

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA KULLANILAN ATMOSFERİK
KOROZYONA DAYANIKLI ÇELİK SAÇLARIN BİRLEŞTİRİLMİŞ
KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Nuri AKKAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Erdiñ İLHAN

Aralık 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA KULLANILAN ATMOSFERİK
KOROZYONA DAYANIKLI ÇELİK SAÇLARIN BİRLEŞTİRİLME
KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Nuri AKKAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 26 / 12 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Serdar SALMAN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Üye



Doç. Dr.
Yahya BOZKURT
Üye



Doç. Dr.
Sakıp KÖKSAL
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Erdinç İLHAN
Üye

TEŞEKKÜR

Raylı sistem araçlarının yapımında kullanılan kaynaklı imalat proseslerinde karşılaşılan sorunların giderilmesi ve bu proseslerin iyileştirilmesi amacıyla Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. (TÜVASAŞ) tarafından desteklenen bu doktora tezini yapmamı sağlayan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Erdiñ İLHAN'a ve değerli hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Mustafa AKÇİL, Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ, Yrd.Doç.Dr. Faruk VAROL ile doktora öğrencisi Erman FERİK'e, çalışmamın deney aşamalarının gerçekleştirilmesini sağlayan SAKARYA ÜNİVERSİTESİ TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ, TÜVASAŞ, FEDERAL ELEKTRİK A.Ş., ARSLAN KAYNAK METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ., BAŞAK TRAKTÖR A.Ş. ve GÜREL METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ'nin değerli yönetici ve çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim..

Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje no: 2010-05-04-004 ve 2012-50-02-039)

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÖZET.....	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Konunun Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Planlanması	3
1.3. Konu ile İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmalar	4
BÖLÜM 2.	
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	13
2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi ve Yöntem Esasları	13
2.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu.....	16
2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Değişkenleri.....	21
2.3.1. Kaynak akım şiddeti	21
2.3.2. Kaynak zamanı	22
2.3.3. Elektrot Kuvveti	23
2.3.4. Elektrot Malzemesi.....	24
2.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Bağlantı Kalitesi	25
2.4.1. Kaynağın fiziksel / geometrik özellikleri	25
2.4.1.1. Çekirdek çapı ve yüksekliği	25
2.4.1.2. Çekirdek boyut oranı	27
2.4.1.3. Dalma derinliği.....	27
2.4.1.4. Yüzey görünümü	27
2.4.1.5. İç süreksizlikler	28

2.4.1.6. Fıskırma.....	28
2.4.2. Kaynak performansı / dayanımı	30
2.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)	30

BÖLÜM 3.

RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA KULLANILAN MALZEMELER	32
3.1. Paslanmaz Çelikler	35
3.2. Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelikler	38
3.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	40
3.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	42

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
4.1. Genel.....	43
4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri.....	43
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Boyutları.....	44
4.4. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi	45
4.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları....	46
4.6. Ön Deneylerin Yapılması.....	47
4.7. Deneylerin Yapılması.....	48
4.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri	49
4.9. Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskopi ile Yapılan Çalışmalar	51
4.10. Çekirdek Boyutlarının Ölçümü.....	52
4.11. Sertlik Değerlerinin Ölçümü.....	53

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	54
5.1. Genel.....	54
5.2. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi.....	54

5.2.1. Kaynak akım şiddetinin SPA-C bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	55
5.2.2. Kaynak zamanının SPA-C bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	57
5.2.3. Kaynak akım şiddetinin SPA-C bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	57
5.2.4. Kaynak zamanının SPA-C bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	59
5.3. S235JR (Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi	60
5.3.1. Kaynak akım şiddetinin S235JR(Cu) bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	60
5.3.2. Kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	62
5.3.3. Kaynak akım şiddetinin S235JR(Cu) bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	63
5.3.4. Kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	65
5.4. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekirdek Boyutlarına Etkisi.....	65
5.4.1. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantıların çekirdek çapına etkisi.....	65
5.4.2. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantıların çekirdek yüksekliğine etkisi.....	67
5.4.3. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantıların çekirdek boyut oranına etkisi	68
5.5. S235JR (Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekirdek Boyutlarına Etkisi	69
5.5.1. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek çapına etkisi	69
5.5.2. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek yüksekliğine etkisi	70

5.5.3. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının S235JR(Cu) bağlantılarının çekirdek boyut oranına etkisi	71
5.6. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliğine Etkisi	73
5.6.1. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantılarının dalma derinliğine etkisi	73
5.7. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliğine Etkisi	74
5.7.1. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının S235JR(Cu) bağlantılarının dalma derinliğine etkisi	74
5.8. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi.....	75
5.8.1. SPA-C bağlantılarının çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	75
5.8.2. SPA-C bağlantılarının çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	77
5.8.3. SPA-C bağlantılarının çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	78
5.8.4. SPA-C bağlantılarının çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi	79
5.8.5. SPA-C bağlantılarının çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	81
5.8.6. SPA-C bağlantılarının çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	82
5.9. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi.....	84
5.9.1. S235JR(Cu) bağlantılarının çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	84
5.9.2. S235JR(Cu) bağlantılarının çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	85

5.9.3. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	87
5.9.4. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	88
5.9.5. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	90
5.9.6. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	91
5.10. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Dalma Derinliklerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi.....	93
5.10.1. SPA-C bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	93
5.10.2. SPA-C bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	94
5.11. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Dalma Derinliklerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi	96
5.11.1. S235JR(Cu) bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	96
5.11.2. S235JR(Cu) bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	97
5.12. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Sertlik Değerlerine Etkisi.....	99
5.12.1. SPA-C çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin sertlik değerlerine etkisi.....	99
5.12.2. S235JR(Cu) çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin sertlik değerlerine etkisi.....	102
5.13. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Mikro Yapısına Etkisi	104
5.13.1. SPA-C çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin bağlantıların mikroyapısına etkisi....	104
5.13.2. S235JR(Cu) çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin bağlantıların mikro yapısına etkisi...	106

5.14. Bağlantıların Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri	107
5.14.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait SEM görüntüleri ve EDS analizi.....	107
5.14.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine SEM Görüntüleri ve EDS Analizi.....	111
5.15. Bağlantıların Makro Yapı İncelemesi	114
5.15.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait makro yapı fotoğrafları	114
5.15.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine ait makro yapı fotoğrafları	116
5.16. Bağlantıların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)	117
5.16.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait kaynak eğrisi (Weld Lobe).....	117
5.16.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine ait kaynak eğrisi (Weld Lobe).....	118
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	119
6.1. Sonuçların İrdelenmesi ve Öneriler	119
6.2. Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar	121
KAYNAKLAR.....	123
EKLER.....	132
ÖZGEÇMİŞ	189

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANSI	: American National Standards Institute
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
d_1	: Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
d_2	: Kaynak Çekirdek Yüksekliği (mm)
d_{ind}	: Elektrot Dalma Derinliği (mm)
EN	: European Standard
HV	: Hardness Vickers
I	: Kaynak Akım Şiddeti (A)
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
kA	: Kilo Amper
kN	: Kilo Newton
kVA	: Kilo Volt Amper
N	: Newton
MPa	: Mega Pascal
per	: Periyot
Q	: Kaynak Bölgesinde Üretilen Toplam Isı (joule)
R	: Toplam Direnç (Ω)
s	: Malzeme Kalınlığı (mm)
SAE	: Society of Automotive Engineers
SPA-C	: Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelik Sac
S235JR(Cu)	: Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelik Sac
SEM	: Scanning Electron Microscopy
t	: Kaynak Süresi (s)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Bir kaynak eğrisi diyagramı.....	7
Şekil 1.2.	Akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi.....	8
Şekil 1.3.	Kaynak zamanının bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi.....	8
Şekil 1.4.	Nokta kaynağında tipik bir makroyapı görüntüsü.....	9
Şekil 1.5.	St14 bağlantılarda esas metal ve kaynak çekirdeğine ait mikro yapılar.....	9
Şekil 1.6.	St14 bağlantılarda hasar modları.....	10
Şekil 1.7.	Tutma zamanının kaynak bölgesinin sertliğine etkisi.....	11
Şekil 1.8.	Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde hasar oluşumu.....	11
Şekil 1.9.	Çekirdek alanı ile çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	12
Şekil 2.1.	Otomatik elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen bir otomobil kapı paneli.....	14
Şekil 2.2.	Elektrik direnç nokta kaynağı prensibi.....	15
Şekil 2.3.	Elektrik direnç nokta kaynağı prosesi.....	15
Şekil 2.4.	Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi.....	16
Şekil 2.5.	Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan dirençler.....	17
Şekil 2.6.	Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan direnç ve ısı dağılımı.....	18
Şekil 2.7.	Direnç nokta kaynağında ısı kaybı.....	21
Şekil 2.8.	Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	22
Şekil 2.9.	Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	23
Şekil 2.10.	Kaynak çekirdek geometrisinin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.11.	Kaynak çekirdek geometrisi.....	26
Şekil 2.12.	Düşük karbonlu çeliklerde çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	27

Şekil 2.13. Elektrik direnç nokta kaynağında bir çeliğin yüzeyinde oluşan fişkırma.....	28
Şekil 2.14. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan bir fişkırma örneği.....	29
Şekil 2.15. Fişkırma oluşmuş çekme-makaslama numunesi.....	29
Şekil 2.16. Fişkırma oluşmamış çekme-makaslama numunesi.....	29
Şekil 2.17. Bir kaynak eğrisi diyagramı.....	30
Şekil 2.18. Farklı malzemeler için kaynak eğrisi diyagramı.....	31
Şekil 3.1. Paslanmaz çelikten üretilen “Burlington Zephyr” treni.....	32
Şekil 3.2. Raylı sistem aracı yan duvar kaynak hattı.....	34
Şekil 3.3. TÜVASAŞ’da üretilen bir raylı sistem araç gövdesinde kullanılan çelikler.....	34
Şekil 3.4. Krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çelik türleri.....	36
Şekil 3.5. Farklı çeliklerin korozyon dayanımları.....	39
Şekil 3.6. Farklı çeliklerin farklı atmosfer şartlarında korozyon dayanımları.....	40
Şekil 4.1. Raylı sistem araç gövdesi.....	43
Şekil 4.2. Çekme-makaslama deney numuneleri.....	44
Şekil 4.3. Çekme-sıyırma deney numuneleri.....	45
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	45
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan akım şiddeti ölçüm cihazı.....	46
Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan elektrotların boyutları.....	46
Şekil 4.7. Ön deney numuneleri.....	47
Şekil 4.8. Deney parametreleri.....	48
Şekil 4.9. Çekme-makaslama deney numuneleri.....	48
Şekil 4.10. Çekme-sıyırma deney numuneleri.....	49
Şekil 4.11. Deneylerde kullanılan çekme cihazı.....	51
Şekil 4.12. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop.....	51
Şekil 4.13. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskopu (SEM).....	52
Şekil 4.14. Makroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop.....	52
Şekil 4.15. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme cihazı.....	53
Şekil 5.1 SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	55

Şekil 5.2. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanında oluşan çekme-makaslama numuneleri.....	56
Şekil 5.3. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	57
Şekil 5.4. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	58
Şekil 5.5. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanında oluşan çekme-sıyırma numuneleri.....	58
Şekil 5.6. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	60
Şekil 5.7. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	62
Şekil 5.8. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	62
Şekil 5.9. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	63
Şekil 5.10. 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantılar.....	64
Şekil 5.11. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	65
Şekil 5.12. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.....	66
Şekil 5.13. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi.....	66
Şekil 5.14. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi.....	67
Şekil 5.15. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi...	67
Şekil 5.16. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.....	68
Şekil 5.17. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek boyut oranına etkisi...	69
Şekil 5.18. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.....	69
Şekil 5.19. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi.....	70
Şekil 5.20. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi.....	71

Şekil 5.21. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi.....	71
Şekil 5.22. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.....	72
Şekil 5.23. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek boyut oranına etkisi.....	72
Şekil 5.24. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin dalma derinliğine etkisi...	73
Şekil 5.25. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının dalma derinliğine etkisi.....	73
Şekil 5.26. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin dalma derinliğine etkisi.....	74
Şekil 5.27. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının dalma derinliğine etkisi...	75
Şekil 5.28. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken).....	76
Şekil 5.29. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken kaynak zamanı sabit).....	76
Şekil 5.30. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	77
Şekil 5.31. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	78
Şekil 5.32. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	79
Şekil 5.33. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	79
Şekil 5.34. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	80
Şekil 5.35. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	80
Şekil 5.36. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	81

Şekil 5.37. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	82
Şekil 5.38. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	83
Şekil 5.39. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	83
Şekil 5.40. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	85
Şekil 5.41. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	85
Şekil 5.42. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	86
Şekil 5.43. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	86
Şekil 5.44. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	87
Şekil 5.45. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	88
Şekil 5.46. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	89
Şekil 5.47. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	89
Şekil 5.48. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	90
Şekil 5.49. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	91

Şekil 5.50. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	92
Şekil 5.51. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	92
Şekil 5.52. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	93
Şekil 5.53. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	94
Şekil 5.54. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	95
Şekil 5.55. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	95
Şekil 5.56. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	96
Şekil 5.57. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	97
Şekil 5.58. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	98
Şekil 5.59. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	98
Şekil 5.60. Sertlik ölçüm doğrultuları.....	99
Şekil 5.61. SPA-C bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	100
Şekil 5.62. SPA-C bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	100
Şekil 5.63. SPA-C bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	100
Şekil 5.64. SPA-C bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	101

Şekil 5.65. SPA-C bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	101
Şekil 5.66. SPA-C bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	101
Şekil 5.67. S235JR(Cu) bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	102
Şekil 5.68. S235JR(Cu) bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	103
Şekil 5.69. S235JR(Cu) bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	103
Şekil 5.70. S235JR(Cu) bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	103
Şekil 5.71. S235JR(Cu) bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	104
Şekil 5.72. S235JR(Cu) bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu).....	104
Şekil 5.73. SPA-C bağlantılarda esas metale ait mikro yapı fotoğrafları (x100, x200 ve x500 büyütme).....	105
Şekil 5.74. S235JR(Cu) bağlantılarda ana malzemeye ait mikro yapı (x100, x200 ve x500 büyütme).....	106
Şekil 5.75. SPA-C bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme).....	107
Şekil 5.76. SPA-C bağlantılarda ITAB'a ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)....	108
Şekil 5.77. SPA-C bağlantılarda kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme).....	108
Şekil 5.78. SPA-C bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü.....	108
Şekil 5.79. Şekil 5.78 (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	109
Şekil 5.80. Şekil 5.78 (2) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	109
Şekil 5.81. Şekil 5.78 (3) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	110
Şekil 5.82. S235JR(Cu) bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme).....	111
Şekil 5.83. S235JR(Cu) bağlantılarda ITAB'a ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme).....	111

Şekil 5.84. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü (x1000 büyütme).....	111
Şekil 5.85. S235JR(Cu) bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü.....	112
Şekil 5.86. Şekil 5.85 (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	112
Şekil 5.87. Şekil 5.85 (2) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	113
Şekil 5.88. Şekil 5.85 (3) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi.....	113
Şekil 5.89. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	114
Şekil 5.90. SPA-C bağlantılarda 15 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	114
Şekil 5.91. SPA-C bağlantılarda 20 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	115
Şekil 5.92. SPA-C bağlantılarda 25 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	115
Şekil 5.93. S235JR(Cu) bağlantılarda 15 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 5.94. S235JR(Cu) bağlantılarda 25 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 5.95. S235JR(Cu) bağlantılarda 30 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 5.96. SPA-C bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe).....	118
Şekil 5.97. S235JR(Cu) bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe).....	118

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, Raylı Sistem Araçları, Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelik Saclar

Bu çalışmanın amacı, Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.'de (TÜVASAŞ) üretilen raylı sistem araçlarının kaynaklı imalat proseslerinde karşılaşılan sorunların giderilmesi ve bu proseslerin iyileştirilmesi için sözkonusu araçlarda kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesini incelemektir.

Bu amaçla, TÜVASAŞ'da üretilen raylı sistem araçlarının yan duvar ve tavan kısımlarında kullanılan SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların birleştirilmesi için kullanılan gaz metal ark kaynağı prosesinin yerine elektrik direnç nokta kaynağı prosesi kullanarak konstrüksiyonun dayanımı, ağırlığı ve maliyeti açısından bir iyileştirme yapılması planlanmaktadır.

Elektrik direnç nokta kaynaklı numuneleri elde etmek için 120 kVA gücünde elektrik akım ve zaman kontrollü, tek kollu pnömatik basma tertibatlı kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanları 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot=0,02 s) olarak seçilmiş ve kaynak akım şiddetleri de 6 kA'den 14 kA'e kadar 0,5 kA artırılarak ayarlanmıştır. Elektrot kuvveti 6 kN olarak sabitlenmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantılar çekme-sıyırma, çekme-makaslama testlerine tabi tutulmuş ve optik mikroskopla çekirdek boyutları ölçülmüştür. Ayrıca mikro vickers sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

Sonuç olarak çekirdek boyutlarının çekme-sıyırma ve çekme-makaslama dayanımlarına etkisi belirlenmiş ve kaynak eğrisi diyagramları kullanılarak optimum kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı önerilmiştir.

INVESTIGATION OF JOINABILITY OF CORROSION RESISTANT STEEL SHEETS USED IN RAILWAY VEHICLES

SUMMARY

Keywords: Electric Resistance Spot Welding, Railway Vehicles, Atmospheric Corrosion Resistant Steels

The aim of this study is to solve the problems in welded production of railway vehicles manufactured in Turkish Wagon Industry (TUVASAS) and investigation of joining of corrosion resistant steel sheets used in these vehicles by electrical resistance spot welding.

For this purpose, electrical resistance spot welding was selected instead of gas metal arc welding method in joining of atmospheric corrosion resistant SPA-C and S235JR (Cu) type steels used in side walls and ceiling of railway vehicles. Thus, strengthen of construction, weight and cost reduction of railway vehicle is being planned.

A timer and current controlled resistance spot welding machine having 120 kVA capacity and a pneumatic application mechanism with a single lever were used to prepare the specimens. Welding periods were chosen as 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cycles (1 cycle = 0.02 s) and also welding currents were increased from 6 kA up to 14 kA by rise of 0,5 kA. The electrode force was kept constant at 6 kN. The obtained welding joints were exposed to tensile-peel and tensile-shear tests and their nugget sizes were calculated by means of an optical microscope. Micro-hardness measurements and microstructural analysis of specimens were also performed.

As a conclusion, the effect of nugget sizes on tensile-peel strength and tensile-shear strength was determined by using weld lobe diagrams and the optimum welding currents and times were advised.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Konunun Önemi

Bir birleştirme işlemi; bağlantının geometrisi, boyutları, dayanımı, sürekliliği, sızdırmazlığı, elektrik-ısıl iletkenliği ve malzeme cinsi gibi tasarımla ilgili sınırlamaları karşılamak ve ekonomik olmak zorundadır [1]. Günümüz taşıt endüstrisinde en önemli özellikler dayanıklılık (korozyon, aşınma, darbelere karşı mukavemet vb.), hafiflik ve ucuzluktur [2, 3]. Dolayısıyla seçilen birleştirme yöntemlerinin bu özelliklere sahip olması gereklidir.

Bu yüzden raylı sistem araç üreticileri aşağıdaki kriterleri karşılamalıdır [4]:

- Malzemeler için uyarlanmış yeni yapısal çözümler sunmak
- Modern üretim teknolojileri kullanmak
- Malzeme kullanımını optimize etmek
- Kaliteyi geliştirmek
- Araç ağırlığını azaltmak
- Ürün maliyetlerini azaltmak

Raylı sistem araçlarının gövdelerinde yapı malzemesi olarak çoğunlukla çelik kullanılmaktadır. Çelikler arasında ise paslanmaz çelik ve atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin kullanımı oldukça yaygındır. Bununla birlikte daha ekonomik trenler üretmek amacıyla daha hafif konstrüksiyonların tasarlanması ile beraber alüminyum alaşımlarının kullanımı artmıştır.

Raylı sistem araçlarının üretiminde kullanılan en yaygın birleştirme metodu gaz metal ark kaynağıdır. Geçmiş yıllarda nispeten düşük maliyeti ve bağlantı dayanımı

yüzünden bu kaynak yönteminin kullanımı onaylanmıştır. Ancak ısının sebep olduğu çarpılmanın düzeltilmesi için hayli zahmetli bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır [5].

1880'lerin başlarında endüstriye giren elektrik direnç nokta kaynağı ilk kez 1912'de Edward G. Budd Company tarafından tamamı çelik bir otomobil gövdesinin birleştirilmesinde kullanılmıştır [6]. 1930'larda yüksek dayanımlı ostenitik paslanmaz çeliklerin üretilmeye başlanması paslanmaz çeliklerin raylı sistem araçlarında kullanılmasını mümkün kılmıştır. Paslanmaz çelikler, kreatif beyin ve cesur yönetimin birleşimiyle önemli bir paradigma değişikliği gerçekleşmiş ve 1934'de aynı firma tarafından elektrik direnç nokta kaynağı kullanılarak paslanmaz çelikten raylı sistem araçlarının üretimine başlanmıştır Mevcut raylı sistem araçlarına göre çok daha hafif olan yeni araç dizel-elektrik tahrik ünitesi kullanılan ilk uygulama olmuştur. Bu çeliklerin kaynağında nispeten yüksek karbon miktarına bağlı olarak yüksek ısı girişinden dolayı ısının tesiri altındaki bölgede krom karbür çökmesi olduğu için ergitme kaynağı yerine elektrik direnç nokta kaynağı kullanılmıştır [7].

1949'da Ford firması tarafından ark ve direnç kaynağı kullanılarak ilk kez tamamı kaynaklı bir otomobil üretilmiştir [6].

Elektrik direnç nokta kaynağı; elektrotlar tarafından bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların bölgesel olarak eritilip basınç altında birleştirilmesidir [8].

Elektrik direnç nokta kaynağı, metallerin birleştirilmesinde en fazla kullanılan yöntemdir [9, 10]. Örneğin modern bir taşıtta 2000 ile 5000 arasında nokta kaynağı vardır [11].

Bu kaynak tekniğinin diğer tekniklere nazaran avantajı, kaynak edilecek iş parçasının kalınlığına bağlı olarak daha yüksek bir hıza sahip olması, otomasyona uygunluğu ve düşük maliyetidir [12].

Elektrik direnç nokta kaynağı yaygın olarak düşük karbonlu çeliklerin birleştirilmesinde kullanılır [13]. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel, alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları da bu yöntemle kaynak edilebilir [14].

1.2. Çalışmanın Amacı ve Planlanması

Bu çalışmanın amacı Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.'de (TÜVASAŞ) üretilen raylı sistem araçlarının kaynaklı imalat proseslerinde karşılaşılan sorunların giderilmesi ve bu proseslerin iyileştirilmesi için sözkonusu araçlarda kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesini incelemektir.

Bu amaçla TÜVASAŞ'da üretilen raylı sistem araçlarının yan duvar ve tavan kısımlarında kullanılan SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların birleştirilmesi için kullanılan gaz metal ark kaynağı prosesinin yerine elektrik direnç nokta kaynağı prosesi kullanarak konstrüksiyonun dayanımı, ağırlığı ve maliyeti açısından bir iyileştirme yapılması planlanmaktadır.

Yapılan literatür taramalarında atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilme kabiliyeti üzerine herhangi bir çalışma yapılmadığının anlaşılması ve konunun önemi göz önüne alınarak, raylı sistem araçlarının gövdelerinde kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilme kabiliyeti doktora konusu olarak seçilmiştir.

Bu nedenle atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarının mekanik ve metalurjik davranışlarını incelemek için deney parçaları boyutlarında hazırlanmış malzemeler önceden tespit edilmiş kaynak parametrelerine göre kaynak edilmişlerdir.

Yapılan ön deneylerin olumlu sonuçlanması üzerine, kaynak parametrelerinin bağlantının kaynak davranışına, çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımına etkisinin saptanabilmesi için kaynak parametreleri belirli bir aralıkta değiştirilmiştir.

Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine ve çekirdek boyutlarına etkisinin araştırılmasının yanında, bağlantı bölgesinde oluşan metalurjik değişikliklerin saptanması amacıyla esas metal, ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge) ve kaynak çekirdeği optik mikroskop ile incelenmiştir. Bu bölgelerdeki sertlik dağılımını incelemek amacıyla da sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca belirlenen bazı numuneler taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir.

Sonuç olarak SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi işleminde en uygun bağlantıların elde edilebilmesi için kullanılması gereken kaynak parametreleri kaynak eğrisi (weld lobe) diyagramı aracılığıyla belirlenmiştir.

1.3. Konu ile İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmalar

1940'lı yıllardan itibaren taşıt endüstrisinde ki kullanımı hızla artan elektrik direnç nokta kaynağı üzerine literatürde çok sayıda çalışma vardır. Metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemi olması sebebiyle günümüzde de yoğun olarak araştırma çalışmaları yapılmaktadır.

Direnç nokta kaynağı ile ilgili araştırmalarda, özellikle deneysel yöntemler birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda düşük karbonlu çelikler [10,15-22], paslanmaz çelikler [2,23-40], yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA) [15,16,19,20,41-45], ileri yüksek dayanımlı çelikler (AHSS) [46-59] ve galvaniz kaplamalı çelikler [60-67] gibi birçok malzemenin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi incelenmiştir.

Ayrıca teorik olarak çalışan araştırmacılar, bazı nümerik kodlar geliştirerek veya var olan bilgisayar programlarını kullanarak deneysel verilere yaklaşılmaya çalışmışlardır

[2]. Bu kapsamda Taguchi, Yapay sinir ağıları (ANN) ve Genetik algoritma (GA) gibi yöntemlerle proses parametrelerinin optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır [68].

Yapılan deneysel çalışmalarda araştırmacılar kaynak parametrelerinin bağlantının kalitesine etkisini incelemişlerdir. Kaynak parametreleri olarak genellikle malzeme kalınlığı, kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı, elektrot boyutları ve kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları incelenmiştir. Bağlantının kalitesini belirlemede kullanılan kriterler ise genellikle çekirdek boyutları, dalma derinliği, fişkırtma, hasar tipi, çekme-makaslama dayanımı, çekme-sıyırma dayanımı, yorulma dayanımı ve korozyon dayanımıdır. Bu çalışmalarda ayrıca mikro yapı ve sertlik analizleri yapılmış ve bunların kaynak parametreleri ve bağlantının kalitesi ile olan etkileşimi incelenmiştir. Bazı çalışmalarda kaynak eğrisi (weld lobe) diyagramı oluşturularak, incelenen malzemenin elektrik direnç nokta kaynağında en uygun bağlantılarının elde edilebileceği kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerleri belirlenmiştir [15-67].

Literatürdeki çalışmalarda elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek formunu ve buna bağlı olarak bağlantının dayanımını etkileyen başlıca parametre kaynak akım şiddetidir. Kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte çekirdek çapı ve çekme dayanımı artmaktadır. Ancak kaynak akım şiddetinin belirli bir değerinden sonra fişkırtma oluşmaktadır.

Kaynak akım şiddeti, kaynak çekirdeğinin oluşumunda kaynak zamanından daha etkili bir parametredir [10,18,28].

Kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisine bağlı olarak çekirdek çapı ve dayanım artar [2,29, 32,33,52]. Kaynak zamanı fişkırtmayı etkileyen bir diğer önemli parametredir [43]. Fişkırtmayı etkilemede kaynak akımı ve zamanının elektrot kuvvetinden daha önemli olduğu gözlemlenmiştir [44].

Bununla birlikte başka bir çalışmada ise kaynak zamanının fişkırtma üzerinde çok etkili bir parametre olmadığı bildirilmiştir [28].

Elektrot kuvveti ise temas direncini etkileyen bir parametredir. Temas direncinin artışı da ısı üretimini artırır. Bu yüzden elektrot kuvveti bağlantının ısını etkilemektedir [10].

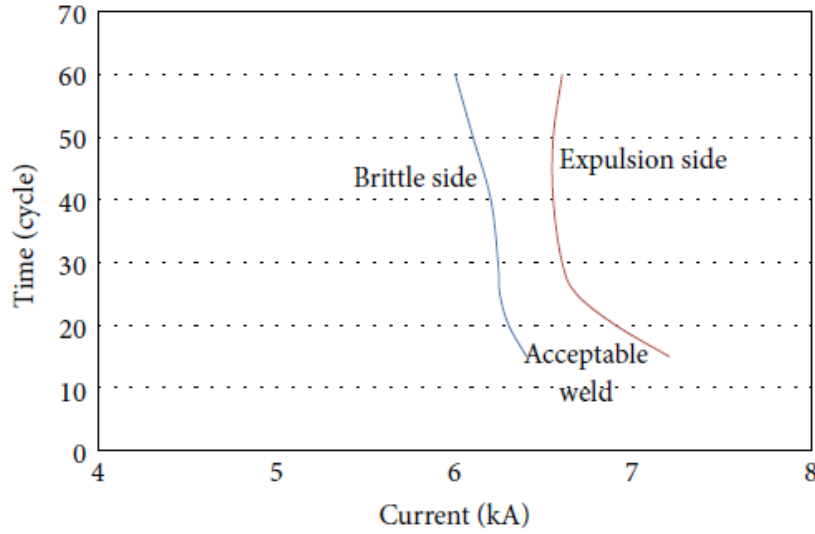
Nokta kaynağında genellikle iki tip hasar oluşur: Ayrılma modu ve düğmelenme modu. Ayrılma modunda hasar, çatlağın kaynak çekirdeği boyunca ilerlemesiyle oluşur. Düğmelenme modunda ise hasar, çekirdeğin bir kısmının yada tamamının, iş parçalarının birinden çıkması (ayrılması) ile oluşur [22].

Direnç nokta kaynağında hasar modu bağlantının taşıma kapasitesini ve enerji emilim kabiliyetini büyük ölçüde etkiler. Nokta kaynaklı bağlantılar, düğmelenme hasar modunda ayrılma hasar moduna nazaran daha yüksek enerji emilim kabiliyetine ve taşıma kapasitesine sahiptir. Bağlantıların sağlamlığını temin etmek için kaynak parametreleri düğmelenme modunda hasar oluşacak şekilde ayarlanmalıdır [22,70].

Düşük akım şiddeti ve zamanında kaynak bölgesine giren ısı miktarı düşüktür. Dolayısıyla kaynak çekirdek boyutları da küçüktür. Buna bağlı olarak oluşan hasar tipi ayrılma şeklindedir [35].

Yüksek akım şiddeti ve zamanında kaynak bölgesine giren ısı miktarı yüksektir. Dolayısıyla kaynak çekirdek boyutları da büyüktür. Buna bağlı olarak oluşan hasar tipi düğmelenme veya yırtılma şeklindedir [35].

Nokta kaynağı geometrik olarak bağlantıda harici bir çatlağa neden olur. Ayrıca elektrot kuvvetleri iş parçalarının yüzeyinde indentasyona (elektrot izi) ve böylece gerilim konsantrasyonuna neden olur. Dolayısıyla mikro yapısal ve geometrik değişiklikler, esas metale nazaran bağlantının taşıma kapasitesini azaltır. Taşıtların çarpışma dayanıklılığı kaynaklı yapıların bütünlüğüne bağlıdır. Bu yüzden nokta kaynağının farklı yükleme koşullarında mekanik davranışlarını anlamak önemlidir. Bu amaçla çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testleri, nokta kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan başlıca yöntemlerdendir [15,22,41,42,60,61,62,63].

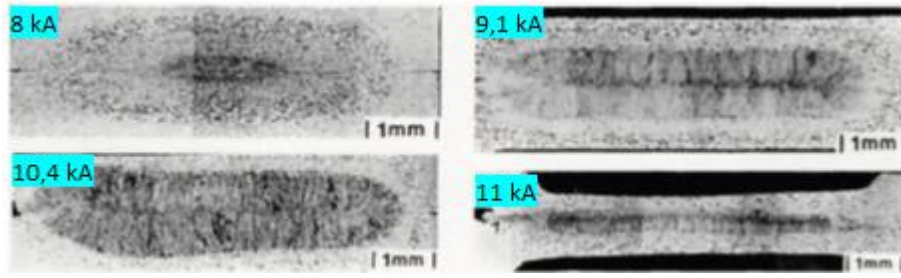


Şekil 1.1. Bir kaynak eğrisi diyagramı

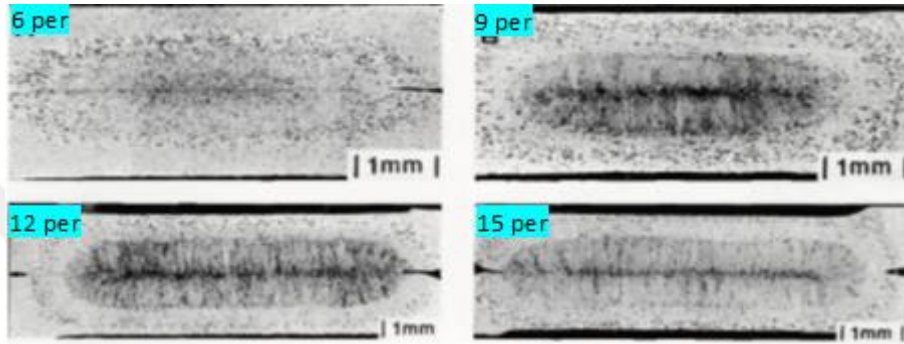
Pek çok çalışmada nokta kaynağı değişkenlerinin bağlantının kalitesine etkisi araştırılmış olmasına rağmen bunların ancak bir kısmında kaynak eğrisi diyagramı (weld lobe) belirlenmiştir. İncelenen malzemenin elektrik direnç nokta kaynağında en uygun bağlantılarının elde edilebileceği kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerini gösteren kaynak eğrisi diyagramı şekil 1.1'de gösterilmiştir [10].

Gould [17], AISI 1008 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin gelişimini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Gould çalışmasında 0,5 mm, 1 mm ve 1,5 mm kalınlıklarında AISI 1008 çeliklerini kullanmıştır.

Bu çalışmada 1 mm kalınlığında AISI 1008 çelikleri için 15 periyot kaynak zamanında akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi incelenmiştir. Başlangıçta 8 kA'e kadar kaynak çekirdeği oluşmamıştır. 8-9 kA arasında ise hızlı bir şekilde büyümüştür. 9 kA'den fışkırmanın başladığı 10,5 kA'e kadar ise çekirdek büyüme oranı azalmıştır (Şekil 1.2.). Aynı malzeme için 10 kA akım şiddetinde kaynak zamanının bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi incelendiğinde, 6 periyota kadar çekirdeğin oluşmadığı, 6-9 periyot arasında çekirdeğin hızlı bir gelişim gösterdiği ve sonrasında ise 15 periyota kadar çekirdek boyutlarında ufak bir azalma gözlemlenmiştir (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi



Şekil 1.3. Kaynak zamanının bir fonksiyonu olarak kaynak çekirdeğinin gelişimi

Gould çalışmasında kaynak çekirdeğinin oluşumunu dört aşama ile tanımlamıştır. Birinci aşamada gözle görülür bir çekirdek oluşmaz, ikinci aşamada çekirdek çok hızlı büyür, üçüncü aşamada çekirdek büyüme oranı kademeli olarak azalır ve son aşamada çekirdekten fişkırmalar oluşur.

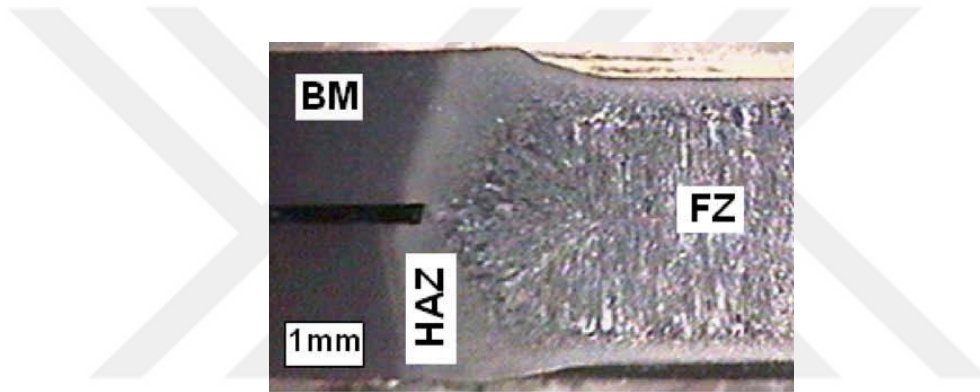
Karagoulis [18], otomotivde kullanılan SAE 1080 ve SAE 1005 düşük karbonlu soğuk şekillendirilmiş çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerini incelemiştir. Elektrot kuvvetinin önemli bir değişken olduğu ve kaynak akım şiddetinin kaynak zamanından daha etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bu tür saclara ait kaynak eğrisi diyagramı oluşturulmuş ve otomotivde kullanılan bu tip saclar için en uygun kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı ve elektrot kuvveti değerlerini gösteren bir tablo hazırlanmıştır.

Pouranvari [21], düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekme-makaslama testinde hasar tiplerini incelemiştir. Bu çalışmada 2 mm kalınlığında düşük karbonlu çelikler (St14) kullanılmıştır. Bağlantının mekanik özelliklerini incelemek amacıyla kaynak akım şiddeti 10-14 kA arasında değiştirilmiştir. Kaynak

zamanı 9 periyot, elektrot kuvveti 5 kN olarak sabit tutulmuştur. Bağlantının metalurjik özelliklerini incelemek amacıyla ise tutma zamanı 20-80 periyot arasında değiştirilmiştir.

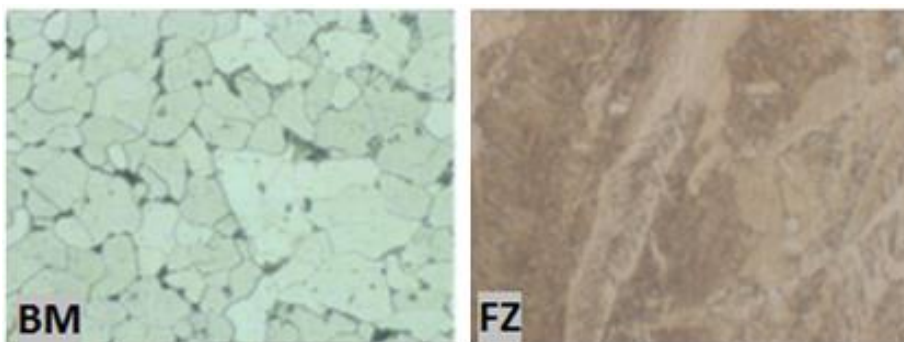
Şekil 1.4.'de nokta kaynağında bağlantı bölgesine ait üç farklı mikro yapısal alandan oluşan tipik bir makroyapı fotoğrafı gösterilmektedir [21].

1. Birleşme bölgesi (FZ) veya kaynak çekirdeği
2. Isının tesiri altındaki bölge (HAZ)
3. Esas metal (BM)



Şekil 1.4. Nokta kaynağında tipik bir makroyapı görüntüsü

Şekil 1.5.'de esas metal ve kaynak çekirdeğine ait mikro yapılar verilmektedir. Esas metal ağırlıklı olarak ferritik bir yapıya sahiptir. Kaynak çekirdeği de ağırlıklı olarak martenzit bir yapıya sahiptir. Esas metaldeki düşük karbon miktarına ve ferritik yapıya rağmen nokta kaynağındaki yüksek soğuma hızına bağlı olarak kaynak çekirdeğinde martenzit yapı oluşmuştur [21].

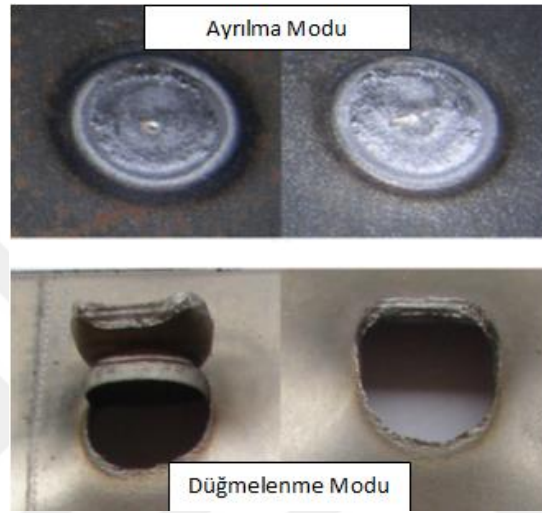


Şekil 1.5. St14 bağlantılarda esas metal ve kaynak çekirdeğine ait mikro yapılar

Çekme-makaslama testinde iki tip hasar ortaya çıkmıştır [21]:

- Ayrılma (Interfacial)
- Düğmelenme (Pullout)

Şekil 1.6’da bu iki hasar moduna ait fotoğraflar gösterilmektedir [21].



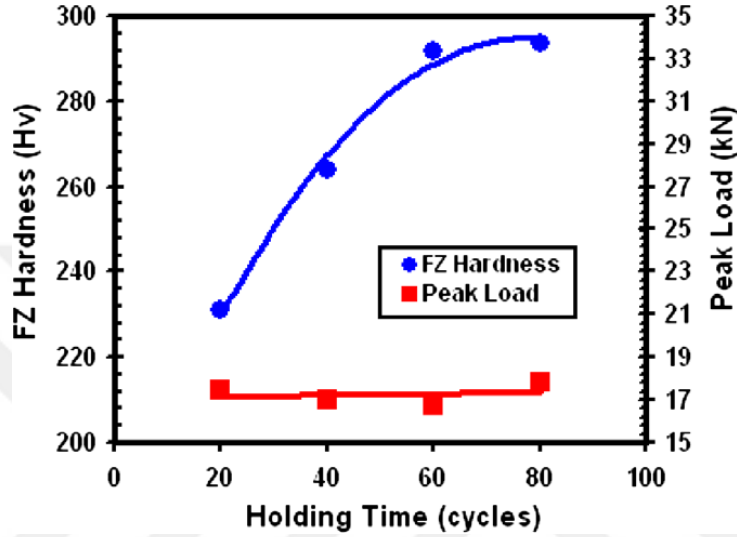
Şekil 1.6. St14 bağlantılarda hasar modları

Bu çalışmada, kaynak çekirdek çapı 7,2 mm’den daha küçük ise ayrılma modu hasar, 7,8 mm’den büyük ise düğmelenme modu hasar olduğu gözlemlenmiştir.. Bu yüzden kritik kaynak çekirdek çapı bu değerın üstünde tutularak düğmelenme modu hasar elde edilebilir.

Bağlantıların sertlik değerlerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla akım şiddeti 12,5 kA ve kaynak zamanı 9 periyot olarak sabitlenmiştir. Tutma zamanı ise 20-80 periyot arasında değiştirilmiştir. Kaynak metalinin katılaştığı tutma zamanı, üretilen ısıyı ve eriyen metal miktarını etkilemez. Bu yüzden tutma zamanının değiştirilmesi çekirdek çapını değiştirmez. Değişik tutma zamanlarının kullanıldığı deneylerde elde edilen çekirdek çapları 7,8 mm’dir [21].

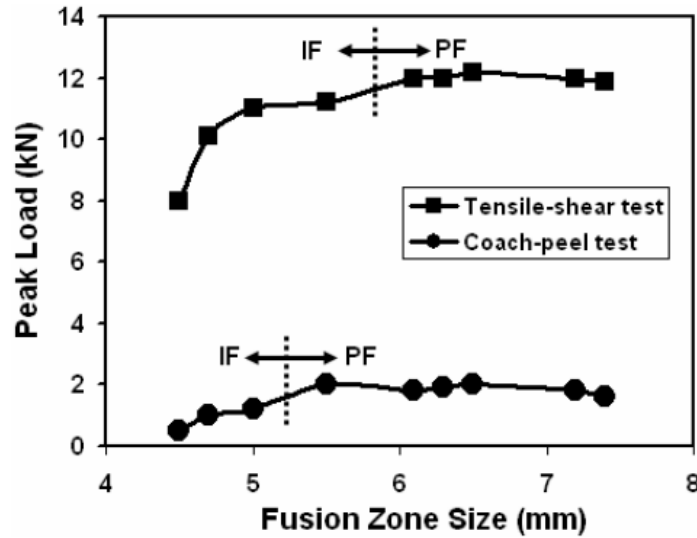
Tutma zamanı ile kaynak çekirdeğinin soğuma hızı kontrol edilir. Tutma zamanının artırılması ile su soğutmalı bakır elektrotlara bağlı olarak soğuma hızı da artar. Bu

yüzden tutma zamanı kaynak çekirdeğinde ve ITAB'da faz dönüşümlerini etkileyebilir. Tutma zamanının kaynak bölgesinin sertliği üzerindeki etkisi şekil 1.7'de gösterilmiştir. Tutma zamanının artırılmasıyla kaynak çekirdeğinin sertliğinin arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni nokta kaynağındaki yüksek soğuma hızına bağlı olarak oluşan martenzit yapıdır [21].



Şekil 1.7. Tutma zamanının kaynak bölgesinin sertliğine etkisi

Pouranvari bir başka çalışmasında [22], düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde oluşan hasar tiplerini incelemiştir.

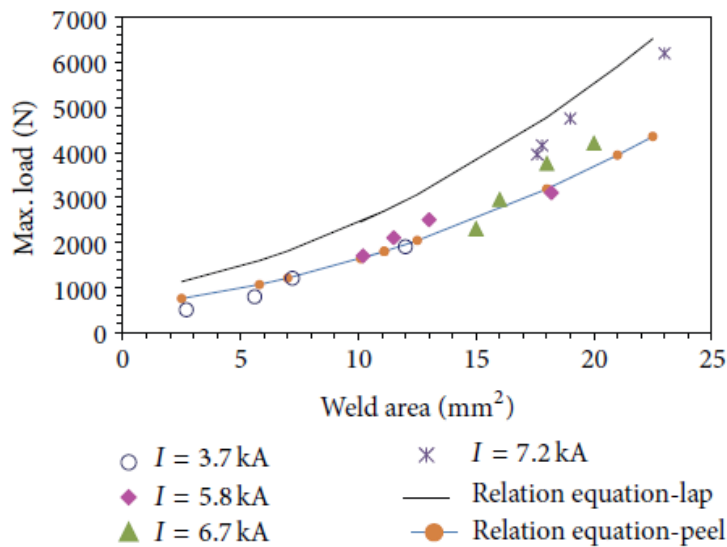


Şekil 1.8. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde hasar oluşumu

Bu çalışmada bağlantıların çekme-sıyırma dayanımının çekme-makaslama dayanımından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Şekil 1.8’de nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin, çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde oluşan hasar tipleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Çekme-makaslama testlerinde düğmelenme hasarının 6,1 mm çekirdek çapında, çekme-sıyırma testlerinde ise 5,5 mm çekirdek çapında oluştuğu görülmektedir.

Çekme-sıyırma testinde düğmelenme hasarı oluşabilmesi için gerekli olan çekirdek çapı çekme-makaslamaya kıyasla daha küçüktür. Nokta kaynaklı bağlantıların çekme-makaslama testinde ayrılma tipinde hasar oluşma eğilimi çekme-sıyırma testine nazaran daha fazladır. Bu durum çekme-sıyırma test konfigürasyonu ile ilişkilidir. Pouranvari ayrıca çalışmasında, nokta kaynaklı bağlantılarda hasarın esas metal ve iri taneli ITAB bölgesinde oluştuğunu belirlemiştir.

