SEVİYELERİNE SAHİP ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Emre KATILMIŞ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Temmuz 2023**

Emre KATILMIŞ tarafından hazırlanan “NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI DAYANIM SEVİYELERİNE SAHİP ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ .....  
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/07/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Hüseyin GÖKÇE (ÇAKÜ)	ONLINE
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ (BŞEÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emre KATILMIŞ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN FARKLI DAYANIM SEVİYELERİNE SAHİP ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Emre KATILMIŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ**

**Temmuz 2023, 32 sayfa**

Bu çalışmada, DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 çift fazlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için nokta direnç kaynaklı birleşimleri gerçekleştirilmiştir. Nokta direnç kaynak işlemleri 7 kA sabit kaynak akımında ve 2, 3, 4, 5, 6 Bar olmak üzere 5 farklı elektrot basıncında uygulanmıştır. Farklı birleşimlerin mikroyapı analizleri, çekirdek çap ölçümleri, çekme-makaslama deneyleri ve sonrasında meydana gelen kırılma tipleri detaylı olarak incelenmiştir. Esas metalden kaynak metaline doğru martenzit hacim oranı artmıştır. Elektrot basıncı arttıkça çekme-makaslama kuvveti her iki birleşim çeşidi için de azalmıştır. Birleşimlerde kırılmalar daha düşük dayanım seviyesine sahip olan DP600 tarafında meydana gelmiştir. Tüm birleşimlerde özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilen düğme tipi kırılma gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Nokta direnç kaynağı, Çift fazlı çelik, Mikroyapı, Çekme-  
makaslama kuvveti, Düğme tipi kırılma

**Bilim Kodu** : 91415

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUAL PHASE STEELS WITH DIFFERENT STRENGTH LEVELS JOINED BY RESISTANCE SPOT WELDING**

**Emre KATILMIŞ**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Muhammed ELİTAŞ**

**July 2023, 32 pages**

In this study, joints of Dual Phase Steels which are DP600-DP1000 and DP600-DP1200 was carried out by resistance spot weldings to evaluate microstructure and mechanical properties. Processes of resistance of spot welding was performed 7kA constant welding current and five different electrode pressure (2-6 Bar). Microstructure analysis of different joints, measurement of nugget diameter, tensile shear tests and types of fraction that is took place because of these tests was investigated in detail. Results shows joints of welded consisted of three different region just as base metal, heat-affected zone, weld metal. Volume ratio of martensite was increased from base metal to weld metal. As long as electrode pressure is increased, strength of tensile shear is decreased for both joints types. Fractions in joints was occurred on the side of DP600 which has lower strength than others. In all joints were observed plug type failure especially favored in automotive industry.

**Key Word** : Resistance spot welding, Dual phase steel, Microstructure,  
Tensile shear

**Science Code** : 91415



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının her aőamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ok değerli danıőman hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTASŐ' a teőekkürlerimi sunarım. Çalıőmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli tez izleme jüri üyeleri hocalarımız Sayın Doç. Dr. Hüseyin GÖKÇE' ye ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ' ne teőekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere getiren annem ve babam başta olmak üzere kardeőlerime ve tez çalıőmam sırasında her zaman yanımda olan eőime ve oğluma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
GENEL BİLGİLER .....	5
2.1. İLERİ DAYANIMLI ÇELİKLER (AHSS) .....	5
2.1.1. Çift Fazlı (DP) Çelikler .....	6
2.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI (NDK) .....	8
BÖLÜM 3 .....	9
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	9
3.1. MALZEME .....	9
3.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI (NDK) .....	10
3.3. METALOGRAFİ .....	12
3.4. ÇEKİRDEK ÇAP ÖLÇÜMÜ.....	13
3.5. ÇEKME-MAKASLAMA DENEYİ.....	13
3.6. KIRIK YÜZEYLERİN İNCELENMESİ.....	15
BÖLÜM 4 .....	16
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	16
4.1. MİKROYAPI .....	16
4.2. KAYNAK ÇEKİRDEK ÇAPI .....	20

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3. ÇEKME-MAKASLAMA ÖZELLİKLERİ.....	21
4.4. KIRILMA TİPLERİ.....	22
BÖLÜM 5 .....	25
SONUÇLAR.....	25
KAYNAKLAR .....	26
ÖZGEÇMİŞ .....	32

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. HSS ve AHSS çeliklerinin Gerilme-Uzama grafiği .....	5
Şekil 2.2. AHSS çeliklerinin Gerilme-Uzama diyagramı .....	6
Şekil 2.3. Bir ferrit matrisindeki martenzit adalarının şematik gösterimi .....	7
Şekil 2.4. Çift fazlı çeliklerin mikroyapı görünümü .....	7
Şekil 2.5. NDK prosesi a)İşlem adımları b)Sac arayüzleri üzerinde kaynak çekirdeği ve elektrot batmasını gösteren NDK kesit alanı gösterimi.....	8
Şekil 3.1. Numunelerin şematik resimleri .....	9
Şekil 3.2. Deney düzeneği a) Nokta direnç kaynak makinesi, b) Çeliklerin birleşiminde kullanılan elektrotlar, c) Özel olarak hazırlanan ahşap fikstür .....	10
Şekil 3.3. NDK birleşimine ait şematik gösterim.....	11
Şekil 3.4. Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen DP600-DP1000 birleşimleri	11
Şekil 3.5. Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen DP600-DP1200 birleşimleri	12
Şekil 3.6. Metalografi işlemlerinde kullanılan cihazlar a) Hassas kesme cihazı b) Zımparalama ve parlatma cihazı c) Optik mikroskop.....	13
Şekil 3.7. Çekirdek çapı şematik gösterimi .....	13
Şekil 3.8. Çekme basma test cihazı .....	14
Şekil 3.9. ZEISS Supra 40VP SEM cihazı .....	15
Şekil 4.1. NDK DP600-DP1000 birleşimlerinin optik mikroskop görüntüleri a) Profil resmi b) DP600 EM c) DP600 ITAB d) DP1000 EM e) DP1000 ITAB f) KM .....	18
Şekil 4.2. NDK DP600-DP1200 birleşimlerinin optik mikroskop görüntüleri a) Profil resmi b)DP600 EM c) DP600 ITAB d) DP1200 EM e) DP1200 ITAB f) KM .....	19
Şekil 4.3. Farklı elektrot basınçlarında elde edilen kaynak çekirdek çap değerleri .	20
Şekil 4.4. Farklı elektrot basınçlarında elde edilen çekme-makaslama kuvvet değerleri.....	21

- Şekil 4.5. Farklı birleşim türleri için 2 bar elektrot basıncında elde edilen sıçrama görüntüleri a)DP600-DP1000 b) DP600-DP1200 ..... 22
- Şekil 4.6. Çekme-makaslama deneyleri sonucunda elde edilen düğme tipi kırılma resimleri a) DP600-DP1000 birleşimleri b) DP600-DP1200 birleşimleri23
- Şekil 4.7. DP600-DP1000 SEM kırık yüzey görüntüleri a)Çatlak başlangıcı  
b)Boşluklu yapı ..... 14
- Şekil 4.8. DP600-DP1200 SEM kırık yüzey görüntüleri a)Çatlak başlangıcı  
b)Boşluklu yapı ..... 14

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. DP600, DP1000, DP1200 çeliklerinin kimyasal bileşimleri ..... 9

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$Cr_{eş}$	: krom eşdeğerliliği
$Ni_{eş}$	: nikel eşdeğerliliği
Ag	: gümüş
Al	: alüminyum
Ar	: argon
Au	: altın
Cu	: bakır
$H_2$	: hidrojen
He	: helyum
Mo	: molibden
Ni	: nikel
erf(z)	: hata işlevi
$\gamma$	: birim hacim ağırlığı
$\Gamma(x)$	: gama işlevi
$\theta$	: kutupsal açı
$\sigma$	: normal gerilme
$\sigma_c$	: tek eksenli çekme veya basma dayanımı

## **KISALTMALAR**

NDK : Nokta Direnç Kaynağı

DP : Çift Fazlı

AHSS : İleri Dayanımlı Çelikler

HSS : Geleneksel Çelikler

EM : Esas Metal

KM : Kaynak Metali

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İleri dayanımlı çelikler (AHSS) ağırlık azalımı, emniyetli performans gelişimi ve maliyet kazanımı gibi avantajlarından dolayı otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır [1]. AHSS diğer çeliklere göre daha düşük ağırlıkta araçların yapılmasını sağlamasının yanında çekme dayanımı değeri 600 MPa'dan daha yüksektir. Geleneksel yüksek dayanımlı çeliklerin (HSS) ise çekme dayanımları 400-440 MPa aralığında değişmektedir. AHSS daha yüksek akma dayanımına ve daha düşük akma/çekme dayanımı oranına, iyi şekillendirilebilme, yüksek çalışma sertliği oranı ve yüksek gerinim enerjisi absorbe edebilme kabiliyetine sahiptir. Bu doğrultuda AHSS otomobilin dayanımında düşüş olmadan ağırlığını azaltmakta, benzer veya daha yüksek seviyede çarpma enerjisini absorbe edebilmektedir [2].

İleri dayanımlı çeliklerin bir çeşidi olan çift fazlı (DP) çelikler süper dayanım-süneklik kombinasyonları ve iyi şekillendirilme kabiliyetleri ile özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir. DP çelikleri yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerden kritik tavlama-su verme ısıl işlemi ile üretilmektedir. Ferrit esaslı martenzit partiküllerinden oluşan mikroyapıya sahiptir. İçerisinde düşük miktarda kalıntı östenit perlit beynit gibi yapılar bulursa da çift faz ifadesi özellikle yapıyı oluşturan ferrit ve martenzit fazlarından kaynaklanmaktadır [3].

DP çeliklerinin dayanımı martenzit fazının hacim oranıyla sünekliği ise ferrit fazının hacim oranı ile ilişkilidir. Kaldıraç kuralı gereğince faz hacim oranları ayarlanarak arzu edilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi DP çelikleri için önemli bir avantajdır. İdeal DP çelik özelliklerini sağlamak için kimyasal bileşimin yanında üretim şartları ve ısıl işlem adımlarının belirlenmesinde çok önemlidir [3].

DP çelikleri çeşitli metotlar ile birleştirilebilmektedir. Fakat Nokta Direnç Kaynağı (NDK), otomobil gövdesindeki birleştirmelerde kullanılan en yaygın metottur. Bir araç 3000'den fazla NDK içermektedir [2]. NDK yeterli sürede ısı ve basınç

uygulanmasıyla gerçekleştirilen en eski ve en komplike kaynak prosesidir. NDK çelik sacların birleştirilmesi için dolgu malzemesi tüketimi olmaması ve ekonomik olmaması sebebi ile tercih edilmektedir [4,5]. Diğer kaynak metodları ile karşılaştırıldığında NDK en hızlı, otomasyona uygun ve devam ettirilebilen bir tekniktir [6]. Bu kaynak prosesi sıklıkla otomotiv ve havacılık endüstrilerinde kullanılmaktadır [7–9]. Günümüzde araç gövdeleri geleneksel NDK metodu ile birleştirilmektedir. Yaklaşık 3000-5000 nokta kaynağı araç gövdelerinin inşasını tamamlamak için gerekmektedir [10]. Yapıların performansı sadece sacların mekanik özelliklerine değil aynı zamanda birleşimlerin mekanik özelliklerine de bağlıdır [4,11]. Birleşimlerin dayanımını değerlendirmek için çekme-makaslama testi genellikle tercih edilen mekanik testtir [12,13]. NDK işleminde yüksek ısı girdisi ve sonrasında hızlı soğuma sebebi ile malzemenin mikroyapısı değişmektedir. Mikroyapı değişimleri ise çekme-makaslama dayanımını etkileyen önemli bir faktördür. Bu sebeple DP çeliklerini başarılı bir şekilde kullanabilmek için NDK işleminin anlaşılması ve karakterize edilmesi önemlidir. Yukarıda da ifade edildiği üzere araçların yapısal performansı kaynaklı birleştirmelerin yapısal yeterliliğine bağlıdır [14]. DP çeliklerinin NDK birleşimlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili literatürde öne çıkan çalışmalar özetle şu şekildedir:

Zhang vd. [15] DP780-DP600 çelik malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki meydana gelen değişimi incelemek için NDK işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; kaynaklı birleştirmelerin esas metal, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metaline olmak üzere üç farklı bölgeden oluştuğu ifade edilmiştir. Tane boyutu ve martenzit hacim oranı esas metalden kaynak metaline doğru arttığı belirtilmiştir. Kaynak metalinin sertliğinin, esas metalin sertliğine göre önemli derecede arttığı ifade edilmiştir. Birleşimlerin çekme özellikleri, kırılma modları ve statik yük taşıma kapasiteleri bakımından tanımlanmıştır. Çekme testleri sürecinde ara yüzey kırılması ve çekme tipi kırılma olmak üzere iki farklı kırılma modu gözleendiği ve kaynak metalinin boyutunun, birleştirmelerdeki kırılma modlarında baskın role sahip olduğu ifade edilmiştir.

Khan vd. [16] HSLA350/DP600 çeliklerinin farklı malzeme kombinasyonları üzerinde NDK birleşimlerini gerçekleştirmişlerdir. Kaynaklar optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Farklı malzemelerin NDK' lı birleşimlerinin kaynak bölgesinin ağırlıklı olarak martenzit ve kısmen beynit

fazlarından oluştuğunu ifade etmişlerdir. Mekanik özellikleri çekme-makaslama ve yorulma testleri ile belirlenmiştir. Farklı malzeme nokta kaynağının performansı HSLA350 ve DP600 çeliklerinin herbirinin benzer birleşimlerinden farklı olduğu ve farklı ITAB sertliğine sahip olduğu belirtilmiştir. DP600 kaynağının özellikleri farklı malzeme nokta kaynaklarının mikroyapı ve çekme özellikleri üzerinde önemli bir faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Fakat HSLA350 çeliğinin yorulma performansı ile farklı kaynakların yorulma performansı benzer bulunmuştur. Farklı malzemelerin nokta kaynaklarının yorulma testlerinde 5,5 mm çekirdek çapının 7,5 mm çekirdek çapına göre daha yüksek yorulma dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir.

Yuan vd. [17] DP600-DC54D çeliklerinin NDK birleşimlerini gerçekleştirmiştir. Yüksek soğuma hızından dolayı kaynak metali mikroyapısının tamamen kaba martenzit fazından oluştuğunu ifade etmiştir. DP600 çeliğinin ITAB bölgesi ise kaba taneli, ince taneli ve kritik sıcaklıklar arası bölgelerden oluşmakta ve ITAB' ın martenzit hacim oranı esas metale göre daha yüksektir. DC54D çeliğinin ITAB' ı yoğun ferrit fazı içerdiği belirtilmiştir. Kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti arttıkça, çekme-makaslama dayanım değeri önce artmış sonra azaldığı ifade edilmiştir. 9kA-14 çevrim – 2,6 kN kaynak parametrelerinde maksimum değer olan 6,59 elde edilmiştir. Küçük çekirdek çapından dolayı arayüzey tipi kırılma gözlemlenmiştir. ITAB/Esas metal arayüz bölgesinde anormal tane büyümesi sebebi ile plastik deformasyona uğrayan DC54D çeliği boyunca düğme tipi kırılma meydana geldiği belirtilmiştir.

Li vd. [18] tarafından NDK yöntemi ile DP600/A5052 alüminyum alaşımı/DP600 birleşimi gerçekleştirilmiştir. DP600 çeliğinin kaynak bölgesinin kaba martenzit fazından, A5052 alaşımının ise lamelli yapıdan oluştuğu belirtilmiştir. DP600/A5052 arayüz bölgesinde  $Fe_2Al_5$  ve iğnemsiz  $Fe_4Al_{13}$  intermetalik bileşikler gözlenmiştir. 14 çevrim kaynak süresinde 10,796 kN maksimum çekme-makaslama yük değeri elde edilmiştir.  $Fe_2Al_5$  ve iğnemsiz  $Fe_4Al_{13}$  kırılma fazlarından dolayı çekme-makaslama testlerinde kırılmaların DP600/A5052 arayüzlerinde meydana geldiği ifade etmişlerdir.

Sivaraj vd. [19] NDK metodunu kullanarak DP600 çeliğine benzer birleşimlerini gerçekleştirmişlerdir. En etkili kaynak parametrelerinin kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti olduğunu ifade etmişlerdir. Mekanik özellikler kayma kırılma testi ile geleneksel çekme test makinesi kullanarak değerlendirilmiştir. Sertlik ölçümleri

kaynaklı birleşimlerin farklı bölgeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesinin mikroyapısı optik mikroskop kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada özellikle diğer parametreler sabit tutularak kaynak akımının etkisini incelemiştir. Sonuç olarak kaynak akımı belli bir değere kadar arttıkça dayanım artarken daha yüksek değerlerde dayanımın düştüğü ifade edilmiştir. Kırılmaların çoğunlukla kaynak bölgesine yakın bölgelerde meydana geldiğine vurgu yapmışlardır.

Elitaş [20] DP1200 çeliğinin NDK birleşiminin çekme-makaslama yük taşıma kapasitesi ve oluşan kırılma tiplerini incelemiş ve birleşimlerin çekme-makaslama özelliklerini değerlendirmiştir. Farklı kaynak parametrelerinin çekme-makaslama özellikleri, kırılma tipleri, mikroyapı, mikro sertlik, ITAB yumuşaması üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kaynak işlemleri 2-6 bar elektrot basıncı ve 5-7 kA kaynak akımı değerlerinde uygulanmıştır. Kaynaklı birleşimlerin mikroyapısı değerlendirilmiş ve sertlik profilleri belirlenmiştir. Kaynak akımı ve elektrot basıncının DP1200 kaynaklarının yük taşıma kapasiteleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. 3 farklı kırılma tipi tespit edilmiştir. Ayrıca sıçramanın çekme-makaslama özellikleri üzerinde negatif etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Alzahougi vd. [21] DP600 çeliğinin NDK birleşimlerinin çekme-makaslama özellikleri üzerinde farklı kaynak parametrelerinin etkisini değerlendirmişlerdir. Kaynak prosesinin performansını karakterize etmek için çekme-makaslama testlerinde, çekme-makaslama kuvveti ve maksimum uzama kullanılmıştır. NDK fiziksel özelliklerinin açık bir şekilde tanımlanabilmesi için çekirdek çapları ölçülmüştür. Elektrot basıncı arttıkça çekme-makaslama yük taşıma kapasitesinin arttığı belirtilmiştir. Kaynak akımının dayanım üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Kaynak akımı arttıkça elektrot basıncının çekme-makaslama yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin arttığı belirtilmiştir.

Elitaş ve Demir [22] DP600 çeliğinin farklı kaynak parametrelerinde elde ettikleri NDK birleşimlerinin mikroyapı, sertlik ve kalıntı gerilme analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Mikro sertlik değerleri kaynak bölgesinde diğer bölgelere göre daha yüksek elde edilmiştir. Kaynak akımı arttıkça sertliğin arttığı belirtilmiştir. Kalıntı gerilme açısından değerlendirildiğinde numunelerde özellikle baskı gerilmelerinin oluştuğu ifade edilmiştir. Ayrıca 5 kA-6 bar kaynak parametrelerinde elde edilen numunelerde en yüksek kalıntı gerilme değerleri tespit edilmiştir.

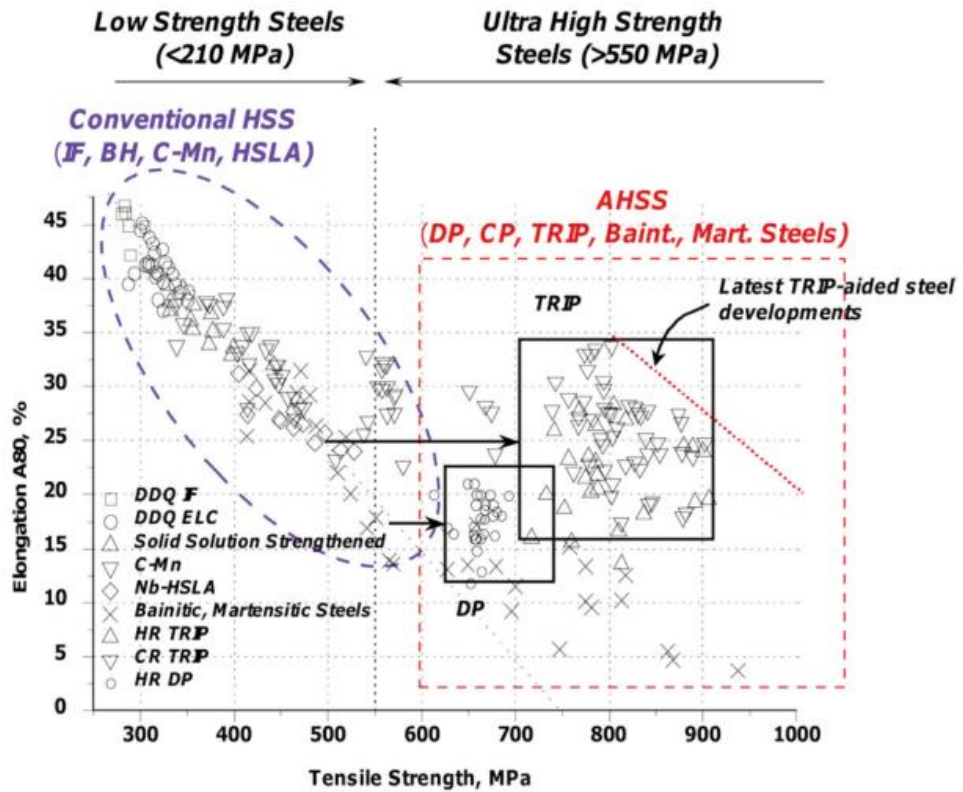
Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde genellikle aynı malzemelerin NDK birleşimleri ele alınmıştır. Farklı malzemelerin NDK birleşimleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe farklı malzemelerin birleşimlerinin de gerçekleştirildiği bilinmektedir. Ayrıca DP600/DP1000 ve DP600/DP1200 NDK birleşimleri ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bakımdan literatürde bu konudaki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