Mukhtar [10], 1.8902 karbon çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının çekirdek gelişimine ve buna bağlı olarak çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak çekirdek alanı ile bağlantının dayanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Şekil 1.9’da çekirdek alanının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Çekirdek alanı ile çekme dayanımı arasındaki ilişki

BÖLÜM 2. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Elektrik direnç nokta kaynağı günümüz endüstrisinde kullanılan en eski kaynak yöntemlerinden biridir. İşlem ısı, basınç ve zamanın bileşiminden meydana gelir. İsminden de anlaşıldığı gibi kaynak edilen iş parçalarının elektrik akımına gösterdikleri direnç yöntemin esasını oluşturur [71].

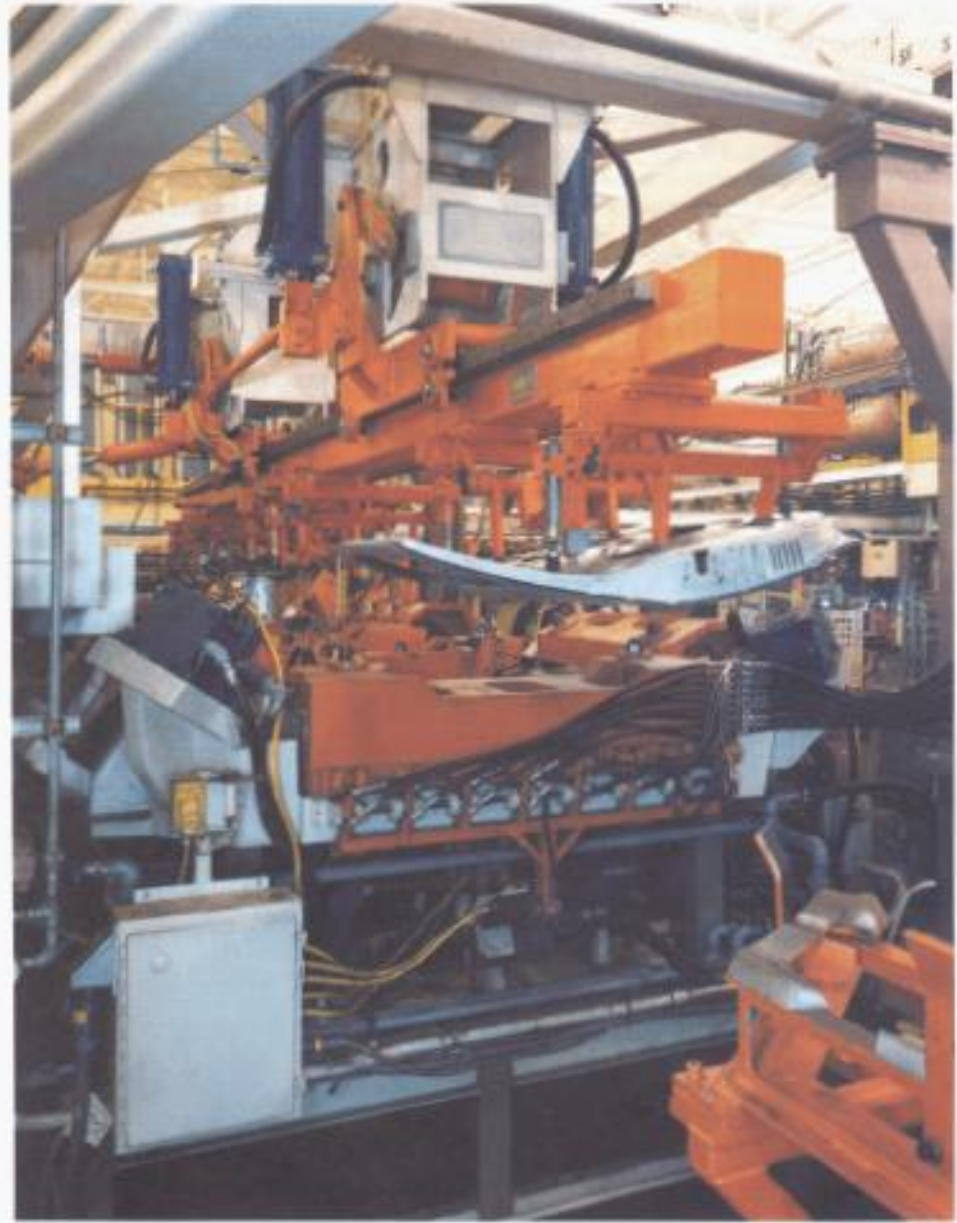
Elektrik direnç nokta kaynağının avantajları arasında dolgu metali gerektirmemesi, yüksek üretim hızı, otomasyona uygunluğu, ark kaynağına nazaran operatör hatalarının daha az olması ve tekrar edilebilirliğinin iyi olması sayılabilir. Dezavantajları ise ekipman maliyetinin ark kaynağına nazaran yüksek olması ve bağlantı tipinin bindirme ile sınırlı olmasıdır [72].

Elektrik direnç nokta kaynağı başta otomotiv olmak üzere taşıt, alet-gereç, mobilya, inşaat gibi pek çok sektörde ki metal sacların birleştirilmesi için kullanılan en yaygın yöntemdir [73].

Şekil 2.1.'de otomatik elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen bir otomobil kapı paneli gösterilmektedir [6].

2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi ve Yöntem Esasları

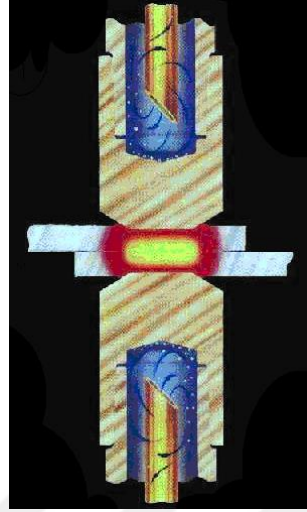
Elektrik direnç nokta kaynağı; elektrotlar tarafından sıkıştırılan iş parçalarının elektrik akımına karşı gösterdikleri direnç sonucu oluşan ısı ile parçaların bölgesel olarak eritilip basınç altında birleştirilmesi işlemidir. İki veya daha çok iş parçası bir veya daha çok noktadan birleştirilebilir. Prosesin ilk aşamasında elektrotlar yüksek basınç altında iş parçalarını sıkıştırır.



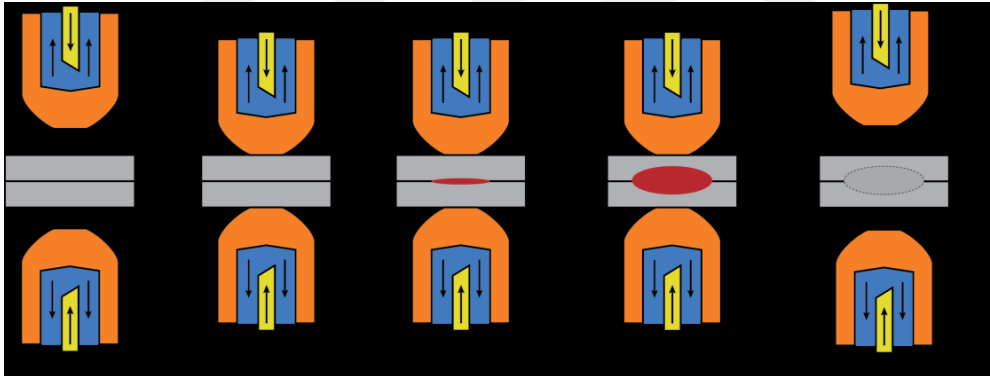
Şekil 2.1. Otomatik elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen bir otomobil kapı paneli

İkinci aşamada düşük gerilimli ve yüksek akım şiddetli bir elektrik akımının kısa bir süre uygulanmasıyla iş parçalarının temas yüzeyi / yüzeyleri ısınmaya başlar. Üçüncü aşamada iki plaka arasındaki yüzeyde erime başlayınca ve kaynak çekirdeği oluşuncaya kadar akım devam eder. Dördüncü aşamada erimiş çekirdek istenilen boyuta ulaşır ve akım kesilir. Son aşamada elektrik akımı kesilince, ısınan metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler, daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile

belirlenir [8]. Şekil 2.2.'de [50], elektrik direnç nokta kaynağının prensibi ve Şekil 2.3.'de [74] çekirdek oluşum süreci aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Elektrik direnç nokta kaynağı prensibi

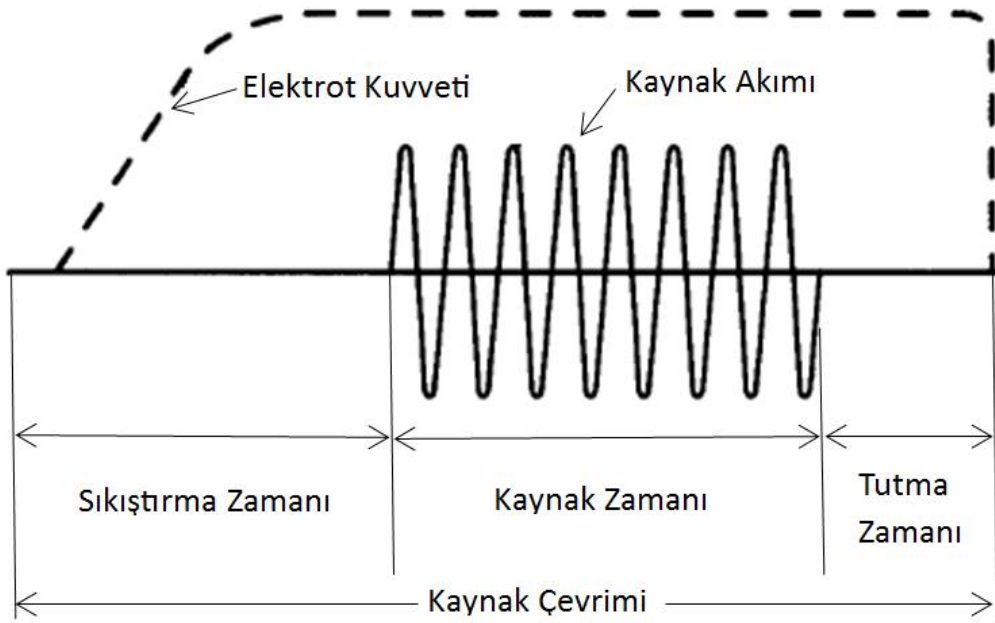


Şekil 2.3. Elektrik direnç nokta kaynağı prosesi

Elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek oluşum süreci aşağıda gösterildiği gibi dört ana zaman diliminden oluşur.

- Yaklaşma ve sıkıştırma zamanı
- Kaynak zamanı
- Tutma zamanı
- Ayrılma zamanı

Yaklaşma ve sıkıştırma zamanında elektrotlar birbirlerine yaklaşarak iş parçalarını sıkıştırır. Kaynak zamanında çekirdek oluşana kadar iş parçalarına akım uygulanır. Tutma zamanında kaynak akımı kesildikten sonra kaynak bölgesinin soğuması için elektrotlar iş parçalarını sıkıştırmaya devam eder. Ayrılma zamanında ise elektrotlar iş parçalarını bırakır. Şekil 2.4’de elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi gösterilmektedir [6].



Şekil 2.4. Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi

2.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu

Elektrik direnç nokta kaynağında malzemeleri birleştirmek için gerekli olan ısı, elektrik akımının iş parçalarından geçerken iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle oluşur. İş parçaları genellikle transformatörün sekonder devresindedir. Transformatör yüksek gerilim ve düşük akım şiddetinde ki şebeke gücünü yüksek akım ve düşük gerilime dönüştürür.

Oluşan ısı şöyle ifade edilebilir;

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

Burada Q (J) ısı, I (A) akım, R (Ω) toplam elektrik direnci ve t (s) kaynak zamanıdır.

Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı kolaylıkla ölçülebilmesine rağmen direncin ölçülmesi biraz karmaşık ve zordur. Toplam direnç malzeme ve temas dirençlerinin birleşiminden oluşur. Kaynak başladığında temas direnci temas yüzeylerindeki pürüzlülük, kir, yağ, oksitlenme ve aşınma gibi kusurlardan dolayı çok yüksektir. Ancak kaynak başladıktan kısa bir süre sonra ısının oluşmasıyla birlikte direnç düşer [75,76].

Sistemde ki toplam direnç;

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

dir. Burada ;

R_1 : Üst elektrotun malzeme direnci

R_2 : Üst elektrot ile üstteki parça arasındaki temas direnci

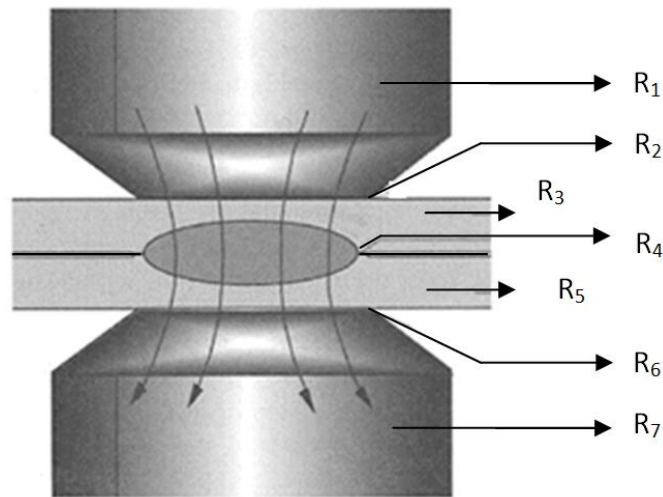
R_3 : Üst parçanın malzeme direnci

R_4 : Üst parça ile alt parça arasındaki temas direnci

R_5 : Alt parçanın malzeme direnci

R_6 : Alt elektrot ile alt parça arasındaki temas direnci

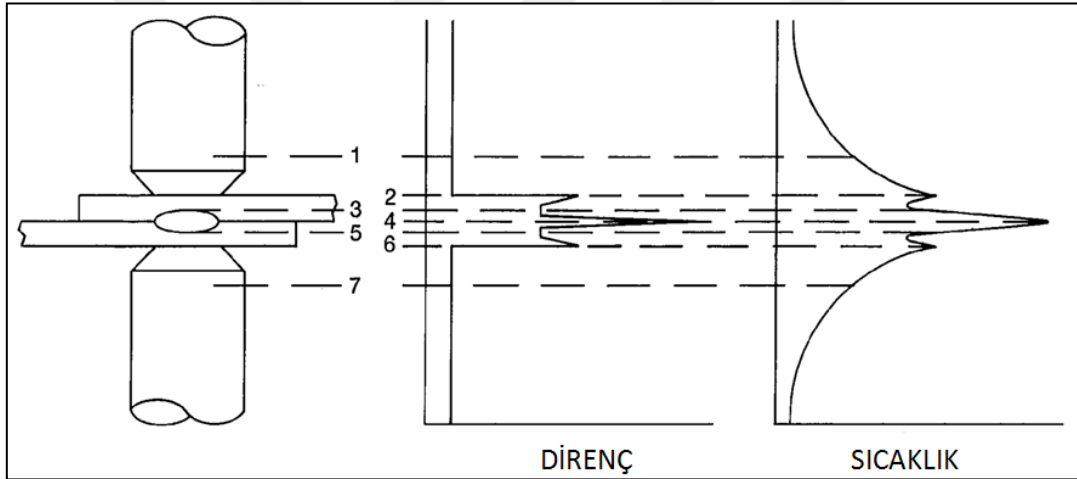
R_7 : Alt elektrotun malzeme direnci



Şekil 2.5. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan dirençler

Şekil 2.5.'de [70] gösterildiği gibi R_3 ve R_5 malzeme dirençleri, R_2 , R_4 ve R_6 ise temas dirençleridir. Temas direnci sıcaklık ve basıncın kuvvetli bir fonksiyonu iken malzeme direnci sadece sıcaklığa duyarlıdır.

Bu noktaların her birinde, o noktanın direnci ile orantılı olarak ısı meydana gelir. En fazla ısının kaynak olan noktada yani, kaynak edilecek malzemelerin temas yüzeyinde (R_4) meydana gelmesi istenir. Bu nedenle diğer noktalarda meydana gelen ısının azaltılmasına çalışılmalıdır [2]. R_4 direncinin olduğu noktada sıcaklığın malzemenin erime sıcaklığının üzerine çıkmasıyla sıvılaştıran malzeme soğuduktan sonra kaynak çekirdeğini oluşturur. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan direnç ve ısı dağılımı Şekil 2.6.'da [6] gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan direnç ve ısı dağılımı

Elektrik direnç nokta kaynağında ısı üretimi, bir bilânço esasına göre oluşup tüketildiğinden, aşağıda ki gibi yazılabilir.

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

Q_1 : Kaynak sırasında oluşan ısı

Q_2 : Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen ısı

Q_3 : Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan ısı

Q_4 : İletim ile parça içine ve çevreye dağılan ısı

Kaynak noktasında ve elektrotlarda oluşan ısının toplamı;

$$Q_1 + Q_2 = 0,24I^2Rt \text{ (cal)} \quad (2.4)$$

Noktanın oluşumunda kullanılan ısının toplamı;

$$Q_3 = 0,24C_1GT + C_2G \text{ (cal)} \quad (2.5)$$

Burada:

G: Kaynak çekirdeğinin kütlesi (g)

T: Malzemenin ergime sıcaklığı (°K)

C₁: Malzemenin özgül ısısı (J/g°K)

C₂: Malzemenin özgül ergime ısısı (cal / g)

İş parçalarının içine yayılan ısı;

$$Q_4 = 0,24TL_t t \text{ (cal)} \quad (2.6)$$

Burada:

L_t: Deneysel parçasının toplam uzunluğu (m)

t: Kaynak süresi (periyod)

T: Malzemenin ergime sıcaklığı (°K)

Kaynak çekirdeğinin kütlesi ise;

$$G = \frac{4}{3}\gamma \pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \left(\frac{d_1}{2}\right) \quad (2.7)$$

γ: Malzemenin özgül ağırlığı (g/cm³)

d₁: Çekirdek çapı (mm)

d₂: Çekirdek yüksekliği (mm)

Kaynak bağlantısının oluşabilmesi için, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesi şartının sağlanması gereklidir. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur [77].

Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan ısı kayıpları ise iki aşamada etüt edilmelidir;

- 1- Akımın uygulama zamanındaki ısı kaybı
- 2- Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı

Birinci aşamadaki ısı kaybının derecesi, aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Metalin bileşimi
- Parçaların kütlesi
- Kaynak süresi
- Dış soğutma vasıtası

Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kayıp veya iletilme hızını belirler. Bu iki faktör, metallerde aynı yönde paralel gider. Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iş parçası ile temas halinde kalır ise, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletim kabiliyeti sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğur. Elektrotların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden, iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanarak azaltılabilir. Soğutma hızı, uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda düşük, kısa kaynak zamanının kullanıldığı ince levhalarda büyüktür. Elektrotlar kaynak yerinden derhal kaldırılacak olursa, ısı kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçeceğinden elektrotları belirli bir süre yerinde tutmak uygun olur [78].

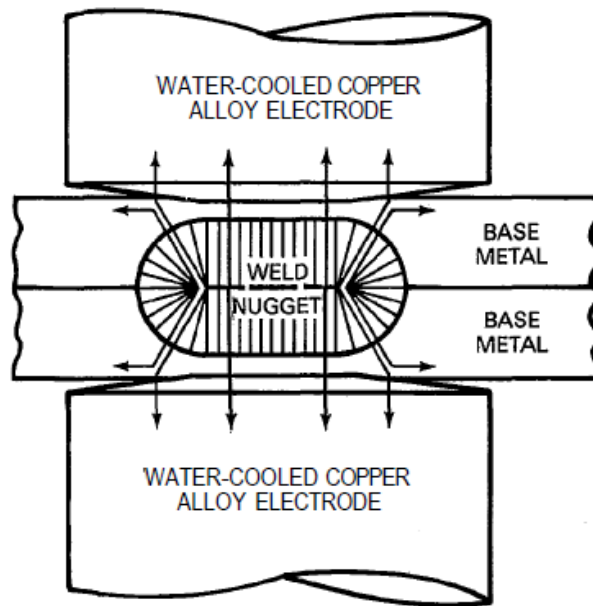
2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Değişkenleri

Elektrik direnç nokta kaynağında bağlantının kalitesini etkileyen başlıca değişkenler aşağıda ki gibi sıralanabilir.

- Kaynak akım şiddeti
- Kaynak zamanı
- Elektrot kuvveti
- Elektrot malzemesi

2.3.1. Kaynak akım şiddeti

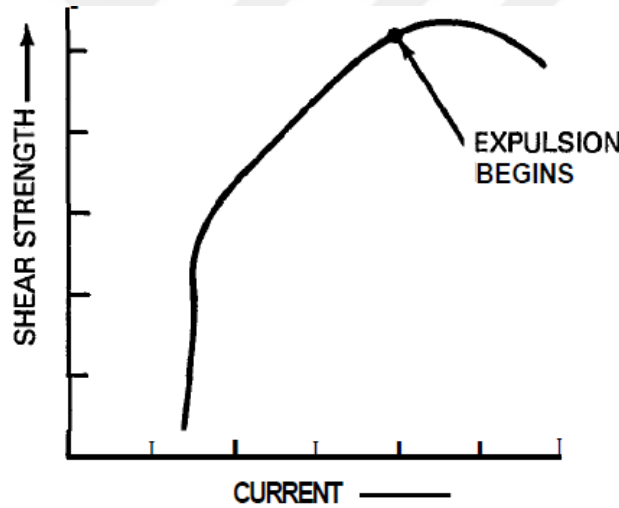
Elektrik direnç nokta kaynağında devrenin her kısmında dirence bağlı olarak ısı oluşur. Oluşan ısının bir kısmı elektrotlar ve iş parçalarından radyasyon ve konveksiyon yoluyla kaybolur [2]. Elektrotlar iş parçalarına kıyasla iletkenlikleri daha yüksek ve dirençleri daha düşük malzemelerdir ve su ile soğutulmaktadır. Bu nedenle ısı birikmesi iş parçalarında ve özellikle iş parçalarının ara yüzünde meydana gelir. Şekil 2.7'de direnç nokta kaynağında ısı kaybı şematik olarak gösterilmektedir [79].



Şekil 2.7. Direnç nokta kaynağında ısı kaybı

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte kaynak çekirdeğinin boyutu ve bağlantının dayanımı artar. Bununla birlikte aşırı akım şiddeti fişkırmalara, gözenek ve çatlak oluşumuna, bağlantının dayanımının düşmesine, kötü bir yüzey görünümüne ve elektrotların deformasyonuna neden olur. Şekil 2.8’de kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi görülmektedir [79]. Şekilde de görüldüğü gibi akım şiddetinin belli bir değerinden sonra fişkıрма (expulsion) oluşmaya başlamaktadır.

Denklem 2.1’e göre oluşan ısı akım şiddetinin karesiyle değiştiği için, akım şiddeti bağlantının kalitesinde en fazla etkiye sahip değişken olarak kabul edilebilir [43]. Kaynak akım şiddetinin büyüklüğünün yanı sıra birim kesitten geçen akım miktarı yani yoğunluğu da önemlidir [76].



Şekil 2.8. Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan akım çok yüksek (5000 ile 20000 A arası) olmasına karşın gerilim düşük (genellikle 10 V’un altında) ve akımın uygulanma zamanı da çok kısadır (0,1 ile 0,4 s arası) [70,72].

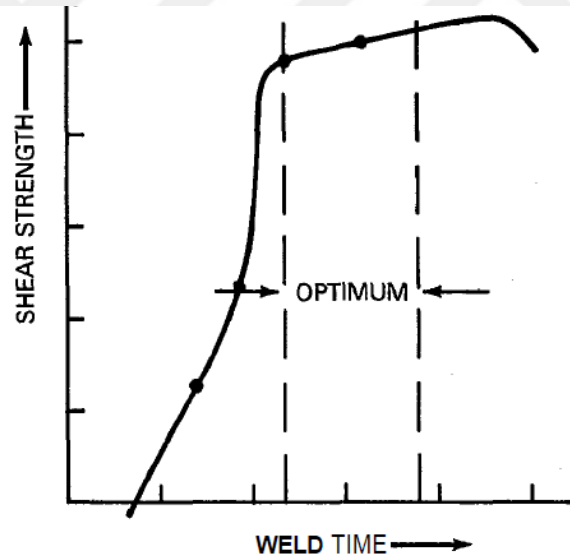
2.3.2. Kaynak zamanı

Kaynak zamanı denklem 2.1’e göre üretilen ısı miktarını direkt olarak etkiler. Kaynak zamanının artmasıyla birlikte üretilen ısı miktarı artar. Buna bağlı olarak

çekirdeğin çapı ve yüksekliği büyür. Dolayısıyla bağlantının dayanımı da artar. Ancak aşırı kaynak zamanı, akım şiddetinde olduğu gibi fişkırmaya neden olur. Bu ise gözenek, çatlak ve aşırı dalma derinliğine neden olabilir [50].

Kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti veya uzun kaynak zamanı ve kısa akım şiddeti kullanılarak aynı boyutlarda çekirdek elde edilebilir. Uzun kaynak zamanı ITAB'a silindirik bir form kazandırır ve aynı zamanda çekirdek, yüksekliği doğrultusunda enine doğrultudan daha fazla büyür. Kaynak zamanının daha da artması çekirdek boyutunun sabit büyüklükte kalmasına neden olur. Kaynak zamanı azaldığında ısı kayıpları da azaldığından sistemin ısı verimi artmaktadır [8,25].

Şekil 2.9'da kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi gösterilmektedir [79].



Şekil 2.9. Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

2.3.3. Elektrot kuvveti

Elektrot kuvveti elektrotlar tarafından kaynak edilecek parçalara, kaynak çevrimi boyunca uygulanan kuvvettir [2]. Elektrot kuvveti iş parçalarının temas direncini ve uygulanan akımı etkiler [8]. Elektrot kuvvetinin yüksek değerlerinde elektrotların iş parçalarının yüzeylerine dalma derinlikleri de yüksek olur [50].

Elektrot kuvveti kaynak işleminin sıkıştırma, kaynak ve tutma zamanlarında önemli bir rol oynar. Sıkıştırma zamanında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrotlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak zamanında, elektrot kuvvetinin görevi, iş parçaları arasında fişkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fişkırmayı engellemektir. Tutma zamanında ise yani kaynak çekirdeğinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması esnasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir [78].

2.3.4. Elektrot malzemesi

Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotlarından beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yüksek sıcaklıkta sertlik
- İş parçaları ile düşük alaşımlaşma eğilimi
- İyi elektrik ve ısı iletim kabiliyeti
- Yüksek dayanım
- Elektrot uçlarının emniyetli soğutulması

Saf bakır iyi bir iletken olmasına rağmen düşük dayanımı nedeniyle nadiren elektrot malzemesi olarak kullanılır. Bu yüzden krom, zirkonyum gibi elementlerle alaşımlandırılarak yüksek sıcaklıklarda büyük dayanım sağlayan bir elektrot malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [8,60].

Genel olarak, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direnci artırır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için belirli bir elektrot alaşımının seçimi, onun mekaniksel özelliklerine göre değişen ısıl ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleşir. Örneğin, alüminyum kaynağı için kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdırlar. Buna karşılık, paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrotlar da, maksimum basma mukavemeti elde etmek için iletkenlikten fedakârlık edilmelidir [78].

2.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Bağlantı Kalitesi

Elektrik direnç nokta kaynağında bağlantının kalitesini belirlemede kaynağın fiziksel/geometrik özellikleri ve performans / dayanımına ait özellikler incelenir. Bir elektrik direnç nokta kaynağını değerlendirmek için gereksinimlere bağlı olarak genellikle birden fazla özellik göz önünde tutulur [70].

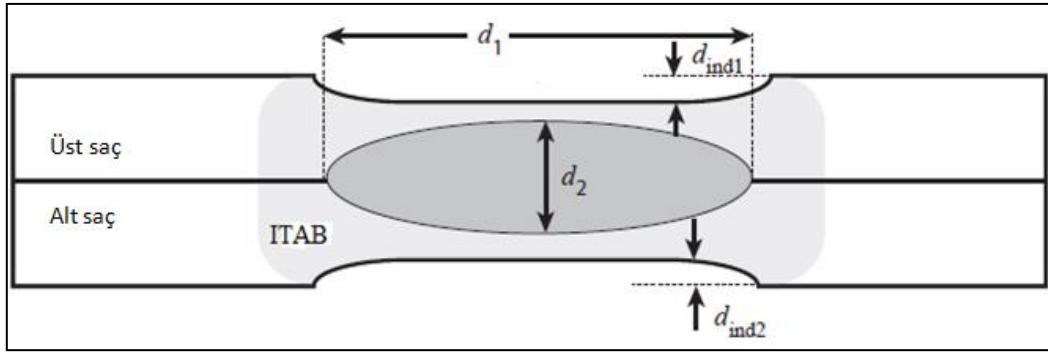
2.4.1. Kaynağın fiziksel / geometrik özellikleri

Genellikle kullanılan fiziksel / geometrik özellikler şunlardır:

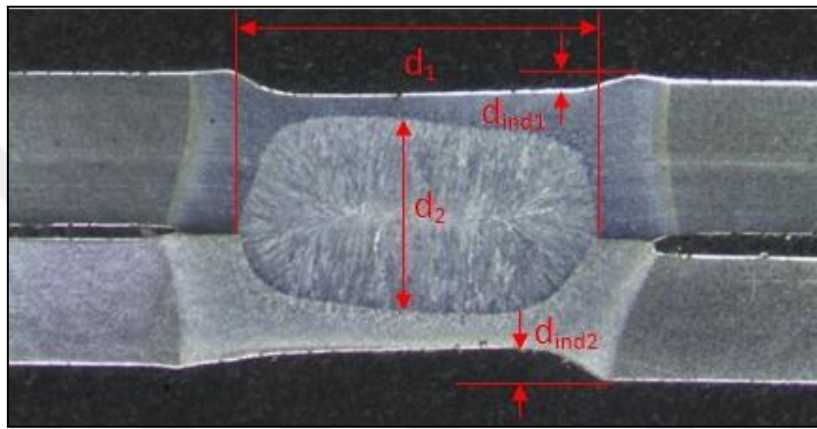
- Çekirdek çapı (d_1)
- Çekirdek yüksekliği (d_2)
- Çekirdek boyut oranı (d_2 / d_1)
- Dalma derinliği ($d_{ind1} + d_{ind2}$)
- Yüzey görünümü
- İç süreksizlikler
- Fıskırma

2.4.1.1. Çekirdek çapı ve yüksekliği

Kaynak çekirdek geometrisi Şekil 2.10.'da [75] şematik olarak, Şekil 2.11.'de ise bu çalışmada kullanılan güncel bir kaynak işlemi üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.10'da da görüldüğü gibi kaynak çekirdeği, çapı ve yüksekliği ile tanımlanır. Bunlardan çekirdek çapı bir nokta kaynağında bağlantının kalitesini değerlendirmede önemli bir ölçüttür ve dayanım üzerinde en fazla etkiye sahip olan özelliktir [70,75,80]. Çekirdek yüksekliğinin de dayanım üzerinde önemli bir etkisi vardır [70]. Bu yüzden araştırmacılar çekirdek çapı ve yüksekliğinin dayanıma etkisini incelemişlerdir. Bununla birlikte literatürde, çekirdeğin dayanım üzerinde ki etkisini incelerken çekirdek boyut oranını [60,61] ve çekirdek alanını referans alan çalışmalar da mevcuttur [10].



Şekil 2.10. Kaynak çekirdek geometrisinin şematik gösterimi



Şekil 2.11. Kaynak çekirdek geometrisi

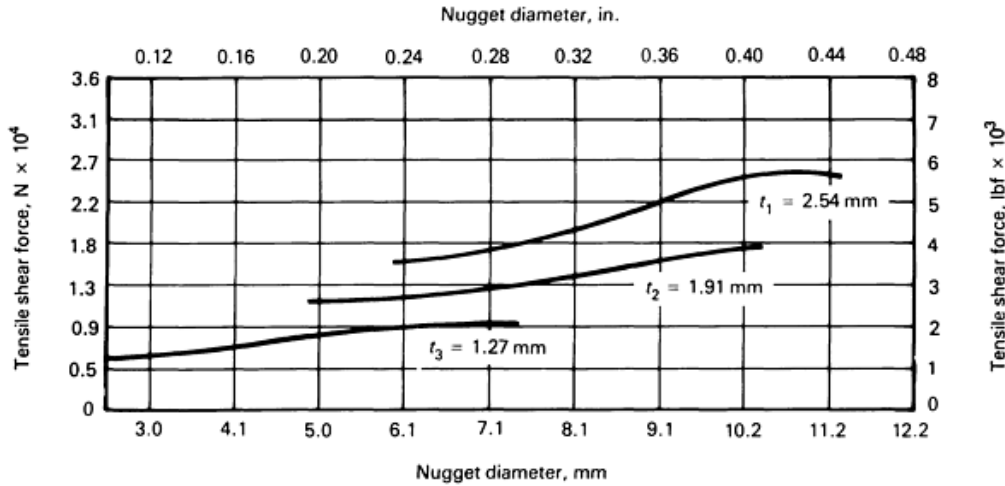
Normal üretim koşullarında güvenilir bir elektrik direnç nokta kaynağı için minimum çekirdek çapı;

$$d_1 = 4s^{0,5} \quad (2.8)$$

olmalıdır [81]. Burada "s" iş parçasının kalınlığıdır.

Genellikle minimum çekirdek yüksekliği olarak birleştirilecek parçaların kalınlığının %20'si kabul edilir. Maksimum değer olarak da birleştirilecek parçaların ince olanının %80'ini aşmamalıdır. Bu sınırı aşan çekirdek yüksekliği; fişkırmaya, aşırı dalma derinliği ve elektrotların daha çabuk deformasyonuna neden olur [76].

Şekil 2.12'de farklı kalınlıktaki düşük karbonlu çelikler için çekirdek çapı ile çekme-makaslama dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram verilmiştir [9].



Şekil 2.12. Düşük karbonlu çeliklerde çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi

2.4.1.2. Çekirdek boyut oranı

Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların çekme dayanımlarına çekirdek boyutlarının etkisini incelerken çekirdek çapı ve çekirdek yüksekliğinin yanı sıra çekirdek boyut oranının da hesaba katılması gereklidir. Çekirdek boyut oranı ise çekirdek yüksekliğinin çekirdek çapına bölümü ile bulunur [82].

2.4.1.3. Dalma derinliği

Kaynak işleminde iş parçalarının sıkıştırılması için elektrotlar tarafından uygulanan basınç nedeniyle malzemelerin yüzeylerinde deformasyon oluşur. Kaynak edilen metallerin yüzeylerinde oluşan bu deformasyon dalma derinliği olarak ifade edilir. Kaynak sonrası çekilen makro fotoğraflarla dalma derinlikleri ölçülebilir. Yüksek elektrot kuvveti, yüksek akım şiddeti ve yüksek kaynak zamanı dalma derinliğini artırır. Standartlara göre dalma derinliğinin toplam malzeme kalınlığının %30'unu aşmaması gerekir [83].

2.4.1.4. Yüzey görünümü

Elektrik direnç nokta kaynağında elektrot yüzeyinin aşınması, elektrot kuvvetinin düşük veya yüksek olması, kaynak akım şiddetinin düşük veya yüksek olması ve iş parçalarının yüzeylerinin kirli olması gibi nedenlerle derin elektrot izi, elektrot

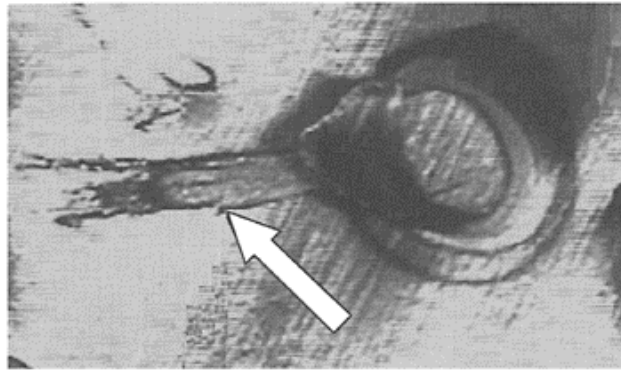
kalıntısı, biçimsiz bir kaynak formu ile çatlaklar ve derin boşluklar oluşabilir. Derin elektrot izi kaynak bölgesinin etrafındaki malzeme kalınlığının azalmasına bağlı olarak dayanımın zayıflamasına ve kötü bir görünüme neden olur. Elektrot kalıntısı kötü bir görünüme, korozyon direncinin azalmasına, eğer fişkırmaya oluşursa dayanımın azalmasına ve elektrot ömrünün kısalmasına neden olur. Biçimsiz bir kaynak formu temas yüzeyinde ki değişime ve fişkırmaya bağlı olarak dayanımın azalmasına neden olur. Çatlaklar ve derin boşluklar kaynak bölgesinin çevresine kadar uzanıyorsa yorulma dayanımını azaltır. Bununla birlikte korozif maddelerin buralarda birikmesi nedeniyle korozyon dayanımı azalır [70].

2.4.1.5. İç süreksizlikler

İç süreksizlikler genellikle düşük elektrot kuvveti, yüksek akım şiddeti gibi nedenlerle oluşan aşırı kaynak ısısının etkisiyle ortaya çıkar. Akım uygulandıktan hemen sonra elektrot kuvvetinin kalkması iç süreksizliklere neden olur.

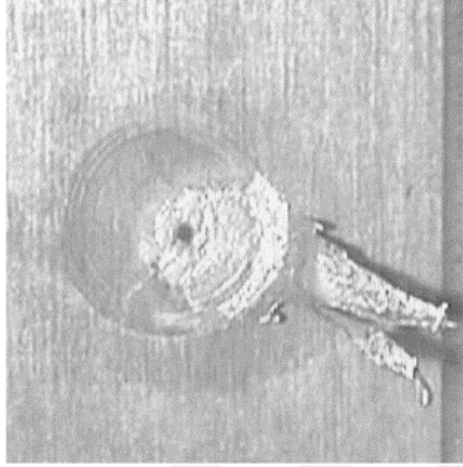
2.4.1.6. Fişkırmaya

Elektrik direnç nokta kaynağında ki başlıca sorunlardan biri olan fişkırmaya sıklıkla uygun olmayan kaynak parametreleri veya bozulmuş elektrotlar ve temas yüzeyinde ki problemler nedeniyle meydana gelir. Bir yandan kaynak çekirdeğinin boyutunu ve dayanımını maksimize etmeye çalışırken diğer yandan fişkırmaya oluşmaması sağlanmalıdır. Çünkü fişkırmaya gözeneklilik, aşırı dalma derinliği ve kötü bir görünüm ile birlikte bağlantının dayanımını düşmesine neden olabilir [20,75].



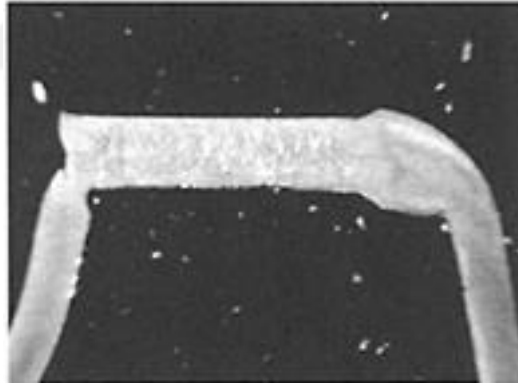
Şekil 2.13. Elektrik direnç nokta kaynağında bir çeliğin yüzeyinde oluşan fişkırmaya

Şekil 2.13. ve şekil 2.14’de fişkıma oluşmuş bağlantılar görülmektedir [70].

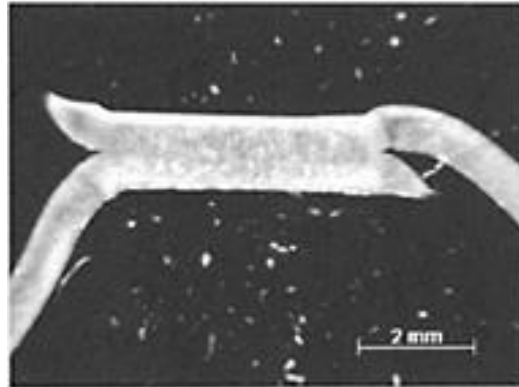


Şekil 2.14. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan bir fişkıma örneği

Şekil 2.15 ve şekil 2.16’da sırasıyla fişkıma oluşmuş ve oluşmamış çekme-makaslama numuneleri görülmektedir [70].



Şekil 2.15. Fişkıma oluşmuş çekme-makaslama numunesi



Şekil 2.16. Fişkıma oluşmamış çekme-makaslama numunesi

2.4.2. Kaynak performansı / dayanımı

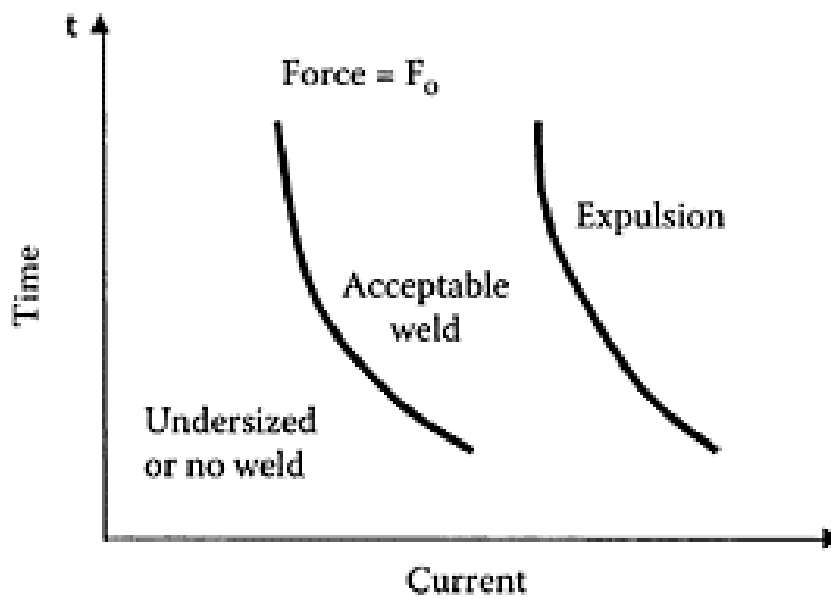
Elektrik direnç nokta kaynağında bağlantının kalitesini belirlemede genellikle kullanılan performans karakteristikleri şunlardır:

- Çekme-makaslama dayanımı
- Çekme-sıyırma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Korozyon direnci

Bu çalışmada elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların performanslarını değerlendirmek için belirlenen performans karakteristikleri çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarıdır.

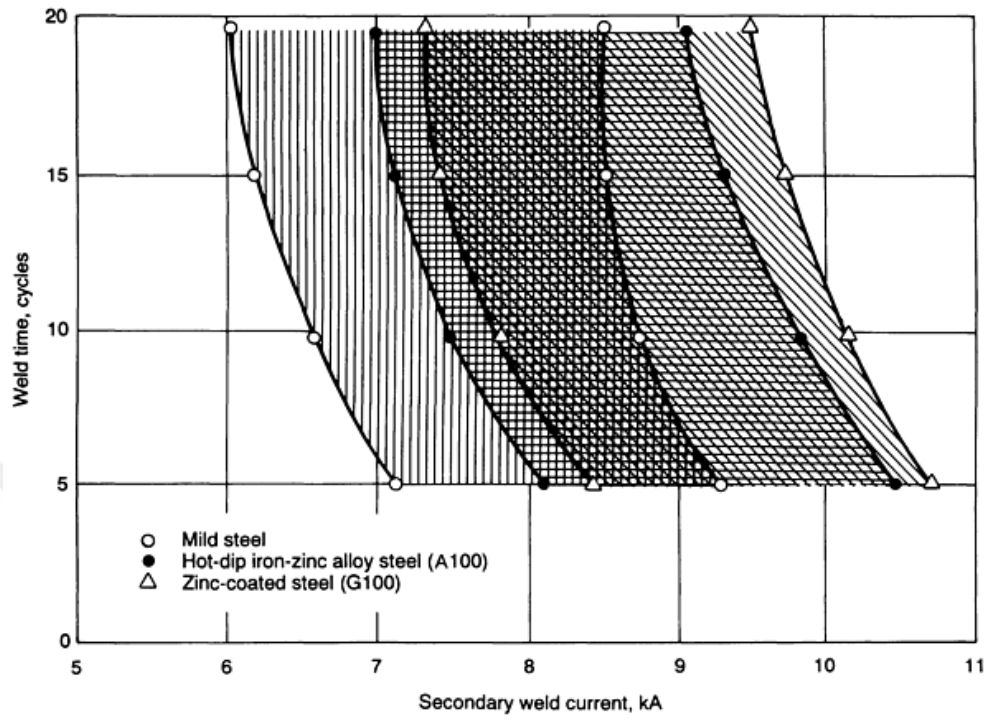
2.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)

Elektrik direnç nokta kaynağında en yaygın kaynak parametreleri kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı ve elektrot kuvvetidir. Bu parametrelerin seçimi ise genellikle kaynak eğrisi (weld lobe) diyagramları kullanılarak yapılır. Şekil 2.17’de bir kaynak eğrisi diyagramı görülmektedir [70].



Şekil 2.17. Bir kaynak eğrisi diyagramı

Şekil 2.18.'de ise farklı malzemeler için kaynak eğrisi diyagramı görülmektedir [9].



Şekil 2.18. Farklı malzemeler için kaynak eğrisi diyagramı

BÖLÜM 3. RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA KULLANILAN MALZEMELER

Raylı sistem araçlarının gövdelerinde yapı malzemesi olarak çoğunlukla çelik kullanılmaktadır. Çelikler arasında ise paslanmaz çelik ve atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin kullanımı oldukça yaygındır.

1930'larda yüksek dayanımlı ostenitik paslanmaz çeliklerin üretilmeye başlanması paslanmaz çeliklerin raylı sistem araçlarında kullanılmasını mümkün kılmıştır. İlk paslanmaz çelik raylı sistem aracı %18 krom ve %8 nikel içeren 18-8 çeliği olarak üretilen bir ostenitik alaşımdan yapılmıştır. Bu çeliklerin kaynağında nispeten yüksek karbon miktarına bağlı olarak yüksek ısı girişinden dolayı ısının tesiri altındaki bölgede krom karbür çökmesi olduğu için ergitme kaynağı yerine elektrik direnç nokta kaynağı kullanılmıştır. Böylece 1934'de 'Edward G. Budd Manufacturing Co.' tarafından raylı sistem araçlarının yeni bir türü üretilmiş ve işletmeye alınmıştır. Şekil 3.1'de paslanmaz çelikten üretilen sözkonusu "Burlington Zephyr" treni görülmektedir [12].



Şekil 3.1. Paslanmaz çelikten üretilen "Burlington Zephyr" treni

Bu gelişmeleri takip eden Amerika'da ki "St. Louis Car Co." ve "Pullman-Standard" şirketleri birlikte binlerce paslanmaz elik yolcu vagonları üretmiştir. 1950'lerin sonlarında Asya'da Japonya, Hindistan ve Güney Kore'de paslanmaz çelikten metro ve konvansiyonel trenler üretilmiştir. Kuzey Amerika'da ise 1970'lerin ortalarında "Bombardier Transportation" firması raylı sistem endüstrisine girerek metro ve şehirlerarası raylı sistem taşımacılığında küresel bir firma olarak gelişmiş ve 1980'lerin başından itibaren paslanmaz elik üzerinde uzmanlaşmışlardır. Avrupa'da geleneksel gereksinimler nedeniyle paslanmaz elik araçlar sınırlı bir popülarite kazanmıştır. Avustralya'da ise paslanmaz elik araçlar üretilmekte ve kullanılmaktadır. 1980'lerde argon-oksijen dekarbrizasyonunun gelişi ile beraber %0,03'den az karbon içeren paslanmaz çeliklerin üretimine başlanmıştır. Bu karbon seviyesi paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan sorunların giderilmesini sağlamıştır [7].

Dubleks paslanmaz çelikler özellikle yüksek kalınlıklarda sağladıkları yüksek dayanıma rağmen ostenitik çeliklere nazaran daha maliyetli olduklarından raylı sistem araçlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca 5 mm'ye kadar olan malzeme kalınlıklarında soğuk şekillendirilmiş ostenitikler dubleks çeliklere kıyasla daha dayanıklıdır. Martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kullanımı ise sınırlıdır [7].

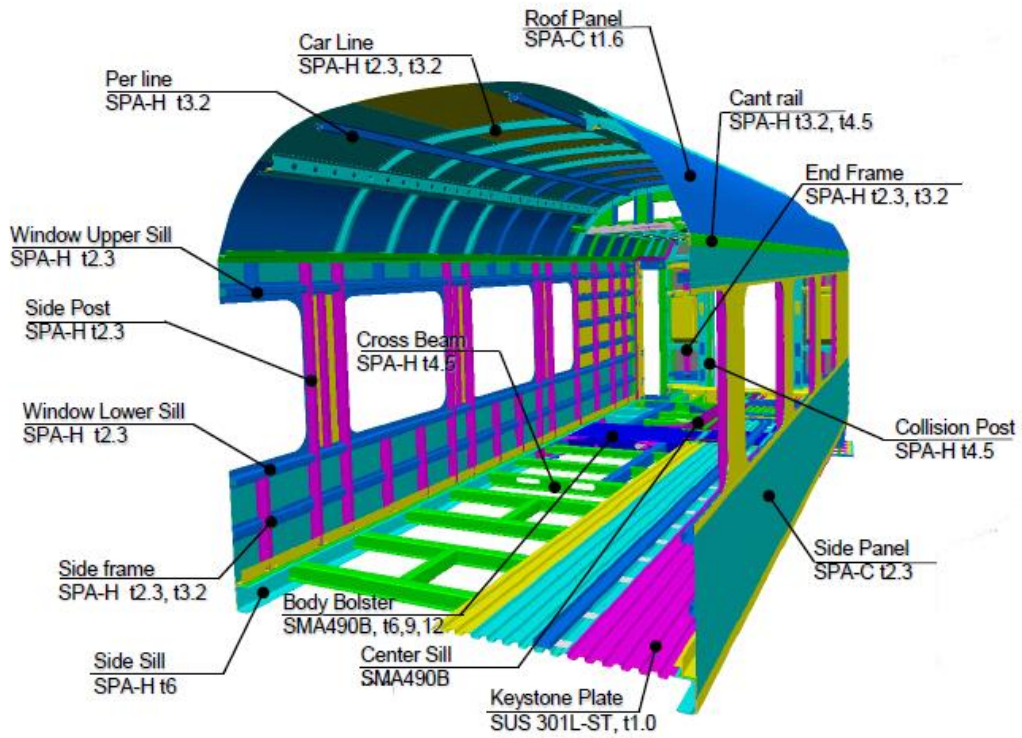
Ostenitik paslanmaz çeliklerin  özelliği direnç kaynağı için önemlidir. Bunlar elektriksel direnç, ısıl iletkenlik ve ısıl uzama katsayısıdır. Karbon çelikleriyle karşılaştırıldığında ostenitik paslanmaz çelikler beş kat daha büyük elektriksel dirence, üç kat daha küçük ısıl iletkenliğe ve bir bl üç kat daha büyük ısıl uzama katsayısına sahiptir.

şekil 3.2'de raylı sistem araçlarının yan duvarında kullanılan paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi gösterilmektedir [4].



Şekil 3.2. Raylı sistem aracı yan duvar kaynak hattı

Şekil 3.3’de ise Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.’de (TÜVASAŞ) üretilen bir raylı sistem aracının gövdesinde kullanılan paslanmaz çelikler ve atmosferik korozyona dayanıklı çelikler gösterilmektedir.



Şekil 3.3. TÜVASAŞ’da üretilen bir raylı sistem araç gövdesinde kullanılan çelikler

Tablo 3.1’de ise TÜVASAŞ’da üretilen raylı sistem araçlarının gövdesinde kullanılan çeliklere ait özellikler gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Raylı sistem araçlarında kullanılan malzemelerin özellikleri

JIS Standartı		DIN Standartı		Kullanıldığı Bölüm
Malzeme Adı	Standart No	Malzeme Adı	Standart No	
SMA490B (Akma Dayanımı Min. 365 Mpa)	JIS G 3114	S355J2W (Akma Dayanımı Min. 355 Mpa)	DIN EN 10025-2005	Şasi
SPA-H (SPA-C) (Akma Dayanımı Min. 355(315) Mpa)	JIS G 3125	S355J0WP veya S355J2WP (Akma Dayanımı Min. 355 Mpa)	DIN EN 10025-2005	Yan duvar, Tavan
SUS301L-ST(1/2H) (Akma Dayanımı Min. 410 Mpa)	JIS G 4305	X2CrNi18-7	DIN veya EN, Çelik No 1,4318	Tavan
SUS304 (Akma Dayanımı Min. 205 Mpa)	JIS G 4305	X5CrNi18-10	DIN veya EN, Çelik No 1,4301	Bağlantı elemanı
SS400	JIS G 3101	S235J0W or S235J2W	DIN EN 10025-2005	Bağlantı elemanı

3.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci esas olarak içeriğinde ki %10 ve üzerinde ki krom miktarına bağlıdır. Nikel de %2 ile %35 arasında alaşım elementi olarak kullanılır [6].

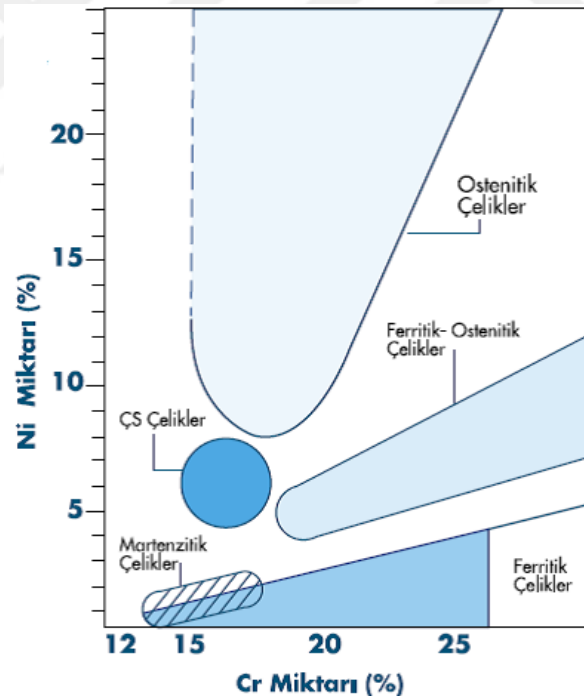
Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımli türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımli türleri ise asit, alkali çözeltileri ile

klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir [84].

Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Ostenitik
- Ferritik-Ostenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar

Şekil 3.4'de değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları gösterilmiştir [84].



Şekil 3.4. Krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çelik türleri

Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve %12 - 18 arası krom içeren paslanmaz çeliklerdir. Orta ve iyi derecede korozyon dayanımına sahiptirler. Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür [84].

Karbon miktarı % 0,1 den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda ostenitik içyapıya sahiptirler. Ostenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen martenzitik paslanmaz çeliklerde yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler. Isıl işlem uygulanabilir, böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir. Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür [84].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, bileşimlerinde %12 – 25 Cr ve % 8 – 25 Ni içerirler. Nikel, kuvvetli ostenit yapıcı element olduğundan, bu çeliklerde katılaşma esnasında ostenit, oda sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde bile dönüşmeden kalır. Bu grup paslanmaz çelikler içinde en fazla tanınan ve yaygın uygulama alanı bulan, bileşiminde % 18 Cr ve %8 Ni içeren 18 / 8 çeliğidir. Antimagnetik olan bu tür paslanmaz çeliklere korozyon direncini artırmak için katılan alaşım elementleri ve etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Çukur ve çatlaklardaki korozyonu önlemek için molibden ilavesi
- Kaynak edilmiş parçalarda taneler arası korozyonu önlemek için karbon miktarının azaltılması veya titanyum, niyobyum ve tantalyum gibi stabilizasyon elementleri ilavesi
- Yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini yükseltmek için krom ve nikel miktarlarının artırılması
- Gerilmeli korozyonu önlemek için nikel miktarının artırılması [2].

Ostenitik-ferritik (dubleks) paslanmaz çelikler yüksek oranda krom (%18-28) ve orta miktarda nikel (%4,5-8) içeren çeliklerdir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün içyapının ostenitik olması için yetersizdir. Ferrit ve ostenit fazlarından oluşan içyapı nedeniyle çelikler dubleks olarak adlandırılır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içerir. Bunlar hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlarlar. Ayrıca korozif ortamlarda dahi çok uygun yorulma dayanımları vardır. Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptirler. Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım gösterirler. Ostenitik ve

ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım sağlarlar. İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır [84].

Çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir paslanmaz çeliklerin içyapıları ostenitik, yarı-ostenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MP'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Orta ila iyi derecede korozyon dayanımı vardır. Çok yüksek mekanik dayanım gösterirler. Kaynak edilebilme kabiliyetleri iyidir [84].

3.2. Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelikler

Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler, karbon miktarı % 0,2'den az olan ve bakır, krom, nikel, fosfor, silisyum ve mangan gibi alaşım elementlerinin toplam miktarı % 3-5'den fazla olmayan çeliklerdir [85,86]. Atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclarda korozyon dayanımı, çeliğin bileşimine yaklaşık olarak %0,35 oranında bakır ilave edilmesiyle elde edilir [9].

ASTM [87,88,89] tarafından standardize edilmiş farklı alaşım kompozisyonlarında atmosferik korozyona dayanıklı çelikler mevcuttur. Bu çeliklerden ilk standardize edileni %1,5 olan WS A242, en son standardize edilen ise alaşım elementlerinin toplamı %5 olan WS A709-HPS 100W'dir. Tablo 3.2'de CORTEN A ve CORTEN B çeliklerinin kimyasal bileşimi verilmektedir [85].

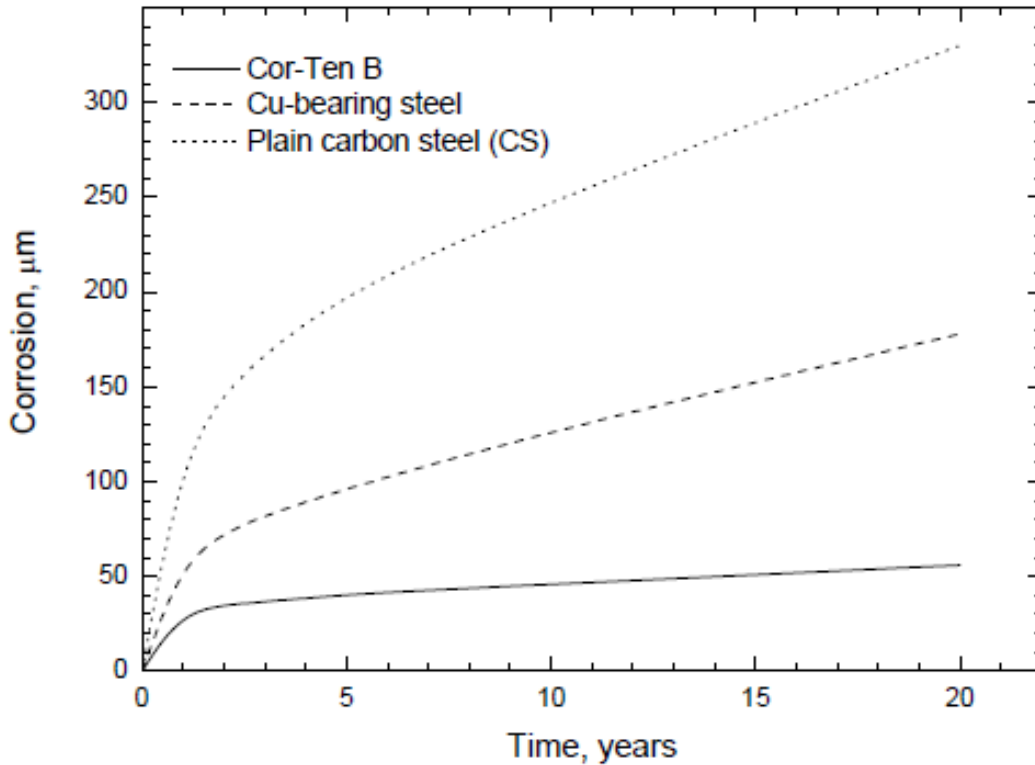
Tablo 3.2. Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin kimyasal bileşimleri

Atmosferik korozyona dayanıklı çelik	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V
ASTM A-242 (CORTEN A)	≤0.15		≤1.00	≤0.15	< 0.05	0.25-0.40	0.50-0.80	0.50-0.65	
ASTM A-588 Gr.A (CORTEN B)	≤0.19	0.30-0.65	0.80-1.25	≤0.04	<0.05	0.25-0.40	0.40-0.65	0.02-0.30	0.02-0.10

1910'da Amerika'da üretilen %0,07 bakır içeren çelik levhanın farklı korozif etkilere sahip üç ortamda test edilmesi sonucu, atmosferik korozyon direncinin karbon çeliklerine nazaran %1,5-2 daha iyi olduğu belirlenmiştir [85,90].

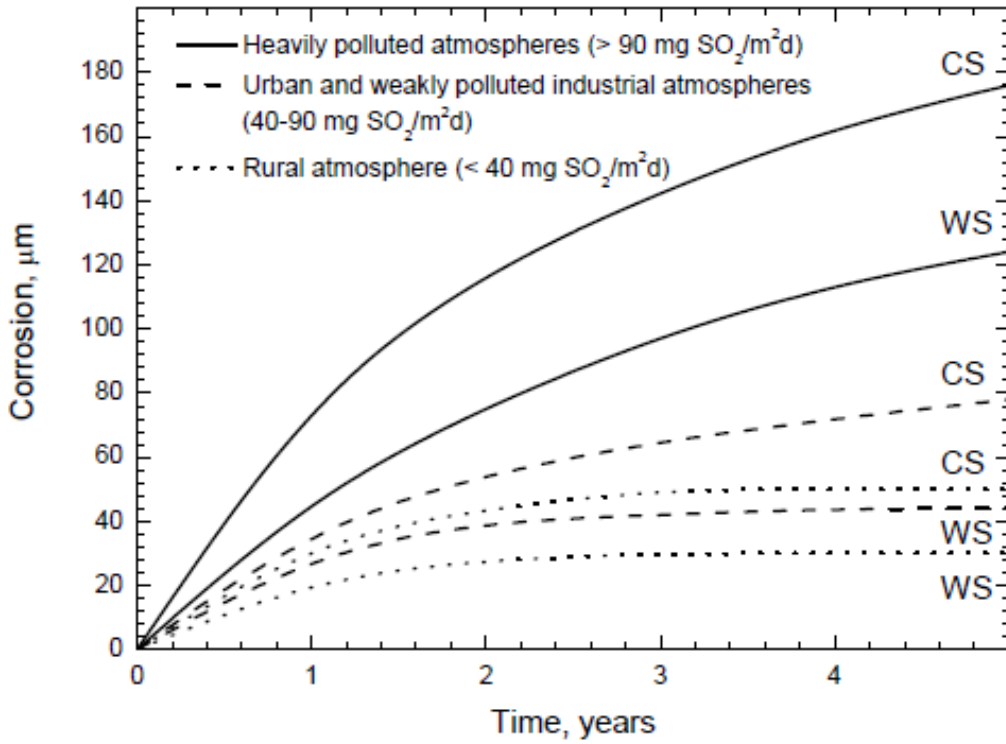
Bakırın bu kapasitesi atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin ve yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerin geliştirilmesine öncülük etmiştir [85,91].

1920'de demiryolu endüstrisi için tasarlanan yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerin yeni bir türü üretilmiştir. 1933'de Cor-Ten ticari markasıyla üretilen atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin ismindeki "Cor" ifadesi karbon çeliklerinden daha iyi korozyon direncine sahip olmasını, "Ten" ifadesi ise bakır çeliklerinden daha üstün mekanik özelliklere sahip olmasını simgeler. Bu çelikler geleneksel karbon çeliklerine kıyasla %30 geliştirilmiş mekanik özelliklere sahiptir. Şekil 3.5'de bu üç çeliğin korozyon dirençleri gösterilmiştir [85,92].



Şekil 3.5. Farklı çeliklerin korozyon dayanımları

Şekil 3.6'da atmosferik korozyona dayanıklı çelik (WS) ve karbon çeliğinin (CS) farklı atmosfer koşullarında korozyona uğrama hızları gösterilmiştir [85,93].



Şekil 3.6. Farklı çeliklerin farklı atmosfer şartlarında korozyon dayanımları

Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler, karbon çeliklerine göre yaklaşık iki kat daha fazla atmosferik korozyon direncine sahiptir. Bu tür saclar atmosferik korozyona dirençli olmalarına rağmen su altında diğer yapı çeliklerinden daha iyi değildir [94].

3.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Bir metalik malzemenin, verilen bir kaynak yöntemi ile bir amaç için bir dereceye kadar kaynak yapılabildiği kabul edilir. Uygun bir yöntem kullanarak kaynaklı bir metalik bağlantı elde edildiği zaman bu bağlantı gerek yerel özellikleri gerekse bunların konstrüksiyona etkileri bakımından, önceden belirlenen koşulları yerine getirmelidir.

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilecek olan parçalarda, I akım şiddeti, R omik direnç ve t akımın uygulanma süresine bağlı olarak ortaya çıkan Joule etkisi sonucu bir ısı oluşur.

Bu ısı şu şekilde ifade edilir:

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

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

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyetine, malzemenin ısı iletkenliği ve erime noktası da etki eder. Isıl iletkenliğinin yüksek olması, kaynak için gerekli olan ısı yoğunlaşmasını zorlaştırır. Bu nedenle ısı iletme kabiliyeti yüksek bir malzemenin nokta kaynağı kabiliyeti de düşüktür. Aynı şekilde erime noktasının büyük olması, kaynak için gerekli ısı miktarının yükselmesine neden olur [2,60].

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyeti aşağıdaki ampirik ifade ile bulunur.

$$S = \frac{10^4}{\lambda \alpha t_e} \quad (3.2)$$

Burada;

S: Kaynak kabiliyeti faktörü

α : Kaynak yapılan malzemenin elektrik iletkenliği

λ : Kaynak yapılan malzemenin ısı iletkenliği

t_e : Kaynak yapılan malzemenin ergime noktası ($^{\circ}\text{C}$)'dir.

Denklem 3.2. ile bulunan kaynak kabiliyeti faktörüne bağlı olarak elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyeti tablo 3.3'deki gibi değerlendirilir. Tablo 3.4'de ise bazı malzemelerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyetleri görülmektedir [95].

Tablo 3.3. Kaynak kabiliyeti

Kaynak Kabiliyeti Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
0,25'den küçük	Kötü
0,25 – 0,75	Yeterli
0,75 – 2,00	İyi
2,00'den büyük	Çok iyi

Tablo 3.4. Bazı malzemelerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyetleri

Malzeme	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)	Isıl İletkenliği (cal/cms°C)	Erime noktası (°C)	Kaynak kabiliyeti faktörü	Kaynak kabiliyeti durumu
Karbonlu çelik	6,0	0,12	1490	9,3	Çok iyi
Feritik paslanmaz çelik	5,7	0,07	1450	17,2	Çok iyi
Ostenitik paslanmaz çelik	3,5	0,05	1420	40,2	Çok iyi

3.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar düşük karbonlu çeliklerdir. Karbon oranı, bu çeliklerin kaynak kabiliyetini de belirler. Kaynak kabiliyeti, çeliğin bileşimi, ısının tesiri altındaki bölgedeki ilgili mikro yapılar ve bu bölgedeki uygun olmayan mikro yapılardan kaçınma yeteneği ile belirlenir.

Karbonlu çeliklere, tüm direnç kaynağı yöntemleri başarıyla uygulanabilir. Özellikle %0.15 veya daha düşük karbon içerikli çelikler, kolayca direnç nokta kaynağıyla birleştirilebilirler [2, 96].

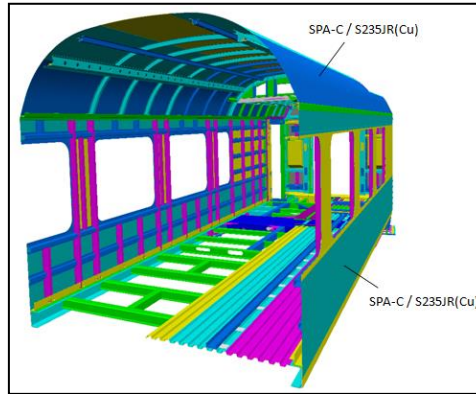
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Genel

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak kullanılan iki tür atmosferik korozyona dayanıklı çelik sac, aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmek suretiyle nokta kaynak bağlantılı numune serileri elde edilmiştir. Deneyleerde kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmıştır. Elde edilen bağlantıların dayanım değerlerini belirlemek için her bir seri çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca sertlik, mikro ve makro yapı incelemesi yapılmıştır.

4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri

Deney malzemesi olarak Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.'de (TÜVASAŞ) üretilen raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar kullanılmıştır. Şekil 4.1'de bu sacların raylı sistem araç gövdesinde kullanıldığı yerler gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Raylı sistem araç gövdesi

Deneylerde kullanılan 2,3 mm kalınlığındaki SPA-C ve 2 mm kalınlığındaki S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi (%)

Malzeme	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Al	Cu
SPA-C	0,0997	0,397	0,433	0,0913	0,605	0,257	0,0450	0,331
S235JR(Cu)	0,0902	0,164	0,513	0,0149	0,0183	0,0481	0,0349	0,273

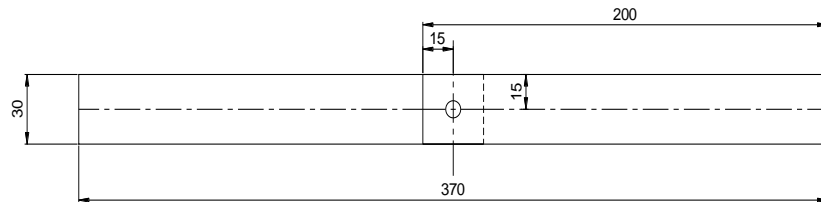
Tablo 4.2. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
SPA-C	430	550	45
S235JR(Cu)	320	435	52

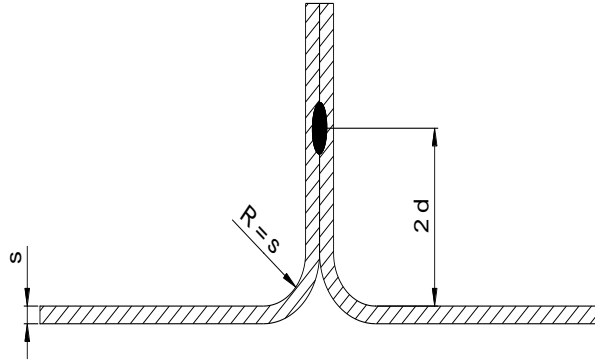
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Boyutları

Deney parçaları, giyotin makas ile (200x30) mm boyutlarında kesildikten sonra, derin bir kap içerisinde %96 saflıktaki etil alkol içerisinde yıkanmış ve temiz bir bezle silinerek yüzeyleri yağ, pas ve kir gibi yabancı maddelerden arındırılmıştır.

Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deney numunelerinin boyutları sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deney numuneleri sırasıyla EN ISO 14273 [97] ve EN ISO 14270 [98] standartlarına göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. Çekme-makaslama deney numuneleri



Şekil 4.3. Çekme-sıyırma deney numuneleri

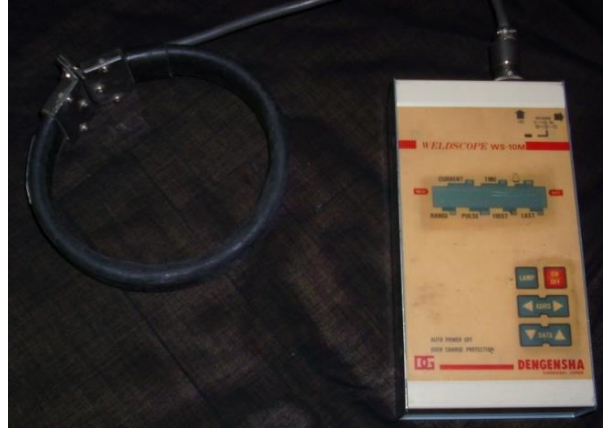
4.4. Deneyleerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi

Deneyleerde, tek kollu, 120 kVA gücünde elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömomatik basma tertibatlı elektrik direnç nokta kaynağı makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanı, sıkıştırma ve tutma süreleri, makinenin kendi elektronik donanımları aracılığıyla ayarlanmıştır. Şekil 4.4'de, deneyleerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynak makinesi gösterilmektedir.

Kaynak akım şiddeti değerleri, kaynak makinesinin üst koluna yerleştirilen toroidal bir bobin vasıtasıyla ölçülmüştür. Şekil 4.5'de akım şiddeti ölçüm cihazı gösterilmektedir.



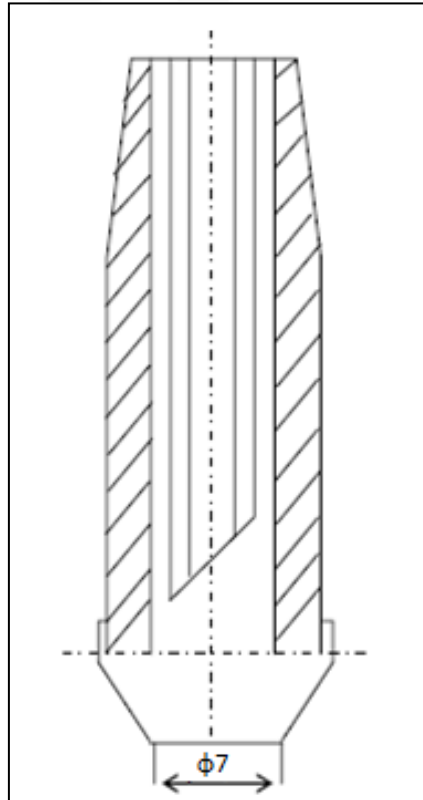
Şekil 4.4. Deneyleerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi



Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan akım şiddeti ölçüm cihazı

4.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları

Deneylerde, uç çapı 7 mm. olan bakır – krom – zirkonyum alaşımı elektrotlar (CRM 16X-CuCrZr; Malzeme no:2.1293; RWMA / DIN 44759 Sınıf 2) kullanılmıştır. Tablo 4.3’de elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri, Şekil 4.6’da ise elektrotların boyutları [2] verilmiştir.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan elektrotların boyutları

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri

Alaşım	Kimyasal Bileşim (%)	Isıl İletkenlik (J/Cms°K)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)	Çekme Dayanımı (MPa)
CuCrZr	Cr > 0,4 Zr > 0,03 g.k. Cu	320	48	590

4.6. Ön Deneylerin Yapılması

Deney parçaları, çalışma aralığının seçilebilmesi amacıyla üst üste bindirilerek kaynak edilmiştir. Şekil 4.7’de ön deney numuneleri gösterilmiştir.

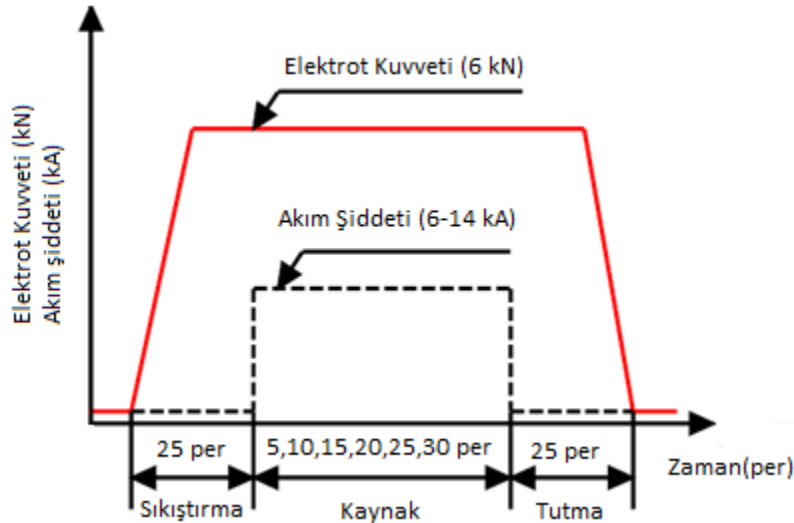


Şekil 4.7. Ön deney numuneleri

Ön deneylerde 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyotluk kaynak sürelerinde kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük değerden (6 kA) malzemelerin delindiği en büyük değere (14 kA) kadar kaynak yapılmıştır. Kaynak işleminin gerçekleşmesi keski testi ile tespit edilmiştir.

4.7. Deneilerin Yapılması

Deney parçaları, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilen boyutlarda hazırlanıp temizlendikten sonra kaynak edilmiştir. Elektrot kuvveti tüm deney boyunca 6 kN değerinde sabit tutulmuş ve sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kaynak zamanı 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma ve tutma süreleri 25 periyot olarak sabit tutulmuştur. Kaynak akım şiddeti 6 kA’den 14 kA’ye kadar 0,5 kA artırılarak değiştirilmiştir. Şekil 4.8’de deneylerde uygulanan kaynak parametreleri gösterilmiş ve deneyler EN ISO 14373 [99] standartına göre yapılmıştır.



Şekil 4.8. Deney parametreleri

Yapılan kaynak işlemlerine ait bazı resimler Şekil 4.9 ve 4.10 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Çekme-makaslama deney numuneleri



Şekil 4.10. Çekme-sıyırma deney numuneleri

Her deney koşulunda yedi seri olarak elektrik direnç nokta kaynak bağlantılı parçalar elde edilmiştir. İlk üç seri çekme-makaslama, dört, beş ve altıncı seriler çekme-sıyırma deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro vickers sertlik ölçümleri ile çekirdek boyut ölçümlerinin yapılması, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikro yapı fotoğraflarının çekilmesi için kullanılmıştır.

4.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri



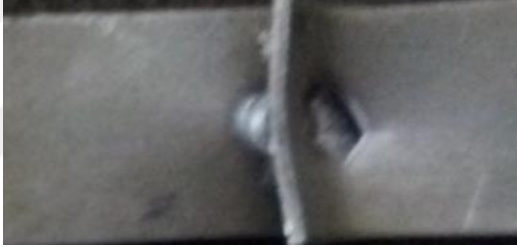



Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'e göre kaynak edilen parçalar, laboratuvar koşullarında 5 ton kapasiteli "Shimadzu" marka çekme makinasında (şekil 4.11) çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerine tabi tutulmuştur.

Çekme deneyleri sırasında çekme hızı 10 mm/dk olarak belirlenmiştir. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımı olarak verilen değerler, çekme makinesinin kontrol ünitesindeki kuvvet – zaman grafiğinden okunan maksimum değerlerdir. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde üç farklı hasar tipi meydana gelmiştir:

- a) Ayrılma
- b) Dügmenleme
- c) Yırtılma

Tablo 4.4’de ayrılma, düğmelenme ve yırtılma tipi hasar oluşan bazı numuneler gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde oluşan hasar tipleri

Deney Adı	Kopma Tipi	
Çekme- Makaslama	Ayrılma	
Çekme- Makaslama	Düğmelenme	
Çekme- Makaslama	Yırtılma	
Çekme- Sıyırma	Ayrılma	
Çekme- Sıyırma	Düğmelenme	
Çekme- Sıyırma	Yırtılma	



Şekil 4.11. Deneylerde kullanılan çekme cihazı

4.9. Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskopu ile Yapılan Çalışmalar

Deney parçalarının her birinden alınan numuneler, mekanik olarak çekirdek ortasından kesilmiş ve bakalit içine gömülmüştür. Bakalit içerisindeki bu numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra %2 çözeltili nitrik asit ile dağlanmıştır. Esas metallerin, kaynak çekirdeğinin ve ısının tesiri altındaki bölgelerin (ITAB) optik ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak mikro yapı fotoğrafları çekilmiş ve kaynak sonrası oluşan içyapı değişimleri incelenmiştir. Mikro yapı incelemeleri şekil 4.12’de gösterilen Nikon marka optik mikroskopta yapılmıştır.



Şekil 4.12. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop

Taramalı elektron mikroskobu çalışmalarında şekil 4.13’de gösterilen “JEOL JSM-6060LV” cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM)

4.10. Çekirdek Boyutlarının Ölçümü

Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının çekirdek boyutları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, kaynak çekirdeğinin makro fotoğrafları çekilerek çekirdek boyutları ölçülmüştür. Ölçümler Şekil 4.14’de gösterilen Nikon marka optik mikroskopla EN ISO 14329 standartına göre yapılmıştır [100].



Şekil 4.14. Makroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop

4.11. Sertlik Değerlerinin Ölçümü

Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının bağlantının sertliğine etkisini incelemek amacıyla, her bir numunenin sertlik değerleri mikro vickers sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümler çekirdek enine ve boyuna kesitinde esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak çekirdeğini içerisine alacak şekilde yapılmıştır. Sertlik ölçümleri şekil 4.15’de görülen Wolpert-Wilson marka cihaz ile EN ISO 14271 standartına göre yapılmıştır [101]. Laboratuvar koşullarında yapılmış bütün sertlik ölçümleri mikro vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış ve 100 g yük ve piramit batıcı uç 10 s süreyle uygulanmıştır.



Şekil 4.15. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme cihazı

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ

5.1. Genel

Bu çalışmada, 2,3 mm kalınlığında SPA-C ve 2 mm kalınlığında S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların aynı türler kendi aralarında eşleştirilmek suretiyle elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak akım şiddeti ile kaynak zamanının ve bu değişkenlere bağlı olarak çekirdek geometrisinin bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımına, sertlik dağılımına ve makro-mikro yapısına etkileri araştırılmıştır. Deney malzemeleri raylı sistem araçlarının gövdelerinde kullanılan çelik saclardır. Deneyler laboratuvar koşullarında yapılmıştır.

5.2. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

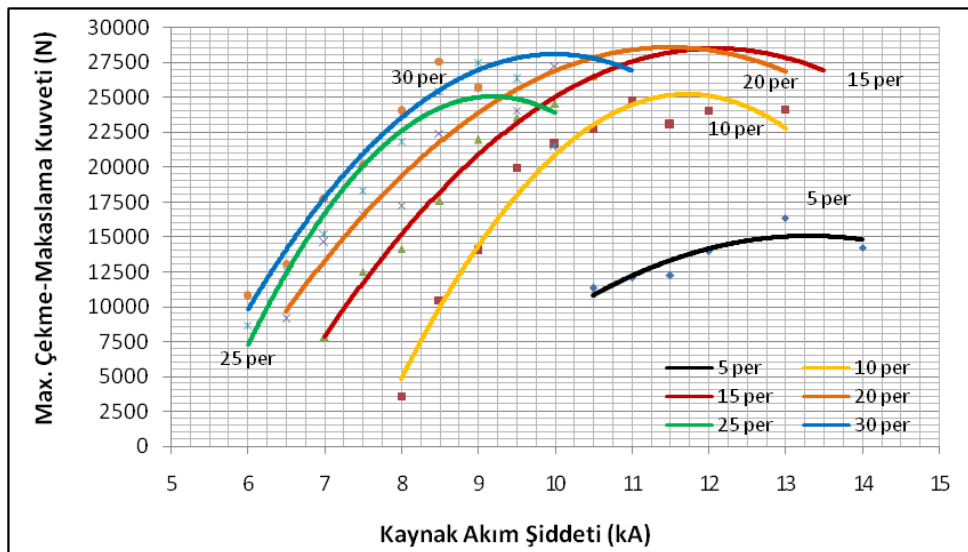
Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının bağlantıların çekme dayanımı üzerine etkisini incelemek için numunelere EN ISO 14273 [97] standartına göre çekme-makaslama ve EN ISO 14270 [98] standartına göre çekme-sıyırma deneyleri yapılmıştır. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde her bir parametre için üç numune test edilmiş ve sonuçlar üç numunenin ortalaması alınarak bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvveti olarak verilmiştir.

Bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarını belirlemek için 6 kA, 6,5 kA, 7 kA, 7,5 kA, 8 kA, 8,5 kA, 9 kA, 9,5 kA, 10 kA, 10,5 kA, 11 kA, 11,5 kA, 12 kA, 12,5 kA, 13 kA, 13,5 kA ve 14 kA kaynak akım şiddeti 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanında deney parçalarına uygulanmıştır.

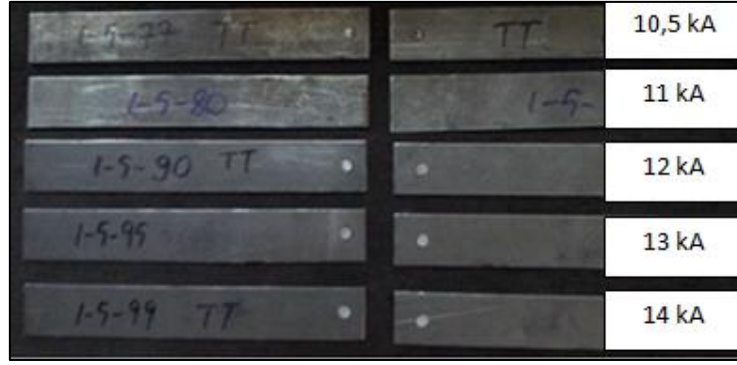
5.2.1. Kaynak akım şiddetinin SPA-C bağlantılarının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte çekme-makaslama dayanımı da artmaktadır. Maksimum çekme-makaslama kuvvetine 30 periyot (per) kaynak zamanı ve 8,5 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülür [102]. 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantıların çekme-makaslama dayanımları oldukça düşüktür. Şekil 5.2'de 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantılar gösterilmektedir. İstenen çekme-makaslama dayanımına sahip bağlantılar 10 periyot kaynak zamanında 9-11 kA arasında; 15 periyot kaynak zamanında 8-10,5 kA arasında; 20 periyot kaynak zamanında 7-10 kA arasında; 25 periyot kaynak zamanında 7-9 kA arasında; 30 periyot kaynak zamanında 7-8,5 kA arasında elde edilmiştir. Bu değerlerden sonra ısı girdisinin oldukça artması nedeniyle dalma derinliği ve fişkırmalar artmıştır. Bu yüzden malzeme ara kesitinde erime artmıştır. Bir diğer ifade ile kesit daralmıştır. Buna bağlı olarak çekme-makaslama kuvveti hızla düşmüştür. Bununla birlikte elektrot yapışması, derin elektrot izleri ve aşırı renklenme görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [15,25,41,60,62].

Tablo 5.1'de derin elektrot izleri, renklenme ve fişkıрма meydana gelmiş bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.



Şekil 5.1.SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi



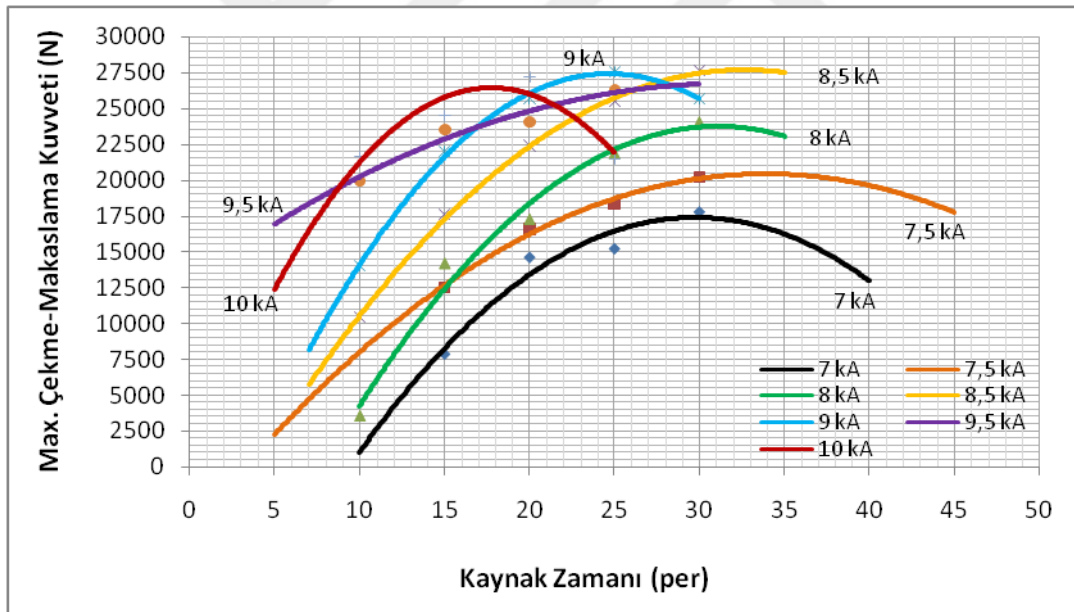
Şekil 5.2. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanında oluşan çekme-makaslama numuneleri

Tablo 5.1. SPA-C bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
10	11,5	Fışkıрма	
15	10,5	Fışkıрма	
20	10	Fışkıрма	
25	9,5	Fışkıрма	
30	9	Fışkıрма	
25	10	Derin elektrot izi / Renklenme	
25	10	Fışkıрма	
25	9	Derin elektrot izi / Renklenme	
30	8,5	Derin elektrot izi / Renklenme	
20	9	Derin elektrot izi / Renklenme	
15	9,5	Derin elektrot izi / Renklenme	

5.2.2. Kaynak zamanının SPA-C bağlantılarının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla kaynak bölgesine verilen ısının artması sebebiyle çekme-makaslama dayanımı da artar. İstenen çekme-makaslama dayanımına sahip bağlantılar 7, 7,5 ve 8 kA akım şiddetlerinde 20-30 periyot arası; 8,5 ve 9 kA akım şiddetlerinde 15-30 periyot arası; 9,5 kA akım şiddetinde 10-25 periyot arası ve 10 kA akım şiddetinde 10-20 periyot arası elde edilmiştir. 5 periyot kaynak zamanında istenen dayanım değerine sahip bağlantı elde edilememiştir. Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonra çekirdek kesitinden fişkırmaların ortaya çıkmasıyla birlikte çekme-makaslama dayanımı değerlerinde hızlı bir düşüş görülmektedir [103]. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,44,47,60,63].

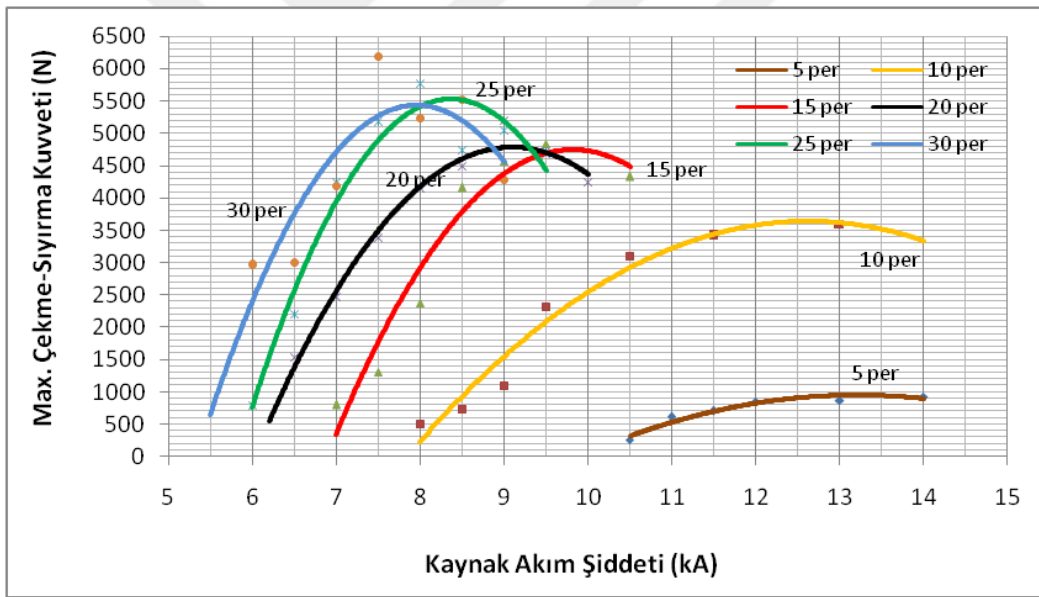


Şekil 5.3.SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

5.2.3. Kaynak akım şiddetinin SPA-C bağlantılarının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. 5 periyot kaynak zamanında istenen bağlantı elde

edilememiştir. Şekil 5.5’de 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantılar gösterilmektedir. 10 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları 15, 20 ve 25 periyota göre daha düşüktür. 15 periyot kaynak zamanında 8,5 kA, 9 kA ve 9,5 kA’de; 20 periyot kaynak zamanında 7,5 kA, 8 kA, 8,5 kA ve 9 kA’de; 25 periyot kaynak zamanında 7 kA, 7,5 kA ve 8 kA’de; 30 periyot kaynak zamanında 6,5 kA, 7 kA ve 7,5 kA’de istenen çekme-sıyırma dayanımına sahip bağlantılar elde edilmiştir. Maksimum çekme-sıyırma dayanımına 30 periyot kaynak zamanı ve 7,5 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülmektedir. Bu değerlerden sonra ısı girdisinin oldukça artması nedeniyle çekirdek kesitinde fişkirmalar ortaya çıkmış ve çekme-sıyırma dayanımı hızla düşmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,60,62].




Şekil 5.4. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.5. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanında oluşan çekme-sıyırma numuneleri

Tablo 5.2’de fişkıma meydana gelmiş bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.