#### 2.1. İLERİ DAYANIMLI ÇELİKLER (AHSS)

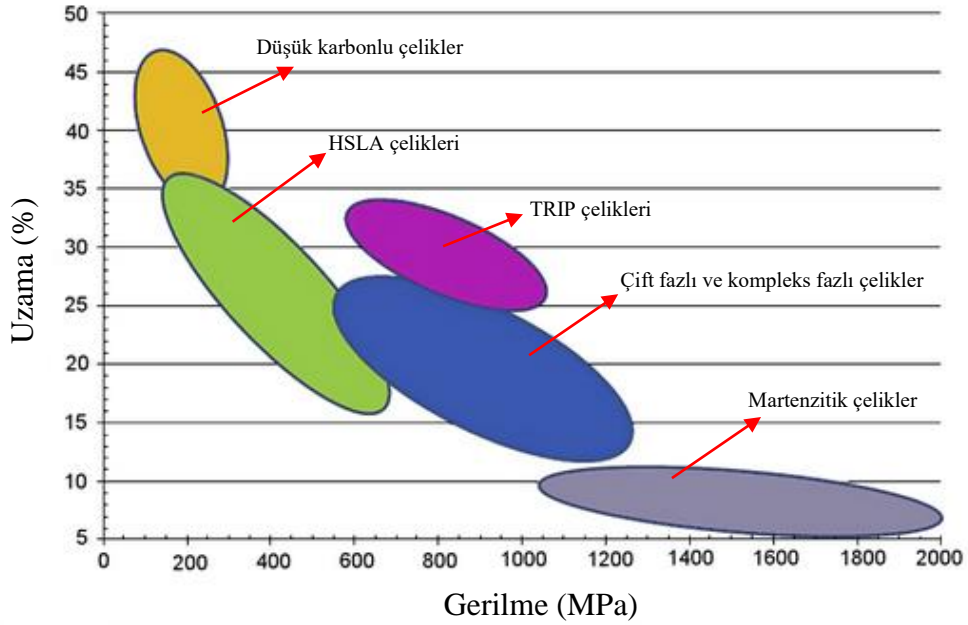
AHSS, HSS' den daha üstün mukavemet-süneklik dengesine sahip yassı çelik (sac) ürünleridir. AHSS ailesinin üyeleri DP, Complex Phase (CP), Transformation Induced Plasticity (TRIP), beynitik ve martenzitik çeliklerdir. HSS ve AHSS arasındaki temel fark mikroyapıdır. AHSS poligonal ferrit, beynitik östenit ve/veya kalıntı östenit, gerilim/gerilme kaynaklı martenzit içerebilen çok fazlı çeliklerdir. Şekil 2.1 HSS ve AHSS çelikleri için çekme mukavemetine karşı uzamayı göstermektedir [23].



Şekil 2.1. HSS ve AHSS çeliklerinin Gerilme-Uzama grafiği [23]

AHSS ferrit, perlit yada sementit' den başka martenzit, beynit, östenit ve/veya kalıntı östenitin yeterli miktarlarda benzersiz mekanik özellikler oluşturulması için bir veya daha fazla faz içeren çok fazlı bir mikroyapıya sahip başlıca çeliklerdir [24].

AHSS martenzit, beynit ve kalıntı östenit gibi mukavemet ve ilave süneklik sağlayan diğer mikroyapısal bileşenlerin değişken miktarları ile temel süneklik için bir ferrit matrisine dayanmaktadır [24]. Şekil 2.2' de AHSS çeliklerinin Gerilme-Uzama diyagramı gösterilmektedir.



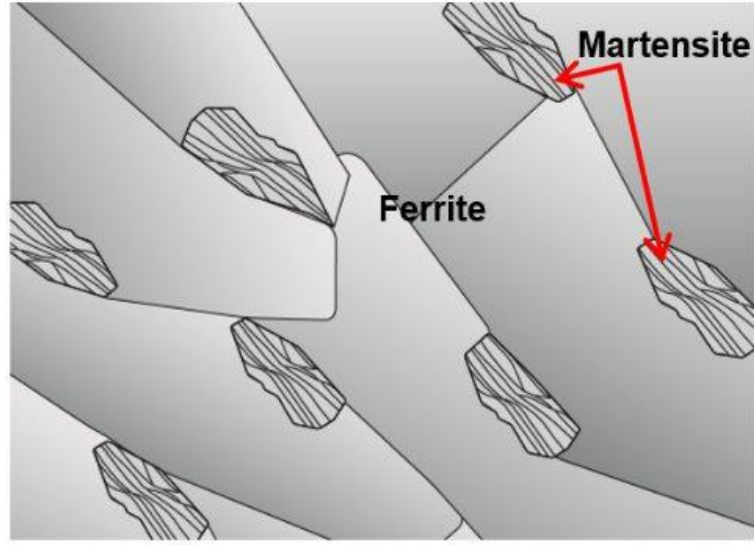
Şekil 2.2. AHSS çeliklerinin Gerilme-Uzama diyagramı [25]

### 2.1.1. Çift Fazlı (DP) Çelikler

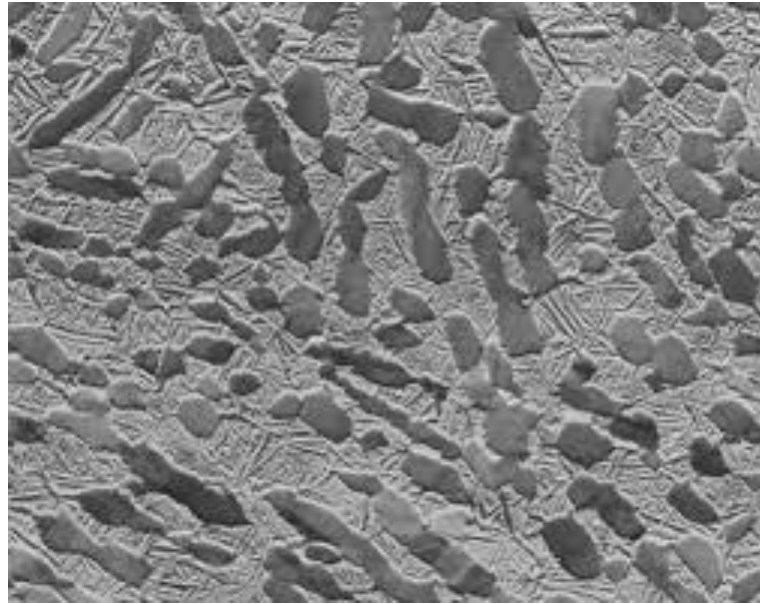
DP çelikleri, nispeten yumuşak bir ferrit matris içine gömülmüş sert martenzit adalarından oluşur. Bu iki fazlı malzemede hasar başlangıcı ve gelişimi tam olarak anlaşılmamıştır ve bu gelecek nesil çeliklerin geliştirilmesi ve uygulanmasında sınırlayıcı bir faktördür [26].

DP çelikleri genellikle martenzit tarafından sağlanan yüksek çekme dayanımı ile birlikte ferrit tarafından sağlanan düşük ilk akma gerilmesine sahiptirler [27].

Şekil 2.3' de gösterildiği gibi DP çelikleri sert ikinci bir faz olarak martenzitik adalara sahip ferritik bir matristen oluşan bir mikro yapıya sahiptir. Bu çeliklere mükemmel süneklik veren yumuşak ferrit fazı genellikle süreklidir. Bu çelikler deforme oldukları zaman gerinim bu çelikler tarafından sergilenen yüksek ilk çalışma sertleşmesi oranını (n değeri) oluşturarak, martenzit adalarını çevreleyen daha düşük mukavemetli ferrit fazında yoğunlaşır. Şekil 2.4 ferrit ve martenzit bileşenlerini göstermektedir [24].



Şekil 2.3. Bir ferrit matrisindeki martenzit adalarının şematik gösterimi [24].

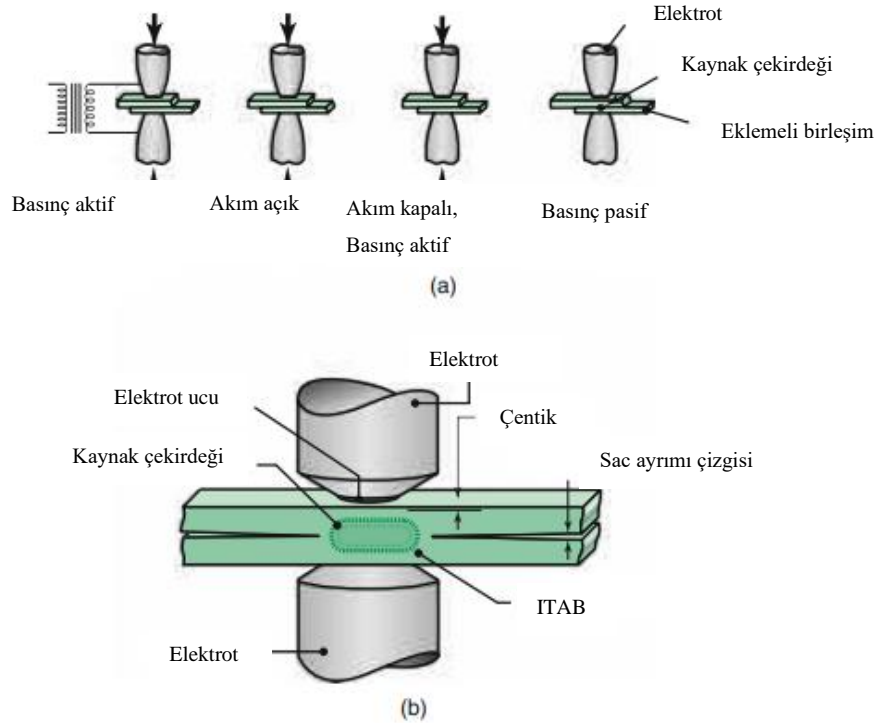


Şekil 2.4. Çift fazlı çeliklerin mikroyapı görünümü [24]



## 2.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI (NDK)

Nokta direnç kaynağında (NDK), karşılıklı iki katı silindirik elektrotun uçları iki sac metalden oluşan bir bindirmeli bağlantıya temas eder ve dirençli ısıtma bir nokta kaynağı oluşturur. Şekil 2.5’ de nokta NDK işlem sıralaması gösterilmektedir. Kaynak çekirdeğinde güçlü bir bağlantı oluşturmak için, akım kesilene ve kaynak katılaşına kadar basınç uygulanmaktadır. Alternatif elektrik akımının ve basıncın doğru kontrolü ve zamanlaması direnç kaynağında çok önemlidir. Nokta kaynağının yüzeyinde hafif renk atmış bir girinti vardır. Akım seviyesi kaynaklanacak malzemeye ve onların kalınlığına bağlıdır. Elektrotlar genellikle bakır alaşımlarından yapılmaktadır ve şekillerini korumaları için yeterli mukavemette ve elektriksel iletkenliğine sahip ve ayrıca ısıya karşı dirençli olmalıdır. Nokta kaynağı en basit ve en yaygın kullanılan direnç kaynağı işlemidir. Kaynak bir elektrot çifti vasıtasıyla gerçekleştirilir ve gerekli basınç mekanik veya pnömomatik yollarla sağlanır. Elektrot ucunun şekli, yüzey durumu ve bölgenin erişilebilirliği nokta kaynağında önemli faktörlerdendir [28].