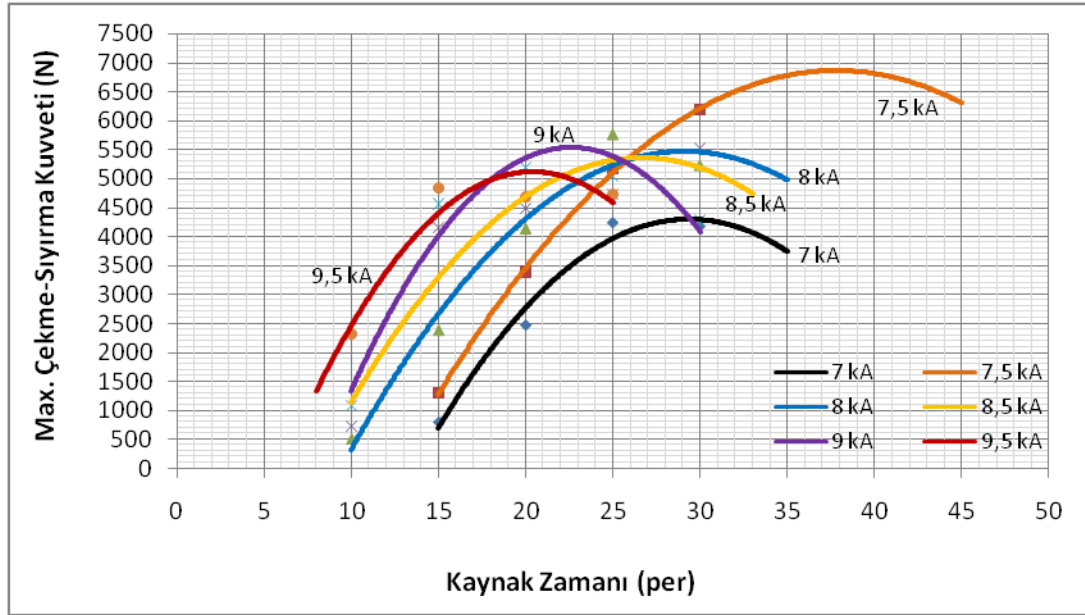
Tablo 5.2. SPA-C bağlantılarda fişkıma oluşan çekme-sıyırma numuneleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
10	10,5	Fişkıma	
10	11	Fişkıma	
10	11,5	Fişkıma	
15	9,5	Fişkıma	
15	10	Fişkıma	
20	9,5	Fişkıma	
20	10	Fişkıma	
25	9,5	Fişkıma	
30	9	Fişkıma	

5.2.4. Kaynak zamanının SPA-C bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.6.’da görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla kaynak bölgesine verilen ısının artması sebebiyle çekme-sıyırma dayanımı da artar. İstenen çekme-sıyırma dayanımına sahip bağlantılar 7 kA akım şiddetinde 25-30 periyot arası; 7,5 ve 8 kA akım şiddetlerinde 20-30 periyot arası; 8,5 kA akım şiddetinde 20-25 periyot arası; 9

ve 9,5 kA akım şiddetlerinde 15-20 periyot arası elde edilmiştir. 5 periyot kaynak zamanında istenen bağlantı elde edilememiştir. Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonra aşırı dalma derinliği ve fişkırmalar ortaya çıkmıştır. Bu durum çekme-sıyırma dayanımının azalmasına yol açmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,60,63].



Şekil 5.6. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi






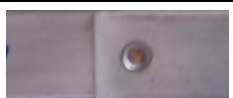



5.3. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

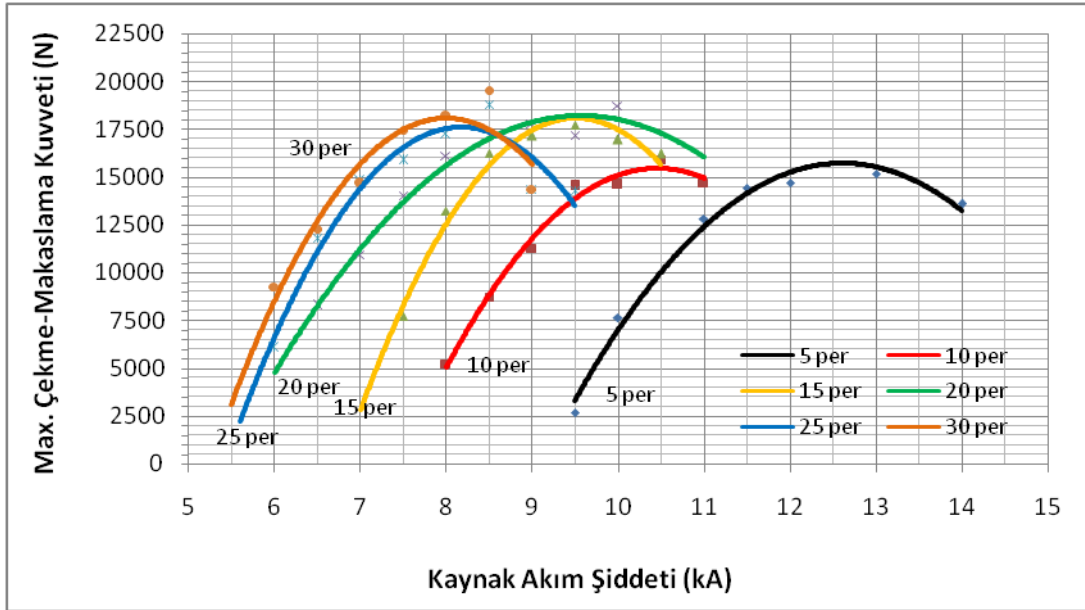
5.3.1. Kaynak akım şiddetinin S235JR(Cu) bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi S235JR(Cu) bağlantılarda akım şiddetinin artmasıyla birlikte çekme-makaslama dayanımının arttığı ve maksimum çekme-makaslama kuvvetine 30 periyot kaynak zamanı ve 8 kA akım şiddetinde ulaşıldığı görülür [104]. İstenen çekme-makaslama dayanımına sahip bağlantılar 5 periyot kaynak zamanında 11 kA, 11,5 kA ve 12 kA'de, 10 periyot kaynak zamanında 9 kA, 9,5 kA, 10 kA ve 10,5 kA'de, 15 periyot kaynak zamanında 8 kA, 8,5 kA ve 9 kA'de, 20 periyot kaynak zamanında 7 kA, 7,5 kA, 8 kA, 8,5 kA ve 9 kA'de, 25 periyot kaynak

zamanında 6,5 kA, 7 kA, 7,5 kA ve 8 kA'de, 30 periyot kaynak zamanında 6,5 kA, 7 kA, 7,5 kA ve 8 kA'de elde edilmiştir. Her bir periyot için kaynak akım şiddetinin belirli bir değerinden sonra çekme-sıyırma dayanımı azalmıştır. Aşırı ısı girdisi aşırı dalma derinliğine ve malzeme ara kesitinde aşırı erimeye neden olmaktadır. Buna bağlı olarak kaynak çekirdeğinden fişkırma meydana gelmektedir. Bu yüzden çekme-makaslama kuvveti hızla düşmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [15,25,41,60,62]. Bununla birlikte elektrot yapışması ve aşırı renklenme görülmüştür. Tablo 5.3'de derin elektrot izleri, renklenme ve fişkırma meydana gelmiş bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.

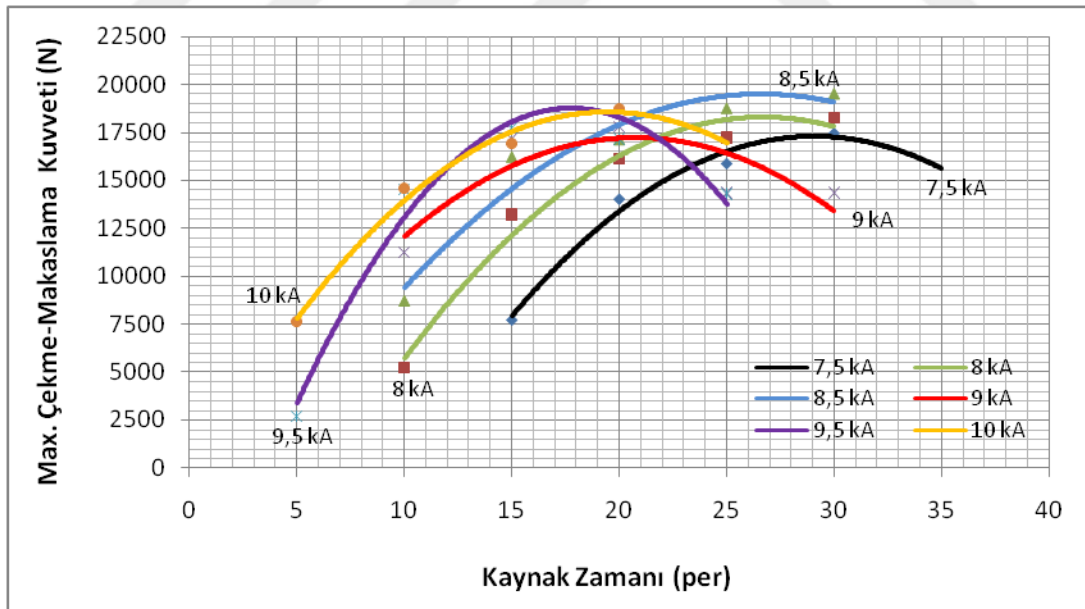
Tablo 5.3. S235JR(Cu) bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
15	10	Fişkırma	
20	10	Fişkırma	
25	9,5	Fişkırma	
30	9	Fişkırma	
10	10,5	Derin elektrot izi / Renklenme	
15	10	Derin elektrot izi / Renklenme	
20	9	Derin elektrot izi / Renklenme	
25	8,5	Derin elektrot izi / Renklenme	
30	8,5	Derin elektrot izi / Renklenme	



Şekil 5.7.S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

5.3.2. Kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi



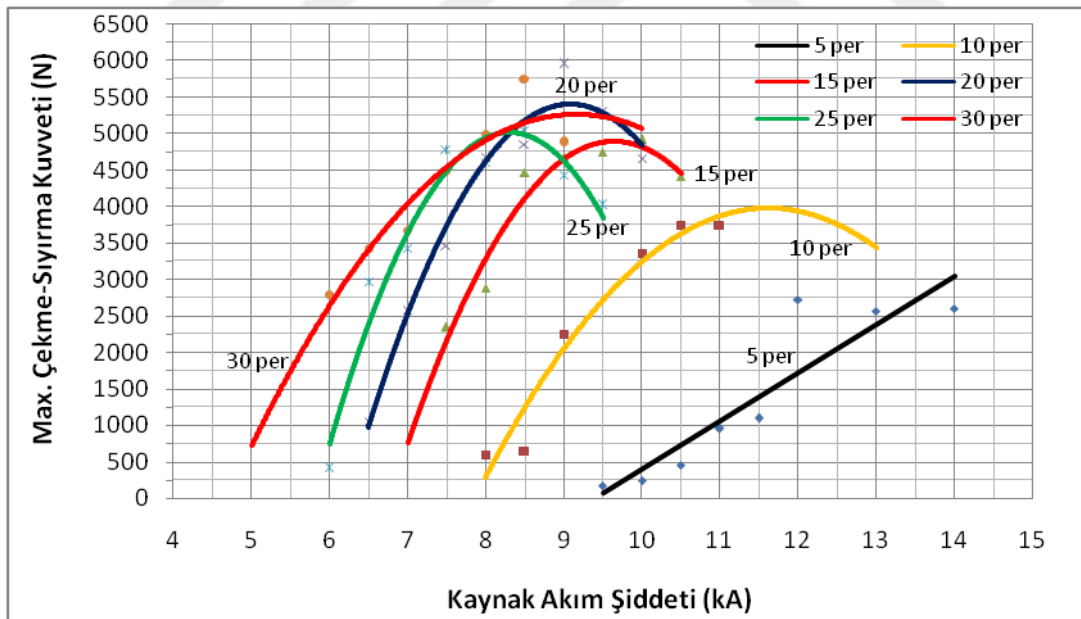
Şekil 5.8.S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.8.'de görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla birlikte kaynak bölgesine giren ısı miktarının artması sebebiyle çekme-makaslama dayanımı da artar. İstenen çekme-makaslama dayanımına sahip bağlantılar 7,5 ve 8 kA akım şiddetlerinde 20-

30 periyot arası; 8,5 akım şiddetinde 15-25 periyot arası; 9 ve 9,5 kA akım şiddetlerinde 15-20 periyot arası ve 10 kA akım şiddetinde 10-20 periyot arası elde edilmiştir. Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonra çekirdek kesitinden fişkirmaların ortaya çıkmasıyla birlikte çekme-makaslama dayanımı değerlerinde hızlı bir düşüş görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,44,47,60,63].

5.3.3. Kaynak akım şiddetinin S235JR(Cu) bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. 5 periyot kaynak zamanında istenen bağlantı elde edilememiştir. Şekil 5.10'da 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantılar gösterilmektedir. 10 periyotta elde edilen bağlantıların dayanımları 15, 20 ve 25 periyota nazaran düşüktür.

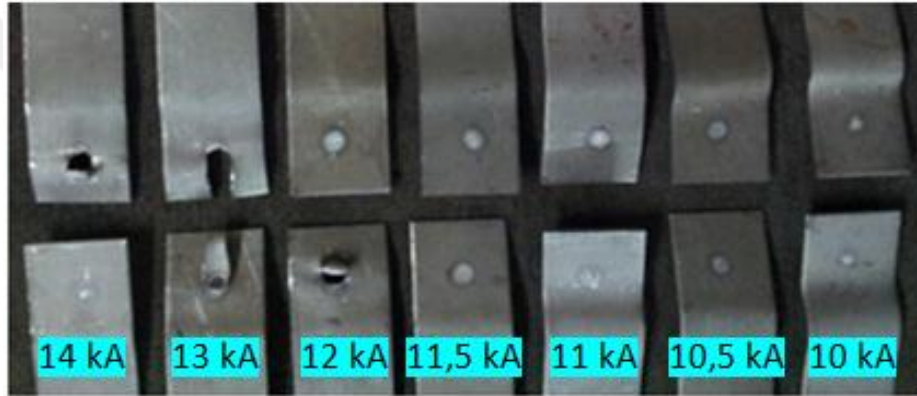


Şekil 5.9. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

15 periyot kaynak zamanında 8 kA, 8,5 kA, 9 kA ve 9,5 kA'de; 20 periyot kaynak zamanında 7,5 kA, 8 kA, 8,5 kA ve 9 kA'de; 25 periyot kaynak zamanında 6,5 kA, 7 kA, 7,5 kA ve 8 kA'de; 30 periyot kaynak zamanında 6 kA, 6,5 kA, 7 kA ve 7,5

kA'de istenen dayanıma sahip bağlantılar elde edilmiştir. Maksimum çekme-sıyırma kuvvetine 20 periyot kaynak zamanı ve 9 kA akım şiddetinde ulaşıldığı görülür. Bu değerlerden sonra ısı girdisinin aşırı yükselmesi sonucu çekme-sıyırma kuvveti hızla düşmüştür. Çünkü kaynak bölgesine giren ısı miktarının artması malzemeler arasında ki kesitte erime miktarını da artırmıştır. Buna bağlı olarak aşırı dalma derinliği ve fişkırmaya oluşmuştur. Bu yüzden dayanım azalmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,60,62].

Tablo 5.4'de fişkırmaya meydana gelmiş bazı bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.



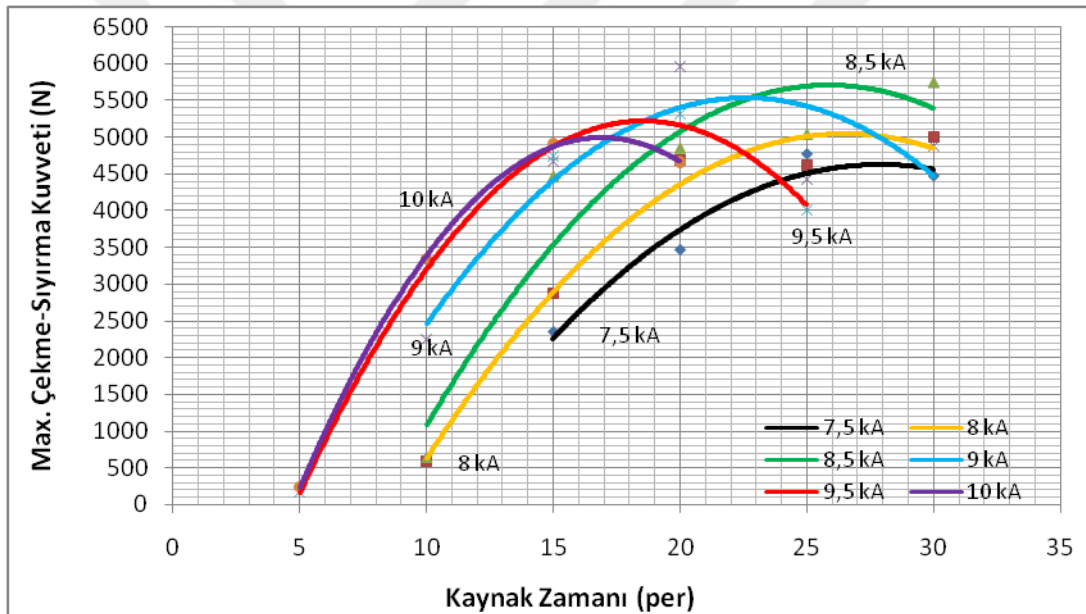
Şekil 5.10. 5 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantılar

Tablo 5.4. S235JR(Cu) bağlantılarda fişkırmaya oluşan çekme-sıyırma numuneleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
15	10	Fişkırmaya	
15	10,5	Fişkırmaya	
20	10	Fişkırmaya	

5.3.4. Kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla kaynak bölgesine verilen ısının artması sebebiyle çekme-sıyırma dayanımı da artar. İstenen çekme-sıyırma dayanımına sahip bağlantılar 7,5 kA akım şiddetinde 20-25 periyot arası; 8 ve 8,5 kA akım şiddetlerinde 15-25 periyot arası; 9 kA akım şiddetinde 15-20 periyot arası; 9,5 ve 10 kA akım şiddetlerinde 10-15 periyot arası elde edilmiştir. Bu değerlerden sonra çekme-sıyırma dayanımı hızla düşmektedir. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren aşırı ısı miktarıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [25,60,62].



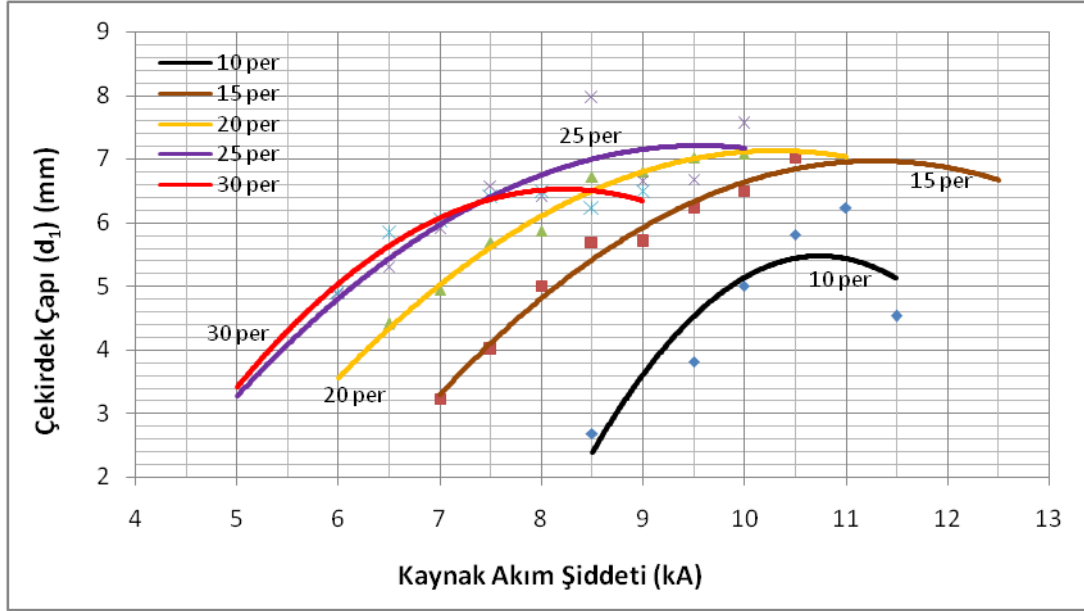
Şekil 5.11. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

5.4. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekirdek Boyutlarına Etkisi

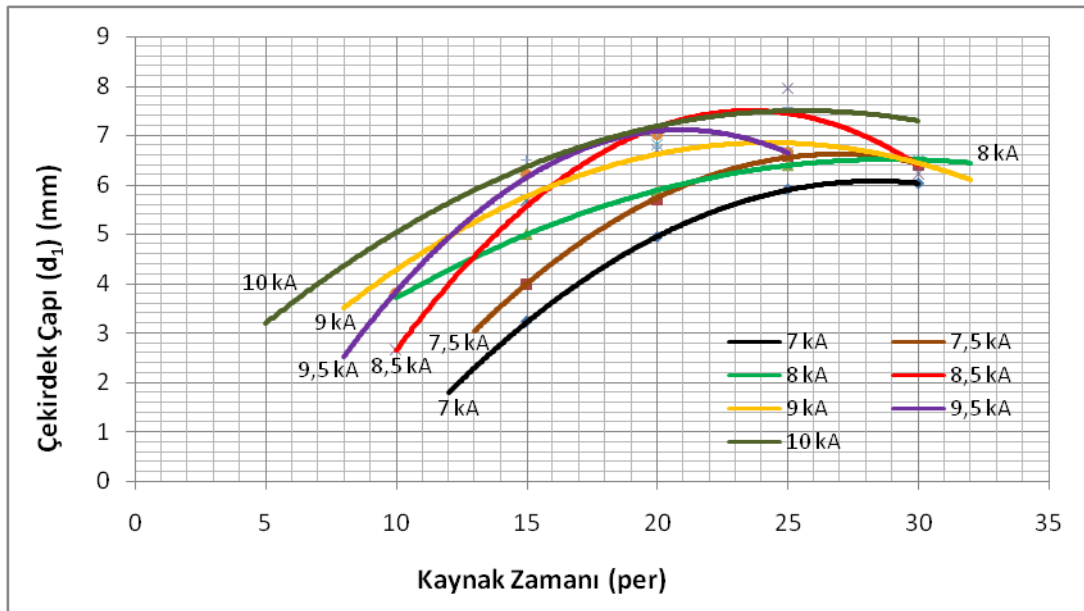
5.4.1. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantıların çekirdek çapına etkisi

Şekil 5.12. ve 5.13.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisi artmakta ve buna bağlı olarak çekirdek çapı da

artmaktadır [105]. Ancak kaynak akım şiddetinin ve zamanının belli bir değerinden sonra aşırı ısı girdisi nedeniyle malzeme ara kesitinde eriyen metal miktarı artmaktadır.



Şekil 5.12. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi

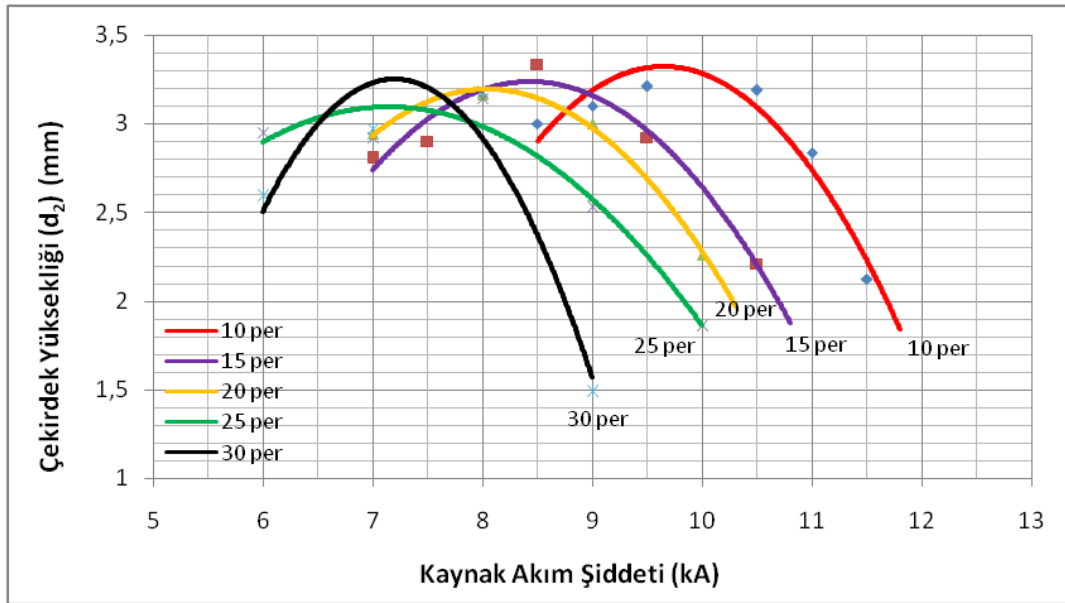


Şekil 5.13. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi

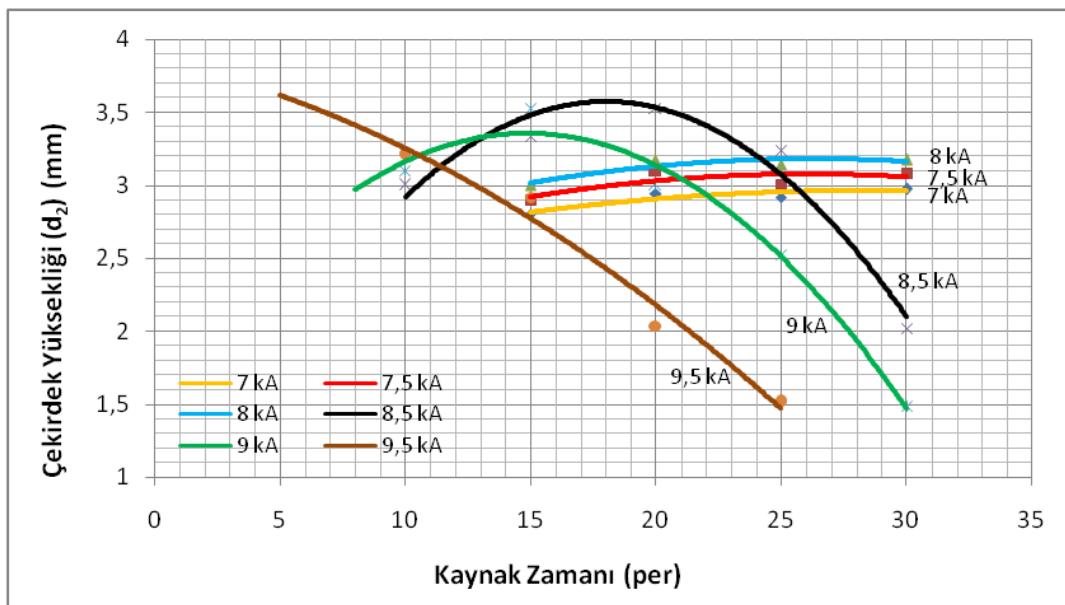
Bu yüzden derin elektrot izleri bir başka ifadeyle aşırı dalma derinliği ve metal fişkırmaları oluşmaktadır. Buna bağlı olarak da çekirdek çapı azalmaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [2,15,17,60,61]. 10 periyotta 10,5 kA'den sonra; 15 periyotta 10,5 kA'den sonra; 20 periyotta 10 kA'den sonra; 25 periyotta 9 kA'den sonra; 30 periyotta 8 kA'den sonra çekirdek çapının azaldığı görülmektedir.

5.4.2. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının SPA-C bağlantılarının çekirdek yüksekliğine etkisi



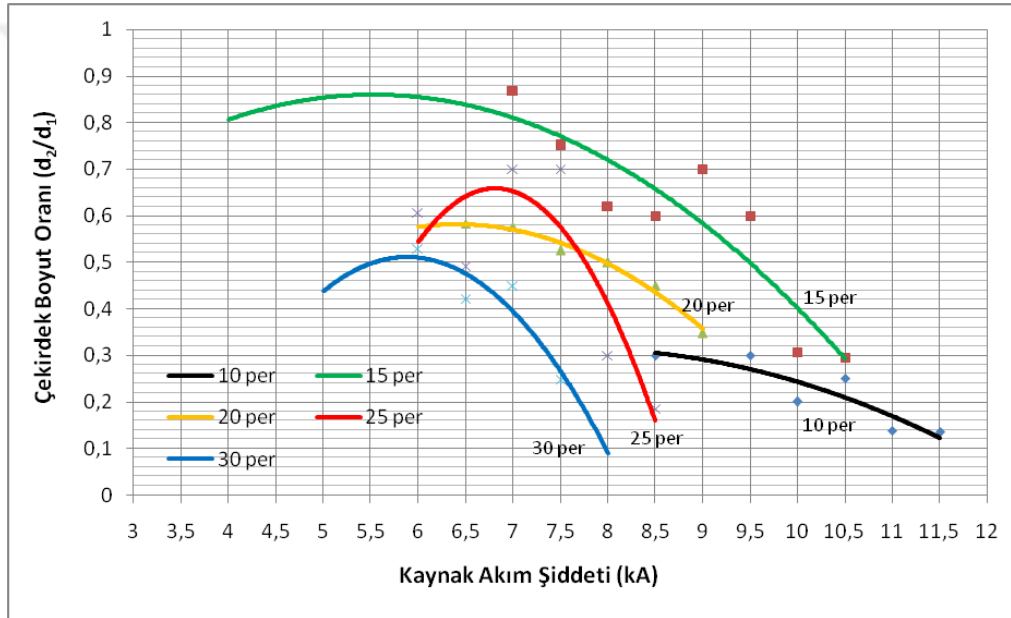
Şekil 5.14. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi



Şekil 5.15. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi

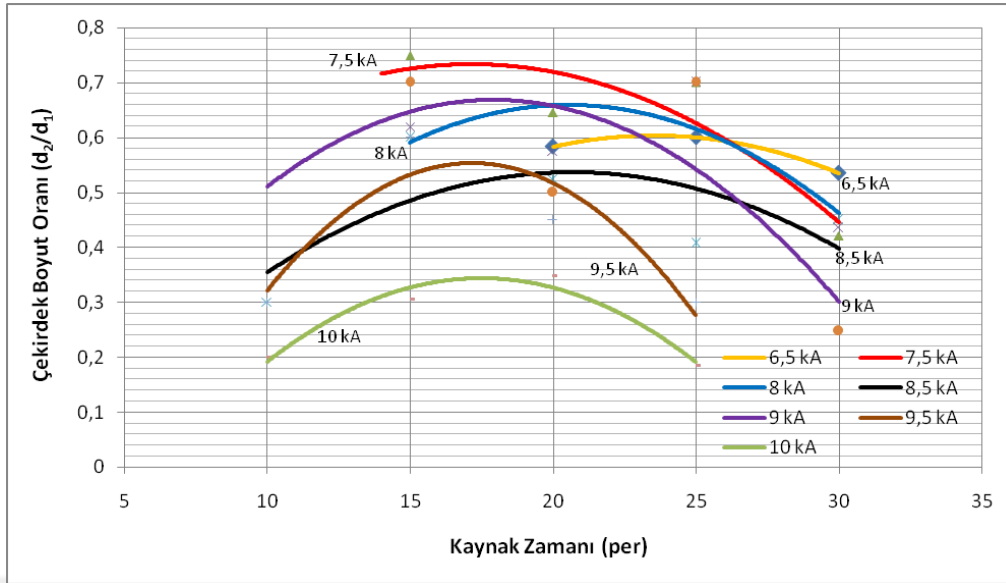
Şekil 5.14. ve 5.15.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle eriyen metal miktarı artmakta ve bununla birlikte aşırı dalma derinliği ile çekirdek kesitinden fişkırmalar oluşmaktadır. Bu yüzden çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61,66].

5.4.3. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının SPA-C bağlantılarının çekirdek boyut oranına etkisi



Şekil 5.16. SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi

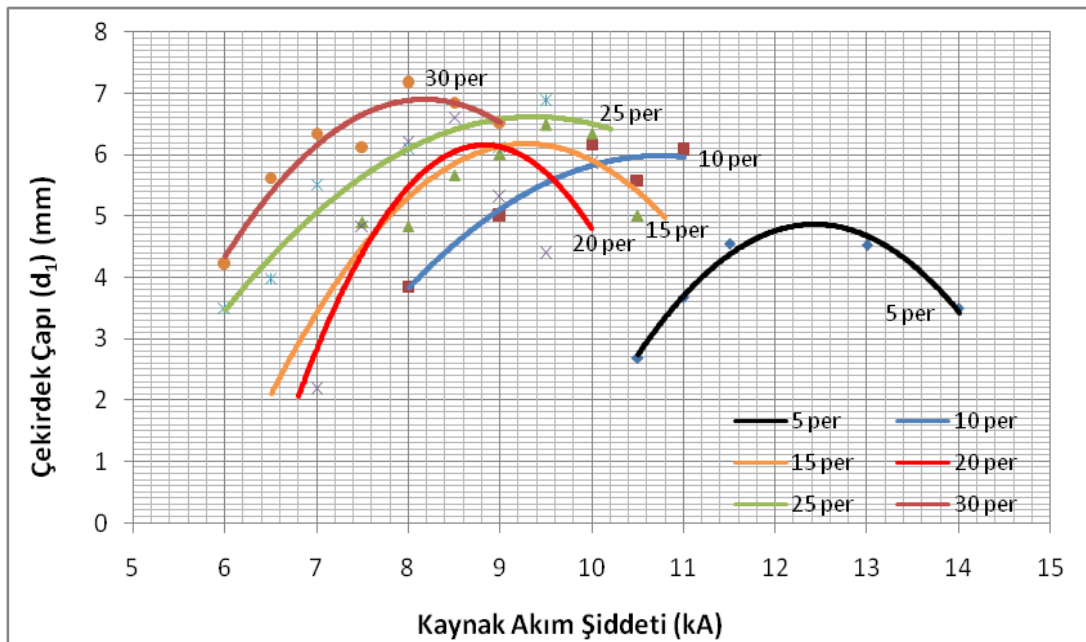
Şekil 5.16. ve 5.17.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte belli bir noktaya kadar çekirdek boyut oranı artar. Bu noktadan sonra ise kaynak akım şiddeti değerlerinin artmasıyla birlikte çekirdek boyut oranı azalmaktadır. Bunun nedeni artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinliklerinin artması ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



Şekil 5.17. SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek boyut oranına etkisi

5.5. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Çekirdek Boyutlarına Etkisi

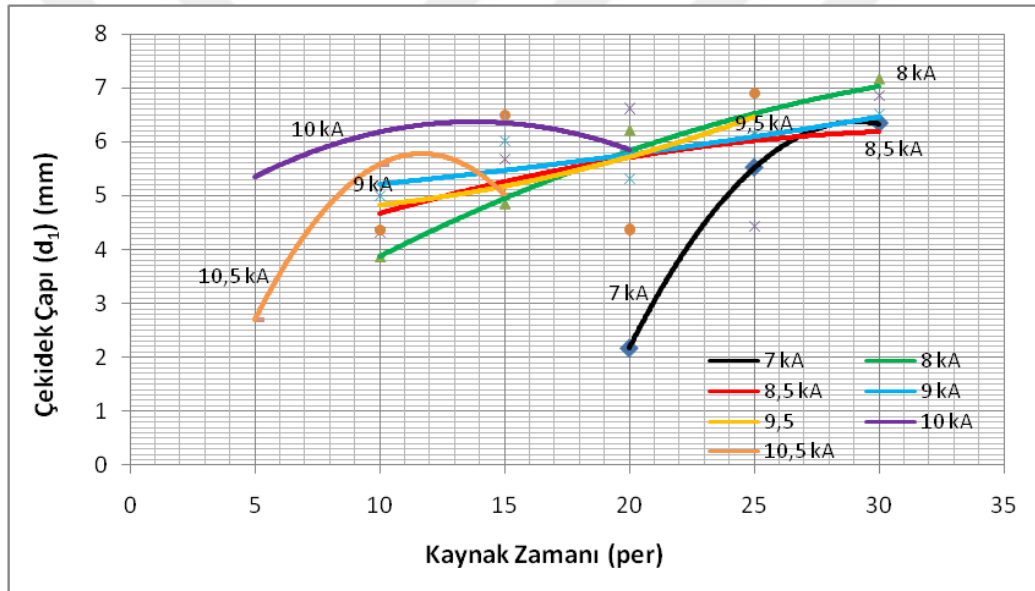
5.5.1. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek çapına etkisi



Şekil 5.18. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi

Şekil 5.18. ve 5.19.'da görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisi artmakta ve buna bağlı olarak çekirdek çapı da artmaktadır. Ancak belirli bir noktadan sonra aşırı ısı girdisi nedeniyle aşırı dalma derinliği ile metal fişkirmaları oluşmakta ve buna bağlı olarak çekirdek çapı azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [2,15,17,60,61].

5 periyotta 11,5 kA'den sonra; 10 periyotta 10 kA'den sonra; 15 periyotta 9 kA'den sonra; 20 periyotta 8,5 kA'den sonra; 25 periyotta 8,5 kA'den sonra; 30 periyotta 8 kA'den sonra çekirdek çapının azaldığı görülmektedir.

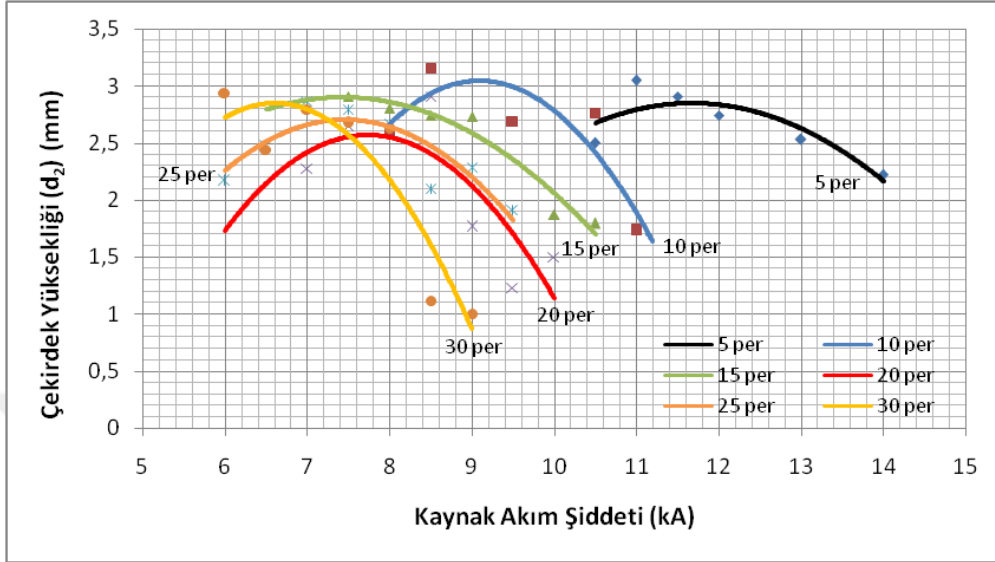


Şekil 5.19. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi

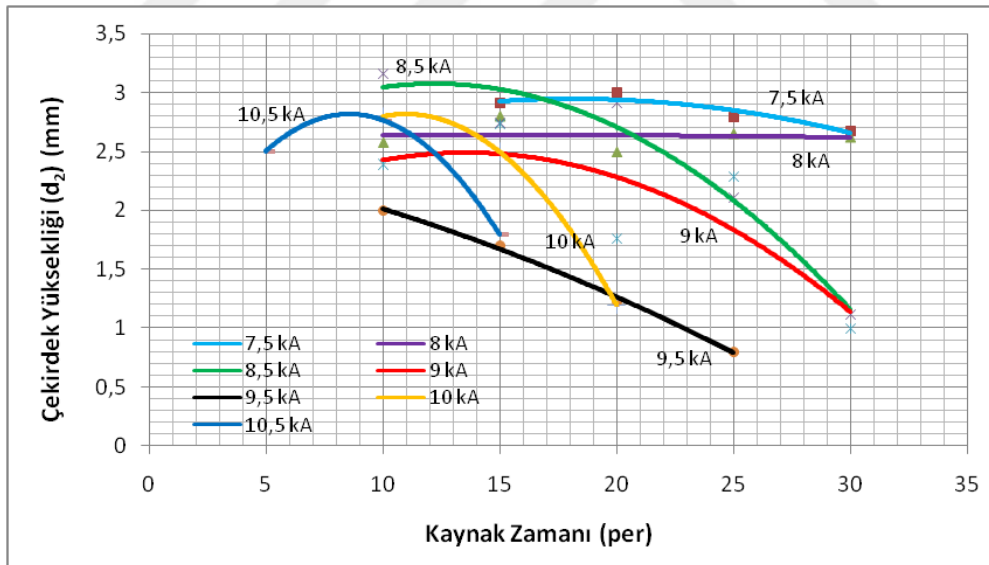
5.5.2. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantılarının çekirdek yüksekliğine etkisi

Şekil 5.20. ve 5.21.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Bunun nedeni SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle eriyen metal miktarının artması ve bununla birlikte oluşan aşırı dalma derinliği ile çekirdek kesitinden

fişkirmaların ortaya çıkmasıdır. Bu yüzden çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61,66].



Şekil 5.20. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi

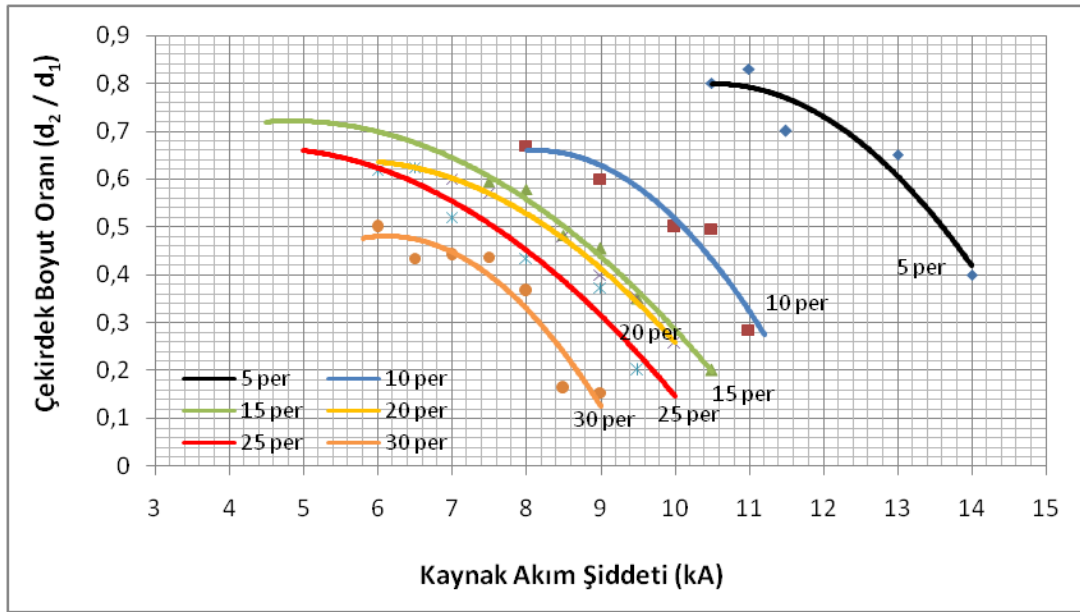


Şekil 5.21. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi

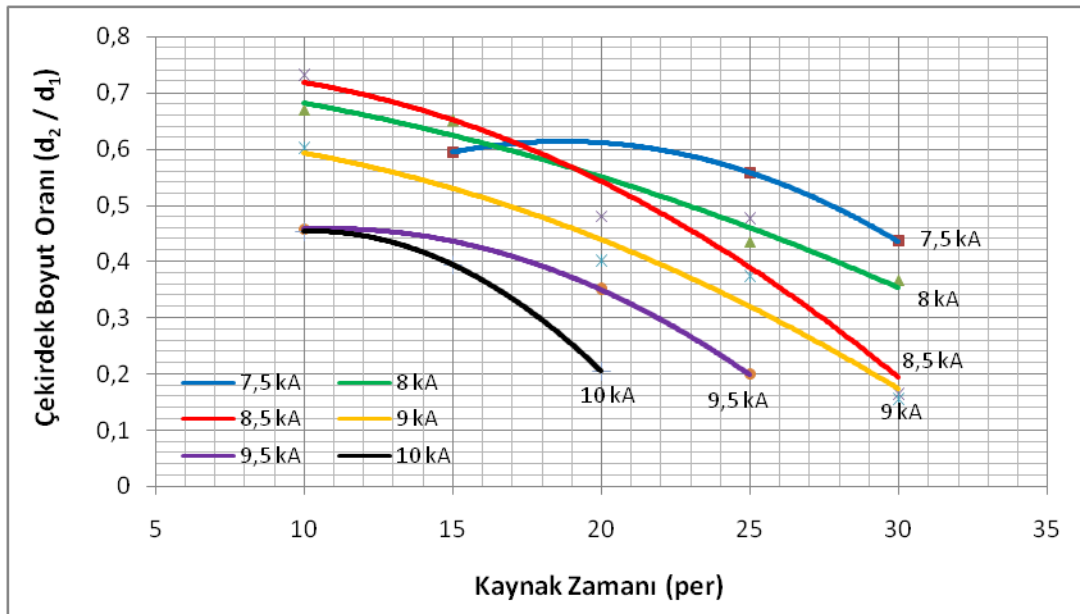
5.5.3. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek boyut oranına etkisi

Şekil 5.22. ve 5.23.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte belli bir noktaya kadar çekirdek boyut oranı artar. Bu

noktadan sonra ise değerlerin artmasıyla birlikte çekirdek boyut oranı azalmaktadır. Bunun nedeni artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinliklerinin artması ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalırken çekirdek çapının artmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



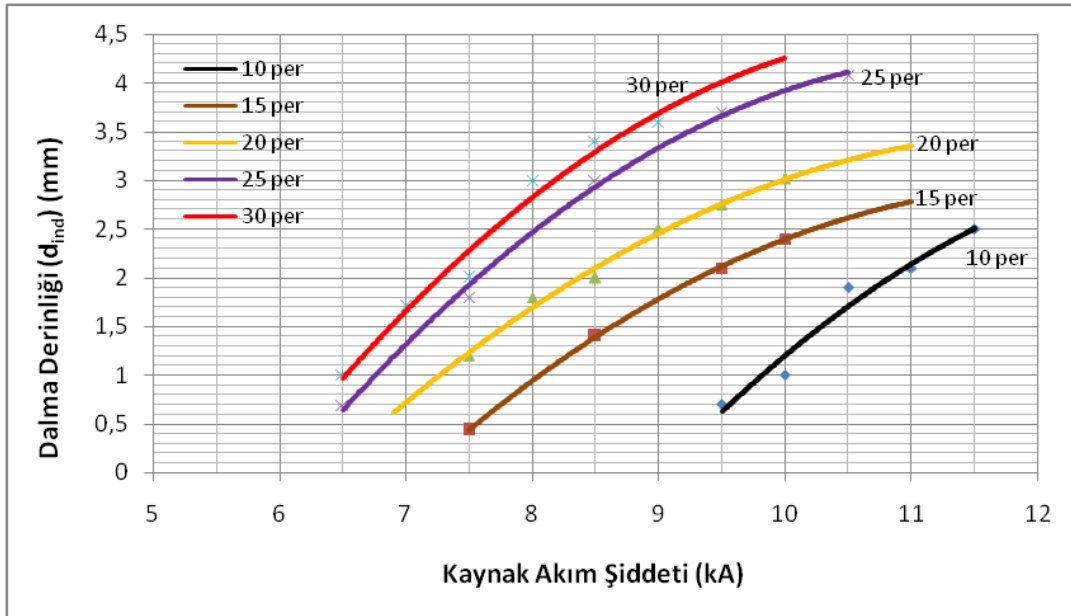
Şekil 5.22. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi



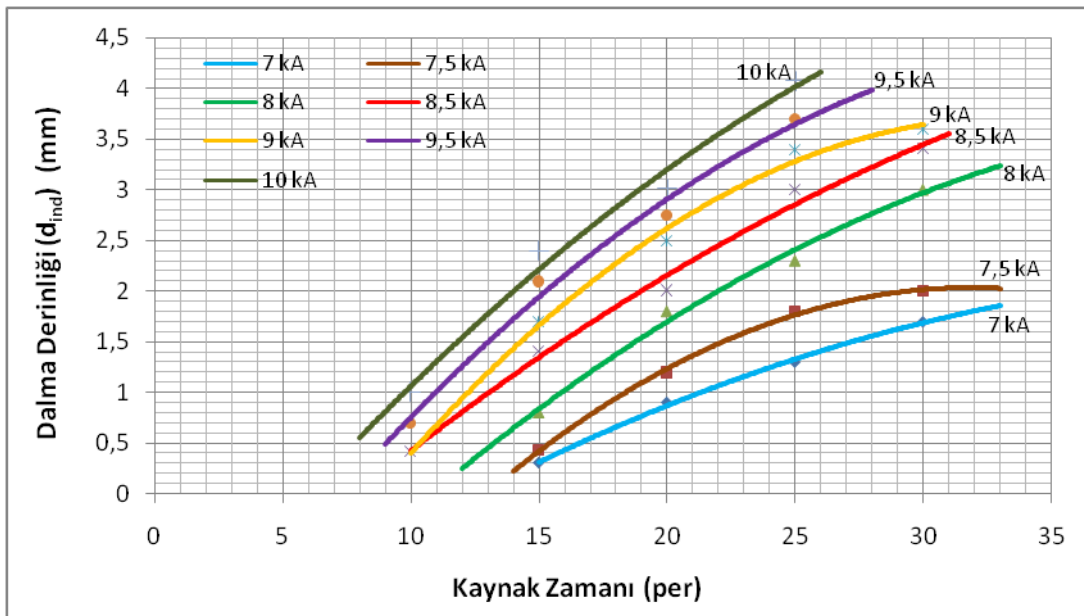
Şekil 5.23. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek boyut oranına etkisi

5.6. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliğine Etkisi

5.6.1. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının SPA-C bağlantıların dalma derinliğine etkisi



Şekil 5.24.SPA-C bağlantılarda kaynak akım şiddetinin dalma derinliğine etkisi

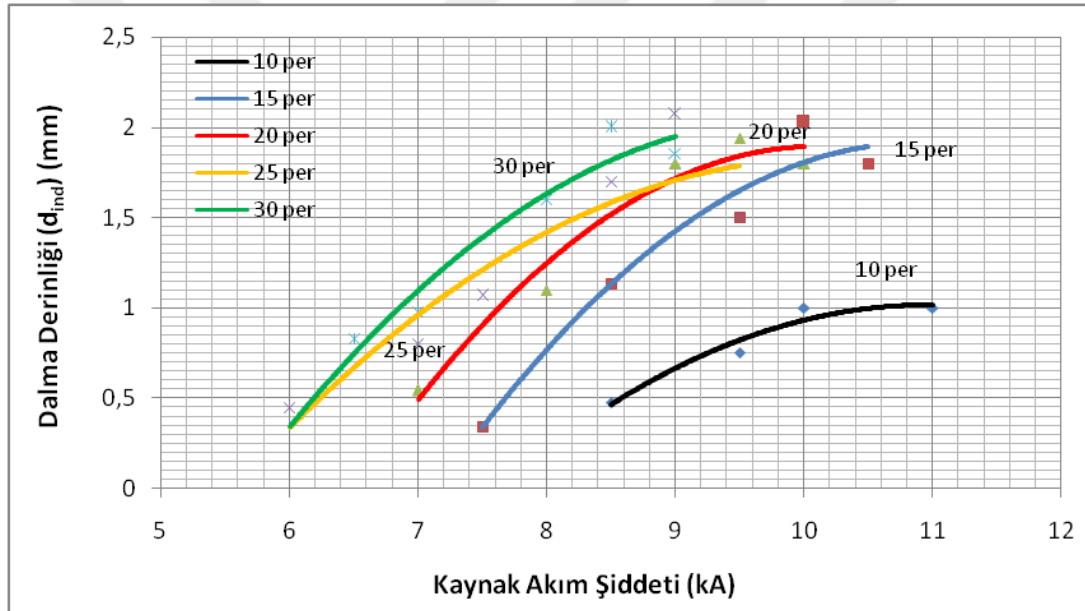


Şekil 5.25.SPA-C bağlantılarda kaynak zamanının dalma derinliğine etkisi

Şekil 5.24. ve 5.25.'de görüldüğü gibi akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte elektrotların dalma derinliği de artmaktadır. Isı girdisinin belli bir değerinden sonra ise azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [52,66,67].

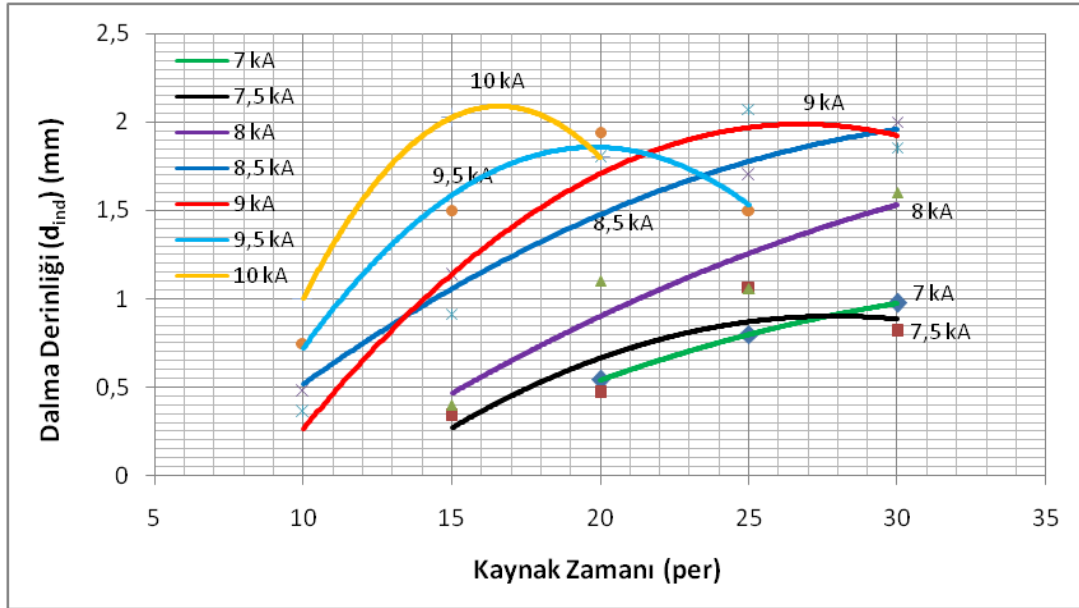
5.7. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliğine Etkisi

5.7.1. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının S235JR(Cu) bağlantılarının dalma derinliğine etkisi



Şekil 5.26. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak akım şiddetinin dalma derinliğine etkisi

Şekil 5.26. ve 5.27.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte elektrotların dalma derinliği de belirli bir noktaya kadar artmaktadır. Bu noktadan sonra ise giren ısı miktarının aşırı yükselmesi nedeniyle azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [52,66,67].



Şekil 5.27. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak zamanının dalma derinliğine etkisi

5.8. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

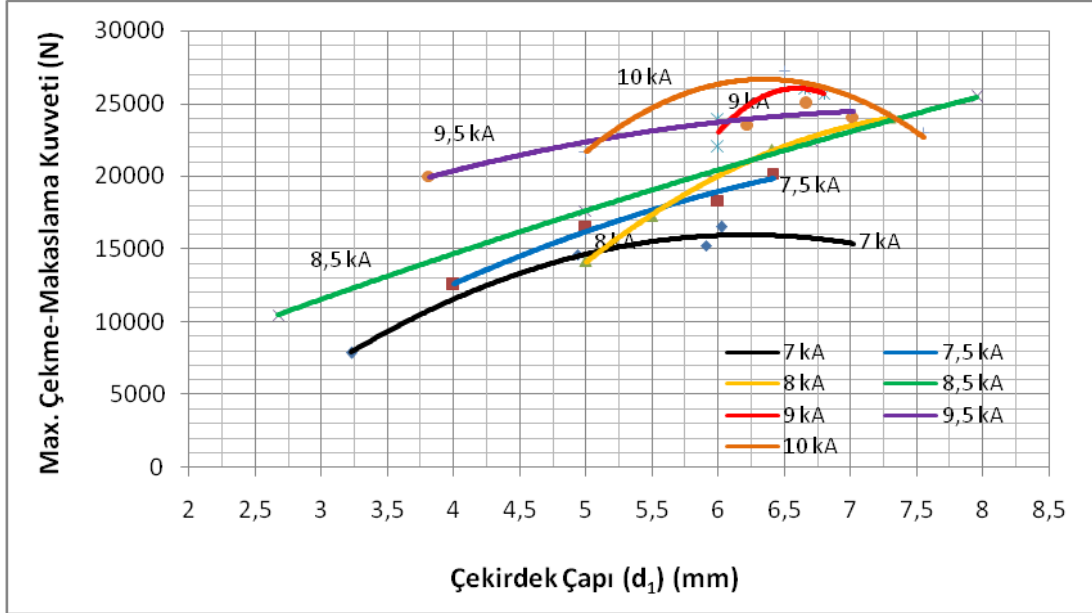
5.8.1. SPA-C bağlantıların çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.28. ve 5.29.'da görüldüğü gibi çekirdek çapı arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımı da artmaktadır. Kaynak çekirdeği büyüdükçe, yük taşıyan kesit artmakta ve o bölgedeki gerilme değeri küçülmektedir. Bunun sonucunda da, kaynaklı bölge daha yüksek kuvvet değerlerinde hasara uğramaktadır [2].

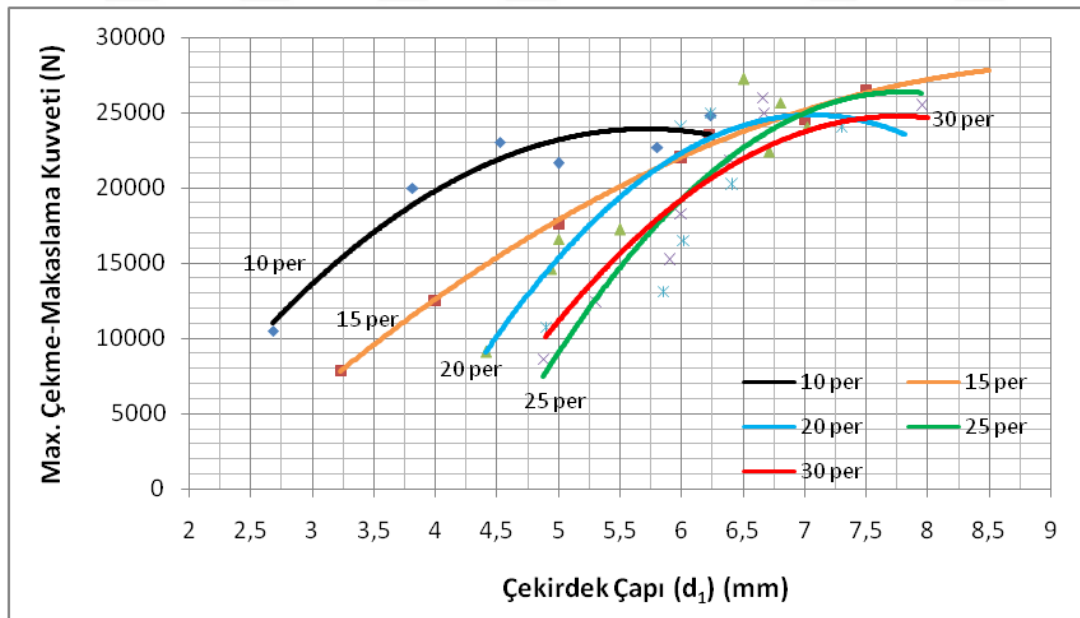
Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 5,5 mm çekirdek çapında; 15 periyotta 7,5 mm çekirdek çapında; 20 periyotta 7 mm çekirdek çapında; 25 periyotta 7,5 mm çekirdek çapında; 30 periyotta 7 mm çekirdek çapında elde edilmiştir.

Bu noktalardan sonra çekirdek çapı artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle çekirdek çapının artmasına rağmen dayanım

azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [41,60,61].



Şekil 5.28. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken)

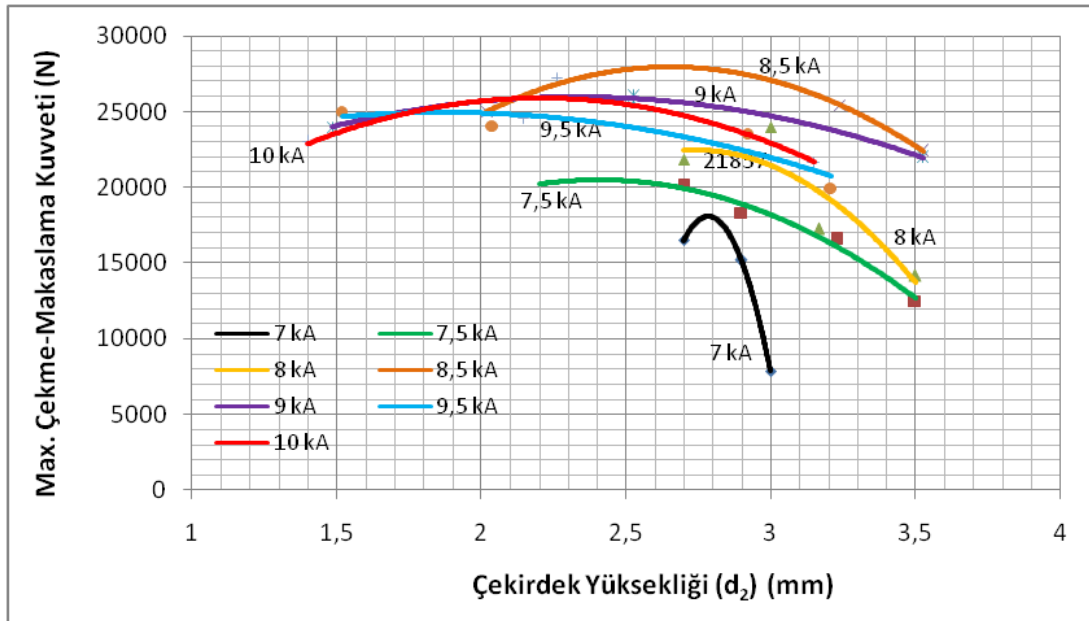


Şekil 5.29. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken kaynak zamanı sabit)

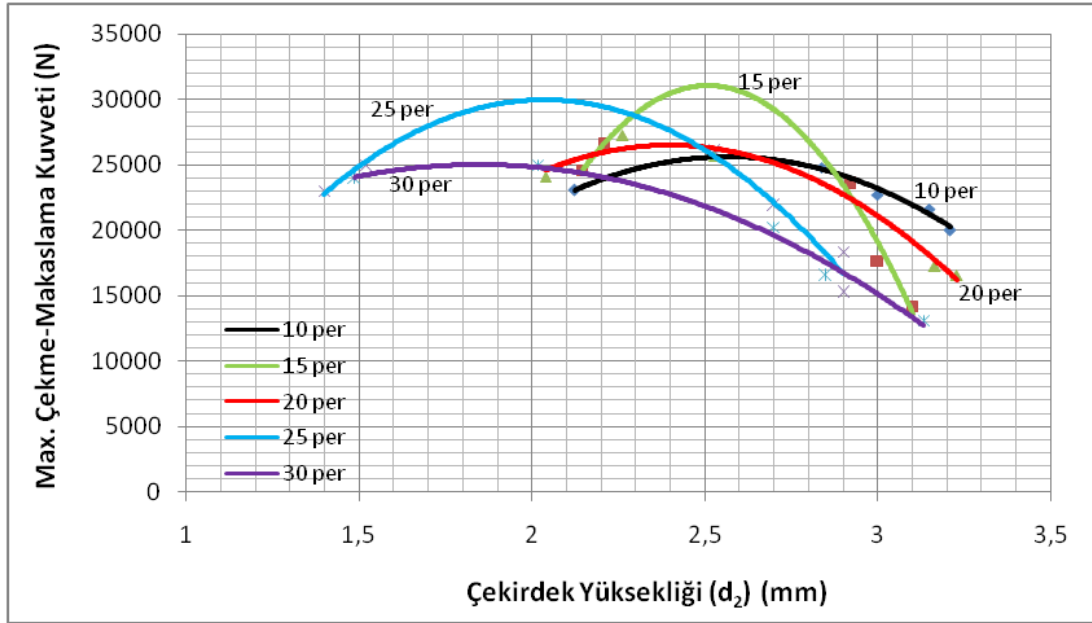
5.8.2. SPA-C bağlantıların çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.30. ve 5.31.'de görüldüğü gibi çekirdek yüksekliği arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalır. Dolayısıyla düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 2,7 mm çekirdek yüksekliğinde; 15 periyotta 2,5 mm çekirdek yüksekliğinde; 20 periyotta 2,5 mm çekirdek yüksekliğinde; 25 periyotta 2 mm çekirdek yüksekliğinde; 30 periyotta 2 mm çekirdek yüksekliğinde elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra çekirdek yüksekliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkirmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



Şekil 5.30. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

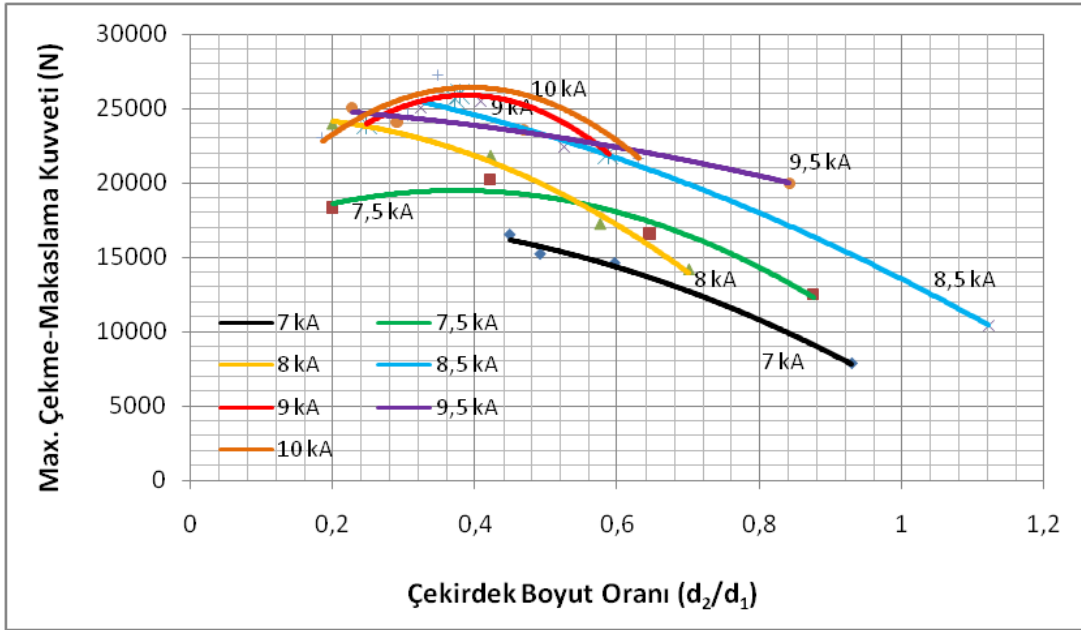


Şekil 5.31. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

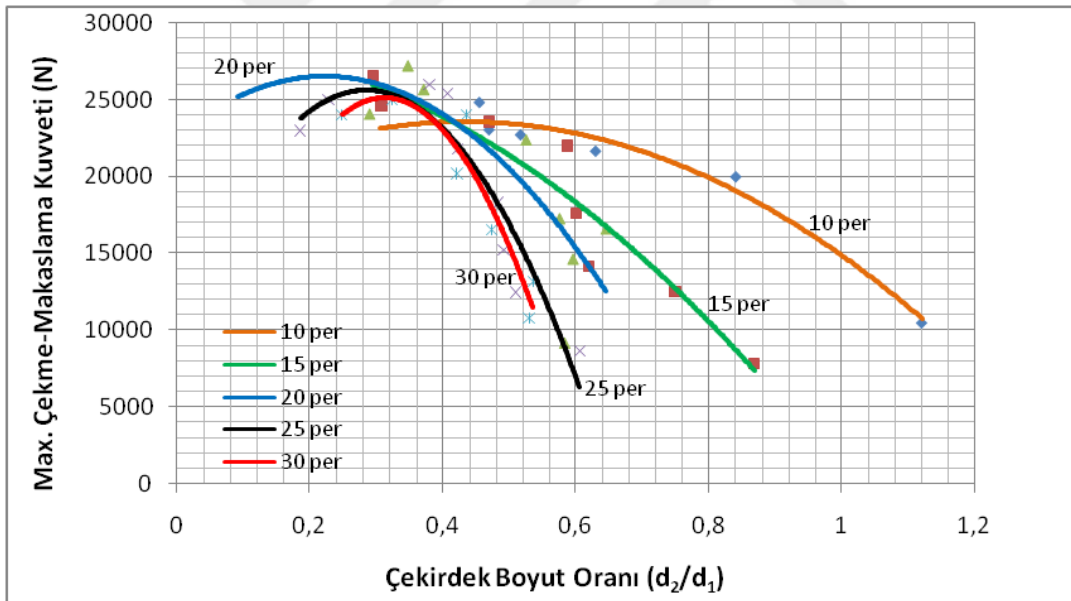
5.8.3. SPA-C bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.32. ve 5.33.'de görüldüğü gibi çekirdek boyut oranı arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımının azaldığı görülmektedir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalırken çekirdek çapı artar. Yani çekirdek boyut oranı azalır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde ise düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 0,48 çekirdek boyut oranında; 15 periyotta 0,48 çekirdek boyut oranında; 20 periyotta 0,28 çekirdek boyut oranında; 25 periyotta 0,32 çekirdek boyut oranında; 30 periyotta 0,32 çekirdek boyut oranında elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra çekirdek boyut oranı artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



Şekil 5.32. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

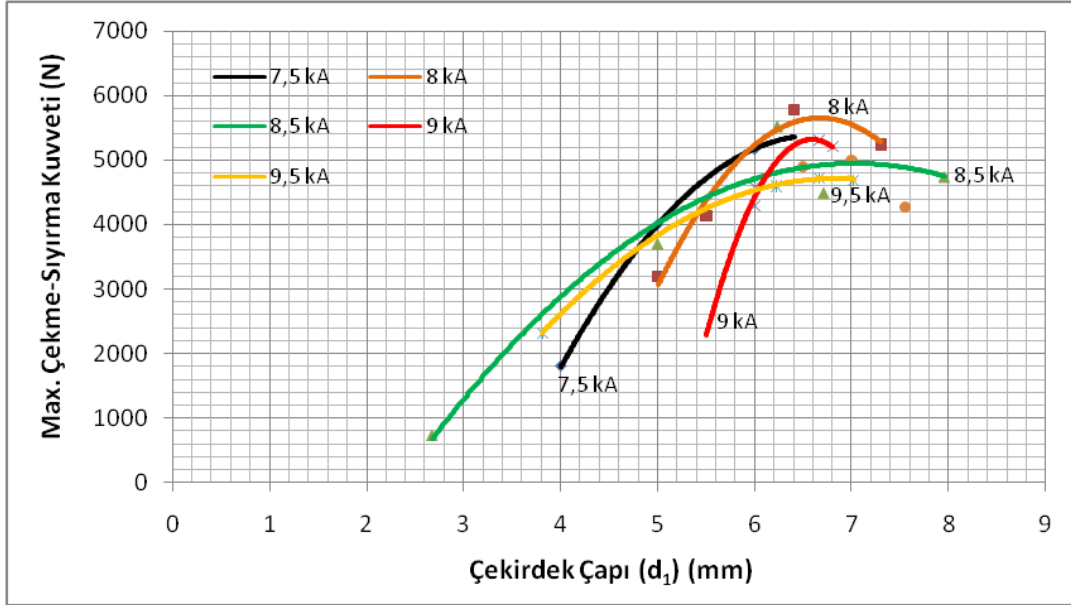


Şekil 5.33. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

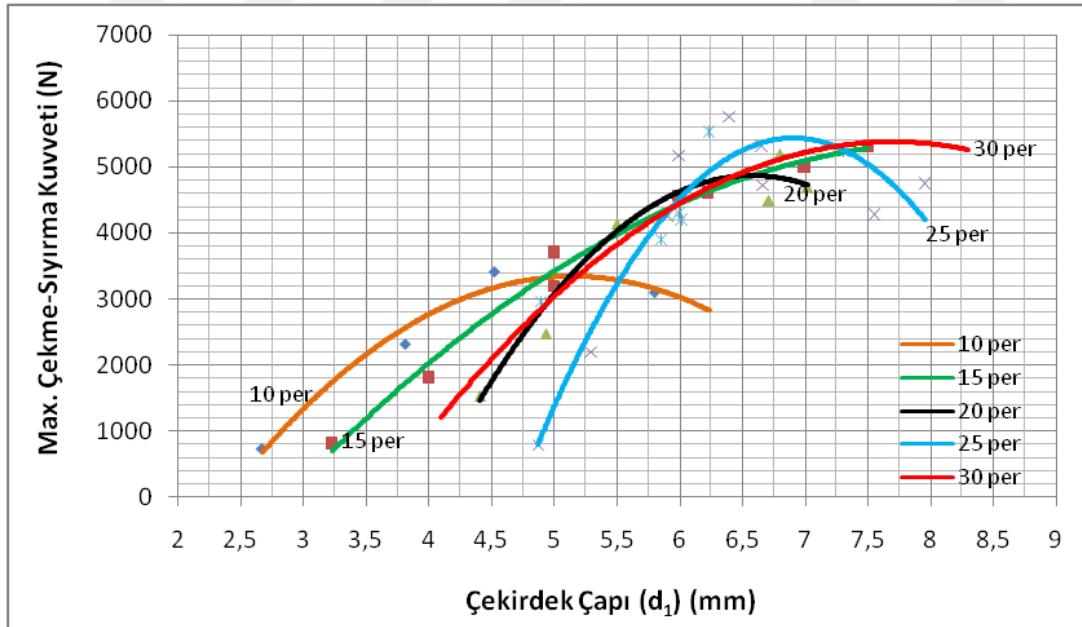
5.8.4. SPA-C bağlantıların çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.34. ve 5.35.'de görüldüğü gibi çekirdek çapı arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. Ancak belirli bir noktadan sonra çekme-makaslama

dayanımında olduğu gibi aşırı dalma derinliği ve fişkıma nedeniyle çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır.



Şekil 5.34. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit - kaynak zamanı değişken)



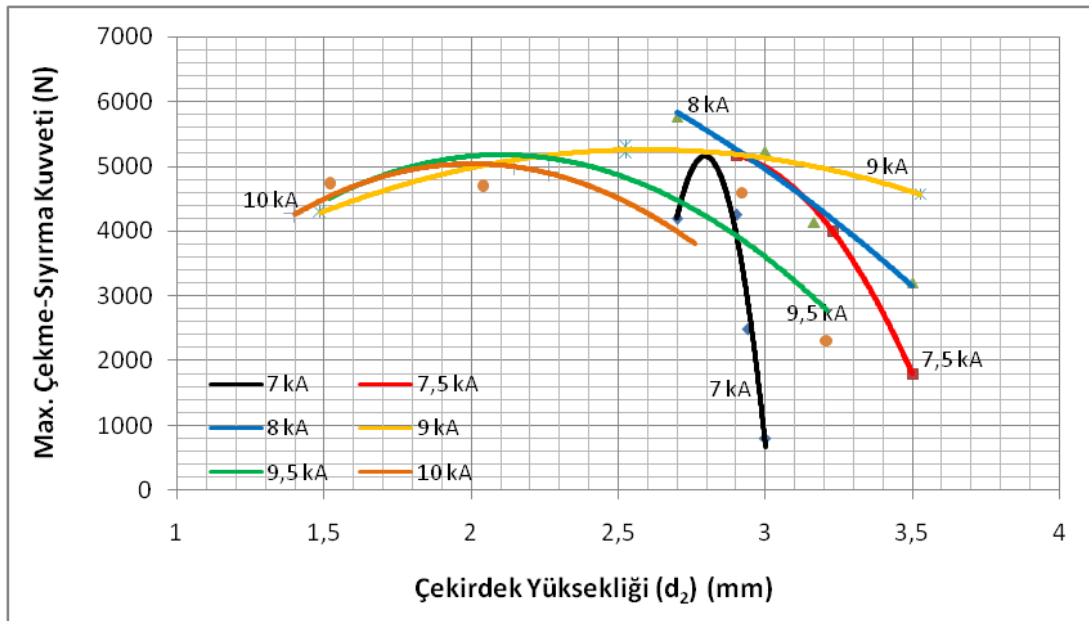
Şekil 5.35. SPA-C bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken - kaynak zamanı sabit)

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 10 periyotta 5 mm çekirdek çapında; 15 periyotta 7,5 mm çekirdek çapında; 20 periyotta 6,5 mm çekirdek çapında; 25

periyotta 6,75 mm çekirdek çapında; 30 periyotta 7,5 mm çekirdek çapında elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek çapı artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmanın olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle çekirdek çapının artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

5.8.5. SPA-C bağlantıların çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

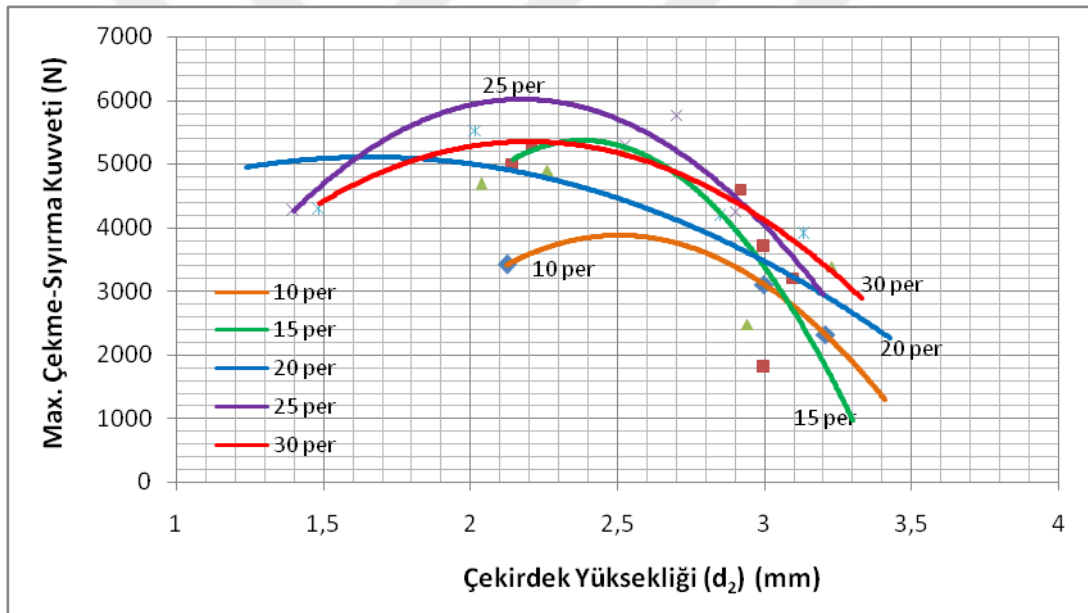
Şekil 5.36. ve 5.37.'de görüldüğü gibi çekirdek yüksekliği arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Bunun nedeni çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalır.



Şekil 5.36. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

Dolayısıyla düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde düşük ısı girişine bağlı olarak çekirdek yüksekliği fazla çekme-sıyırma dayanımı ise düşüktür.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 10 periyotta 2,5 mm çekirdek yüksekliğinde; 15 periyotta 2,5 mm çekirdek yüksekliğinde; 20 periyotta 1,7 mm çekirdek yüksekliğinde; 25 periyotta 2,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 30 periyotta 2,2 mm çekirdek yüksekliğinde elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek yüksekliği artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

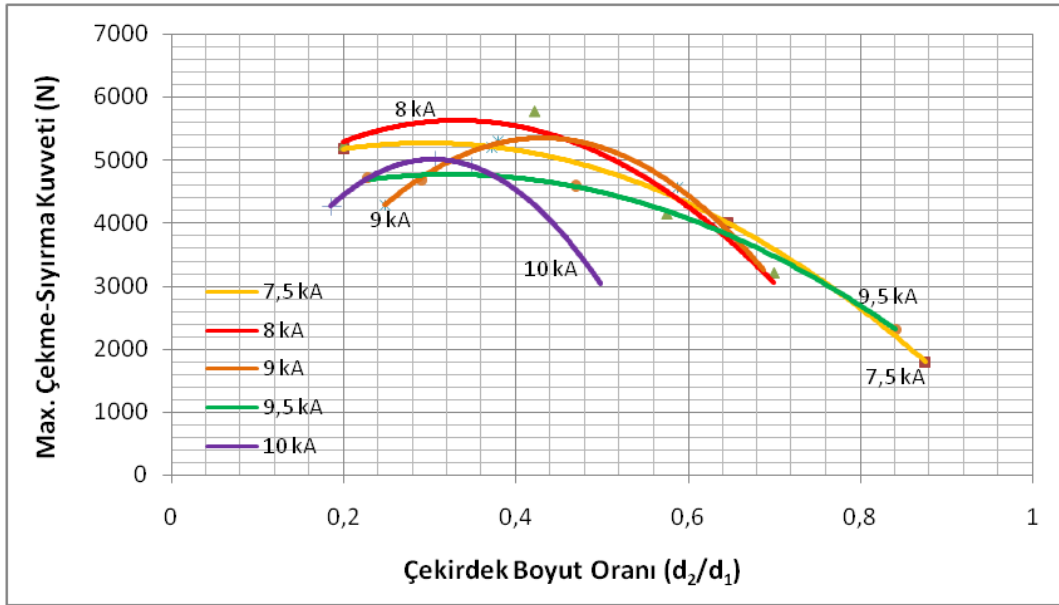


Şekil 5.37. SPA-C bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

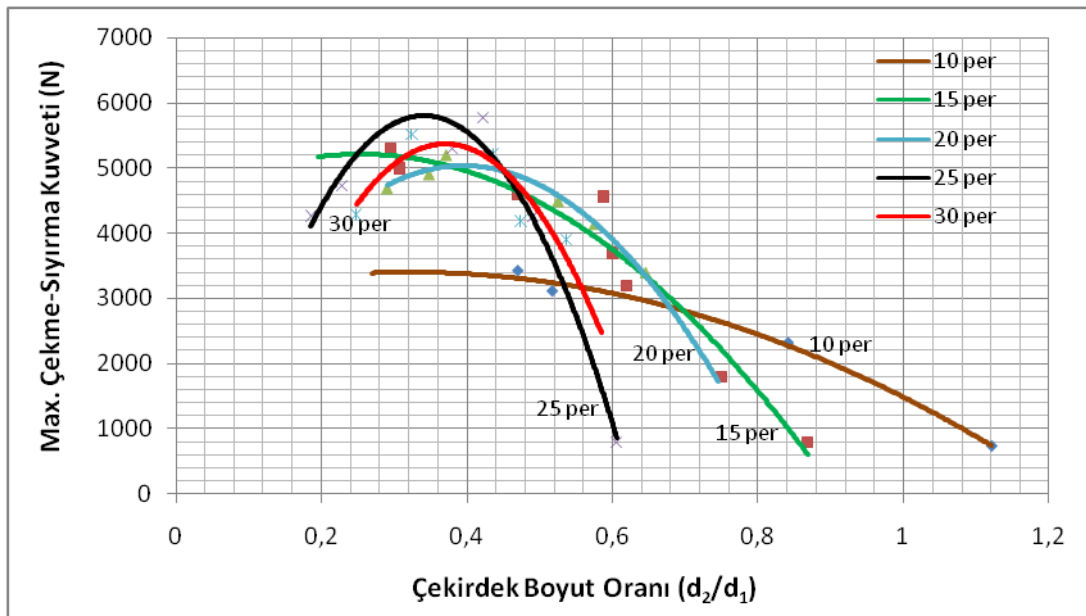
5.8.6. SPA-C bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.38. ve 5.39.'da görüldüğü gibi çekirdek boyut oranı arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek

yüksekliği azalırken çekirdek çapı artar. Yani çekirdek boyut oranı azalır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde ise düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımı da düşüktür.



Şekil 5.38. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.39. SPA-C bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 10 periyotta 0,48 çekirdek boyut oranında; 15 periyotta 0,3 çekirdek boyut oranında; 20 periyotta 0,4 çekirdek boyut oranında; 25 periyotta 0,32 çekirdek boyut oranında; 30 periyotta 0,36 çekirdek boyut oranında elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek boyut oranı artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

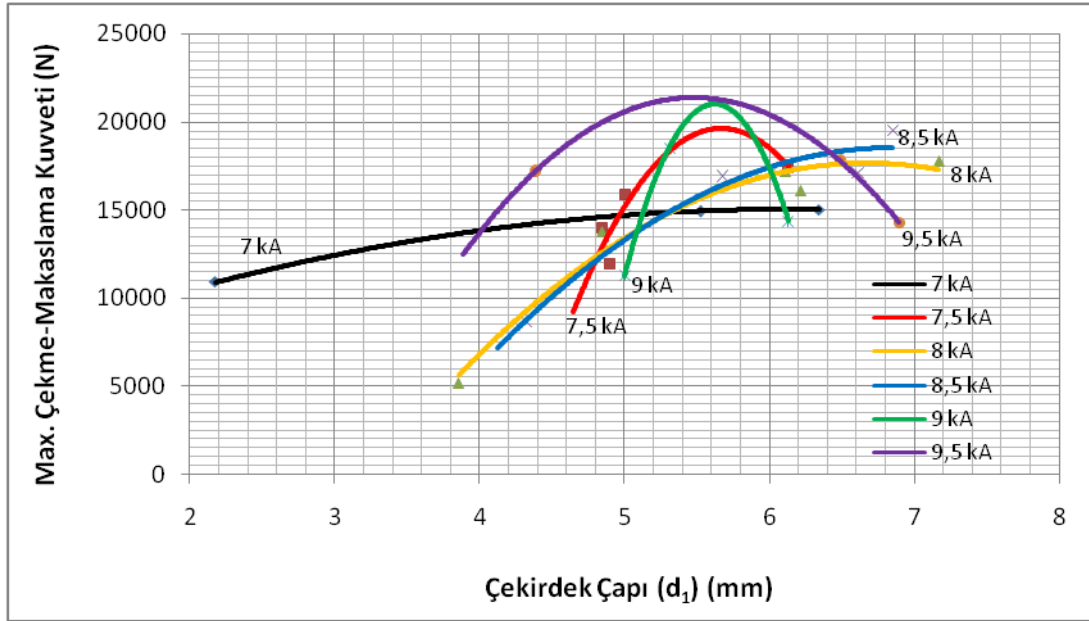
5.9. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

5.9.1. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi

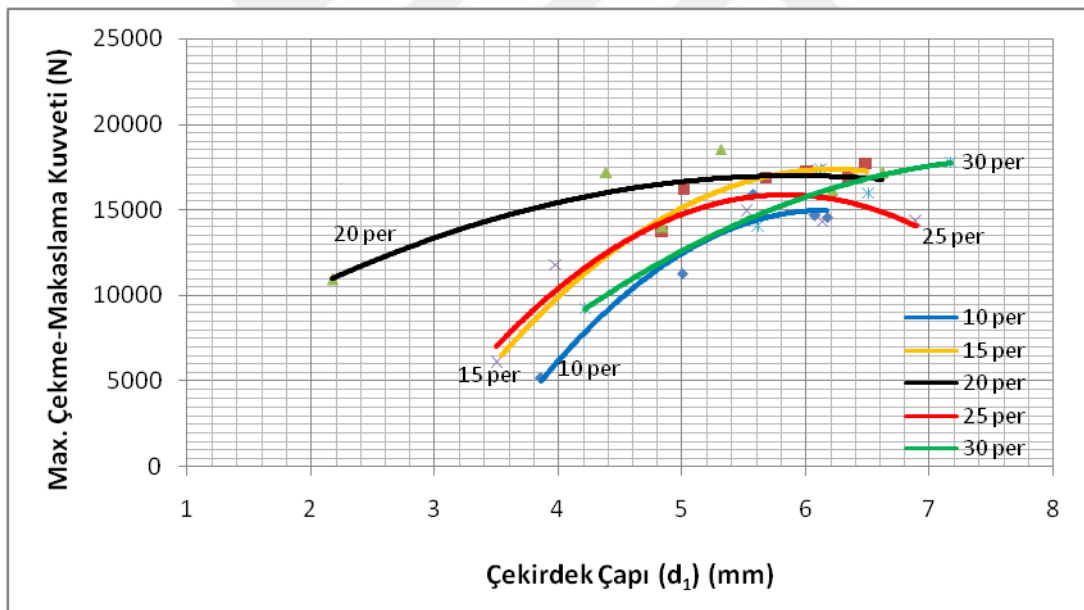
Şekil 5.40. ve 5.41.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi çekirdek çapı arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımının arttığı görülmektedir. Kaynak çekirdeği büyüdükçe, yük taşıyan kesit artmakta ve o bölgedeki gerilme değeri küçülmektedir. Bunun sonucunda da, kaynaklı bölge daha yüksek kuvvet değerlerinde hasara uğramaktadır [2].

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 6 mm çekirdek çapında; 15 periyotta 6 mm çekirdek çapında; 20 periyotta 5,5 mm çekirdek çapında; 25 periyotta 5,5 mm çekirdek çapında; 30 periyotta 7 mm çekirdek çapında elde edilmiştir. SPA-C bağlantılarda olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek çapı artmasına rağmen dayanım azalmaktadır.

Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle çekirdek çapının artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [41,60,61].



Şekil 5.40. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

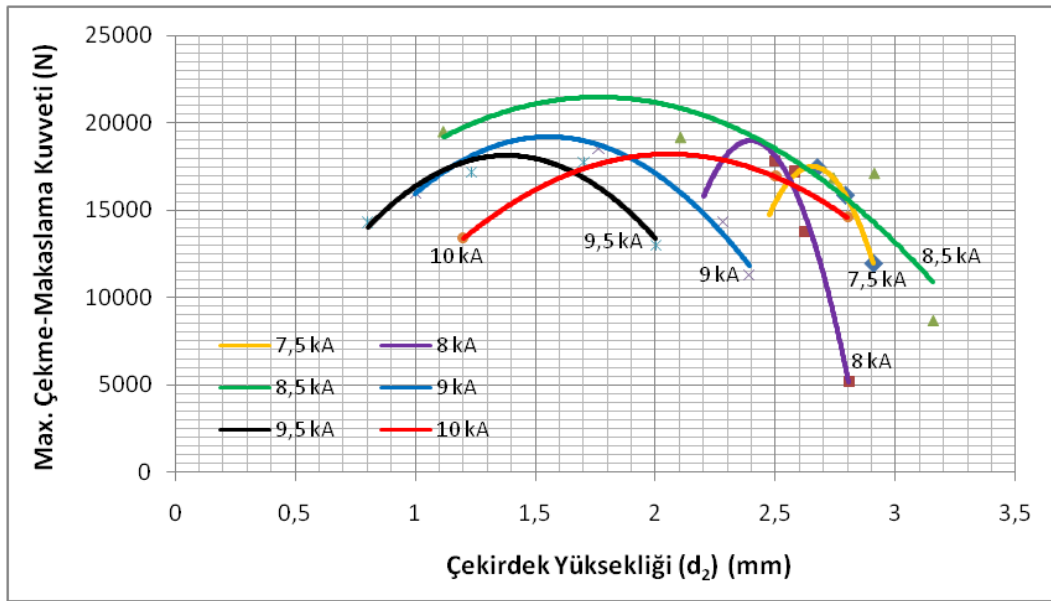


Şekil 5.41. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

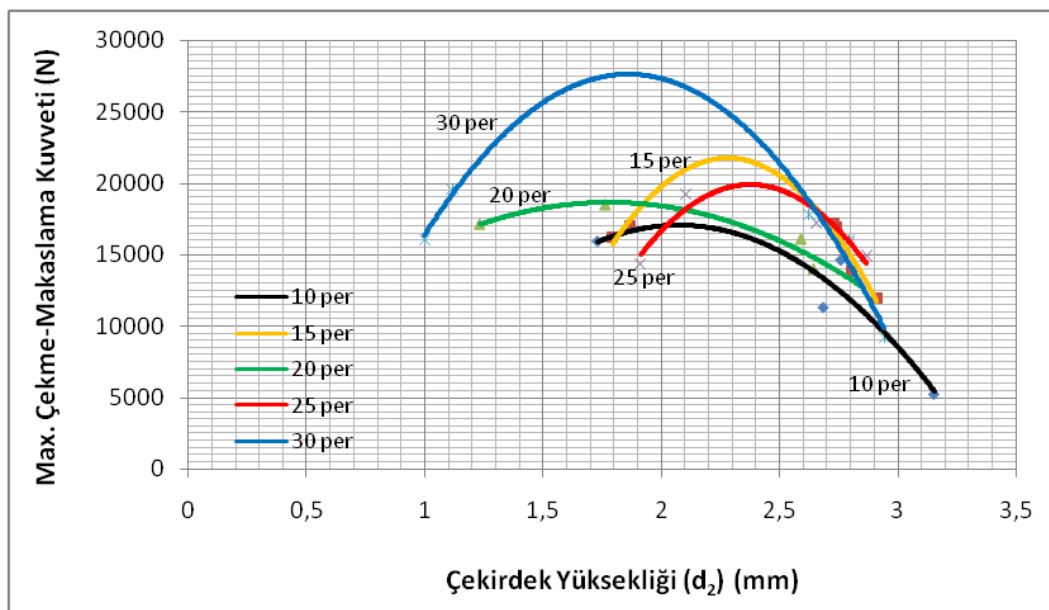
5.9.2. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.42. ve 5.43.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi çekirdek yüksekliği arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımı da azalmaktadır. Bunun

nedeni kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalır. Dolayısıyla düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.