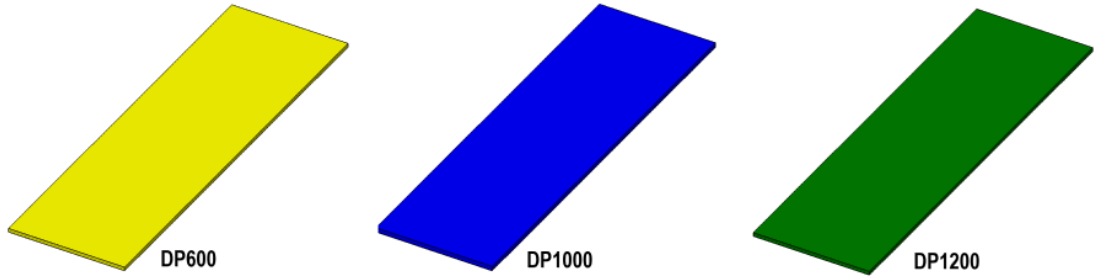
Şekil 2.5. NDK prosesi a) İşlem adımları b) Sac arayüzeyleri üzerinde kaynak çekirdeği ve elektrot batmasını gösteren NDK kesit alanı gösterimi [28]

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. MALZEME

Bu çalışmada kullanılan DP600, DP1000 ve DP1200 ileri dayanımlı çelikler 500mm × 500mm boyutlarında temin edilmiştir. DP600 ve DP1200 çeliklerinin sac kalınlığı 1mm, DP1000 çeliğinin sac kalınlığı ise 1,2mm' dir. NDK işlemleri için çelik saclar Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Kaynaklı İmalat Laboratuvarında bulunan Giyotin Makas kullanılarak 100mm × 30mm ölçülerinde numuneler kesilmiştir. Numunelerin şematik resmi Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerin şematik resimleri

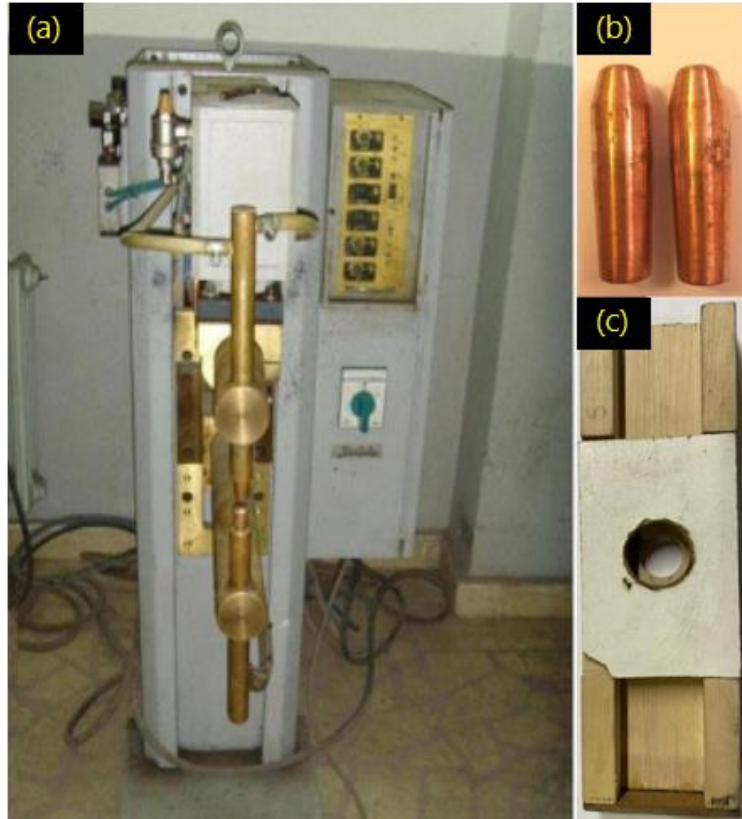
İleri dayanımlı çeliklerin kimyasal bileşimleri spektral analiz gerçekleştirilerek elde edilmiştir. DP600, DP1000 ve DP1200 çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. DP600, DP1000 ve DP1200 çeliklerinin kimyasal bileşimleri

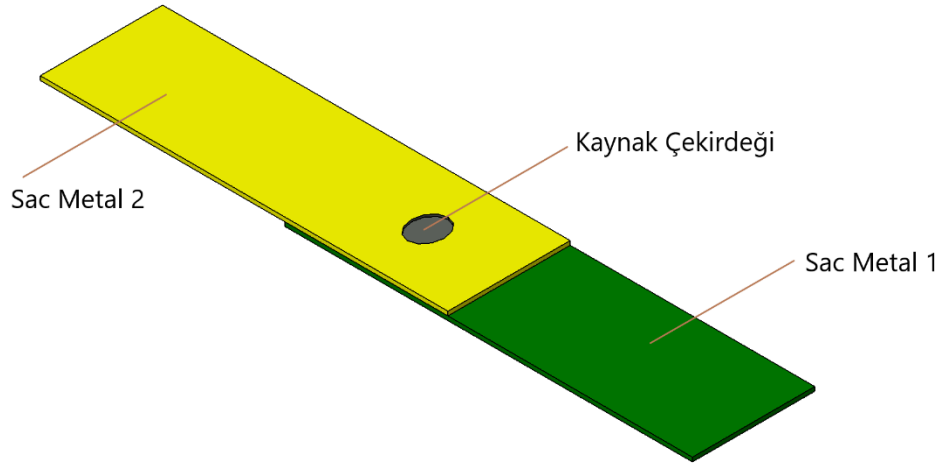
Malzeme	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Al	Fe
DP600	0,077	0,253	1,86	0,006	0,177	0,012	0,127	97,472
DP1000	0,136	0,203	1,57	0,003	0,022	0,039	0,044	97,897
DP1200	0,078	0,190	1,67	0,005	0,026	0,040	0,044	97,856

### 3.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI (NDK)

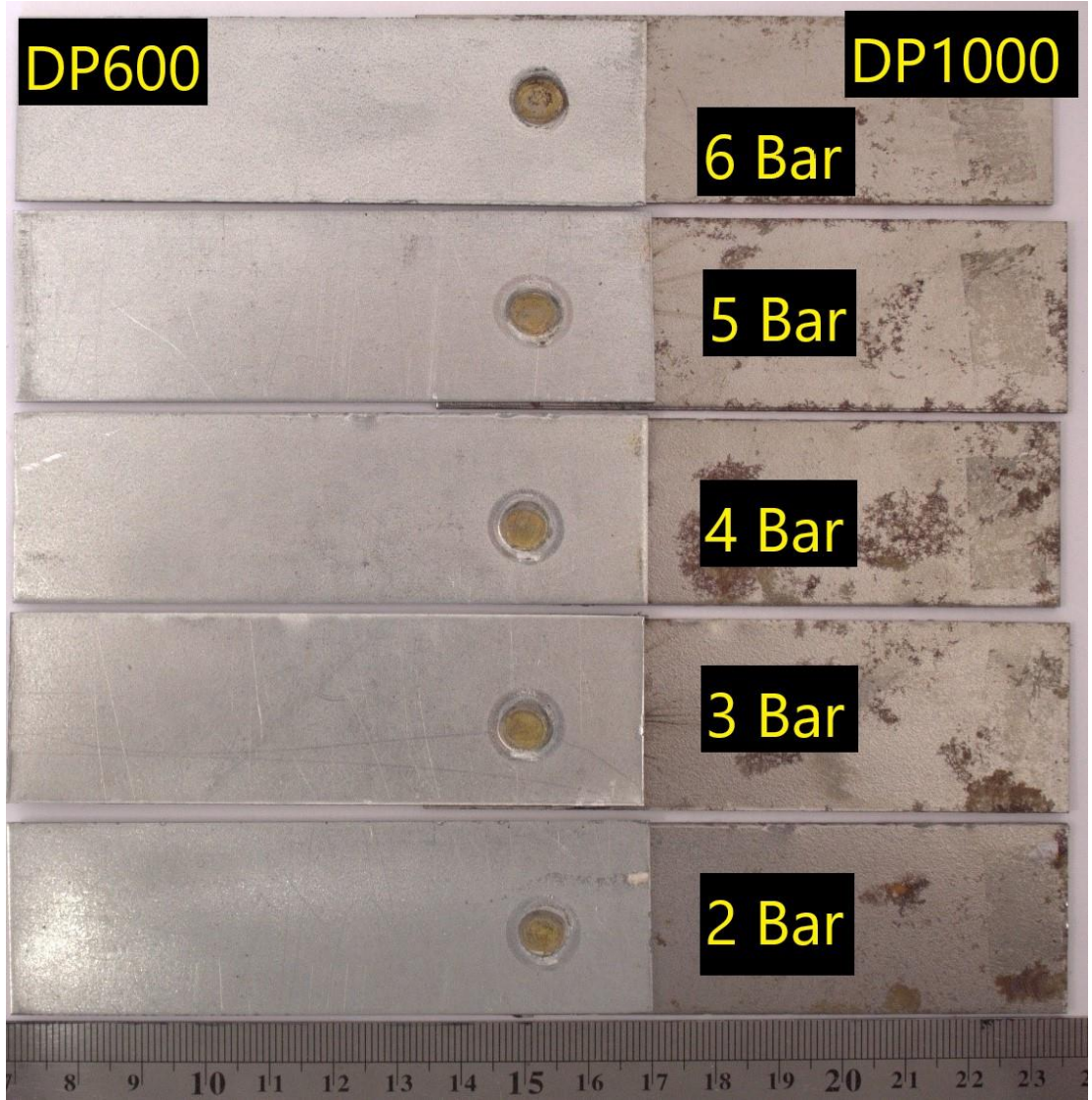
DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 birleşimleri 7kA sabit kaynak akımı değerinde 8mm uç çapına sahip elektrotlar kullanılarak elde edilmiştir. Elektrot basıncının etkisini değerlendirebilmek amacıyla 5 farklı basınç altında numuneler hazırlanmıştır. Mikroyapı analizleri ve çekme-makaslama deneyleri için 2 Bar, 3 Bar, 4 Bar, 5 Bar ve 6 Bar elektrot basıncında 4' er adet numune hazırlanmıştır. NDK işlemleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Kaynaklı İmalat Laboratuvarında bulunan Baykal Marka SPP60 tipi nokta direnç kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Ayrıca NDK birleşimleri esnasında numunelerin kaymasını önlemek amacıyla ahşap fikstürler kullanılmıştır. NDK birleşimleri şematik olarak Şekil 3.3' te gösterilmiştir. Ayrıca DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 farklı birleşimlerine ait resimler sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te gösterilmiştir.



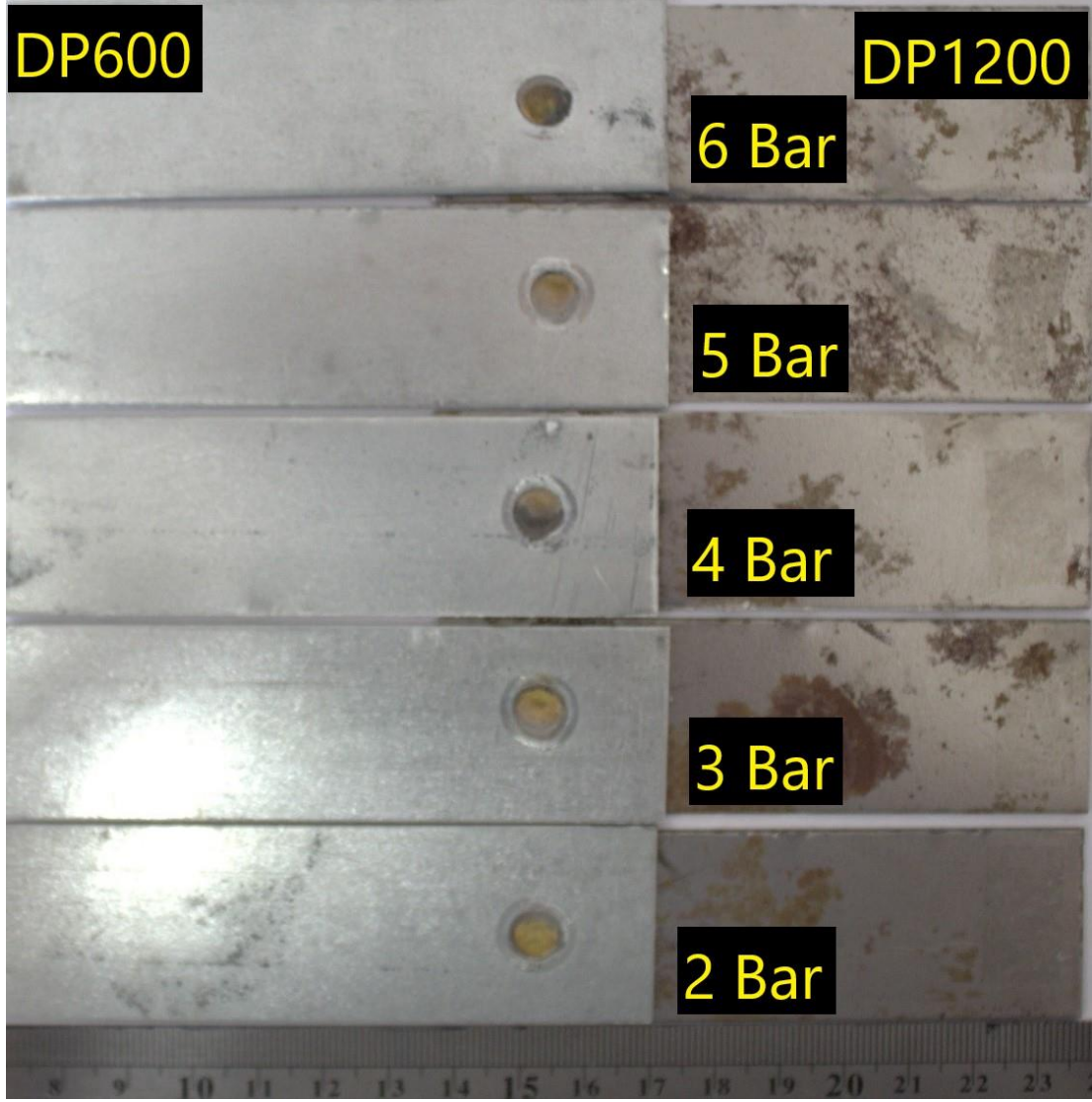
Şekil 3.2. Deney düzeneği (a) Nokta direnç kaynak makinesi, (b) Çeliklerin birleşiminde kullanılan elektrotlar, (c) Özel olarak hazırlanan ahşap fikstür [4]



Şekil 3.3. NDK birleşimine ait şematik gösterim



Şekil 3.4. Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen DP600-DP1000 birleşimleri

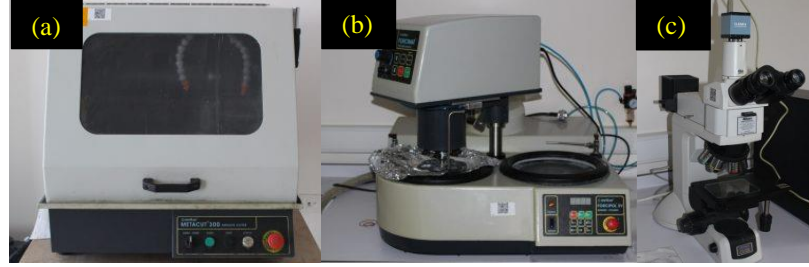


Şekil 3.5. Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen DP600-DP1200 birleşimleri

### 3.3. METALOGRAFİ

DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 NDK birleşimlerin mikroyapılarını incelemek amacıyla hassas kesme cihazında numuneler kaynak çekirdeğinin ortasından kesilerek bakalite alınmıştır. Öncelikle 120, 220, 360, 600, 800, 1000, 1200, 1500 ve 2000 mesh zımparalar vasıtasıyla zımparalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemleri sırasıyla 3 mikron ve 1 mikron çuhalarda elmas solüsyonlar kullanılarak yapılmıştır. Parlatılan numuneler %2 Nital (%2 Nitrik asit+%98 Metanol) çözeltisinde kademeli olarak 40 saniye süreyle dağlanmıştır. Kaynaklı birleşimlerin Esas Metal (EM), ITAB

ve Kaynak Metali (KM) mikroyapıları Optik Mikroskop ile incelenmiştir. Metalografi işlemlerinde kullanılan cihazlar Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

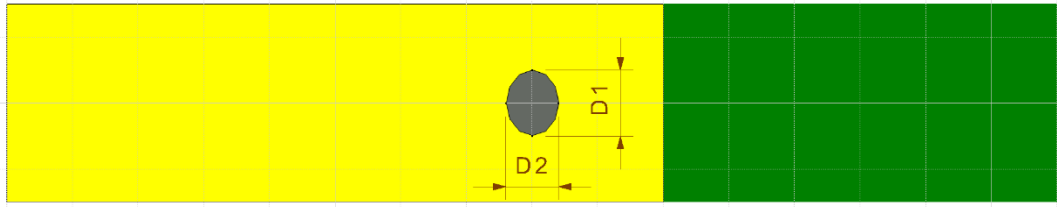


Şekil 3.6. Metalografi işlemlerinde kullanılan cihazlar

a) Hassas kesme cihazı b) Zımparalama ve parlatma cihazı c) Optik mikroskop

### 3.4. ÇEKİRDEK ÇAP ÖLÇÜMÜ

Farklı kaynak parametrelerinde elde edilen numunelerin çekirdek çap ölçümleri dijital kumpas kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekirdek çapı şematik olarak Şekil 3.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Çekirdek çapı şematik gösterimi

Farklı kaynak parametreleri için ortalama çekirdek çapı ( $d_a$ ) Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır [4]. Çekirdek çap değerlerinin çekme-makaslama kuvvet değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

$$d_a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.1)$$

### 3.5. ÇEKME-MAKASLAMA DENEYİ

Çekme-makaslama deneyleri her parametre için 3 adet olmak üzere 2 mm/dk çene hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme-makaslama deneyleri için Bilecik Şeyh Edebali

Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan Shimadzu AG-IC 100kN çekme basma test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8). Çekme-makaslama deneyleri sonucunda oluşan farklı kırılma tipleri makro olarak fotoğraf makinesi ile çekilmiştir.



Şekil 3.8. Çekme basma test cihazı

### 3.6. KIRIK YÜZEYLERİN İNCELENMESİ

Çekme-makaslama deneyine tabi tutulan numunelerin kırık yüzeyleri öncelikle fotoğraf makinesi yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca kırık yüzeylerin detaylı olarak mikroyapı görüntüleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan ZEISS marka Supra 40 VP model (SEM) vasıtasıyla incelenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. ZEISS Supra 40VP SEM cihazı



## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. MİKROYAPI

NDK yöntemi ile 7Ka ve 5 bar kaynak parametrelerinde elde edilen DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 birleşimlerinin EM, ITAB ve KM optik mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

NDK işleminde numuneler yüksek sıcaklığa ve sonrasında hızlı soğumaya maruz kaldığı için mikroyapıda değişimler meydana gelmektedir. Kaynaklı birleşimlerde 3 farklı mikroyapısal bölge gözlenmektedir. NDK prosesi boyunca ergiyen ve yeniden katılaştıran KM, NDK boyunca ergimeyen fakat mikroyapısal değişimlerin meydana geldiği ITAB ve herhangi bir metalurjik değişimin gözlenmediği EM bölgeleri bulunmaktadır [4]. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde DP çeliklerinin mikroyapısının ağırlıklı olarak ferrit fazından oluştuğu ve az miktarda martenzit partikülleri içerdiği görülmektedir. Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diagramına göre, KM' nin NDK boyunca katılaşma/dönüşümü şu şekilde özetlenebilir (4.1) [20].

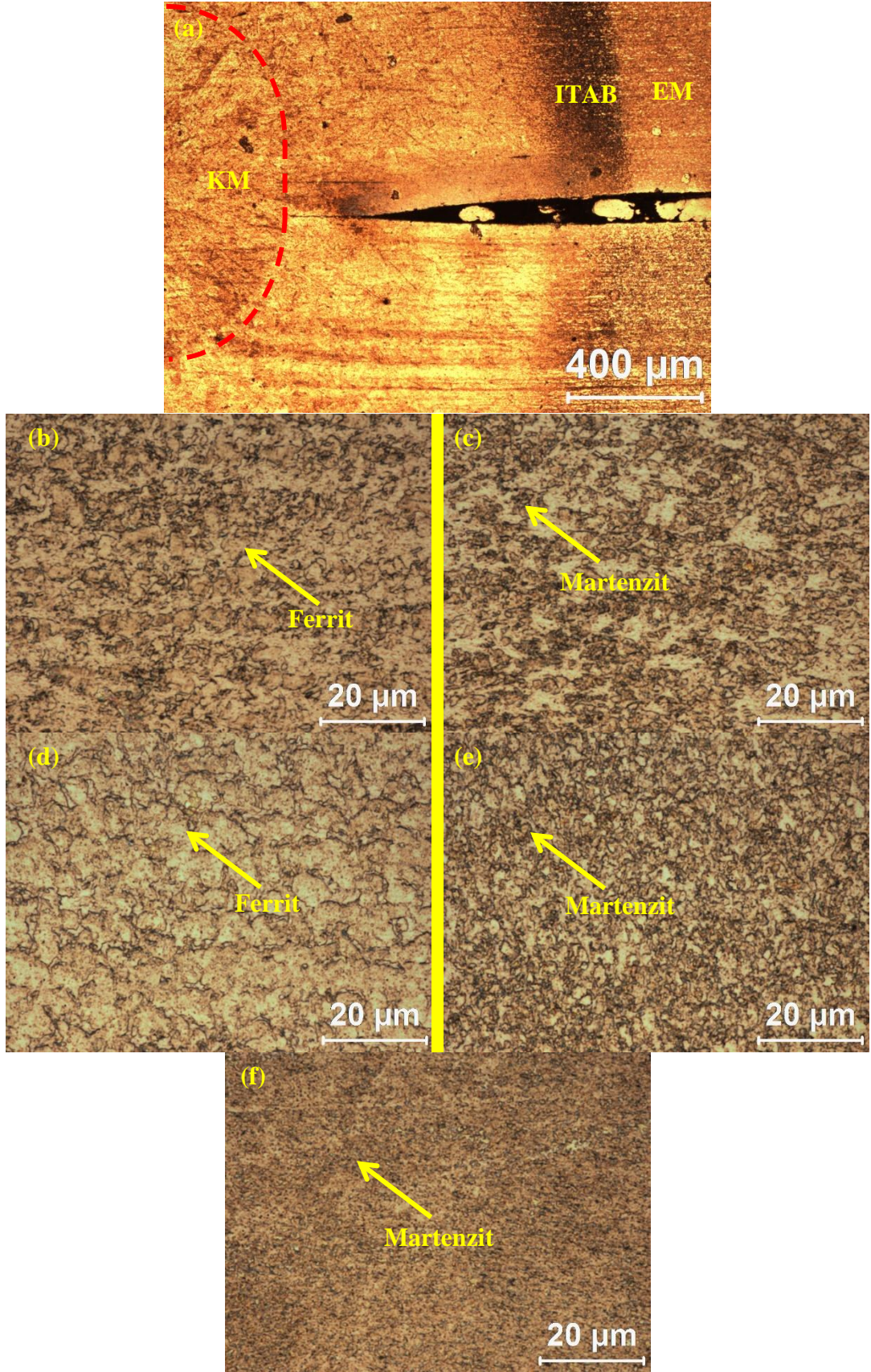


Martenzit oluşumu çeliğin sertliğine ve soğuma hızına bağlıdır. Martenzit oluşumu için gereken kritik soğuma hızı değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 4.2) [29].