Şekil 5.42. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

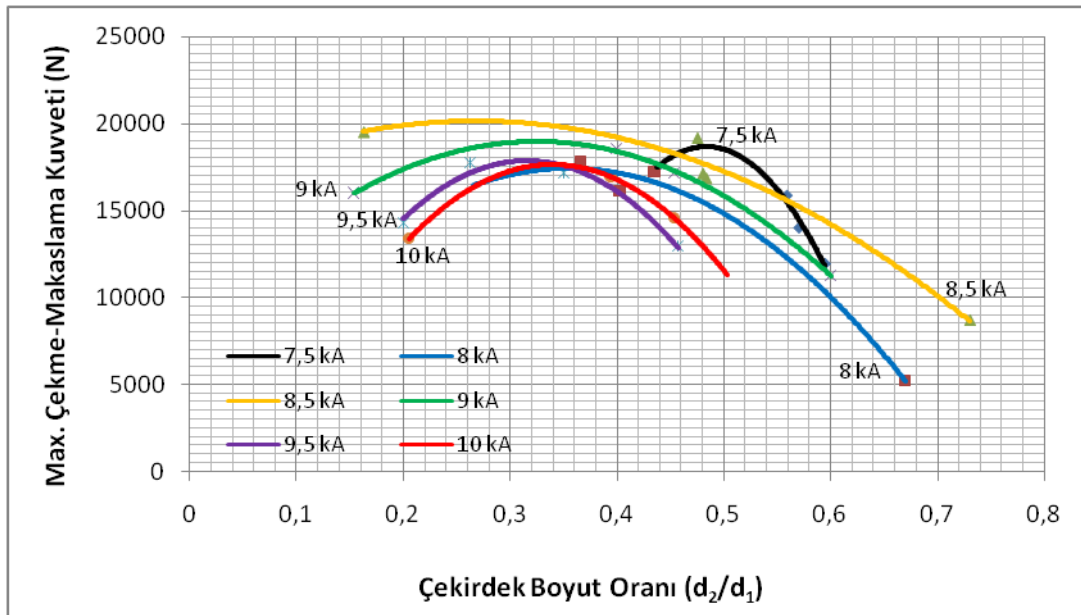


Şekil 5.43. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 2 mm çekirdek yüksekliğinde; 15 periyotta 2,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 20 periyotta 1,8 mm çekirdek yüksekliğinde; 25 periyotta 2,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 30 periyotta 1,9 mm çekirdek yüksekliğinde elde edilmiştir. SPA-C bağlantılarda olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek yüksekliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

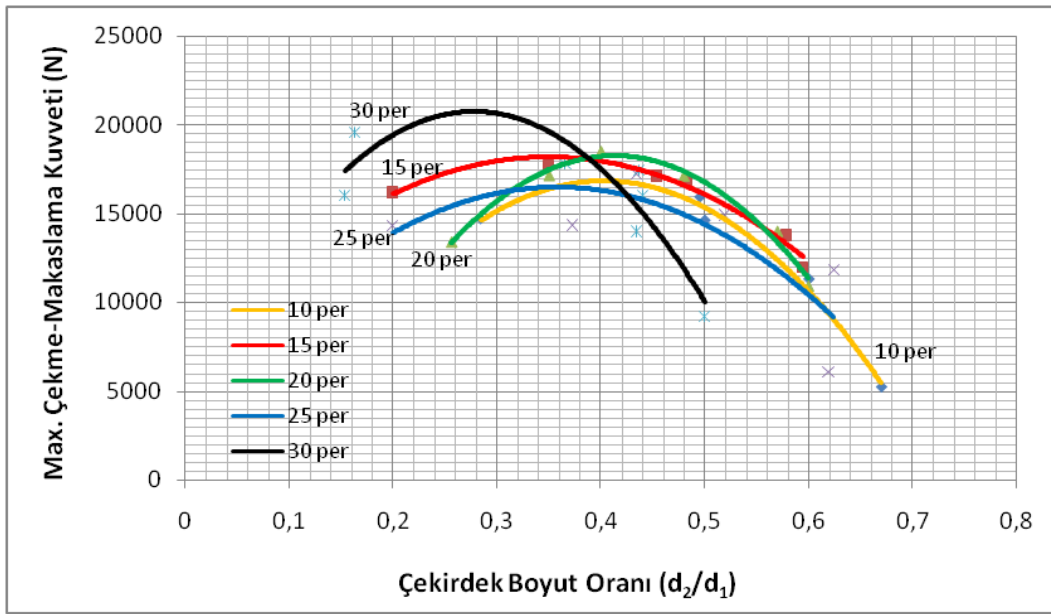
5.9.3. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.44. ve 5.45.'de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi çekirdek boyut oranı arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımı da azalmaktadır. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalırken çekirdek çapı artar. Yani çekirdek boyut oranı azalır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde ise düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.



Şekil 5.44. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 0,4 çekirdek boyut oranında; 15 periyotta 0,34 çekirdek boyut oranında; 20 periyotta 0,4 mm çekirdek boyut oranında; 25 periyotta 0,34 çekirdek boyut oranında; 30 periyotta 0,26 çekirdek boyut oranında elde edilmiştir. SPA-C bağlantılarda olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek boyut oranı artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmanın olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



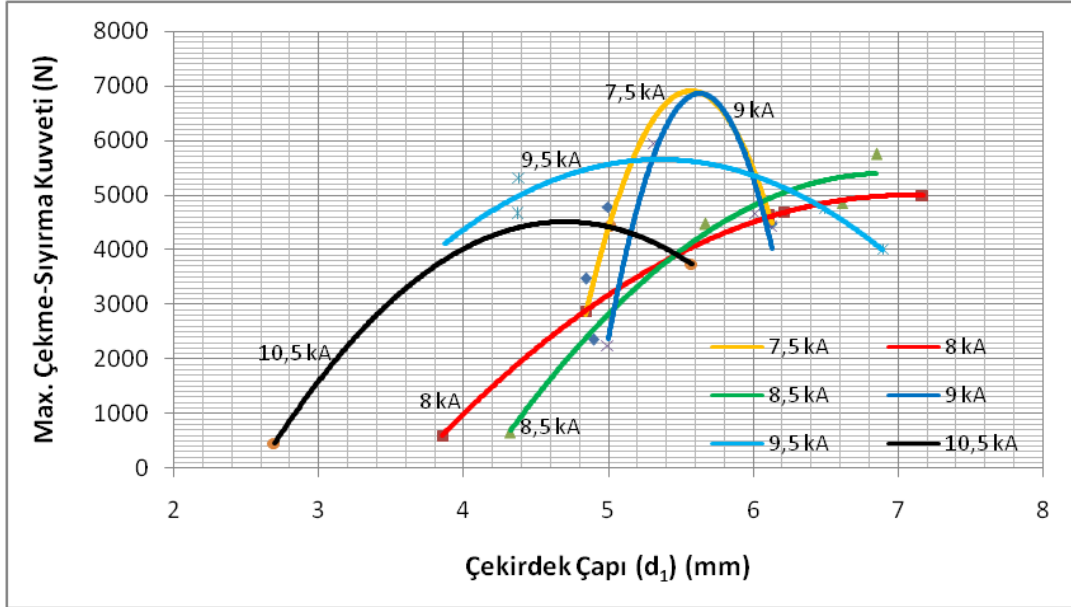
Şekil 5.45. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

5.9.4. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

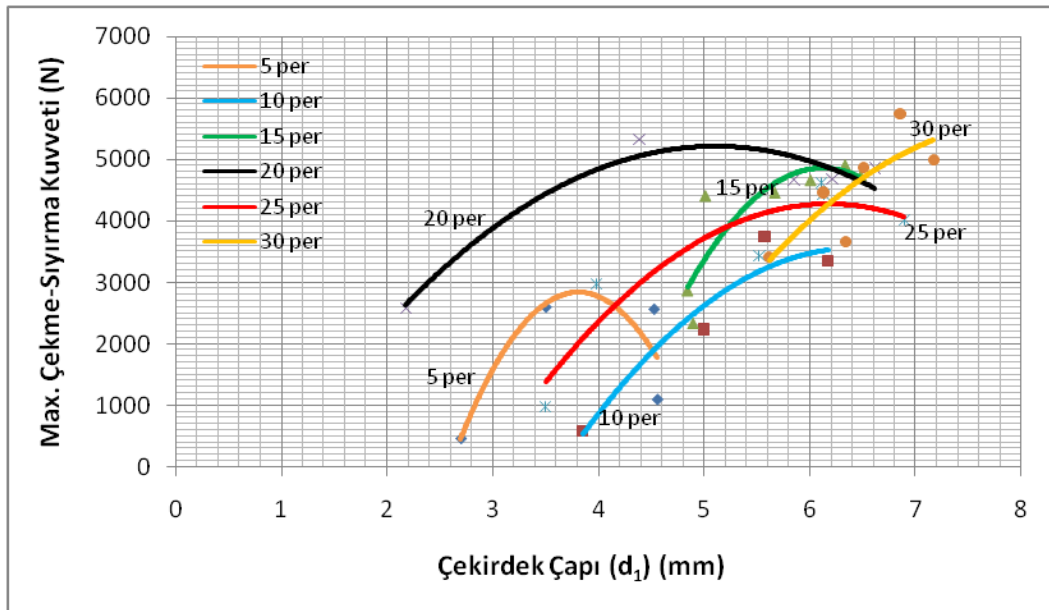
Şekil 5.46 ve 5.47'de görüldüğü gibi çekirdek çapı arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. Ancak belli bir noktadan sonra aşırı dalma derinliği ve fişkırma nedeniyle çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 5 periyotta 3,8 mm çekirdek çapında; 10 periyotta 6 mm çekirdek çapında; 15 periyotta 6 mm çekirdek çapında; 20 periyotta 5 mm çekirdek çapında; 25 periyotta 6 mm çekirdek çapında; 30 periyotta 7 mm

çekirdek çapında elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek çapı artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırımların olmasıdır.



Şekil 5.46. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

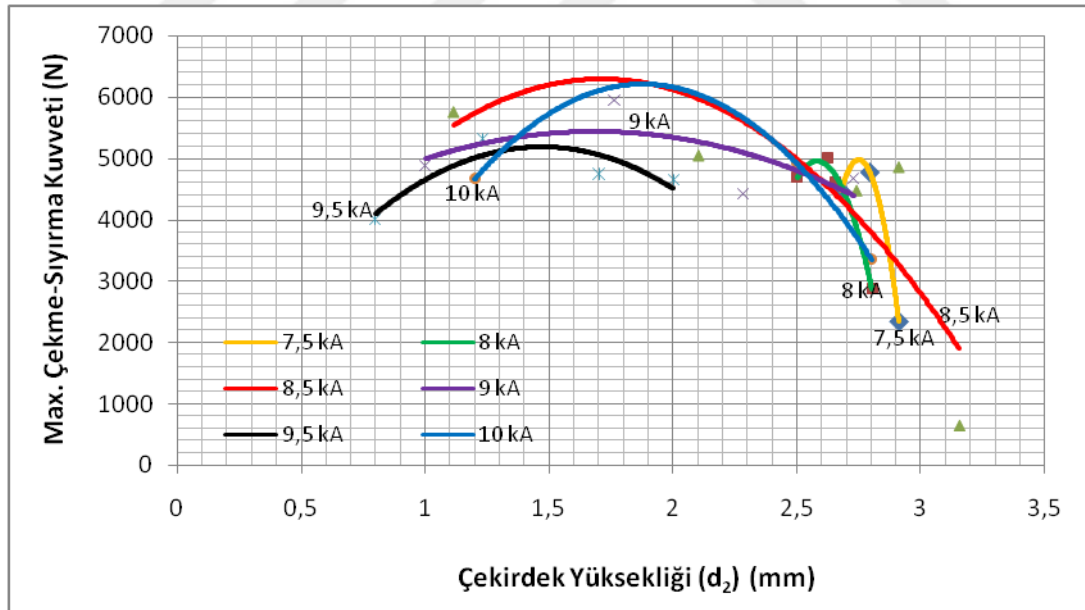


Şekil 5.47. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle çekirdek çapının artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

5.9.5. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

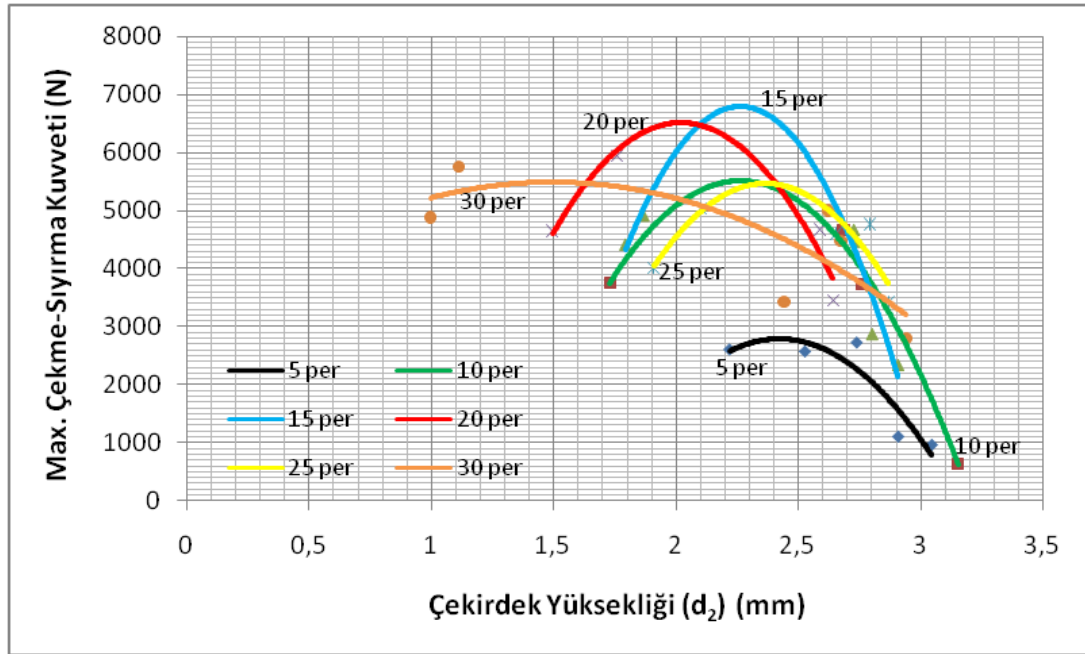
Şekil 5.48 ve 5.49'da görüldüğü gibi çekirdek yüksekliği arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Bunun nedeni SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalır. Dolayısıyla düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.



Şekil 5.48. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 5 periyotta 2,5 mm çekirdek yüksekliğinde; 10 periyotta 2,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 15 periyotta 2,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 20 periyotta 2 mm çekirdek yüksekliğinde; 25 periyotta 2,4 mm

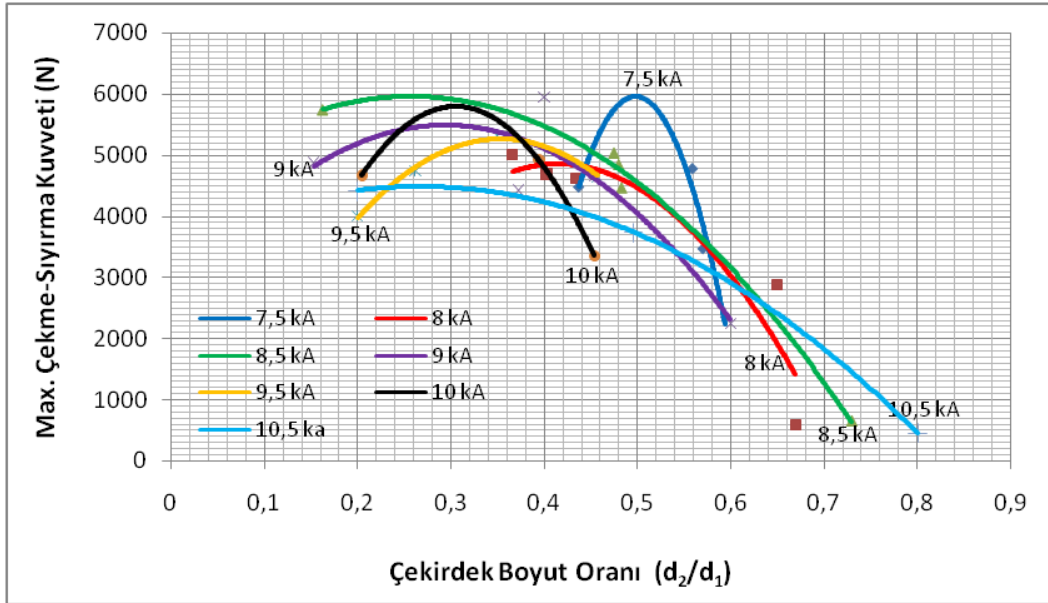
çekirdek yüksekliğinde; 30 periyotta 1,5 mm çekirdek yüksekliğinde elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek yüksekliği artmasına rağmen çekme-sıyırma dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmanın olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].



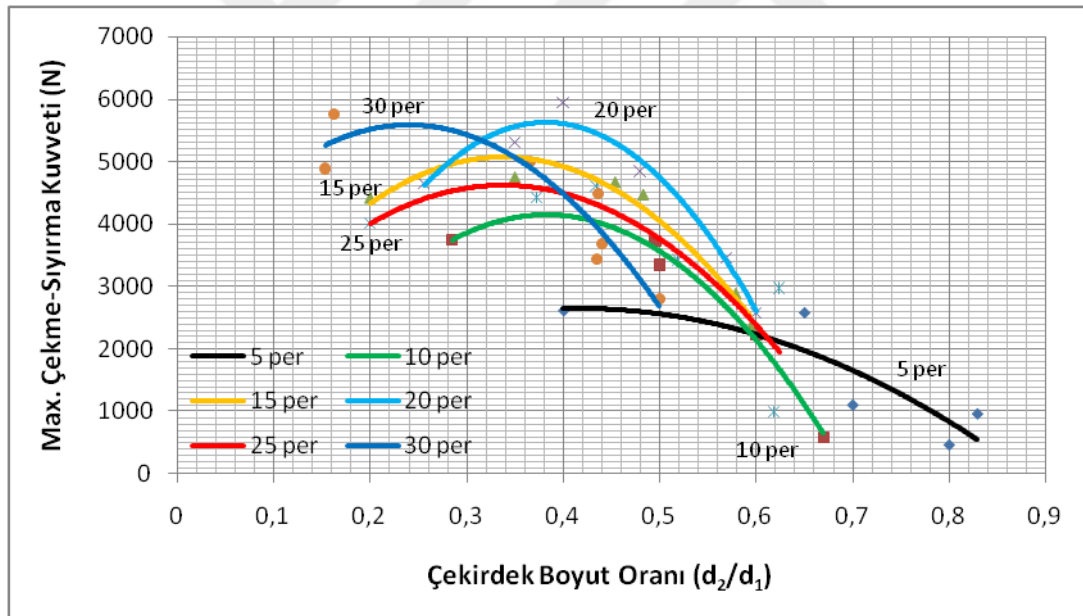
Şekil 5.49. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

5.9.6. S235JR(Cu) bağlantıların çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.50 ve 5.51'de görüldüğü gibi çekirdek boyut oranı arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliği azalırken çekirdek çapı artar. Yani çekirdek boyut oranı azalır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük akım ve zaman değerlerinde ise düşük ısı girişine bağlı olarak çekme-makaslama dayanımı da düşüktür.



Şekil 5.50. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.51. S235JR(Cu) bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

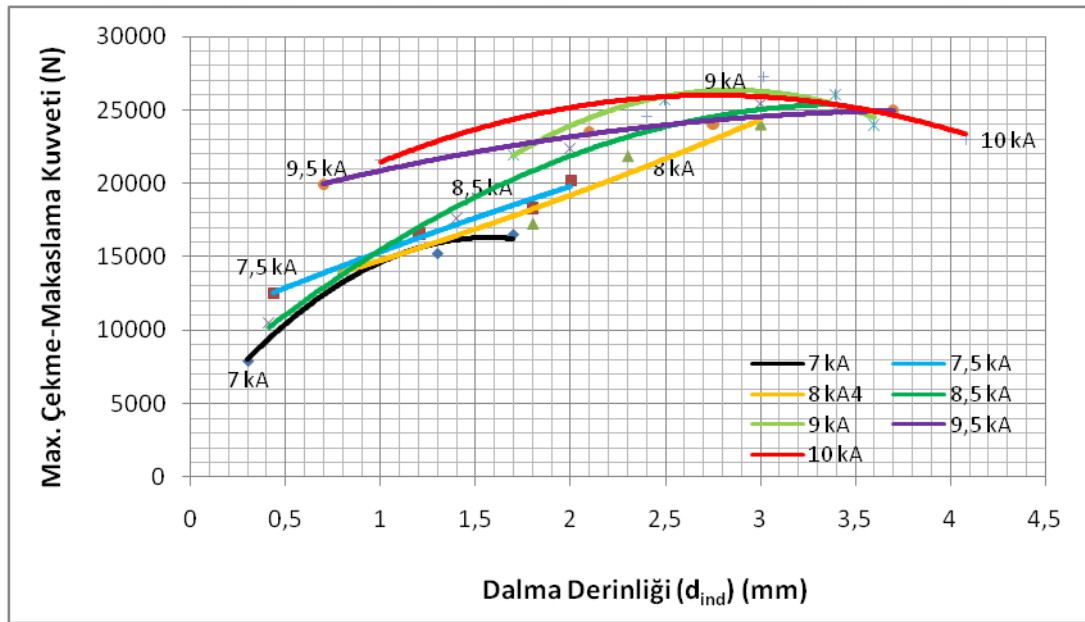
Maksimum çekme-sıyrma dayanımı 5 periyotta 0,4 çekirdek boyut oranında; 10 periyotta 0,4 çekirdek boyut oranında; 15 periyotta 0,35 çekirdek boyut oranında; 20 periyotta 0,38 çekirdek boyut oranında; 25 periyotta 0,35 çekirdek boyut oranında; 30 periyotta 0,24 çekirdek boyut oranında elde edilmiştir. Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra çekirdek boyut oranı artmasına

rağmen çekme-sıyırma dayanımı da azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [60,61].

5.10. SPA-C Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Dalma Derinliklerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

5.10.1. SPA-C bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

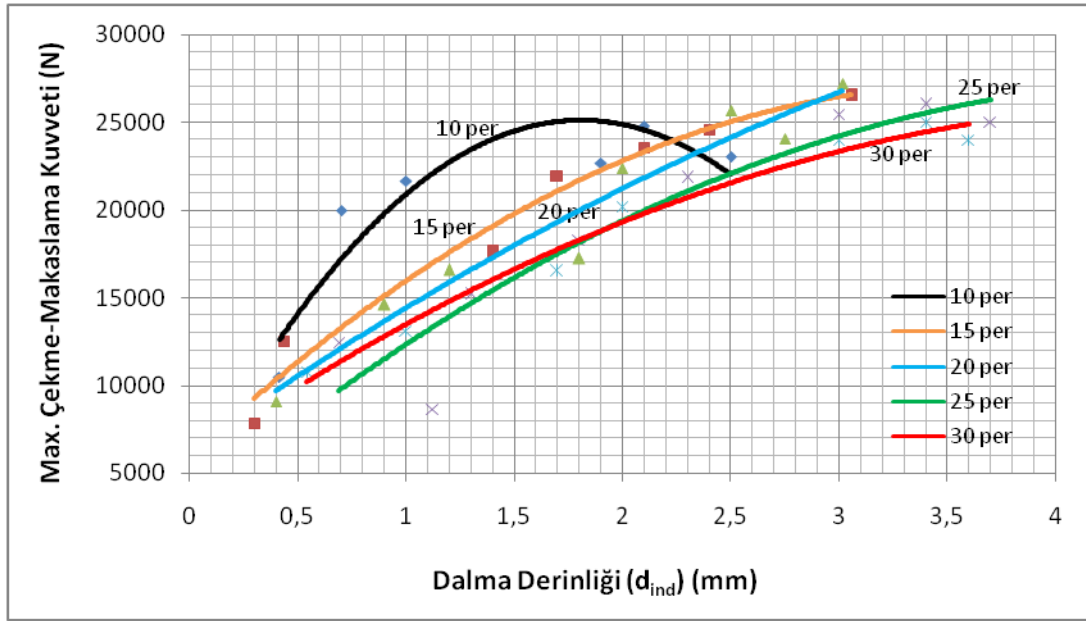
Şekil 5.52 ve 5.53’de görüldüğü gibi dalma derinliği arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımı da artmaktadır. Ancak belli bir noktadan sonra kaynak bölgesine giren yüksek ısı nedeniyle malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak fişkıрма oluşur. Bu yüzden dayanım düşmeye başlar.



Şekil 5.52. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

Maksimum çekme-makaslama dayanımı 10 periyotta 1,7 mm dalma derinliğinde; 15 periyotta 3 mm dalma derinliğinde; 20 periyotta 3 mm dalma derinliğinde; 25

periyotta 3,5 mm dalma derinliğinde; 30 periyotta 3,5 mm dalma derinliğinde elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra dalma derinliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkirmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle dalma derinliğinin artmasına rağmen dayanım azalmaktadır.



Şekil 5.53. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

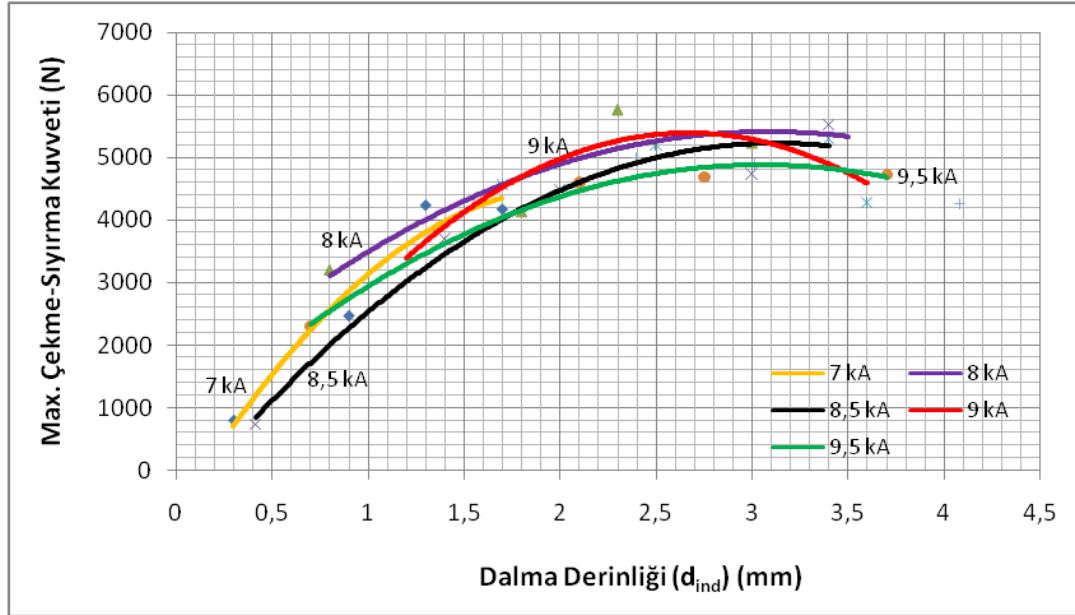
5.10.2. SPA-C bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.54 ve 5.55'de görüldüğü gibi dalma derinliği arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır.

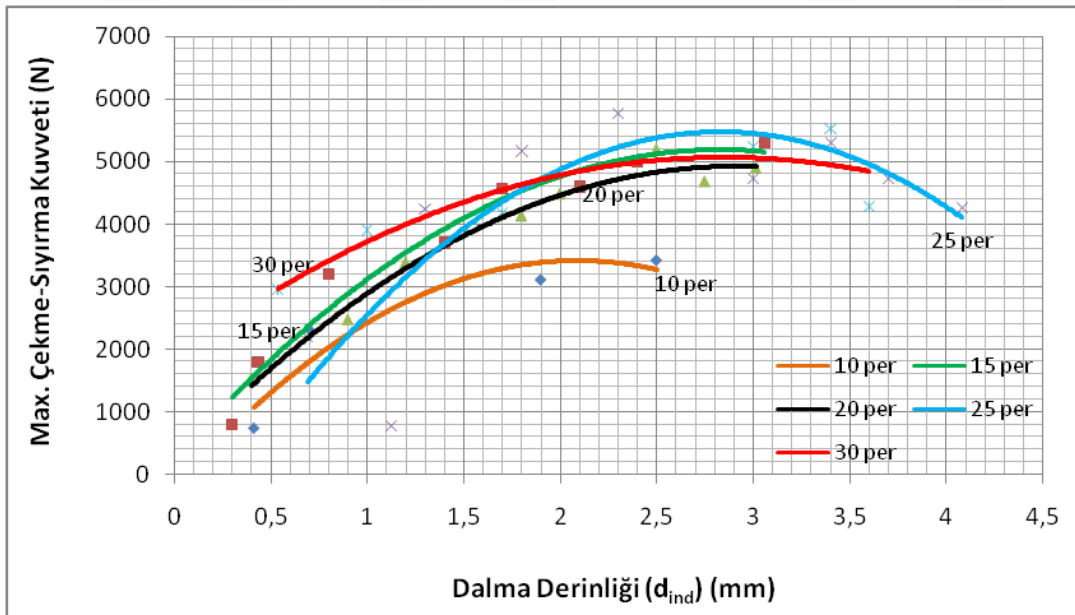
Ancak çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi belli bir noktadan sonra fişkırmaya nedeniyle çekme-sıyırma dayanımı da düşmeye başlar.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 10 periyotta 2,5 mm dalma derinliğinde; 15 periyotta 3 mm dalma derinliğinde; 20 periyotta 3 mm dalma derinliğinde; 25

periyotta 2,8 mm dalma derinliğinde; 30 periyotta 3 mm dalma derinliğinde elde edilmiştir.



Şekil 5.54. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit - kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.55. SPA-C bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken - kaynak zamanı sabit)

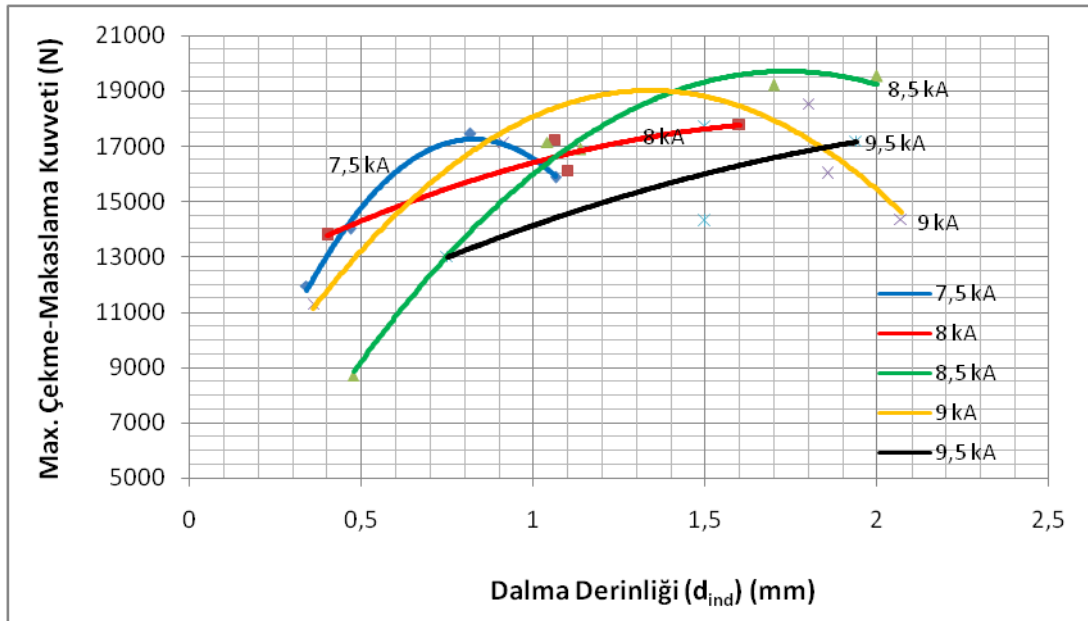
Çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi bu noktalardan sonra dalma derinliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı

miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle dalma derinliğinin artmasına rağmen dayanım azalmaktadır.

5.11. S235JR(Cu) Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Dalma Derinliklerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyrma Dayanımına Etkisi

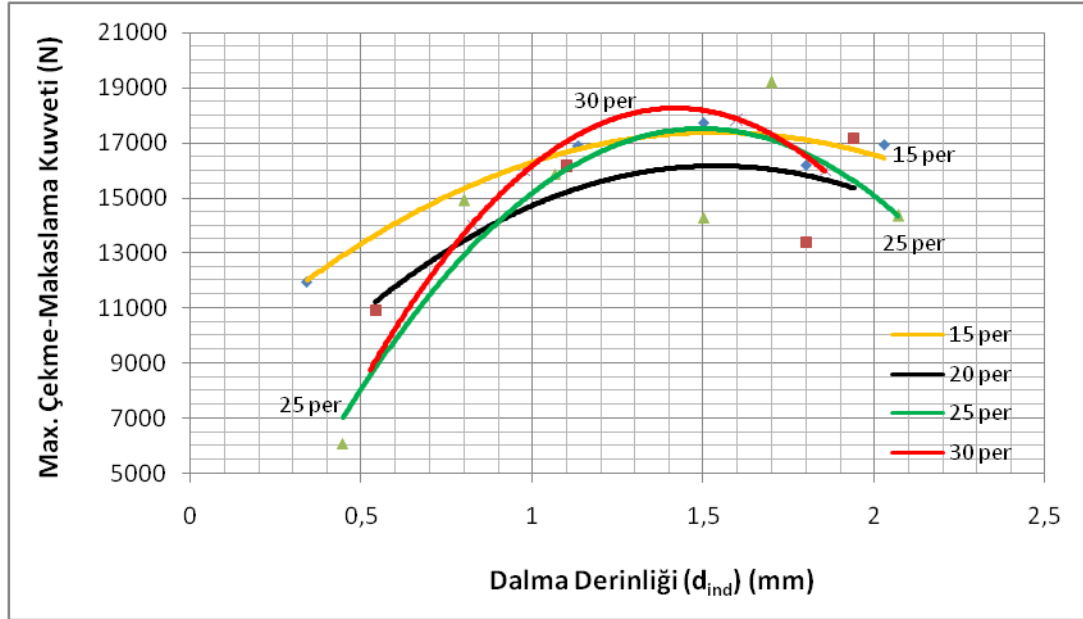
5.11.1. S235JR(Cu) bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.56 ve 5.57’de görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi dalma derinliği arttıkça, bağlantının çekme-makaslama dayanımı da artmaktadır. Ancak belli bir noktadan sonra fişkıрма nedeniyle dayanım düşmeye başlar. Maksimum çekme-makaslama dayanımı 15 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 20 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 25 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 30 periyotta 1,4 mm dalma derinliğinde elde edilmiştir.



Şekil 5.56. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

SPA-C bağlantılarda olduğu gibi bu noktalardan sonra dalma derinliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle dalma derinliğinin artmasına rağmen dayanım azalmaktadır.



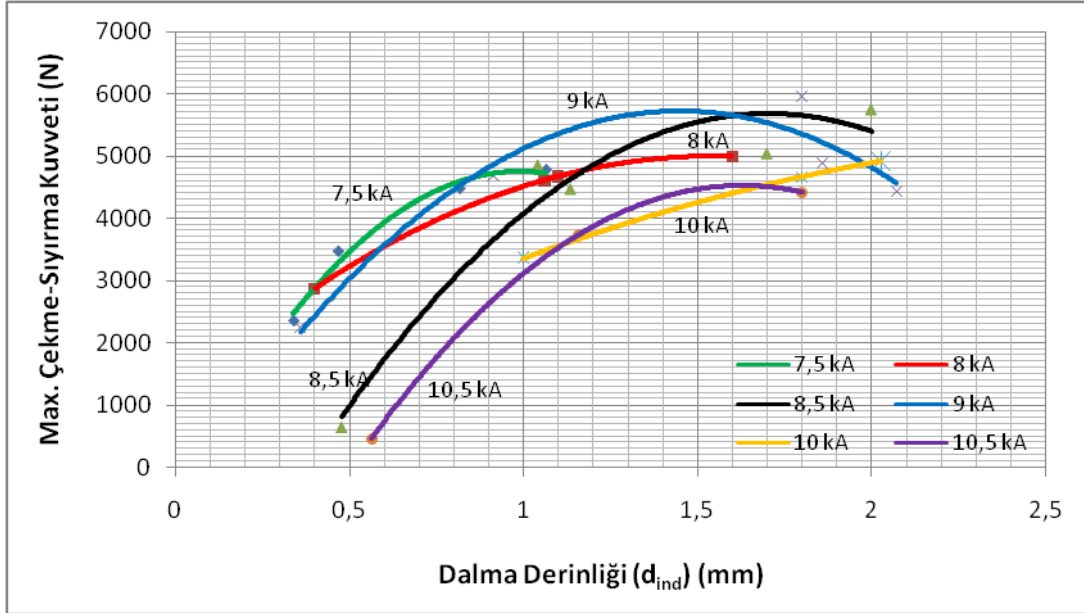
Şekil 5.57. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

5.11.2. S235JR(Cu) bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

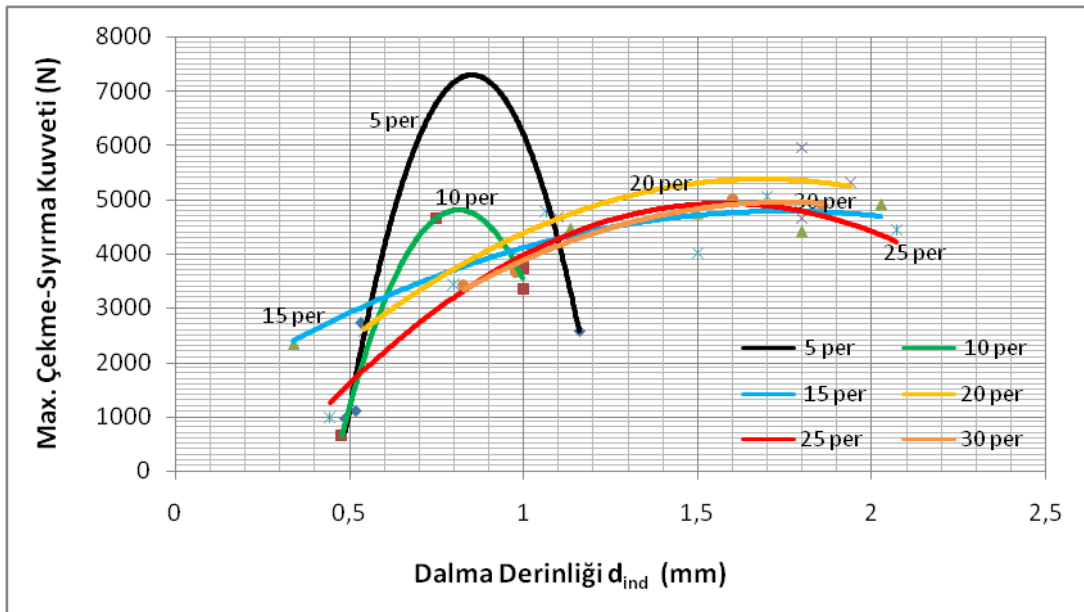
Şekil 5.58 ve 5.59'da görüldüğü ve SPA-C bağlantılarda olduğu gibi dalma derinliği arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. Ancak belli bir noktadan sonra fişkırmaya nedeniyle dayanım düşmeye başlar. Maksimum çekme-sıyırma dayanımı 5 periyotta 0,85 mm dalma derinliğinde; 10 periyotta 0,8 mm dalma derinliğinde; 15 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 20 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 25 periyotta 1,5 mm dalma derinliğinde; 30 periyotta 1,6 mm dalma derinliğinde elde edilmiştir.

SPA-C bağlantılarda olduğu gibi bu noktalardan sonra dalma derinliği artmasına rağmen dayanım azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesine giren ısı miktarının

oldukça artması ve buna bağlı olarak çekirdek kesitinden fişkırmaların olmasıdır. Bu yüzden eriyen metal miktarının artması ve elektrot kuvveti nedeniyle dalma derinliğinin artmasına rağmen dayanım azalmaktadır.



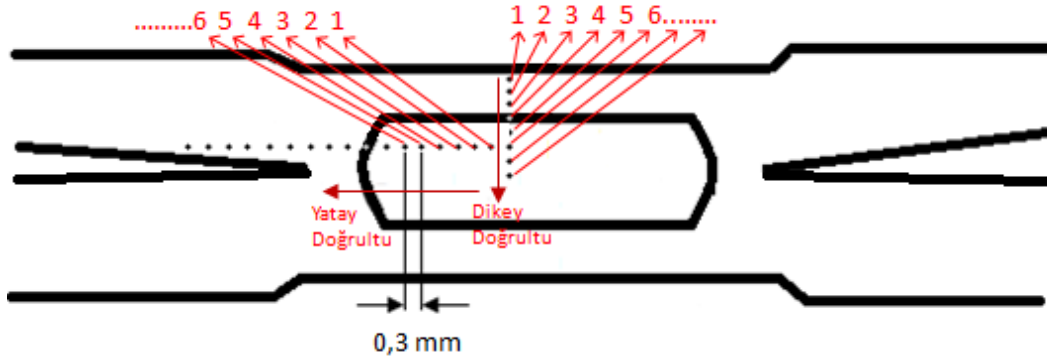
Şekil 5.58. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.59. S235JR(Cu) bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

5.12. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Sertlik Değerlerine Etkisi

Nokta kaynağı yapılmış SPA-C ve S235JR(Cu) bağlantılarda Şekil 5.60'da şematize edildiği biçimde esas metalden, ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeğinden dikey ve yatay doğrultularda 0,3 mm aralıklarla mikro vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri EN ISO 14271 standartına göre yapılmıştır [101].



Şekil 5.60. Sertlik ölçüm doğrultuları

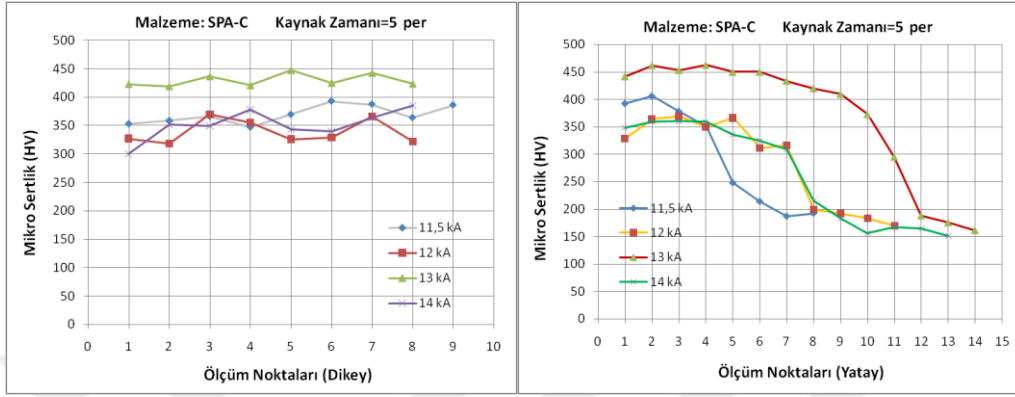
5.12.1. SPA-C çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin sertlik değerlerine etkisi

SPA-C bağlantılara ait sertlik grafikleri incelendiğinde; bağlantının aşağıda belirtildiği gibi üç farklı bölgeden oluştuğu görülmektedir:

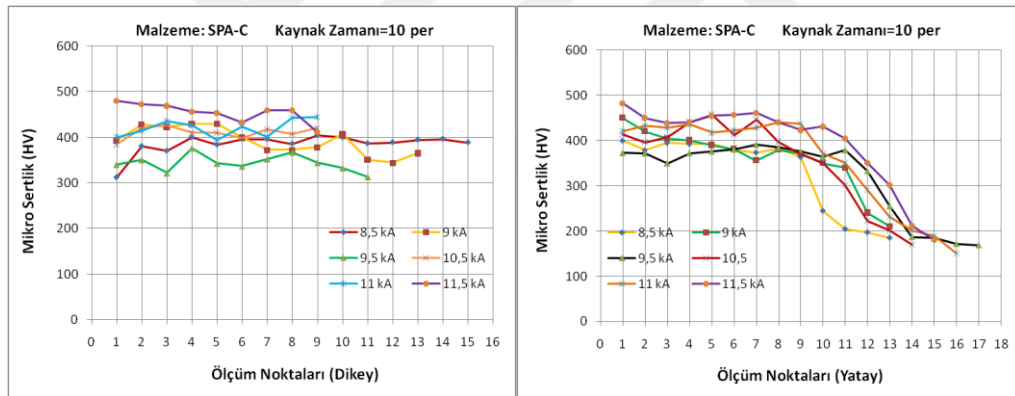
- i) Esas metal
- ii) ITAB
- iii) Kaynak çekirdeği

Kaynak çekirdeğinden esas metale doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir düşüş olmaktadır. Bağlantıların esas metal bölgesinde ki sertlik değerleri ortalama 160 HV iken kaynak çekirdeğine doğru gittikçe artmış ve kaynak bölgesinde ortalama 400 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak çekirdeğinin sertliği esas metalin sertliğinin 2,5 katıdır. Bunun nedeni kaynak bölgesinin çok kısa bir zaman içerisinde ısınıp soğumasına bağlı olarak oluşan martenzit yapısıdır [2,35,36,60].

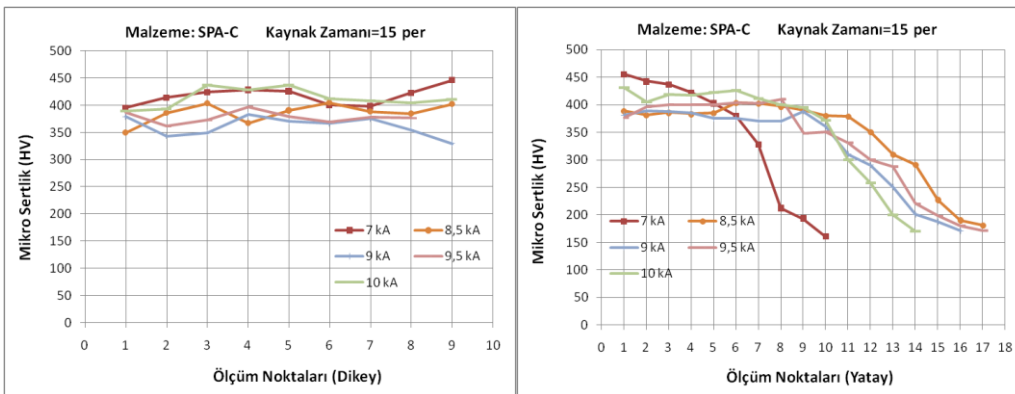
Şekil 5.61, Şekil 5.62, Şekil 5.63, Şekil 5.64, Şekil 5.65 ve Şekil 5.66'da 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanlarında değişik kaynak akım şiddetlerinde elde edilen SPA-C bağlantılara ait sertlik grafikleri gösterilmiştir.