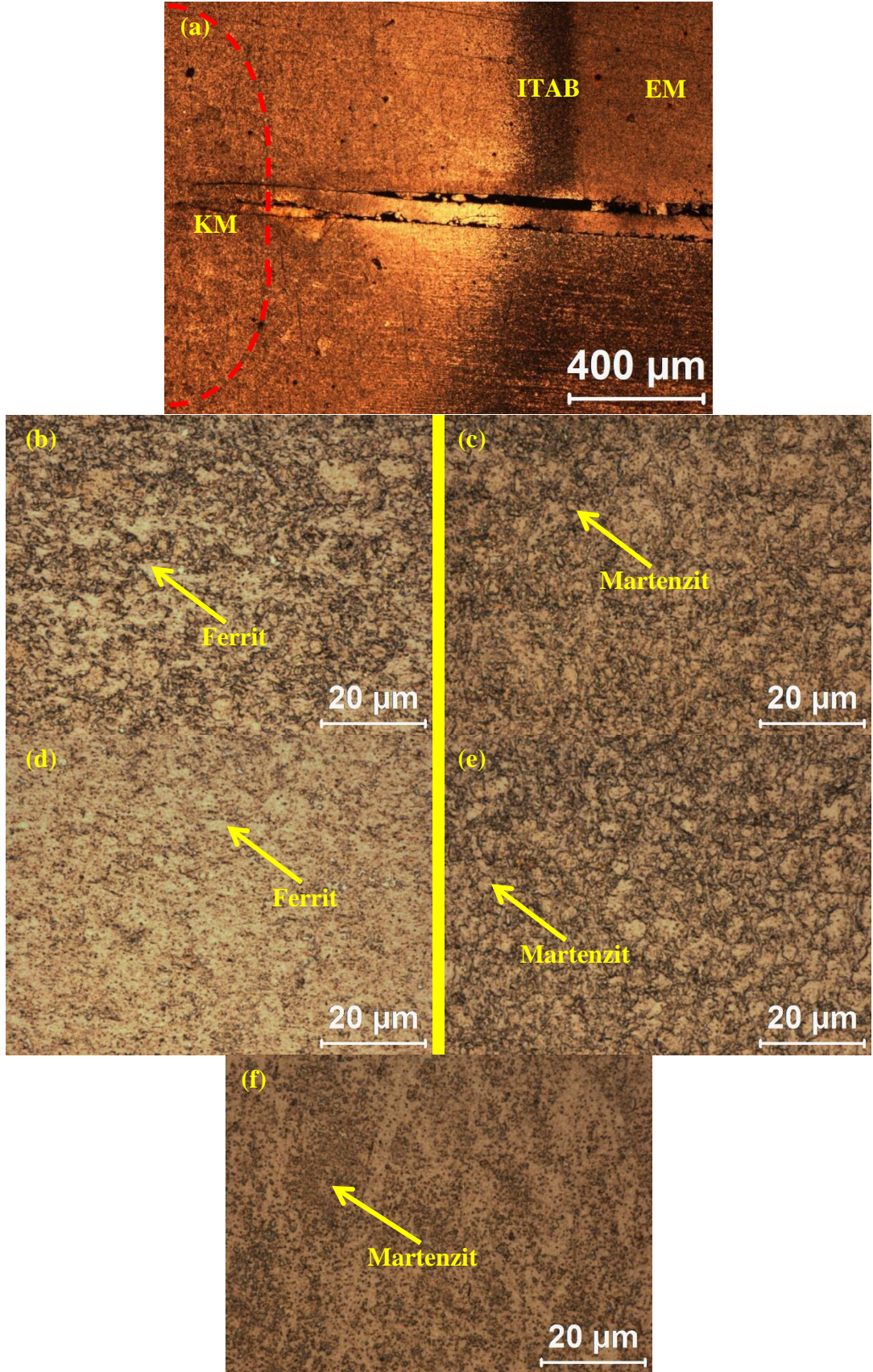
$$\text{Log } V = 7,42 - 3,13 C - 0,71 \text{ Mn} - 0,37 \text{ Ni} - 0,34 \text{ Vr} - 0,45 \text{ Mo} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2' de V ifadesi K/sa birimi şeklinde, element yüzde ağırlıkları ile birlikte verilmiştir. Eşitlik 4.2 kullanılarak kritik soğuma hızı değerleri hesaplandığında yaklaşık olarak DP600 için 198,4 K/s , DP1000 için 203,65 K/s , DP1200 için 262,46 K/s elde edilmiştir. Den Uijl vd. [30] kaynaklı çeliklerin soğuma hızı değerinin 50-1000 K/s aralığında olduğunu ifade etmiştir. Sonuçlar incelendiğinde KM elde edilen soğuma hızı değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebeble KM' de martenzit fazı oluşumu meydana gelmiştir.

EM' ye göre KM' de ferrit fazında azalma meydana gelmektedir. Çünkü östenit fazı içerisinde çözünen ferrit miktarında artış görülmektedir. Hızlı soğuma sonucunda östenit fazından martenzit fazına dönüşüm gerçekleşmektedir [20,31]. Bu sebeble tüm kaynak parametrelerinde EM' den KM' ye doğru martenzit hacim oranı artmıştır.



Şekil 4.1. NDK DP600-DP1000 birleşimlerinin optik mikroskop görüntüleri a) Profil resmi b) DP600 EM c) DP600 ITAB d) DP1000 EM e) DP1000 ITAB f) KM



Şekil 4.2. NDK DP600-DP1200 birleşimlerinin optik mikroskop görüntüleri a) Profil resmi b) DP600 EM c) DP600 ITAB d) DP1200 EM e) DP1200 ITAB f) KM

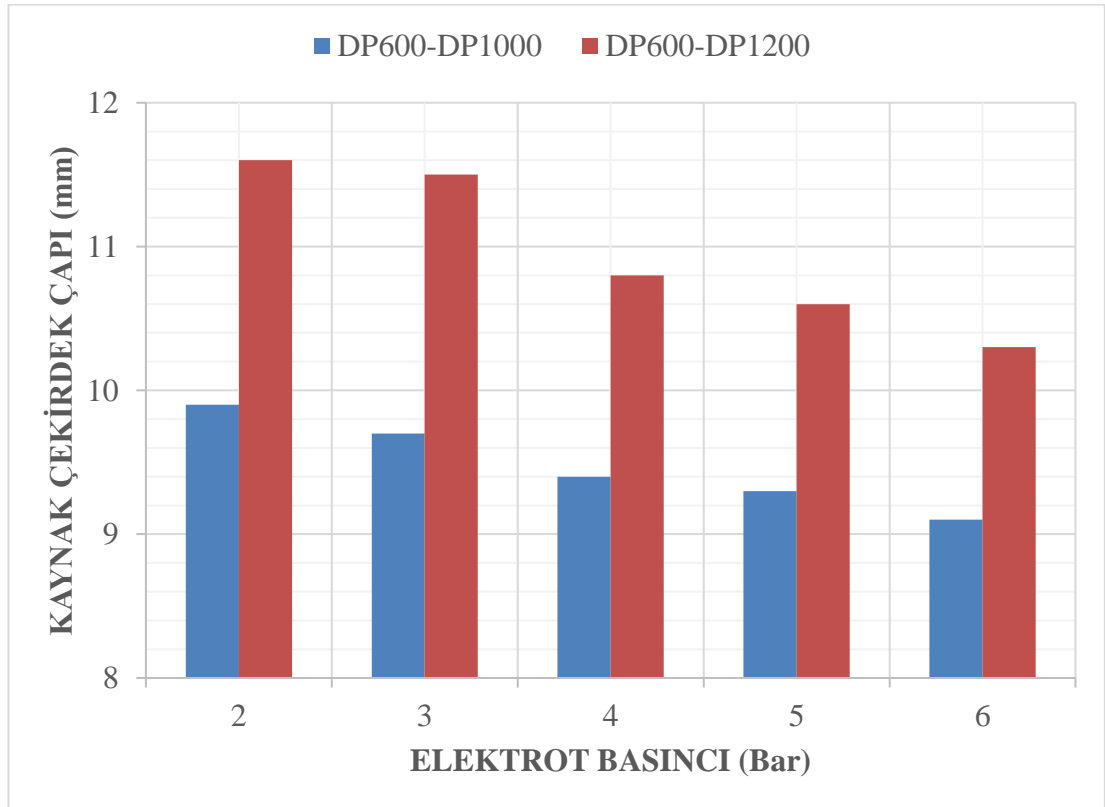
## 4.2. KAYNAK ÇEKİRDEK ÇAPI

Çift fazlı çeliklerin NDK yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, kaynak çekirdek boyutu ile çekme-makaslama dayanımı arasında doğrusal ilişki olduğu ifade edilmiştir [4,32,33].

Genellikle artan elektrot kuvveti kaynak çekirdeği boyutunda azalmaya sebep olduğu için arayüzey tipi kırılma meydana gelmektedir. Statik elektriksel direnç (temas direnci) esasında elektrot kuvveti ile aşıldığı için, elektrot kuvveti kaynak çekirdek oluşumunu kontrol eden önemli bir faktördür [34].

Elektrot kuvvetindeki artış elektriksel direnci azaltmakta ve böylece sac/sac temas yüzeyinde üretilen ısıyı azaltmaktadır. Sonuç olarak ısı girdisi daha düşük olduğu için daha küçük kaynak çekirdek boyutu meydana gelmektedir [35].

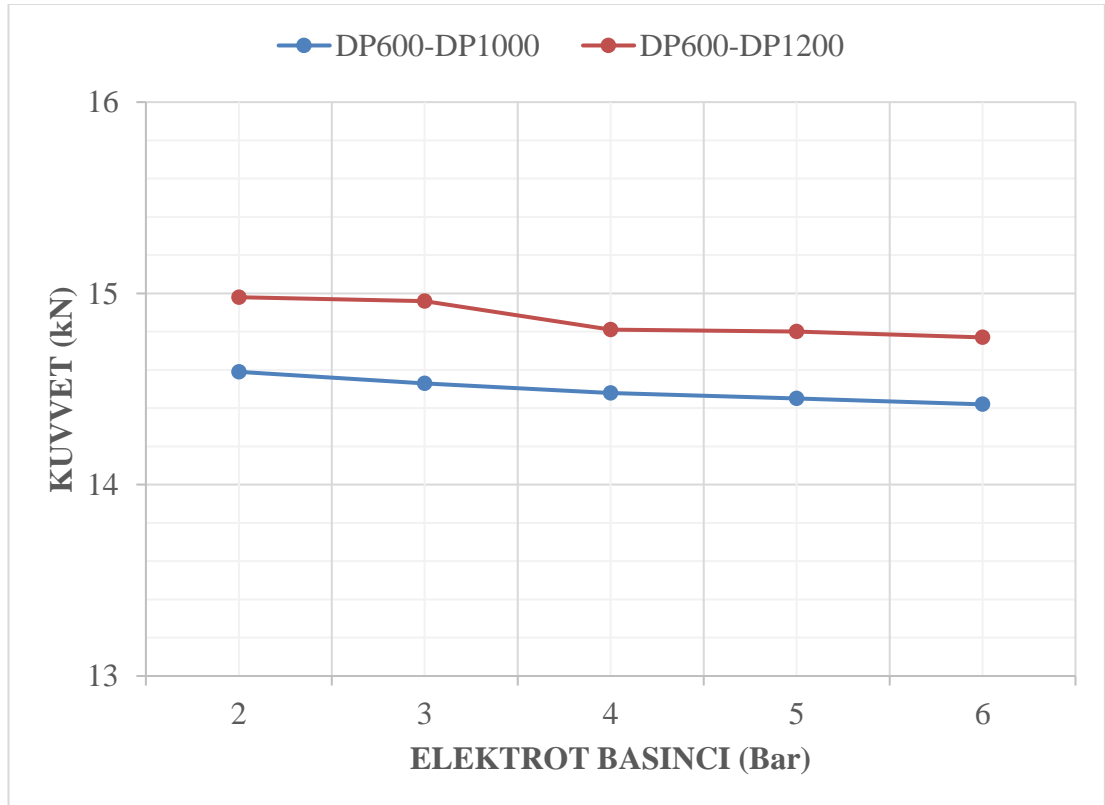
Şekil 4.3 incelendiğinde farklı elektrot basınçlarında elde edilen DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 birleşimlerinin kaynak çekirdek çap değerlerinin elektrot basıncı arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Bu bağlamda literatür ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı elektrot basınçlarında elde edilen kaynak çekirdek çap değerleri

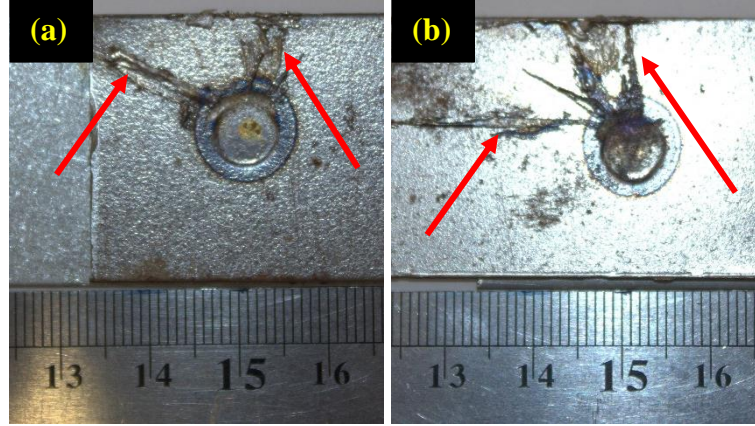
### 4.3. ÇEKME-MAKASLAMA ÖZELLİKLERİ

Servis süresince araç yapılarındaki kaynaklar birleşen sacların nisbi yerdeğiştirmesi veya dönmesi sebebi ile makaslama yüklemelerine ve saclara dik yönde birleşen sacların arasında uygulanan ayırıcı kuvvetlerden dolayı çekme yüklemesine maruz kalmaktadır [4,36]. Çekme-makaslama testi temel olarak kayma yüklemesini ifade etmektedir [37,38]. Çekirdek çapı NDK' lı birleşimlerin çekme-makaslama dayanım özelliklerini belirleyen en önemli parametredir [2,35,39]. Çekirdek çapı arttıkça çentik kökü etrafında gerilim konsantrasyon faktörü azaldığı için çekme-makaslama dayanımı artmaktadır [4,32]. Şekil 4.4 incelendiğinde elektrot basıncı arttıkça elektriksel direnç azaldığı için ısı girdisi azalmakta ve bu sebeple çekme-makaslama kuvvet değerleri her iki birleşim türü için de azalmıştır. Ayrıca çekirdek çapı ile çekme-makaslama kuvvet değerleri doğrusal bir ilişki göstermiştir.



Şekil 4.4. Farklı elektrot basınçlarında elde edilen çekme-makaslama kuvvet değerleri

Aşırı ısı girdisinden dolayı NDK işleminde sıçrama oluşumu meydana gelmektedir. Kaynak metaline uygulanan ısı girdisi kritik değeri aştığında ergiyen metal sıvı çekirdeği çatlatmakta ve sıçrama meydana gelmektedir. Sıçrama, kaynaklı birleşimin kalitesini olumsuz etkileyen bir durumdur [20,40]. En yüksek çekme-makaslama dayanım değerleri her iki birleşim tür için de 2 bar elektrot basıncında elde edilmesine rağmen sıçramalar meydana gelmiştir.

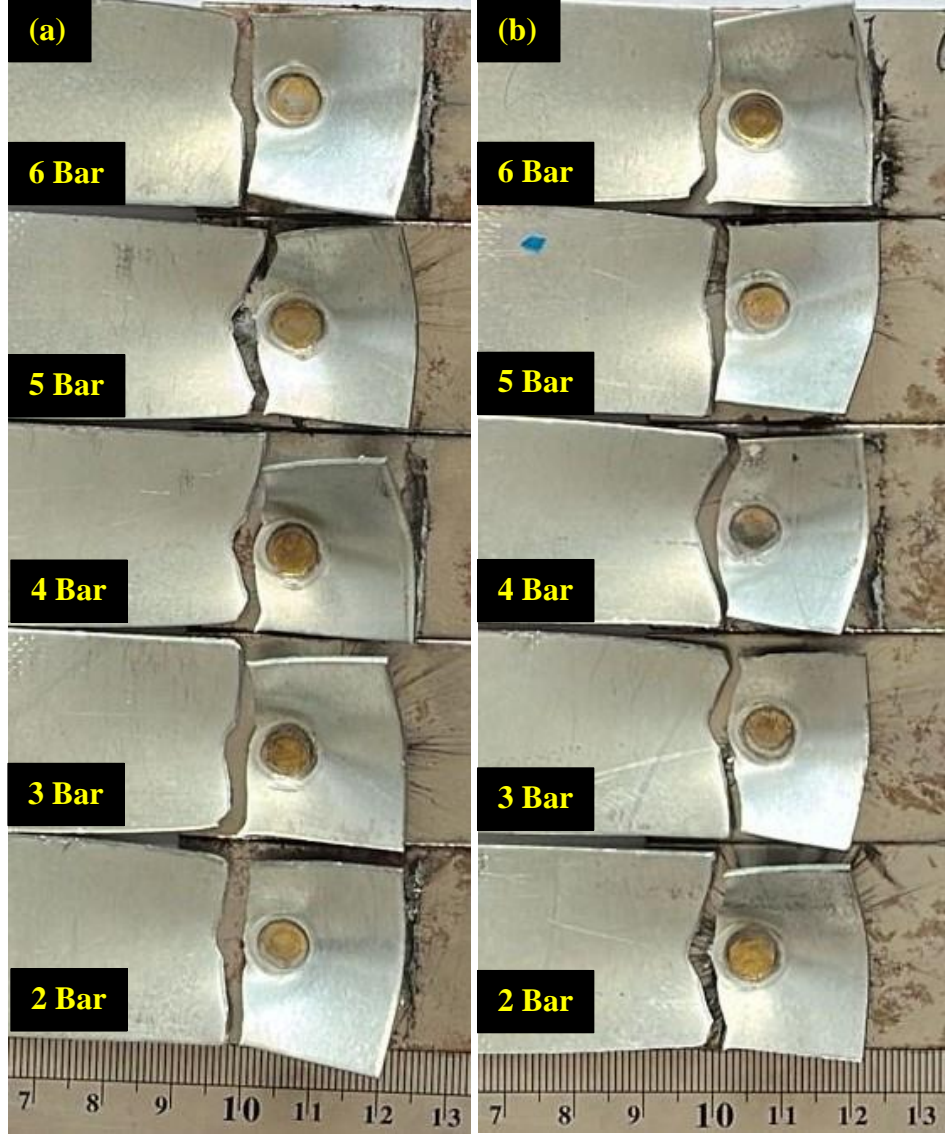


Şekil 4.5. Farklı birleşim türleri için 2 bar elektrot basıncında elde edilen sıçrama görüntüleri a) DP600-DP1000, b) DP600-DP1200

#### 4.4. KIRILMA TİPLERİ

Çekme-makaslama testleri sonucunda arayüzey tipi ve düğme tipi kırılma meydana gelmektedir. Endüstride NDK güvenilirliğini sağlamak için arayüzey tipi kırılmadan kaçınılmalıdır. Proses parametrelerinin ayarlanması ile düğme tipi kırılma elde edilebilmektedir. Optimum yapısal performans açısından düğme tipi kırılmanın oluşması istenilmektedir [4,33]. Çünkü arayüzey tipi kırılma düğme tipine göre daha düşük yük taşıma kapasitesine sahiptir [41].

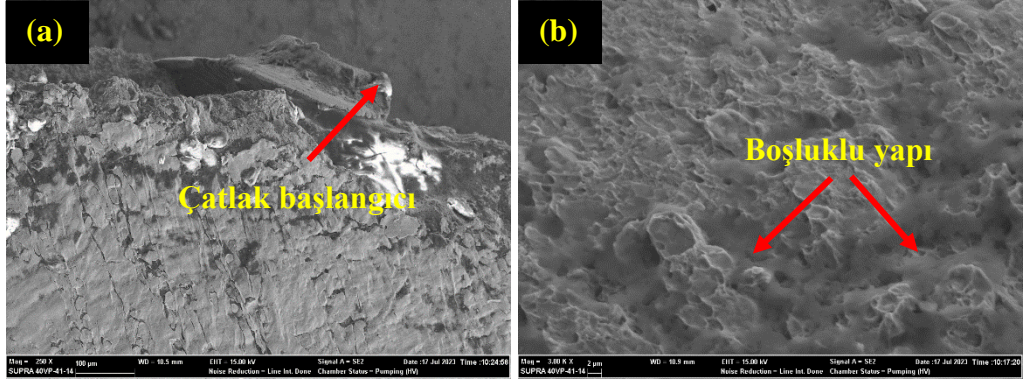
Farklı elektrot basınçlarında elde edilen DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 NDK birleşimlerinin çekme-makaslama testleri sonucunda tüm numunelerde optimum yapısal performans açısından tercih edilen düğme tipi kırılma gözlenmiştir. Tüm birleşimlerde kırılmalar daha düşük dayanım değerine sahip olan DP600 kısmında meydana gelmiştir. Kırık yüzey fotoğrafları Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



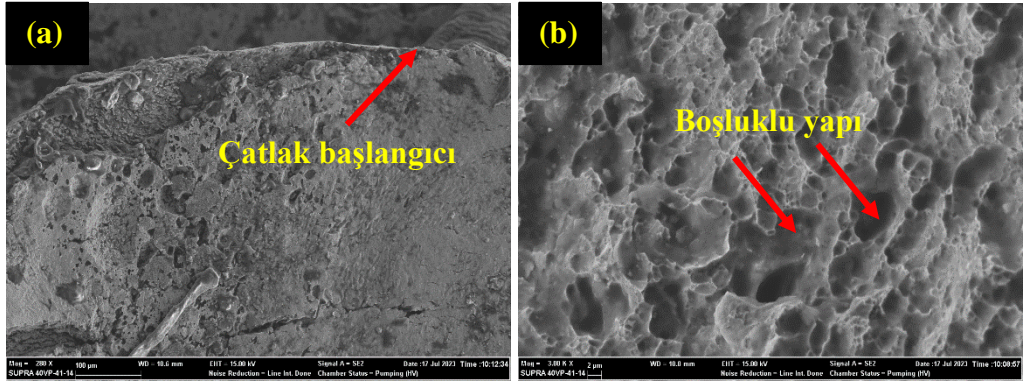
Şekil 4.6. Çekme-makaslama deneyleri sonucunda elde edilen düğme tipi kırılma resimleri a) DP600-DP1000 birleşimleri b) DP600-DP1200 birleşimleri

Kırık yüzeylerin SEM analizleri sonucunda sünek kırılma göstergesi olan boşluklu yapılar gözlenmiştir. Bütün numunelerde düğme tipi kırılma meydana geldiği için 3 Bar basınçta elde edilen DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 birleşimlerin kırık yüzeyleri incelemiştir. Çatlak başlangıcı ve boşluklu yapıları gösteren SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de verilmiştir.