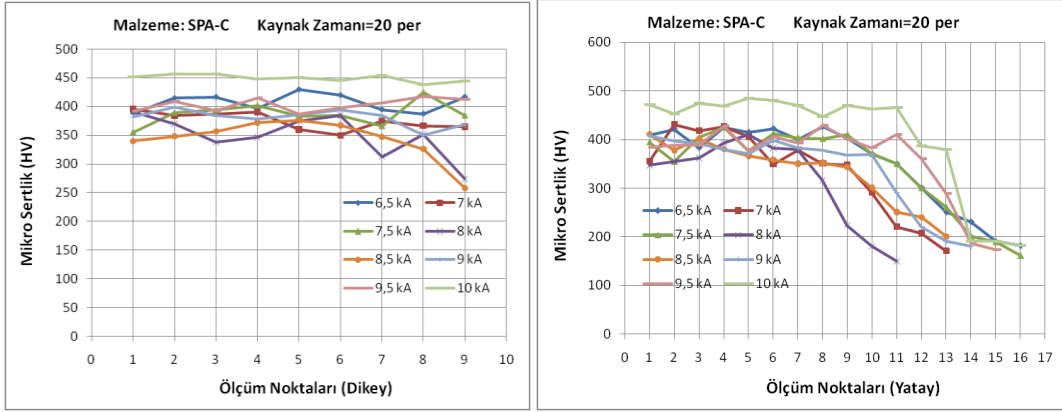
Şekil 5.61. SPA-C bağlantılarının 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



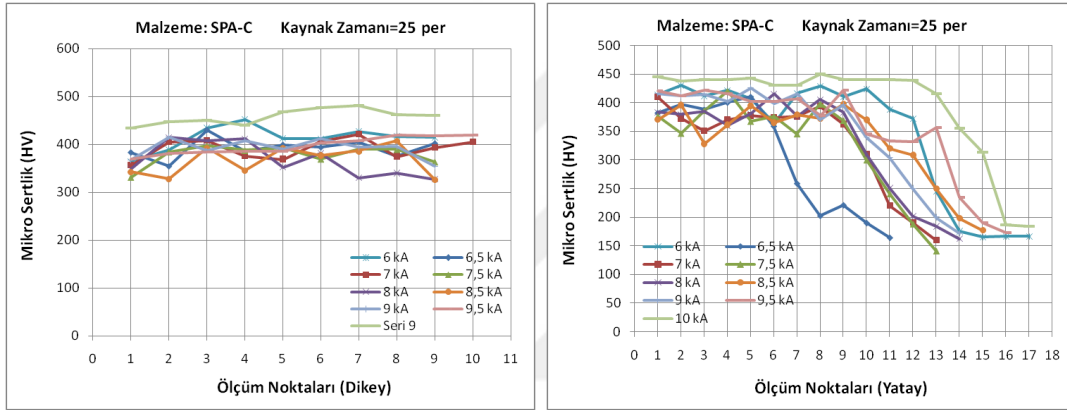
Şekil 5.62. SPA-C bağlantılarının 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



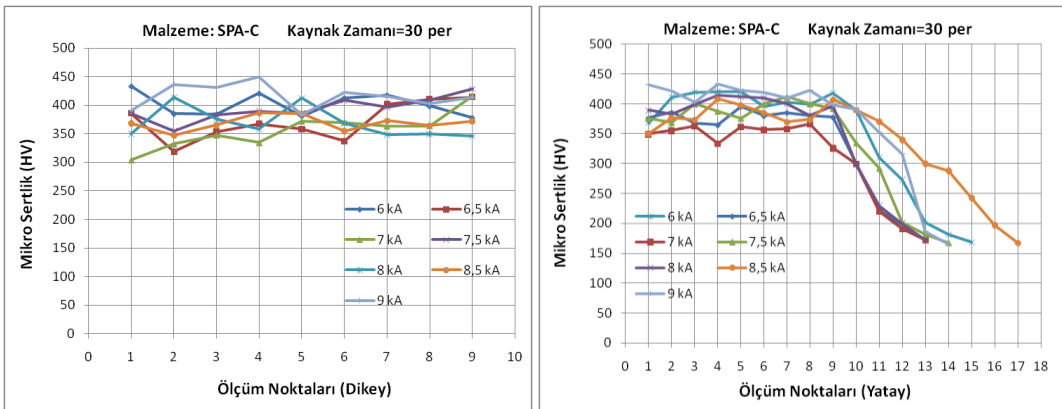
Şekil 5.63. SPA-C bağlantılarının 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



Şekil 5.64. SPA-C bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



Şekil 5.65. SPA-C bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



Şekil 5.66. SPA-C bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)

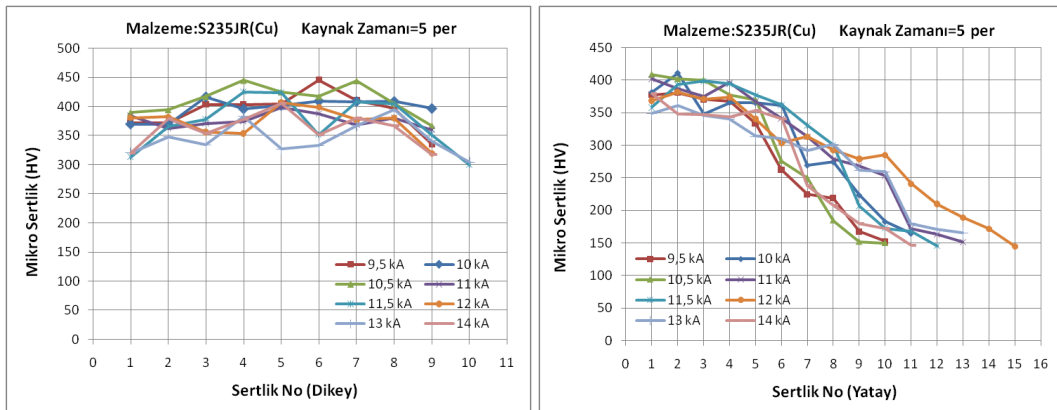
5.12.2. S235JR(Cu) çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin sertlik değerlerine etkisi

SPA-C bağlantılarda olduğu gibi; bağlantının aşağıda belirtilen üç farklı bölgeden oluştuğu görülmektedir:

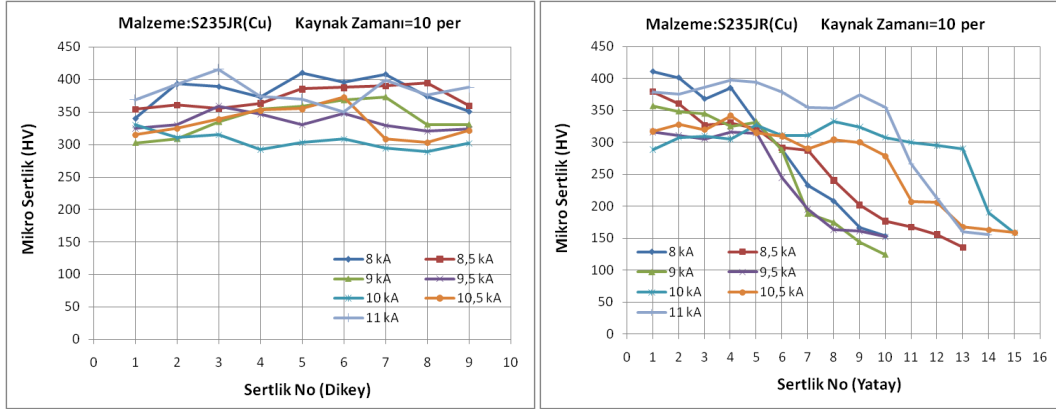
- i) Esas metal
- ii) ITAB
- iii) Kaynak çekirdeği

Bağlantıların esas metal bölgesinde ki sertlik değerleri ortalama 150 HV iken kaynak çekirdeğine doğru gittikçe artmış ve kaynak bölgesinde ortalama 350 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak çekirdeğinin sertliği esas metalin sertliğinin yaklaşık 2,3 katıdır. Bunun nedeni SPA-C bağlantılarda olduğu gibi kaynak bölgesinin çok kısa bir zaman içerisinde ısınıp soğumasına bağlı olarak oluşan martenzit yapısıdır [2,35,36,60].

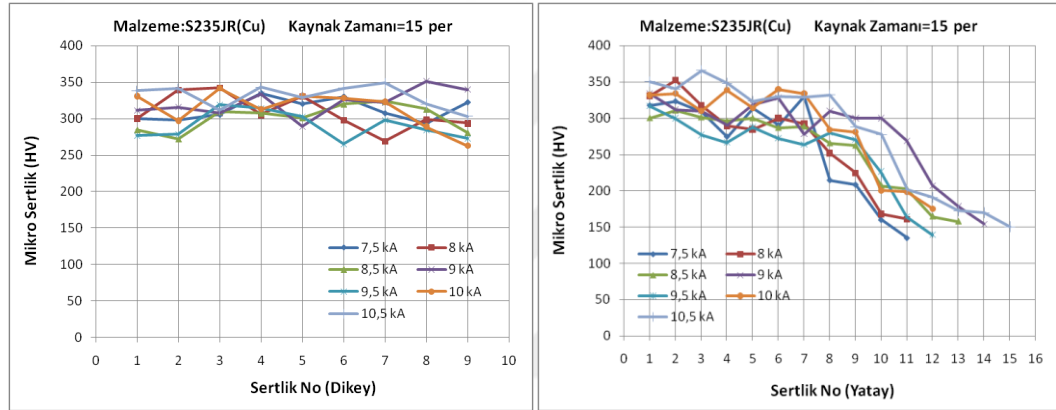
Şekil 5.67, Şekil 5.68, Şekil 5.69, Şekil 5.70, Şekil 5.71 ve Şekil 5.72’de 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanlarında değişik kaynak akım şiddetlerinde elde edilen SPA-C bağlantılara ait sertlik grafikleri gösterilmiştir.



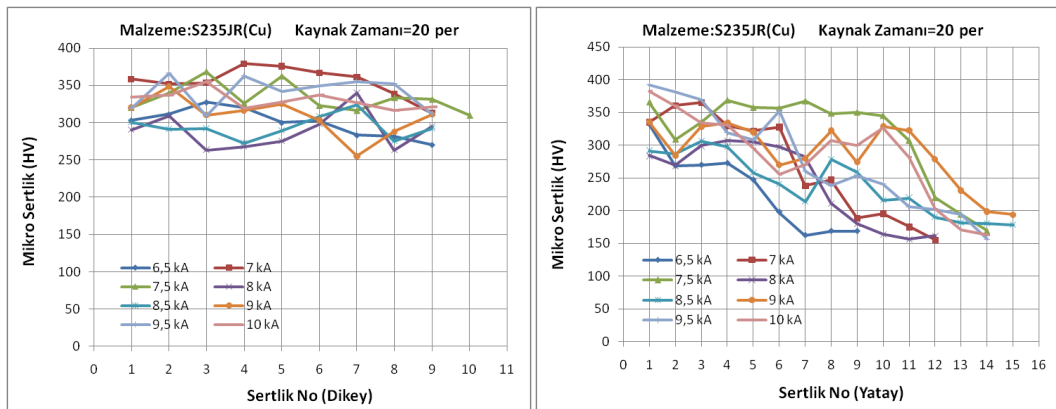
Şekil 5.67. S235JR(Cu) bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



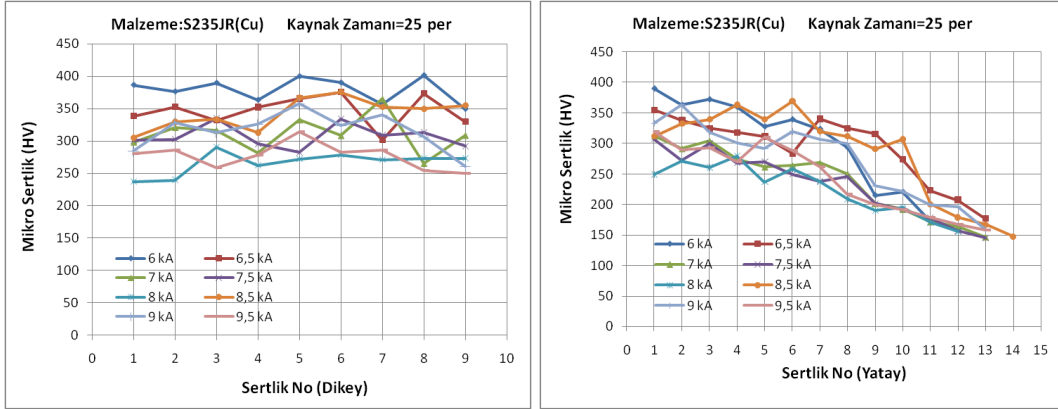
Şekil 5.68. S235JR(Cu) bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



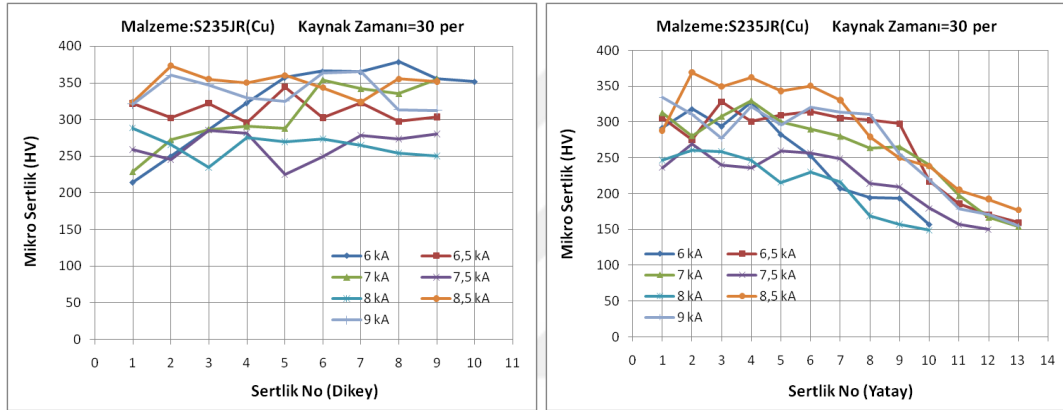
Şekil 5.69. S235JR(Cu) bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



Şekil 5.70. S235JR(Cu) bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



Şekil 5.71. S235JR(Cu) bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)



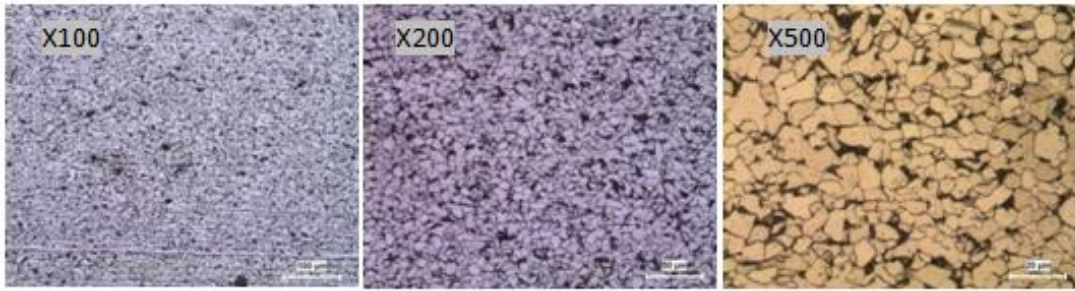
Şekil 5.72. S235JR(Cu) bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu)

5.13. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Mikro Yapısına Etkisi

5.13.1. SPA-C çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin bağlantıların mikroyapısına etkisi

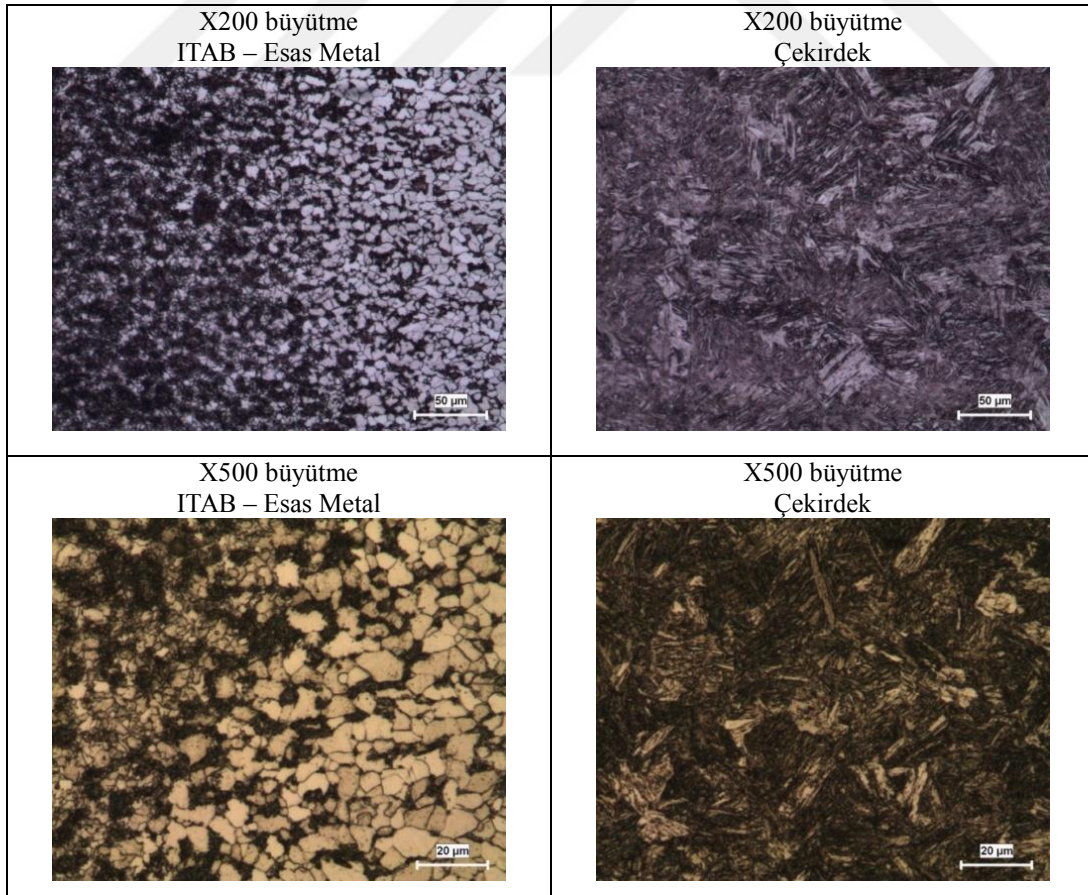
SPA-C bağlantılarda esas metale ait mikro yapılar x100, x200 ve x500 büyütmelelerde çekilen fotoğraflarla Şekil 5.73'de gösterilmiştir. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin değiştirilmesiyle elde edilen SPA-C bağlantıların esas metal, ITAB ve çekirdek bölgelerine ait x200 ve x500 büyütmelelerde çekilen mikro yapı fotoğraflarının bazıları Tablo 5.5'de gösterilmiştir. x100, x200 ve x500 büyütmelelerde çekilen bazı mikro yapı fotoğrafları bu çalışmanın ekinde verilmiştir.

SPA-C bağlantılara ait mikro yapılar incelendiğinde çeliğin karbon miktarına bağlı olarak (% 0,0997) yapı büyük oranda ferrit ve düşük bir oranda perlit fazından oluşmaktadır. ITAB'da oluşan yapının da ferrit ve perlit tanelerinden oluştuğu görülmektedir [35,36]. Bununla birlikte kaynak bölgesine giren ısının etkisiyle ITAB'da tane irileşmesi meydana gelmiştir [60]. Çekirdek bölgesinde ise hızlı soğumanın etkisiyle martenzit bir yapı oluşmuştur [35,36].



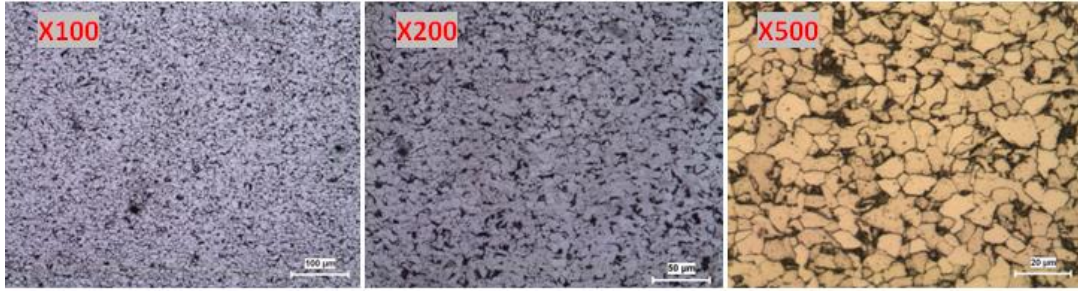
Şekil 5.73. SPA-C bağlantılarda esas metale ait mikro yapı fotoğrafları (x100, x200 ve x500 büyütme)

Tablo 5.5. SPA-C bağlantılara ait bazı mikroyapı görüntüleri



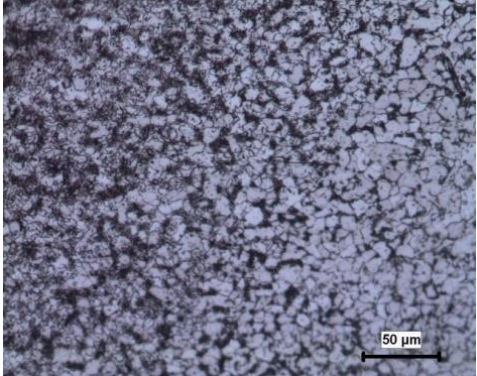
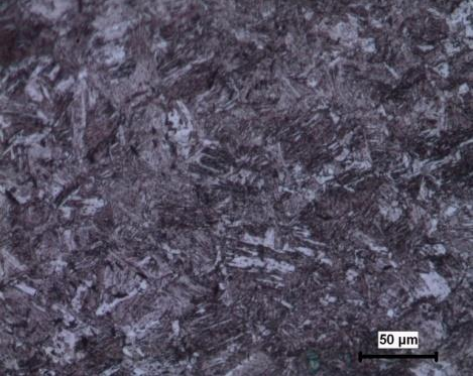
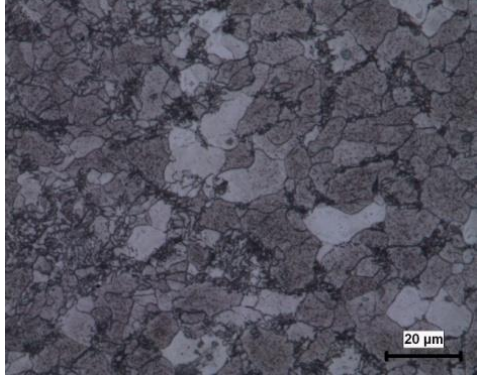
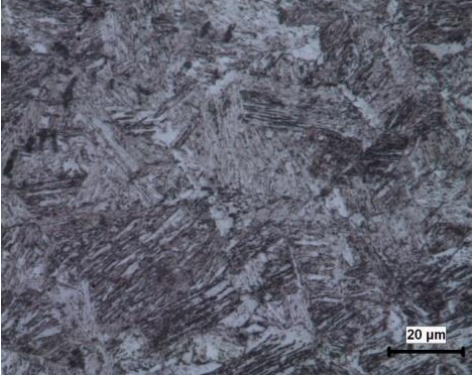
5.13.2. S235JR(Cu) çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak değişkenlerinin bağlantıların mikro yapısına etkisi

Esas metale ait x100, x200 ve x500 büyütmelerde çekilen mikro yapı fotoğrafları Şekil 5.74’de gösterilmiştir.



Şekil 5.74. S235JR(Cu) bağlantılarda ana malzemeye ait mikro yapı (x100, x200 ve x500 büyütme)

Tablo 5.6. S235JR(Cu) bağlantılara ait bazı mikroyapı görüntüleri

<p>X200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>X200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>X500 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>X500 büyütme Çekirdek</p> 

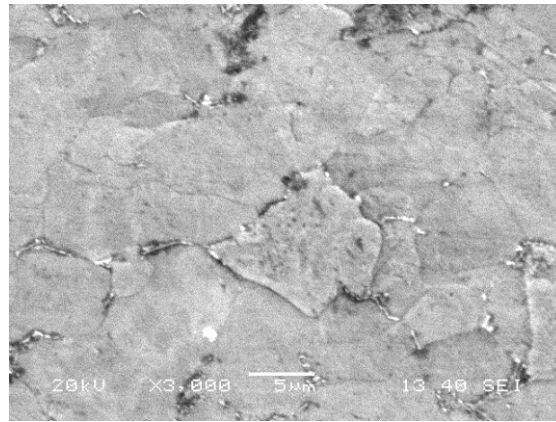
S235JR(Cu) bağlantıların değişik kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanında ki esas metal, ITAB ve çekirdek bölgelerine ait x200 ve x500 büyütmelelerde çekilen mikro yapı fotoğraflarının bazıları Tablo 5.6'da gösterilmiştir. x50, x100, x200 ve x500 büyütmelelerde çekilen bazı mikro yapı fotoğrafları bu çalışmanın ekinde verilmiştir.

S235JR(Cu) bağlantılara ait mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde SPA-C bağlantılarda olduğu gibi çeliğin içerdiği karbon miktarına (%0,0902) bağlı olarak yapının ferrit (açık renk alanlar) ve az bir miktar perlit (koyu renk alanlar) tanelerinden oluştuğu görülmektedir. ITAB ise ferrit+perlit fazlarından oluşmaktadır [35,36]. Ancak kaynak bölgesine giren ısının etkisiyle koyu renk bölgelerin ve tane boyutlarının artarak tane sınırlarının yavaş yavaş kaybolduğu görülmektedir. Çekirdek bölgesinde malzemenin düşük karbon oranına rağmen hızlı soğuma nedeniyle martenzit bir yapı oluşmuştur [35,36].

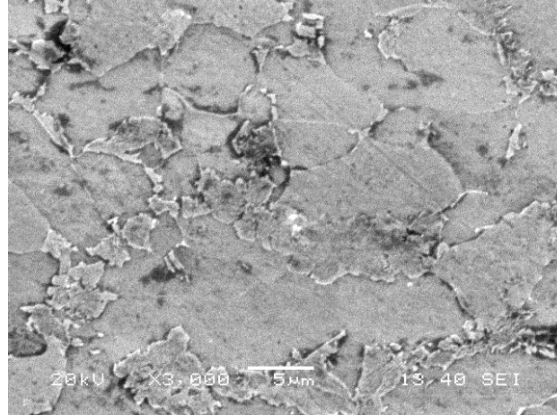
5.14. Bağlantıların Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri

5.14.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait SEM görüntüleri ve EDS analizi

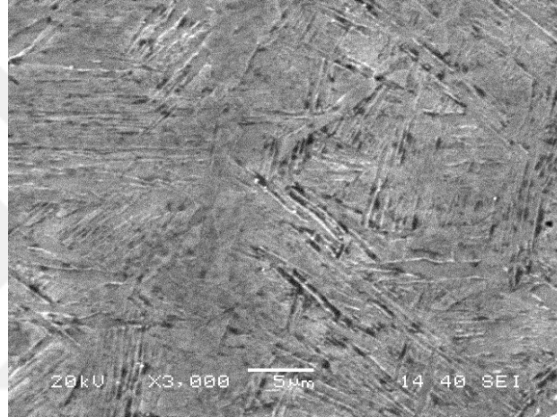
SPA-C bağlantıların esas metal, ITAB ve kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 5.75, Şekil 5.76 ve Şekil 5.77'de gösterilmiştir.



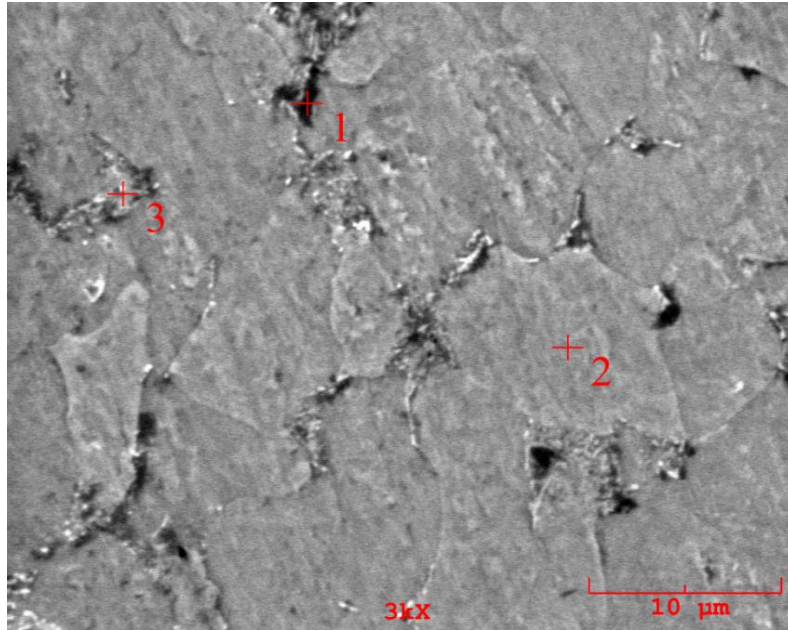
Şekil 5.75. SPA-C bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)



Şekil 5.76. SPA-C bağlantılarda ITAB'a ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)

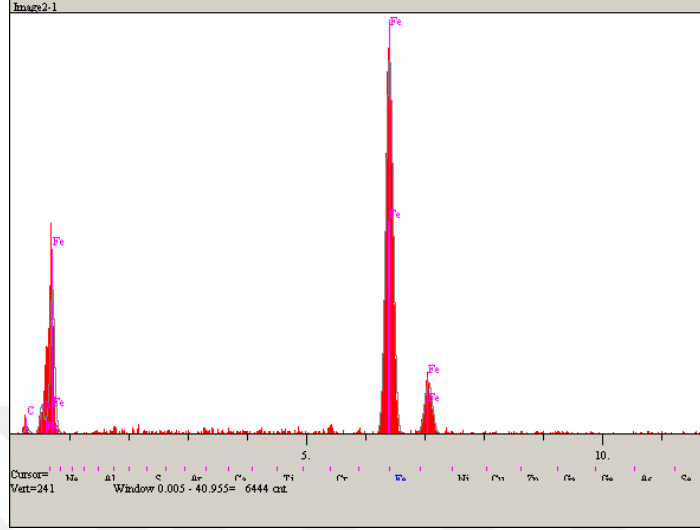


Şekil 5.77. SPA-C bağlantılarda kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)



Şekil 5.78. SPA-C bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü

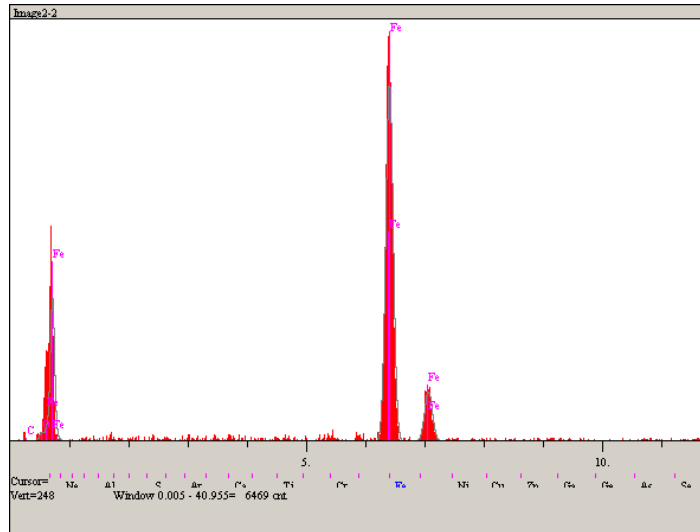
Şekil 5.78’de esas metal ait SEM görüntüsü üzerinde işaretlenen (1), (2) ve (3) nolu noktalarında ki karbon miktarının belirlenmesi amacıyla EDS analizi yapılmıştır.



Şekil 5.79. Şekil 5.78 (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.7. Şekil 5.78 (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	3.85	1.240	3.744	wt.%	
O	Ka	14.04	2.370	5.043	wt.%	
Fe	Ka	338.99	11.644	91.213	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

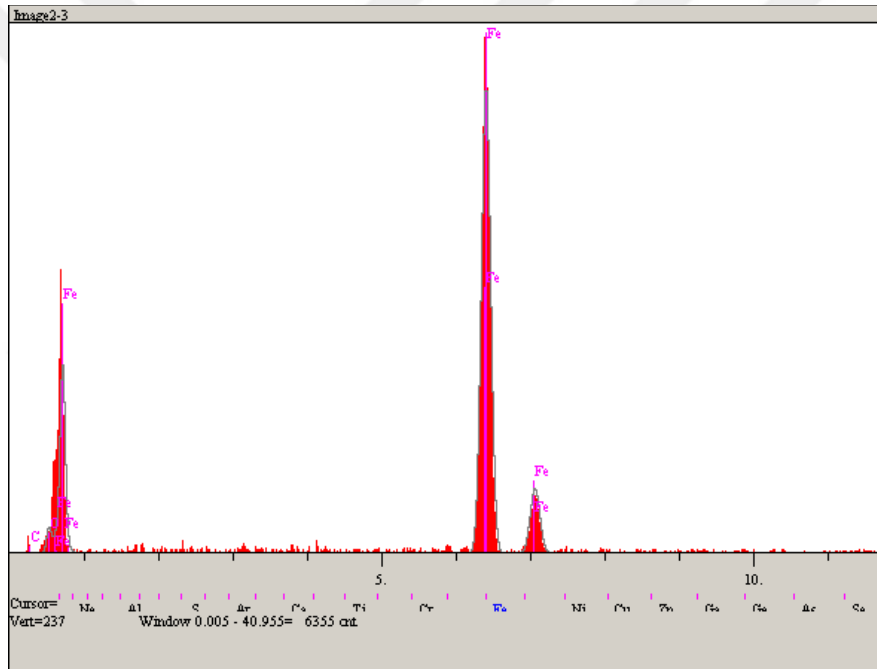


Şekil 5.80. Şekil 5.78 (2) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.8. Şekil 5.78 (2) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	4.79	1.383	1.808	wt.%	
Fe	Ka	329.97	11.483	98.192	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.78 (1) noktasında görüldüğü gibi SPA-C bağlantılarda tane sınırlarında oluşan koyu renk alanların EDS analizinde %3,744 oranında karbon içerdiği tespit edilmiştir.



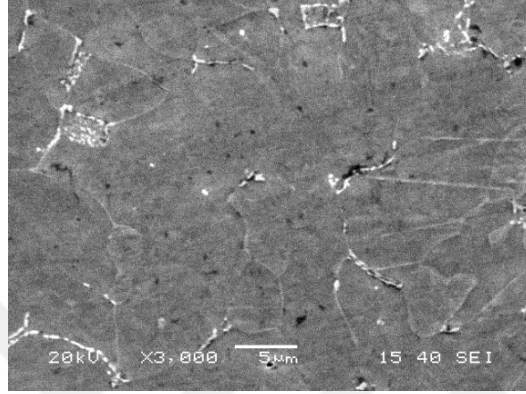
Şekil 5.81. Şekil 5.78 (3) noktasında görüntülenenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.9. Şekil 5.78 (3) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

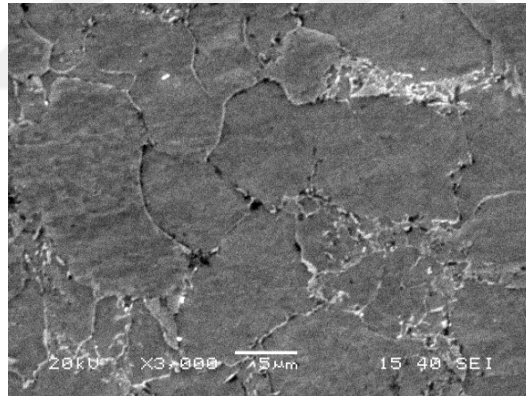
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.46	0.429	0.503	wt.%	
O	Ka	10.38	2.037	3.841	wt.%	
Fe	Ka	327.75	11.449	95.656	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

5.14.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

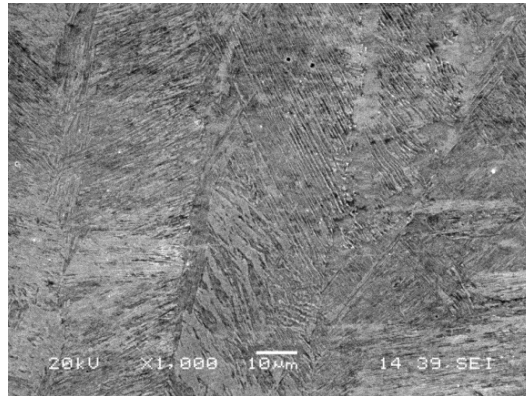
S235JR(Cu) bağlantıların esas metal, ITAB ve kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüleri Şekil 5.82, Şekil 5.83 ve Şekil 5.84'de gösterilmiştir.



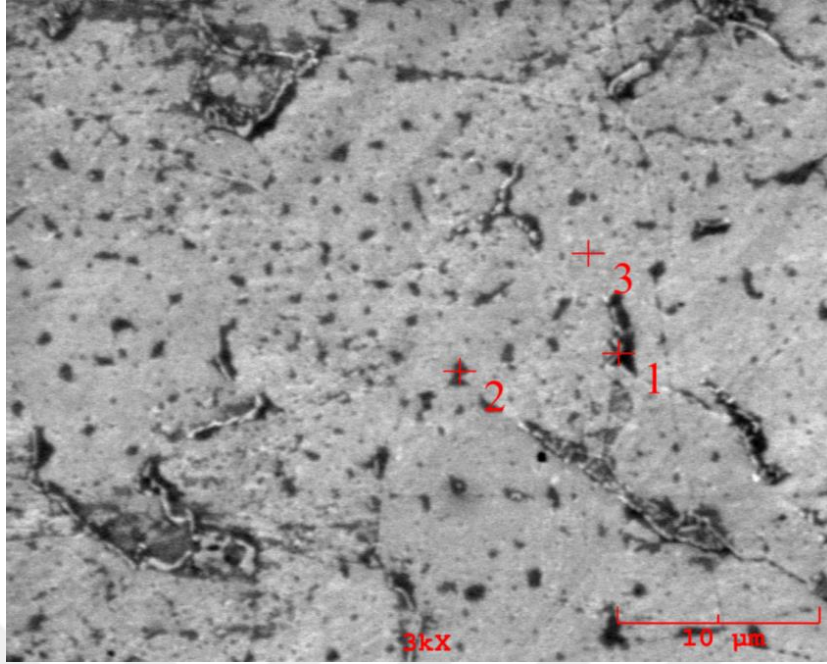
Şekil 5.82. S235JR(Cu) bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)



Şekil 5.83. S235JR(Cu) bağlantılarda ITAB'a ait SEM görüntüsü (x3000 büyütme)



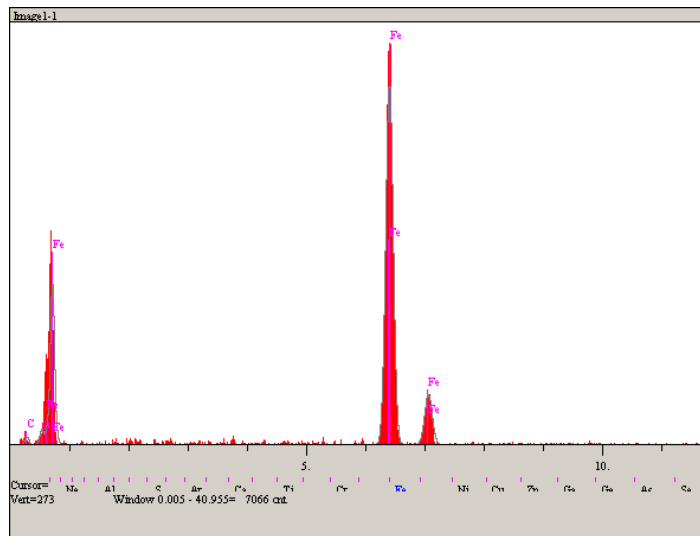
Şekil 5.84. S235JR(Cu) bağlantılarda kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü (x1000 büyütme)



Şekil 5.85. S235JR(Cu) bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü

Şekil 5.85’de esas metale ait SEM görüntüsü üzerinde işaretlenen (1), (2) ve (3) noktalarında ki karbon miktarının belirlenmesi amacıyla EDS analizi yapılmıştır.

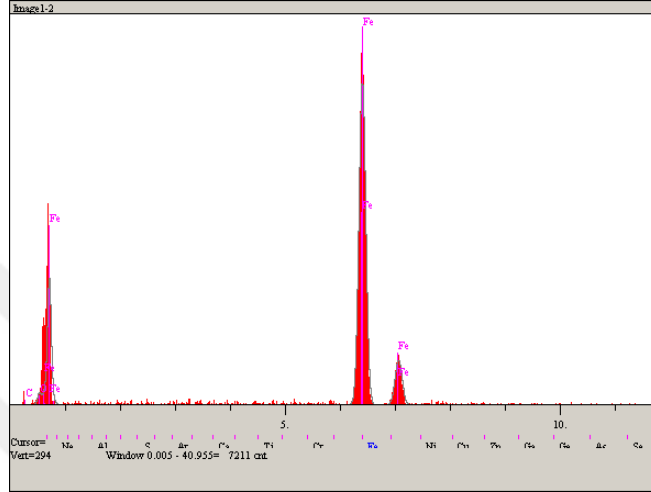
Şekil 5.85 (1) noktasında görüldüğü gibi S235JR(Cu) bağlantılarda tane sınırlarında oluşan koyu renk alanların EDS analizinde %4,283 oranında karbon içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.86. Şekil 5.85 (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.10. Şekil 5.85 (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

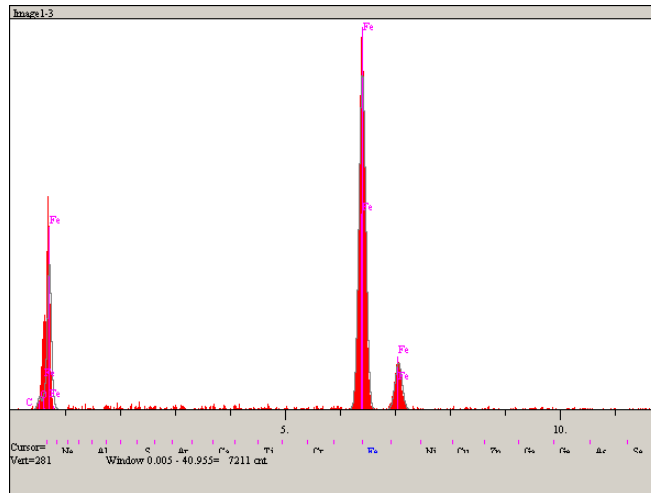
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	4.63	1.360	4.283	wt.%	
O	Ka	8.04	1.793	2.777	wt.%	
Fe	Ka	366.50	12.107	92.940	wt.%	
				100.000	wt.%	Total



Şekil 5.87. Şekil 5.85 (2) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.11. Şekil 5.85 (2) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	8.12	1.802	2.613	wt.%	
Fe	Ka	382.59	12.369	97.387	wt.%	
				100.000	wt.%	Total



Şekil 5.88. Şekil 5.85 (3) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

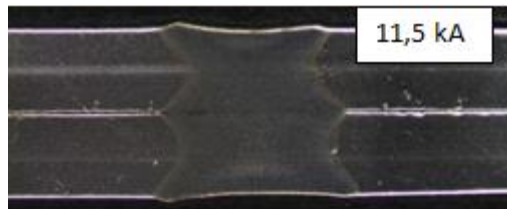
Tablo 5.12. Şekil 5.85 (3) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	7.56	1.739	2.451	wt.%	
Fe	Ka	380.90	12.342	97.549	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

5.15. Bağlantıların Makro Yapı İncelemesi

5.15.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait makro yapı fotoğrafları

SPA-C çelik sac çiftlerine ait makroyapı fotoğrafları incelendiğinde 5 periyotda kaynak çekirdeğinin oluşmadığı görülmektedir (şekil 5.89). 10, 15, 20, 25 ve 30 periyotta ise akım şiddetinin büyümesiyle birlikte çekirdek boyutlarının da büyüdüğü görülmektedir (şekil 5.90, şekil 5.91, şekil 5.92). 10 periyotta 11 kA'den sonra, 15 periyotta 10 kA'den sonra, 20 periyotta 9,5 kA'den sonra, 25 periyotta 9 kA'den sonra, 30 periyotta 8,5 kA'den sonra aşırı dalma derinliği ve fişkırmadan dolayı istenmeyen kaynak çekirdekleri oluşmuştur.



Şekil 5.89. SPA-C bağlantılarda 5 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.90. SPA-C bağlantılarda 15 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı



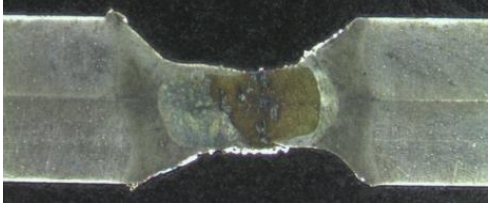

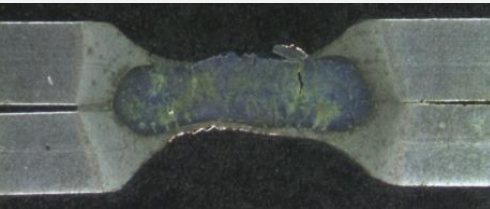
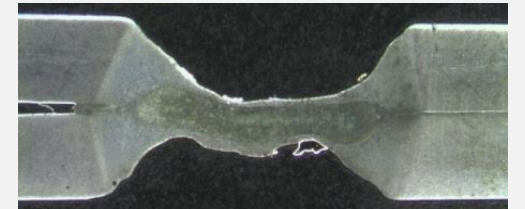
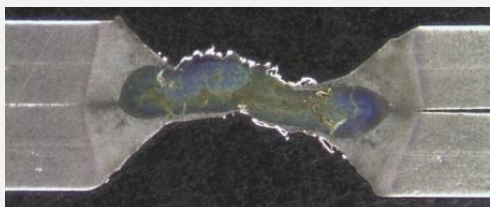

Şekil 5.91. SPA-C bağlantılarda 20 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.92. SPA-C bağlantılarda 25 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı

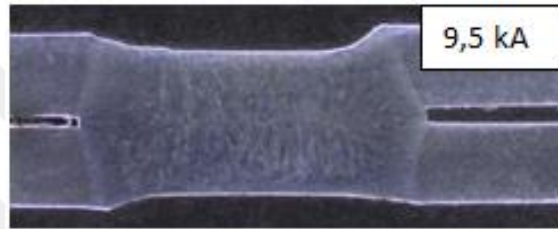
SPA-C bağlantılara ait aşırı dalma derinliği ve fişkırmamanın oluştuğu makroyapı fotoğrafları Tablo 5.13’de gösterilmiştir.

Tablo 5.13. SPA-C bağlantılara ait bazı makroyapı fotoğrafları

10 per – 11,5 kA 	15 per – 10,5 kA 
20 per – 10 kA 	25 per – 9,5 kA 
25 per – 10 kA 	30 per – 9 kA 

5.15.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine ait makro yapı fotoğrafları

S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine ait makroyapı fotoğrafları incelendiğinde kaynak akım şiddetinin büyümesiyle birlikte çekirdek boyutlarının da büyüdüğü görülmektedir (şekil 5.93, şekil 5.94, şekil 5.95). 10 periyotta 10,5 kA'den sonra, 15 periyotta 10 kA'den sonra, 20 periyotta 9 kA'den sonra, 25 periyotta 8,5 kA'den sonra, 30 periyotta 8 kA'den sonra aşırı dalma derinliği ve fişkırmadan dolayı istenmeyen kaynak çekirdekleri oluşmuştur.