Şekil 4.7. DP600-DP1000 SEM kırık yüzey görüntüleri a) Çatlak başlangıcı b) Boşluklu yapı



Şekil 4.8. DP600-DP1200 SEM kırık yüzey görüntüleri a) Çatlak başlangıcı b)Boşluklu yapı

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Farklı elektrot basınçlarında DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 NDK birleşimlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- Çift fazlı çeliklerin mikroyapısının ağırlıklı olarak ferrit fazında ve düşük miktarda martenzit fazından meydana geldiği görülmüştür.
- NDK prosesi sonucunda kaynaklı birleşimlerde esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali olmak üzere 3 farklı mikroyapısal bölge gözlenmiştir.
- Esas metalden kaynak metaline doğru yüksek sıcaklık ve sonrasında hızlı soğuma sebebiyle ferrit fazı azalırken martenzit fazı artmıştır.
- Elektrot basıncı arttıkça, kaynak çekirdek çap değerleri azalmıştır.
- Çekirdek çapı arttıkça çentik kökü etrafında gerilim konsantrasyon faktörü azaldığı için çekme-makaslama kuvvet değeri artmıştır.
- Çekirdek çap değerleri ile çekme-makaslama kuvvet değerleri doğrusal ilişki göstermiştir. Elektrot basıncı arttıkça çekme-makaslama kuvveti azalmıştır.
- DP600-DP1000 ve DP600-DP1200 birleşimlerinde 2 bar elektrot basınç değerinde aşırı ısı girdisinden dolayı sıçramalar meydana gelmiştir.
- Tüm birleşimlerde optimum yapısal performans açısından tercih edilen düğme tipi kırılma gözlenmiştir.
- SEM analizlerinde sünek kırılma göstergesi olan boşluklu yapılar gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Ma, C., Chen, D. L., Bhole, S. D., Boudreau, G., Lee, A., and Biro, E., "Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel", *Materials Science And Engineering: A*, 485 (1–2): 334–346 (2008).
2. Long, X. and Khanna, S. K., "Fatigue properties and failure characterization of spot welded high strength steel sheet", *International Journal Of Fatigue*, 29 (5): 879–886 (2007).
3. Demir, B., "Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Sürekli Tavlama Hatlarında Çift-Fazlı Çelik Üretilebilirliğinin İncelenmesi", PhD Thesis, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 159 s., Ankara, (2003).
4. Elitas, M., "Effects of welding parameters on tensile properties and failure modes of resistance spot welded DC01 steel", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 09544089231167766 (2023).
5. Boriwal, L., Sarviya, R. M., and Mahapatra, M. M., "Process analysis and regression modelling of resistance spot welded joints of austenitic stainless steel 304L and low carbon steel sheets by using surface response methodology", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 235 (1): 24–33 (2021).
6. Eisazadeh, H., Hamed, M., and Halvae, A., "New parametric study of nugget size in resistance spot welding process using finite element method", *Materials & Design*, 31 (1): 149–157 (2010).

7. Moshayedi, H. and Sattari-Far, I., "Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels", *Journal Of Materials Processing Technology*, 212 (2): 347–354 (2012).
8. Krishnan, V., Ayyasamy, E., and Paramasivam, V., "Influence of resistance spot welding process parameters on dissimilar austenitic and duplex stainless steel welded joints", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 235 (1): 12–23 (2021).
9. Raoelison, R. N., Fuentes, A., Pouvreau, C., Rogeon, P., Carre, P., and Dechalotte, F., "Modeling and numerical simulation of the resistance spot welding of zinc coated steel sheets using rounded tip electrode: Analysis of required conditions", *Applied Mathematical Modelling*, 38 (9–10): 2505–2521 (2014).
10. Yuan, X., Li, C., Chen, J., Li, X., Liang, X., and Pan, X., "Resistance spot welding of dissimilar DP600 and DC54D steels", *Journal Of Materials Processing Technology*, 239: 31–41 (2017).
11. Dancette, S., Fabrègue, D., Massardier, V., Merlin, J., Dupuy, T., and Bouzekri, M., "Experimental and modeling investigation of the failure resistance of advanced high strength steels spot welds", *Engineering Fracture Mechanics*, 78 (10): 2259–2272 (2011).
12. Boriwal, L., Sarviya, R. M., and Mahapatra, M. M., "Weld bonding process analysis for tensile shear strength and peel strength of weld bonded joints of dissimilar steel sheets", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 233 (4): 709–717 (2019).

13. Zhou, M., Zhang, H., and Hu, S. J., "Relationships between quality and attributes of spot welds", *WELDING JOURNAL-NEW YORK-*, 82 (4): 72-S (2003).
14. Sun, X. and Dong, P., "Analysis of aluminum resistance spot welding processes using coupled finite element procedures", *WELDING JOURNAL-NEW YORK-*, 79 (8): 215-S (2000).
15. Zhang, H., Wei, A., Qiu, X., and Chen, J., "Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded dissimilar thickness DP780/DP600 dual-phase steel joints", *Materials & Design (1980-2015)*, 54: 443–449 (2014).
16. Khan, M. S., Bhole, S. D., Chen, D. L., Biro, E., Boudreau, G., and Van Deventer, J., "Welding behaviour, microstructure and mechanical properties of dissimilar resistance spot welds between galvanized HSLA350 and DP600 steels", *Science And Technology Of Welding And Joining*, 14 (7): 616–625 (2009).
17. Yuan, X., Li, C., Chen, J., Li, X., Liang, X., and Pan, X., "Resistance spot welding of dissimilar DP600 and DC54D steels", *Journal Of Materials Processing Technology*, 239: 31–41 (2017).
18. Li, T., Yuan, X., Hu, Z., Wu, K., Wang, H., and Zhang, B., "Dissimilar resistance spot welding of DP 600/A5052/DP 600 triple sheets", *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*, 19: 1673–1679 (2018).
19. Sivaraj, P., Seeman, M., Kanagarajan, D., and Seetharaman, R., "Influence of welding parameter on mechanical properties and microstructural features of resistance spot welded dual phase steel sheets joint", *Materials Today: Proceedings*, 22: 558–562 (2020).
20. Elitas, M., "Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel", *Materials Testing*, 63 (2): 124–130 (2021).

21. Alzahougi, A., Elitas, M., and Demir, B., "RSW junctions of advanced automotive sheet steel by using different electrode pressures", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8 (5): 3492–3495 (2018).
22. Elitas, M. and Demir, B., "Residual stress evaluation during RSW of DP600 sheet steel", *Materials Testing*, 62 (9): 888–890 (2020).
23. Galán, J., Samek, L., Verleysen, P., Verbeken, K., and Houbaert, Y., "Advanced high strength steels for automotive industry", *Revista De Metalurgia*, 48 (2): 118 (2012).
24. Keeler, S. and Kimchi, M., "Advanced High-Strength Steels Application Guidelines V5", *WorldAutoSteel*, (2015).
25. Shome, M. and Tumuluru, M., "Welding and joining of advanced high strength steels (AHSS)", (2015).
26. Ghadbeigi, H., Pinna, C., Celotto, S., and Yates, J. R., "Local plastic strain evolution in a high strength dual-phase steel", *Materials Science And Engineering: A*, 527 (18–19): 5026–5032 (2010).
27. Tasan, C. C., Diehl, M., Yan, D., Bechtold, M., Roters, F., Schemmann, L., Zheng, C., Peranio, N., Ponge, D., and Koyama, M., "An overview of dual-phase steels: advances in microstructure-oriented processing and micromechanically guided design", *Annual Review Of Materials Research*, 45: 391–431 (2015).
28. Kalpakjian, S., Schmid, S. R., and Kok, C. W., "Manufacturing processes for engineering materials, 2003", *New York: Persons Prentice Hall*, (1991).
29. Pouranvari, M., Sobhani, S., and Goodarzi, F., "Resistance spot welding of MS1200 martensitic advanced high strength steel: Microstructure-properties relationship", *Journal Of Manufacturing Processes*, 31: 867–874 (2018).

30. Den Uijl, N. J., Nishibata, H., Smith, S., Okada, T., Van Der Veldt, T., Uchihara, M., and Fukui, K., "Prediction of post weld hardness of advanced high strength steels for automotive application using a dedicated carbon equivalent number", *Welding In The World*, 52: 18–29 (2008).
31. Elitas, M. and Demir, B., "The effects of the welding parameters on tensile properties of RSW junctions of DP1000 sheet steel", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8 (4): 3116–3120 (2018).
32. Elitas, M. and Erden, M. A., "Investigation of the effect of different welding parameters on tensile properties and failure modes of non-alloyed steel produced by powder metallurgy", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part E: Journal Of Process Mechanical Engineering*, 09544089231180542 (2023).
33. Elitaş, M., "Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen ileri dayanımlı otomotiv sac çeliklerinin yorulma davranışlarının incelenmesi", .
34. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Factors affecting mechanical properties of resistance spot welds", *Materials Science And Technology*, 26 (9): 1137–1144 (2010).
35. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties", *Science And Technology Of Welding And Joining*, 18 (5): 361–403 (2013).
36. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Failure of resistance spot welds: tensile shear versus coach peel loading conditions", *Ironmaking & Steelmaking*, 39 (2): 104–111 (2012).
37. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Failure mode transition in AISI 304 resistance spot welds", *Weld. J*, 91 (11): 303–309 (2012).

38. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Failure mode transition in AHSS resistance spot welds. Part I. Controlling factors", *Materials Science And Engineering: A*, 528 (29–30): 8337–8343 (2011).
39. Hilditch, T. B., Speer, J. y, and Matlock, D. K., "Effect of susceptibility to interfacial fracture on fatigue properties of spot-welded high strength sheet steel", *Materials & Design*, 28 (10): 2566–2576 (2007).
40. Zhao, D., Wang, Y., Liang, D., and Zhang, P., "An investigation into weld defects of spot-welded dual-phase steel", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 92: 3043–3050 (2017).
41. Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H., "Minimum fusion zone size required to ensure pullout failure mode of resistance spot welds during tensile-shear test", *Kovove Mater*, 48: 197–202 (2010).



## ÖZGEÇMİŞ

Emre KATILMIŞ ilk ve orta öğrenimini Eskişehir Ahmet Sezer İlköğretim okulunda tamamladı. 2005 yılında Afyon Lisesinden mezun oldu. 2006 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümünde öğrenimine başlayıp 2012 yılında mezun oldu. 2014 yılında Mühendislik Tamamlama programına kazanmış ve 2015 yılında Makine Mühendisliği programından mezun olmuştur. 2020 yılında İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. Emre KATILMIŞ, TCI (Turkish Cabin Interior) firmasında Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.