Şekil 5.93. S235JR(Cu) bağlantılarda 15 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı



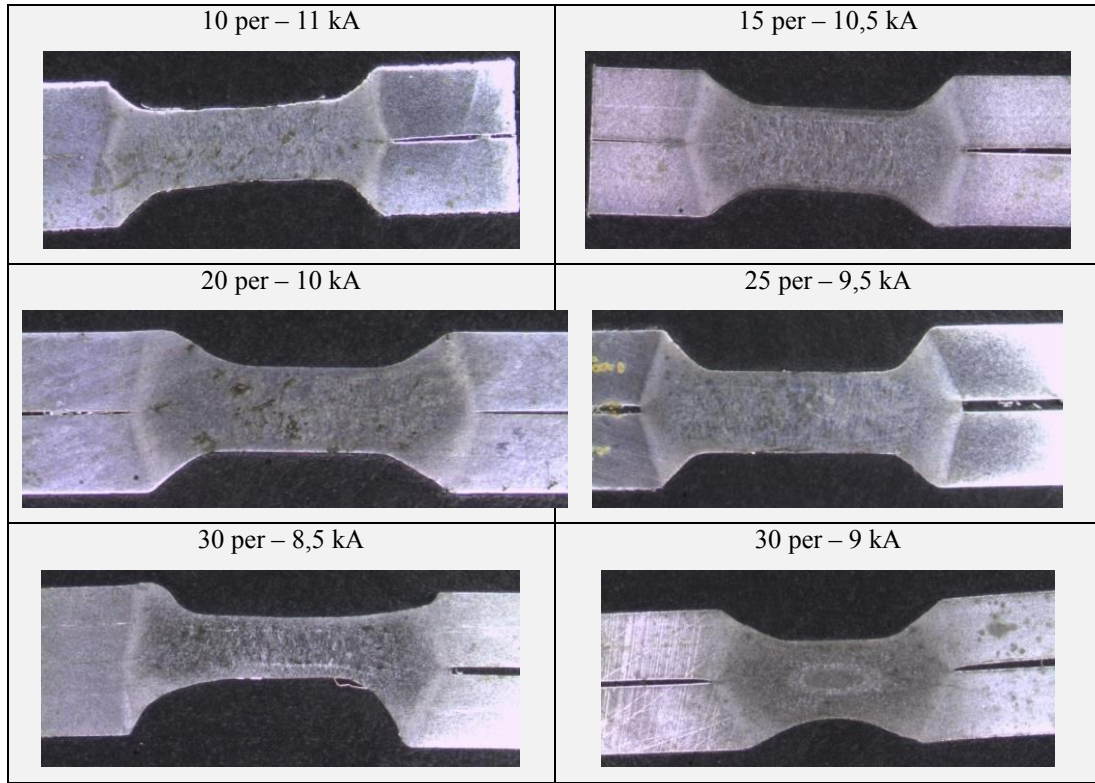
Şekil 5.94. S235JR(Cu) bağlantılarda 25 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.95. S235JR(Cu) bağlantılarda 30 periyot kaynak zamanına ait makroyapı fotoğrafı

S235JR(Cu) bağlantılara ait aşırı dalma derinliği ve fişkırmamanın oluştuğu makroyapı fotoğrafları Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

Tablo 5.14. S235JR(Cu) bağlantılara ait makroyapı fotoğrafları

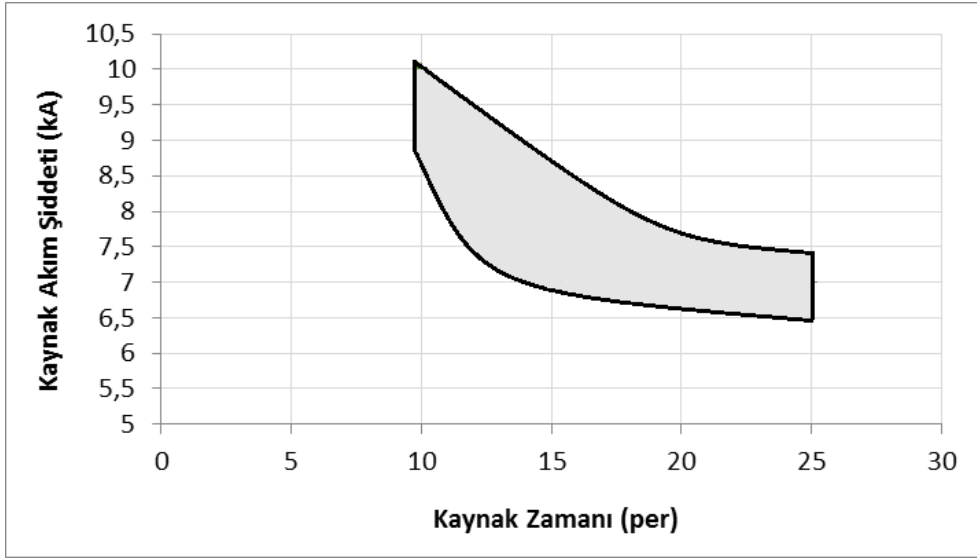


5.16. Bağlantıların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)

Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların kalitesini tanımlamada kullanılan en önemli özelliklerden biri çekirdek boyutlarıdır. Çekirdek boyutlarını etkileyen başlıca parametreler ise kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanıdır. Diğer değişkenler sabit tutulmak kaydıyla kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının değiştirilmesiyle elde edilen kabul edilebilir bağlantıların olduğu alan kaynak eğrisi grafiklerinde gösterilmiştir.

5.16.1. Elektrik direnç nokta kaynağında SPA-C çelik sac çiftlerine ait kaynak eğrisi (Weld Lobe)

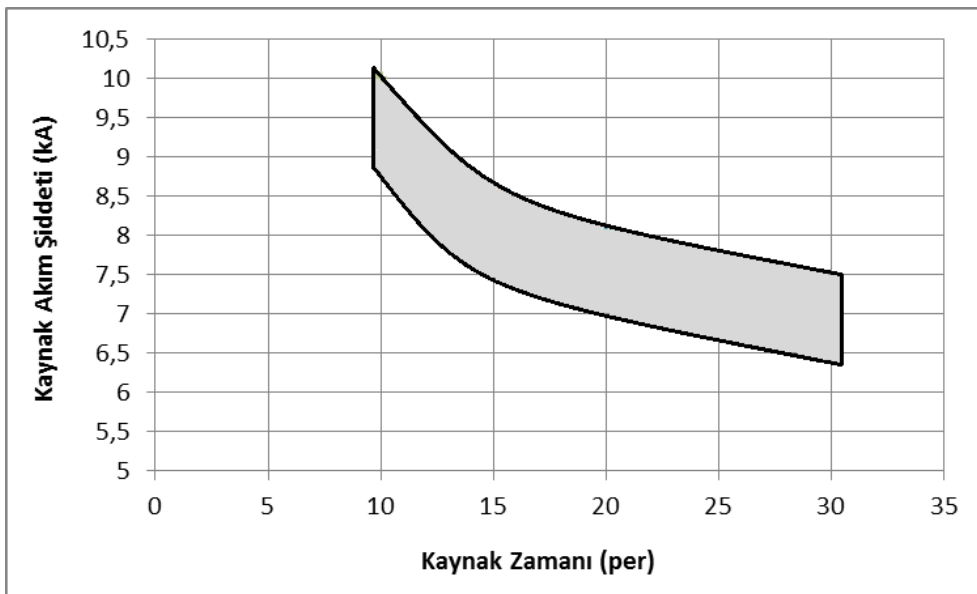
SPA-C çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında kabul edilebilir bağlantıların elde edildiği kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanını gösteren kaynak eğrisi (weld lobe) Şekil 5.96'da gösterilmiştir.



Şekil 5.96. SPA-C bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe)

5.16.2. Elektrik direnç nokta kaynağında S235JR(Cu) çelik sac çiftlerine ait kaynak eğrisi (Weld Lobe)

S235JR(Cu) çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında kabul edilebilir bağlantıların elde edildiği kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanını gösteren kaynak eğrisi (weld lobe) Şekil 5.97’de gösterilmiştir.



Şekil 5.97. S235JR(Cu) bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe)

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçların İrdelenmesi ve Öneriler

Bu doktora tez çalışmasında, raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmek suretiyle nokta kaynak bağlantılı numune serileri elde edilmiştir. Deneyleerde kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmıştır. Ön deneyleerde kaynak akım şiddeti ve zamanı değiştirilerek, kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük değerden malzemelerin delindiği en büyük değere kadar kaynak yapılmıştır. Ön deneyleelerin sonuçlarına göre her deney koşulunda yedi seri olarak elektrik direnç nokta kaynak bağlantılı parçalar elde edilmiştir. İlk üç seri çekme-makaslama dört, beş ve altıncı seriler çekme-sıyırma deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro vickers sertlik ölçümleri ile çekirdek boyut ölçümlerinin yapılması, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikro yapı fotoğraflarının çekilmesi için kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1) 2,3 mm SPA-C atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında maksimum çekme-makaslama dayanımı 30 periyot kaynak zamanı ve 8,5 kA kaynak akım şiddetinde elde edilmiştir.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımına ise 30 periyot kaynak zamanı ve 7,5 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülür. Elde edilen bu değer maksimum çekme-makaslama dayanımının yaklaşık olarak dörtte biri kadardır.

Maksimum çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına 7-8 mm çekirdek çapı, 2-2,5 mm çekirdek yüksekliği ve 0,30-0,35 çekirdek boyut oranında ulaşılmıştır.

Yüzey kalitesinin önemli olduğu yerlerde uygun bağlantılar 10 periyot kaynak zamanında 10,5 kA'de; 15 periyot kaynak zamanında 9 kA'de; 20 periyot kaynak zamanında 8,5 kA'de; 25 periyot kaynak zamanında 8,5 kA'de; 30 periyot kaynak zamanında 8 kA'de elde edilmiştir.

2) 2 mm S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında maksimum çekme-makaslama dayanımı 30 periyot kaynak zamanı ve 8 kA kaynak akım şiddetinde elde edilmiştir.

Maksimum çekme-sıyırma dayanımına ise 20 periyot kaynak zamanı ve 9 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülür. Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları, çekme-makaslama dayanımlarının yaklaşık olarak dörtte biri kadardır.

Maksimum çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına 7 mm çekirdek çapı, 1,5-1,9 mm çekirdek yüksekliği ve 0,24-0,26 çekirdek boyut oranında ulaşılmıştır.

Yüzey kalitesinin önemli olduğu yerlerde uygun bağlantılar 10 periyot kaynak zamanında 9,5 kA'de; 15 periyot kaynak zamanında 8,5 kA'de; 20 periyot kaynak zamanında 7,5 kA'de; 25 periyot kaynak zamanında 7 kA'de; 30 periyot kaynak zamanında 7 kA'de elde edilmiştir.

3) Hem SPA-C bağlantılarda hem de S235JR(Cu) bağlantılarda düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanında kaynak bölgesine giren ısı miktarı düşük olduğu için çekirdek boyutları da nispeten küçüktür. Buna bağlı olarak çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımları da düşüktür. Bu yüzden çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde ayrılma tipi kopma oluşmaktadır.

Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte çekirdek boyutları da büyümekte ve buna bağlı olarak bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma

dayanımları da artmaktadır. Bu yüzden çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde düğmelenme ve yırtılma tipi kopma oluşmaktadır.

Kaynak akım şiddeti ve zamanının çok yüksek olduğu durumlarda ise ısı girdisinin oldukça artması nedeniyle malzeme ara kesitinde ki erime miktarı artmaktadır. Bununla birlikte elektrotların dalma derinlikleri artar ve kaynak çekirdeğinden fişkırmalar ortaya çıkar. Bu yüzden kaynak çekirdek kesiti azalmaktadır. Buna bağlı olarak çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvveti hızla düşmektedir. Ayrıca elektrot yapışması, derin elektrot izleri ve aşırı renklenme oluşmaktadır.

4) Hem SPA-C bağlantılarda hem de S235JR(Cu) bağlantılarda esas metalden kaynak çekirdeğine doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir artış olmaktadır. Kaynak çekirdeğinin sertliği esas metalin sertliğinin yaklaşık olarak 2,5 katıdır. Bunun nedeni kaynak bölgesinin çok kısa bir zaman içerisinde ısınıp soğumasına bağlı olarak oluşan martenzit yapısıdır.

5) Hem SPA-C bağlantılarda hem de S235JR(Cu) bağlantılarda esas metal yapısı büyük oranda ferrit ve düşük bir oranda perlit fazından oluşmaktadır. ITAB'da oluşan yapı da ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte kaynak bölgesine giren ısının etkisiyle ITAB'da tane irileşmesi meydana gelmektedir. Çekirdek bölgesinde ise hızlı soğumanın etkisiyle martenzit bir yapı oluşmuştur.

6.2. Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışmada, raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Deneylerde kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmıştır. Elde edilen bağlantılarda kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımı, çekme-sıyırma dayanımı, sertlik, mikroyapı ve makroyapı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların rehberliğinde, aşağıda ana hatlarıyla verilen çalışmalara devam edilmesi düşünülmektedir.

1) SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının bağlantıların yorulma dayanımlarına etkisi incelenebilir.

2) SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıların korozyon dayanımları incelenebilir.

3) SPA-C ve S235JR(Cu) atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların aynı türler kendi aralarında eşlenmiş olarak elektrik direnç nokta kaynağı ve yapıştırma ile kombine edilerek birleştirilmesi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ESAWI, A.M.K., ASHBY, M.F., Computer-based selection of joining processes: Methods, software and case studies, *Materials and Design* 25: 555–564, 2004.
- [2] AKKUŞ, A., Galvanizli ve ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının yorulma dayanımlarının araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [3] LIN, J., Effect of thermal exposure on the strength of adhesive-bonded low carbon steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 43:70-80, 2013.
- [4] GOTKOWSKI, P., JACHYM, R., FRYC, H., FRYC, D., Investigation into technology for making spot resistance welded joints used in the construction of rail car body components, *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, NR 1: 32-38, 2013
- [5] EDWARDS, K.L., Technology transfer in engineering design: a materials joining consideration, *Materials & Design*, Vol. 18, No. 3: 121-126, 1997.
- [6] AWS Jefferson's Welding Encyclopedia, Eighteenth Edition, 1997.
- [7] JAXA-ROZEN, W., Fabricating Railcars with Resistance Welding, *American Welding Society (AWS), Welding Journal* December 2010:26-31, 2010.
- [8] ANIK,S., Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, 1991.
- [9] ASM, *Metals Handbook: Welding, Brazing and Soldering*, Volume 6, 1993.
- [10] AL-MUKHTAR, A. M., DOOS, Q., The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2013, 6 pages, 2013.

- [11] KHODABAKHSHI, F., KAZEMINEZHAD, M., KOKABI, A.H., Resistance spot welding of ultra-fine grained steel sheets produced by constrained groove pressing: Optimization and characterization, *Materials Characterization* 69: 71-83, 2012.
- [12] MA, N., MURAKAWA, H., Numerical and experimental study on nugget formation in resistance spot welding for three pieces of high strength steel sheets, *Journal of Materials Processing Technology* 210:2045-2052, 2010.
- [13] ÖZYÜREK, D., An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel, *Materials and Design* 29:597–603, 2008.
- [14] JOU, M., Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies, *Journal of Materials Processing Technology* 132: 102–113, 2003.
- [15] SAWHILL, J. M., WATANABE, H., MITCHELL, J. W., Spot Weldability of Mn-Mo-Cb, V-N, and SAE 1008 Steels, *AWS Welding Research Supplement* July 1977:217-224, 1977.
- [16] KIMCHI, M., Spot Weld Properties When Welding With Expulsion: A Comparative Study, *AWS Welding Research Supplement* February 1984:58-63, 1984.
- [17] GOULD, J.E., An examination of nugget development during spot welding, using both experimental and analytical techniques, *AWS Welding Research Supplement* January 1987: 1-11, 1987.
- [18] KARAGOULIS, M.J., Control of materials processing variables in production resistance spot welding, Ph.D., Michigan State University, 1991.
- [19] VOGLER, M.M.B., Investigation of resistance spot weld formation, Ph.D., Stanford University, 1993.
- [20] MILLER, K.W., Impact strength and failure mechanisms of spot welds in automotive materials, Ph.D., University of South Carolina, 2000.
- [21] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., On the failure of low carbon steel resistance spot welds in quasi-static tensile–shear loading, *Materials and Design* 31: 3647–3652, 2010.
- [22] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., Failure behaviour of resistance spot welded low carbon steel in tensile-shear and coach-peel tests: a comparative study, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia, MJoM* Vol 15 (3): 149-157, 2009.

- [23] UWABA, T., YANO, Y., ITO, M., Resistance spot weldability of 11Cr–ferritic/martensitic steel sheets, *Journal of Nuclear Materials* 421: 132–139, 2012.
- [24] GÜLBAHAR, B., %17 kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin tanelerarası korozyon ve çekme makaslama dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* 1989.
- [25] KALUÇ, E., Ferritik-Ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve taneler arası korozyona etkisi, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1988.
- [26] CEYHUN, V., Ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklerin karbonlu çelik ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının çekme-makaslama dayanımına ve tanelerarası korozyona etkisi, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1992.
- [27] VURAL, M., Galvanizli çelik sacların karbonlu ve ferritik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına etkisi, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1992.
- [28] MOSHAYEDI, H., Sattari-Far, I., Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels, *Journal of Materials Processing Technology* 212:347-354, 2012.
- [29] HASANBAŞOĞLU, A., KAÇAR, R., Resistance spot weldability of dissimilar materials (AISI 316L–DIN EN 10130-99 steels), *Materials and Design* 28: 1794–1800, 2007.
- [30] VURAL, M., AKKUS, A., ERYÜREK, B., Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets, *Journal of Materials Processing Technology* 176: 127–132, 2006.
- [31] ALENIUS, M., POHJANNE, P., SOMERVUORI, M., HÄNNINEN, H., Exploring the Mechanical Properties of Spot Welded Dissimilar Joints for Stainless and Galvanized Steels, *AWS Welding Journal* December 2006: 305-313, 2006.
- [32] KOCABEKİR, B., KAÇAR, R., GÜNDÜZ, S., HAYAT, F., 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, 2008.
- [33] ÖZYÜREK, D., An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel, *Materials and Design* 29: 597–603, 2008.

- [34] KARCI, F., KAÇAR, R., GÜNDÜZ, S., The effect of process parameter on the properties of spot welded cold deformed AISI304 grade austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology* 209: 4011–4019, 2009.
- [35] MARASHI, P., POURANVARI, M., AMIRABDOLLAHIAN, S., ABEDI, A., GOODARZI, M., Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steels, *Materials Science and Engineering A* 480: 175–180, 2008.
- [36] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., GOODARZI, M., Failure mode of dissimilar resistance spot welds between austenitic stainless and low carbon steels, *Metal* 2008, 13., Hradec nad Moravicí, 2008.
- [37] BADHEKAA, V.J., AGRAWALB, S .K ., SHROFF, N., Resistance spot welding of martensitic stainless steel (ss420) - part 1, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, Vol. 4, No. 3: 328-340, 2009.
- [38] DURGUT, E., KAÇAR, R., Dupleks paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynağına akım şiddeti ve kaynak zamanının etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt* 26, No 2: 341-348, 2011.
- [39] ARAVINTHAN, A., NACHIMANI, C., Analysis of Spot Weld Growth on Mild and Stainless Steel, *AWS Welding Journal* August 2011:143-147, 2011.
- [40] POURANVARI, M., Susceptibility to interfacial failure mode in similar and dissimilar resistance spot welds of DP600 dual phase steel and low carbon steel during cross-tension and tensile-shear loading conditions, *Materials Science and Engineering A* 546: 129– 138, 2012.
- [41] POLLARD, B., Spot Welding Characteristics of HSLA Steel for Automotive Applications, *AWS Welding Research Supplement* August 1974:343-350, 1974.
- [42] SAWHILL, J. M., BAKER, J.C., Spot Weldability of High-Strength Sheet Steels, *AWS Welding Research Supplement* January 1980:19-30, 1980.
- [43] HAN, Z., INDACOCHEA, J. E., CHEN, C. H., BHAT, S., Weld Nugget Development and Integrity in Resistance Spot Welding of High-Strength Cold-Rolled Sheet Steels, *AWS Welding Research Supplement* May 1993: 209-216, 1993.
- [44] HAN, Z., Expulsion in resistance spot welding of a high strength cold rolled sheet steel, Ph.D., University of Illinois at Chicago, 1992.

- [45] CHAO, Y.J., Ultimate Strength and Failure Mechanism of Resistance Spot Weld Subjected to Tensile, Shear, or Combined Tensile/Shear Loads, *Journal of Engineering Materials and Technology*, Volume 125: 125-132, 2003.
- [46] YÜKLER, A.İ., Alaşım-sız dual fazlı çeliklerin mekanik ve nokta kaynağı özellikleri, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1983.
- [47] GHOSH, P. K., GUPTA, P. C., RAMAVTAR, JHA, B. K., Weldability of Intercritical Annealed Dual-Phase Steel with the Resistance Spot Welding Process, *AWS Welding Research Supplement* January 1991: 7-14, 1991.
- [48] TUMULURU, M.D., Resistance Spot Welding of Coated High-Strength Dual-Phase Steels, *AWS Welding Journal* August 2006: 31-37, 2006.
- [49] SUN, X., STEPHENS, E.V., KHALEEL, M.A., 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: 356–367, 2008.
- [50] KHAN, M.I., Spot welding of advanced high strength steels, Ph.D., University of Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
- [51] POURANVARI, M., MOUSAVIZADEH, S.M., MARASHI, S.P.H., GOODARZI, M., GHORBANI, M., Influence of fusion zone size and failure mode on mechanical performance of dissimilar resistance spot welds of AISI 1008 low carbon steel and DP600 advanced high strength steel, *Materials and Design* 32: 1390–1398, 2011.
- [52] HAYAT, F., DEMİR, B., The effect of the weld time on dept intensity factor and strength at RSW junctions of commercial DP600 sheet steel, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [53] LIAO, X., WANG, X., GUO, Z., WANG, M., WU, Y., RONG, Y., Microstructures in a resistance spot welded high strength dual phase steel, *Materials Characterization* 61: 341-346, 2010.
- [54] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., Failure mode transition in AHSS resistance spot welds. Part I. Controlling factors, *Materials Science and Engineering A* 528: 8337– 8343, 2011.
- [55] POURANVARI, M., Susceptibility to interfacial failure mode in similar and dissimilar resistance spot welds of DP600 dual phase steel and low carbon steel during cross-tension and tensile-shear loading conditions, *Materials Science and Engineering A* 546: 129– 138, 2012.

- [56] POURANVARI, M., RANJBARNOODEH, E., Resistance Spot Welding Characteristic of Ferrite-Martensite DP600 Dual Phase Advanced High Strength Steel-Part II: Failure Mode, *World Applied Sciences Journal* 15 (11): 1527-1531, 2011.
- [57] DANCETTE, S., FABRÈGUE, D., MASSARDIER, V., MERLIN, J., DUPUY, T., BOUZEKRI, M., Investigation of the tensile shear fracture of advanced high strength steel spot welds, *Engineering Failure Analysis* 25: 112–122, 2012.
- [58] WEISHAUPT, E.R., Effect of weld schedule variation on the weldability and durability of AHSS spot weld joints, Ph.D., The University of Alabama, 2012.
- [59] AKTAŞ, S., Otomotiv sektöründe kullanılan dual faz sacların direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [60] ASLANLAR, S., Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında uygun hasar modunun tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [61] ASLANLAR, S., The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry, *Materials and Design* 27:125–131, 2006.
- [62] ASLANLAR, S., OĞUR, A., ÖZSARAÇ, U., İLHAN, E., DEMİR, Z., Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding, *Materials and Design* 28: 2–7, 2007.
- [63] ASLANLAR, S., OĞUR, A., ÖZSARAÇ, U., İLHAN, E., Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding, *Materials and Design* 29: 1427–1431, 2008.
- [64] CHAO, Y.J., Failure mode of spot welds: interfacial versus pullout, *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 8, No 2: 133-137, 2003.
- [65] MARYA, M., GAYDEN, X.Q., Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 1 — The Causes of Interfacial Fracture, *Welding Journal* November 2005: 172-182, 2005.
- [66] NIETO, J., GUERRERO-MATA, M.P., COLAS, R., MANİ, A., Experimental investigation on resistance spot welding of galvanized HSLA steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 11, No 6: 717-722, 2006.

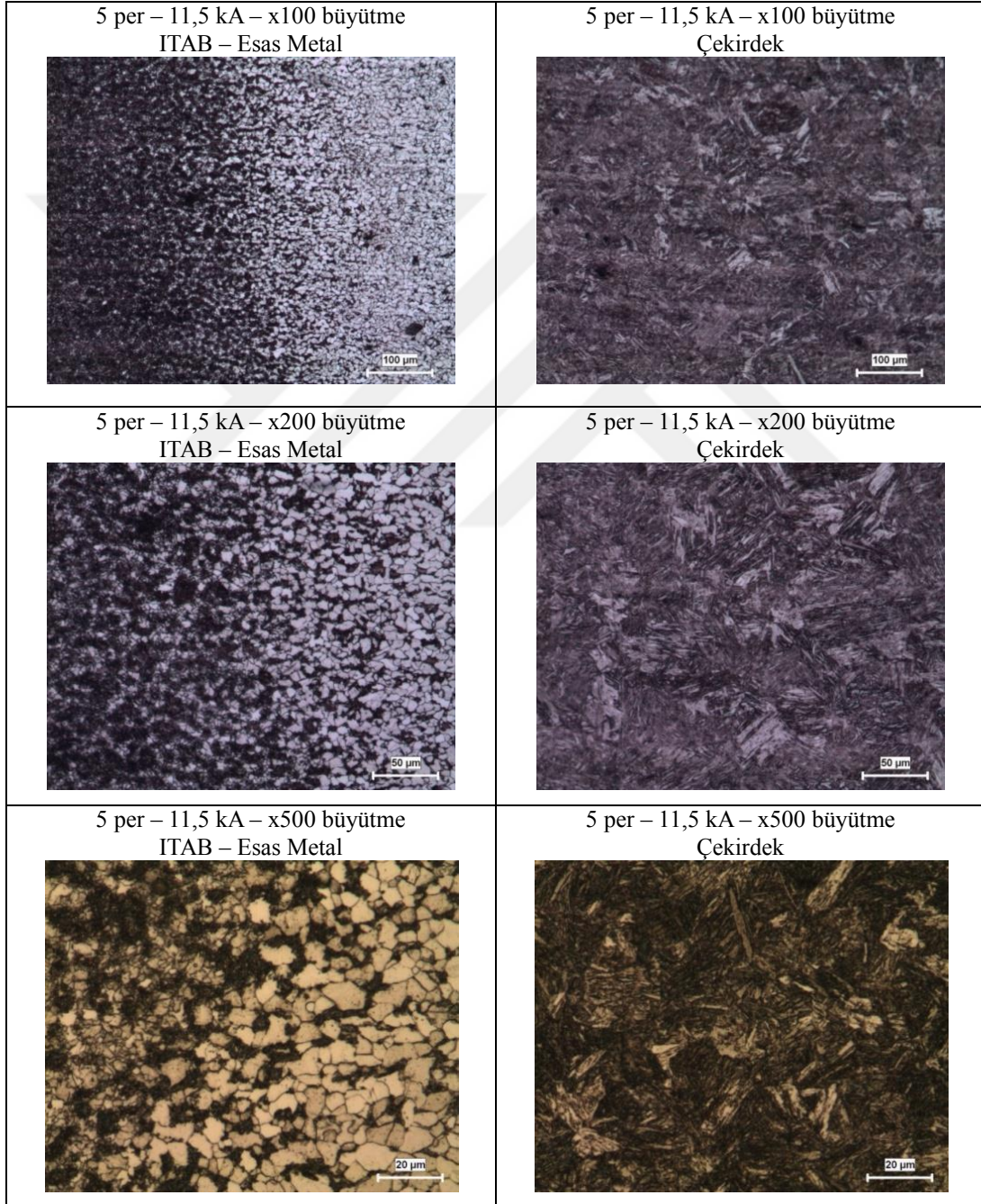
- [67] GOODARZI, M., MARASHI, S.P.H., POURANVARI, M., Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology* 209: 4379–4384, 2009.
- [68] RASHEED, K., KHAN, Dr. M.I., A Review on different optimization techniques used to optimize the process parameters of resistance spot welding, *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, Volume 2 Issue 5, ISSN 2349-4476, October 2014.
- [69] AIDUN, D. K., BENNETT, R. W., Effect of resistance welding variables on the strength of spot welded 6061-T6 Aluminum alloy, *Welding Journal*, vol. 64, no. 12, pp. 15–25, 1985.
- [70] ZHANG, H., SENKARA, J., *Resistance welding - fundamentals and applications*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [71] AWS, Safety and health fact sheet no. 21, 1999.
- [72] GROOVER, M.P., *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [73] CAMPBELL, F.C., *Joining: understanding the basics*, ASM International, 2011.
- [74] LUI, A., Development of an ultrasonic linear phased array system for real-time quality monitoring of resistance spot welds, Ph.D., University of Windsor, Ontario, Canada, 2012.
- [75] Karloff, A.C., Real-time expulsion detection and characterization in ultrasound M-scans of the resistance spot welding process, Ph.D., University of Windsor, Ontario, Canada, 2012.
- [76] AWS, *Welding Handbook - Welding science and technology*, Ninth Edition, Volume 1, 2003.
- [77] AWS, *Welding handbook*, Volume 3, *Welding processes: Resistance welding and solid-state welding and other joining processes*, 7.Ed, Miami, 1980.
- [78] ASLANLAR, S., Otomotiv sektöründe kullanılan kaynak yöntemleri ders notları, Şubat 2014.
- [79] AWS, *Welding handbook*, Volume 2, *Welding processes*, Eighth edition, 1997.
- [80] BLONDEAU, R., *Metallurgy and mechanics of welding*, Lavoisier, Iste Ltd., John Wiley & Sons Inc, 2001.

- [81] AWS D8.9-97, Recommended practices for test methods and evaluation the resistance spot welding behavior of automotive sheet steels, 1997.
- [82] ANIK, S., GÜLBAHAR, B., %17 kromlu ferritik paslanmaz nokta kaynağında çekme-makaslama kuvveti ile çekirdek boyutları arasındaki ilişki, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, 94-105, 13-15 Kasım 1989.
- [83] AWS D8.7M, Recommended practices for automotive weld quality – resistance spot welding, 2005.
- [84] ARAN, A, TEMEL, M.A., Paslanmaz çelik: Üretimi, kullanımı, standartları, Sarıtaş teknik yayın no:1, ikinci baskı, İstanbul, Ağustos 2004.
- [85] MORCILLO, M., CHICO, B., DIAZ, I., CANO, H., FUENTE, D., Atmospheric corrosion data of weathering steels, National centre for metallurgical research (CENIM-CSIC), Madrid, Spain, 2013.
- [86] MURATA, T., Weathering steel, in: R.W. Revie (Ed.), Uhlig's Corrosion Handbook, J. Wiley & Sons, New York, 2000.
- [87] ASTM A-242 / A-242M-04, Standard specification for high-strength low-alloy structural steel, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2007.
- [88] ASTM A709 /A709M, Standard specification for structural steel for bridges, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2009.
- [89] ASTM A-588 / A-588M, Standard specification for high-strength low alloy structural steel with 50 ksi [345 MPa] minimum yield point to 4-in. [100 mm] thick, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2005.
- [90] BUCK, D.M., Copper in steel - The influence on corrosion, J. Ind. Eng. Chem. 5 (1913), 447-452.
- [91] ALBRECHT, P., HALL, T.T., Atmospheric corrosion resistance of structural steels, J. Mater. Civil Eng. 15 (2003) 2-24.
- [92] LARRABEE, C.P., COBURN, S.K., The atmospheric corrosion of steels as influenced by changes in chemical composition, First International Congress on Metallic Corrosion, London, 1961, pp. 279-285.
- [93] KNOTKOVA, D., VLCKOVA, J., HONZAK, J., Atmospheric corrosion of weathering steels, in: S.W. Dean Jr., E.C. Rhea (Eds.), Atmospheric Corrosion of Metals, ASTM STP 767, American Society for Testing and Materials, 1982, pp. 7-44.

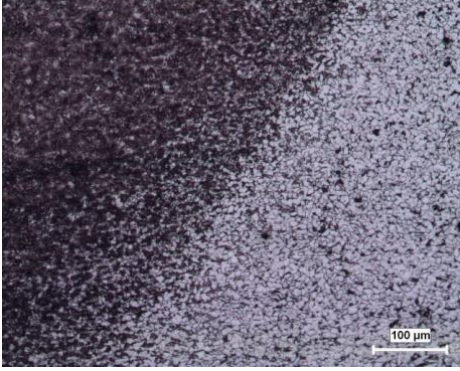
- [94] ASM, Properties and selection: Iron steels and high performance alloys, volume 1, 10th Edition, 1993.
- [95] ANIK, S., 1983. Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul.
- [96] AWS, Welding Handbook, Metals and Their Weldability, 7. Ed., USA. 1982.
- [97] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14273, Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.
- [98] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.
- [99] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14373, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels, 2007.
- [100] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14329, Resistance welding-Destructive tests of welds - Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and projection welds, 2003.
- [101] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14271, Resistance welding-Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds, 2011.
- [102] AKKAŞ, N., İLHAN, E., Effect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in SPA-C Steel Sheets in Resistance Spot Welding, Acta Physica Polonica A, Volume 125, No 2: 497-499, 2014.
- [103] AKKAŞ, N., İLHAN, E., ASLANLAR, S., VAROL, F., Welding Time Effect on Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of SPA-C Steel Sheets Used in Rail Vehicles, 7th Automotive Technologies Congress (OTEKON 2014), BURSA, May 26 – 27, 2014.
- [104] AKKAŞ, N., VAROL, F., FERİK, E., İLHAN, E., ÖZSARAÇ, U., ASLANLAR, S., Effect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in S235jr(Cu) Steel Sheets in Resistance Spot Welding, Acta Physica Polonica A, Volume 125, No 2: 500-502, 2014.
- [105] AKKAŞ, N., İLHAN, E., ASLANLAR, S., VAROL, F., The Effect of Nugget Sizes on Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of SPA-C Steel Sheets Used in Rail Vehicles, Materials Testing, Volume 56, No 10: 879-883, 2014.

EKLER

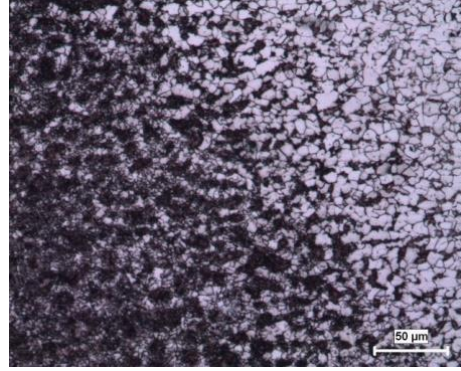
EK 1. SPA-C bağlantılara ait mikroyapı görüntüleri



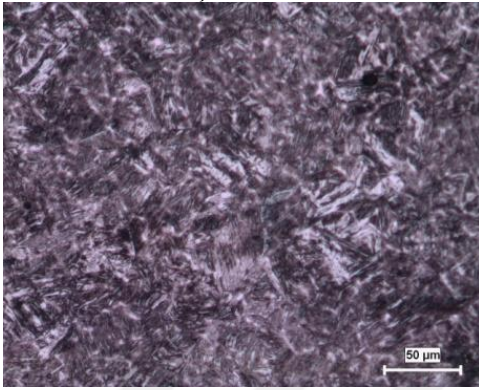
5 per – 12 kA – x100 büyütme
Çekirdek – ITAB - Esas Metal



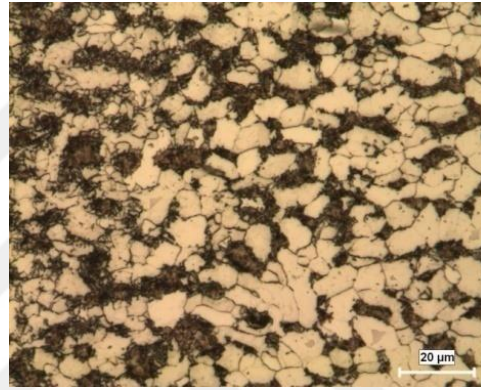
5 per – 12 kA – x200 büyütme
ITAB – Esas Metal



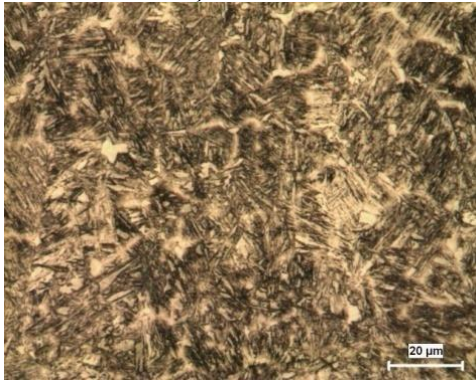
5 per – 12 kA – x200 büyütme
Çekirdek



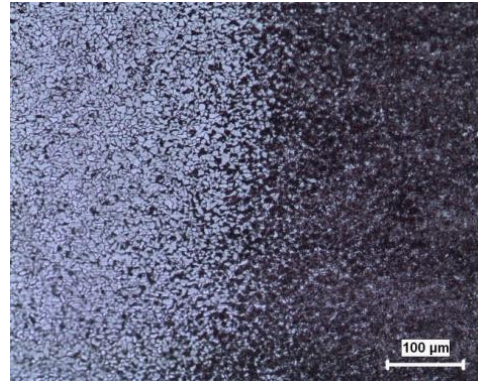
5 per – 12 kA – x500 büyütme
ITAB – Esas Metal



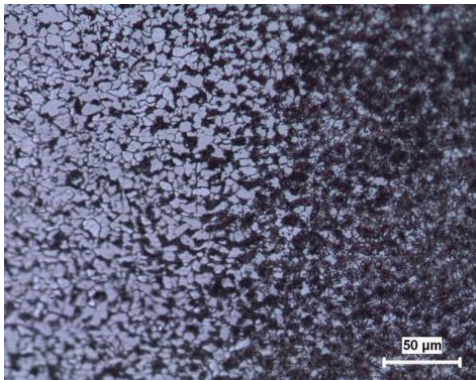
5 per – 12 kA – x500 büyütme
Çekirdek



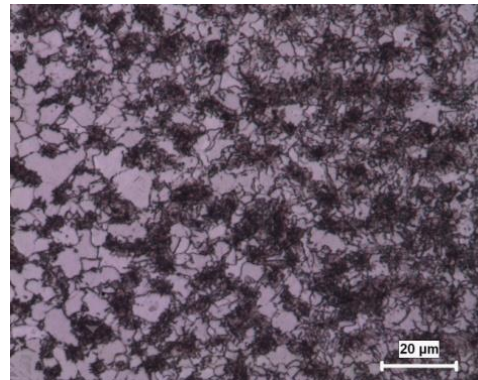
5 per – 13 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB

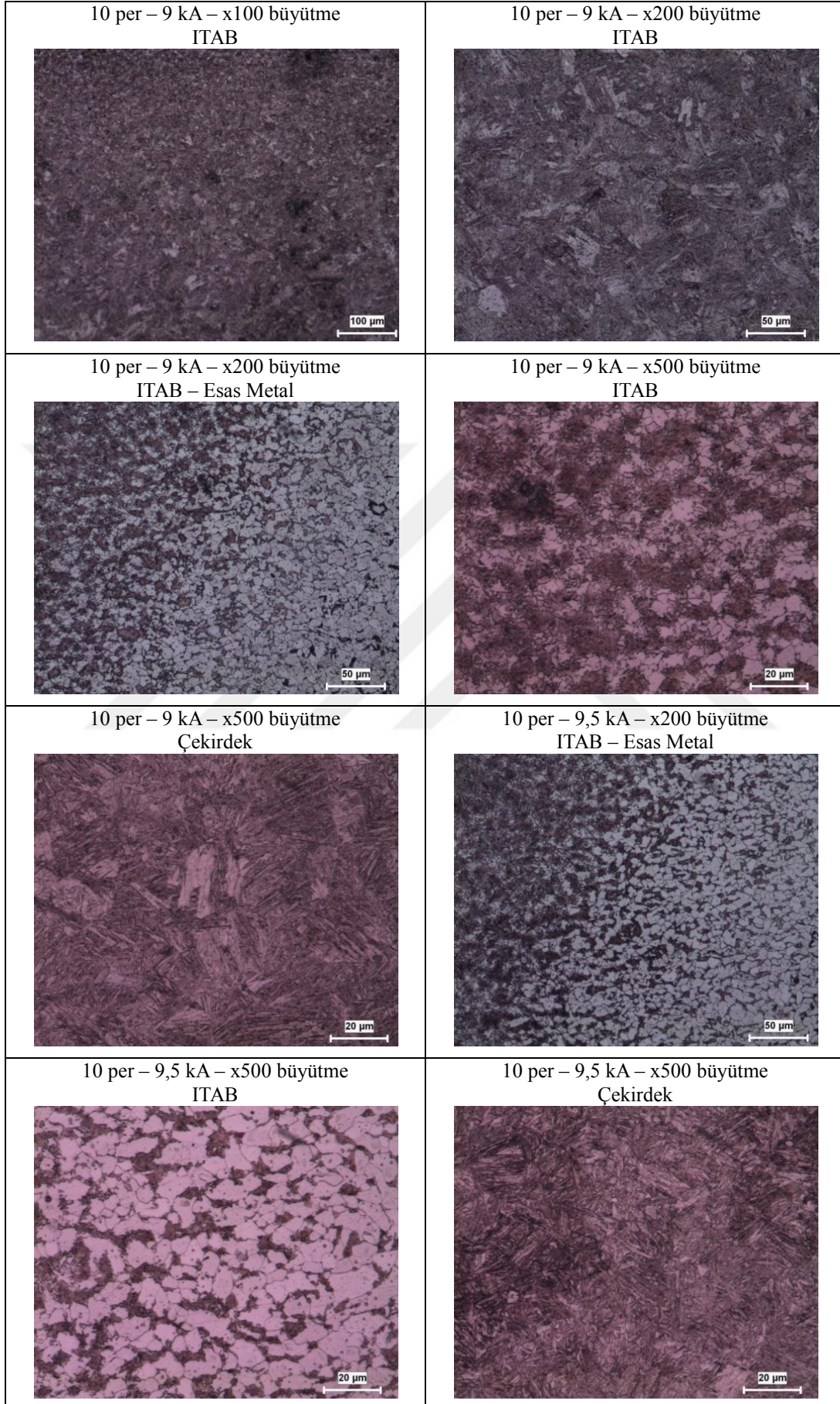


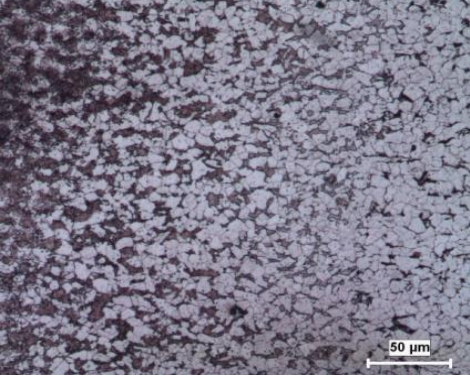
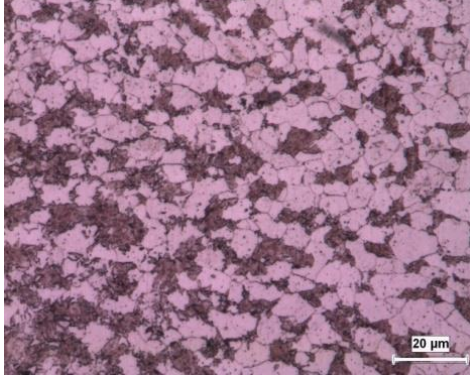
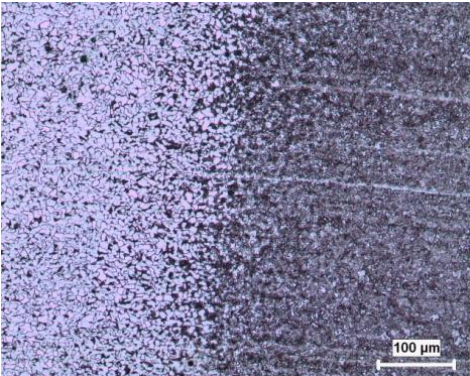
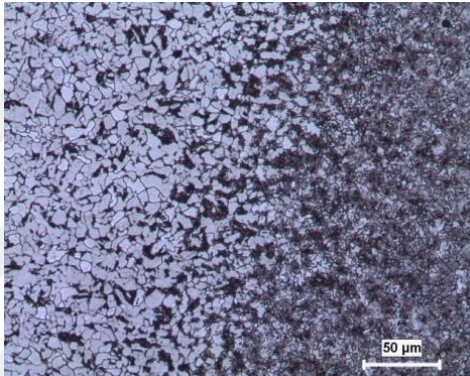
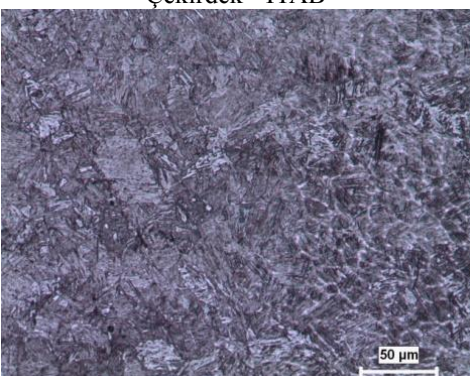
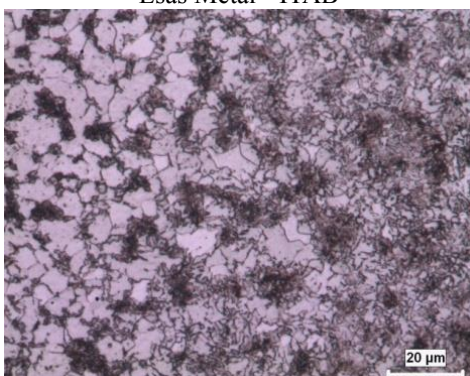
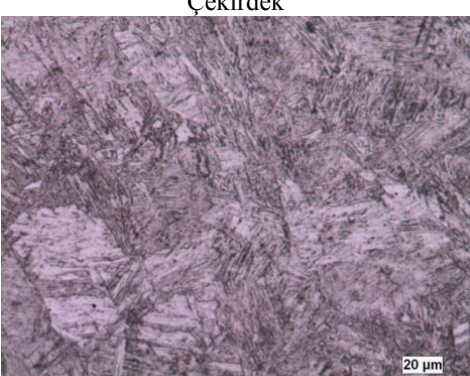
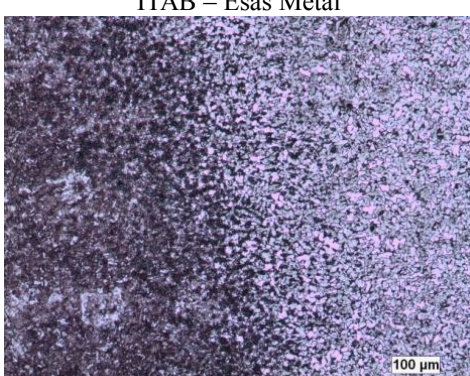
5 per – 13 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB

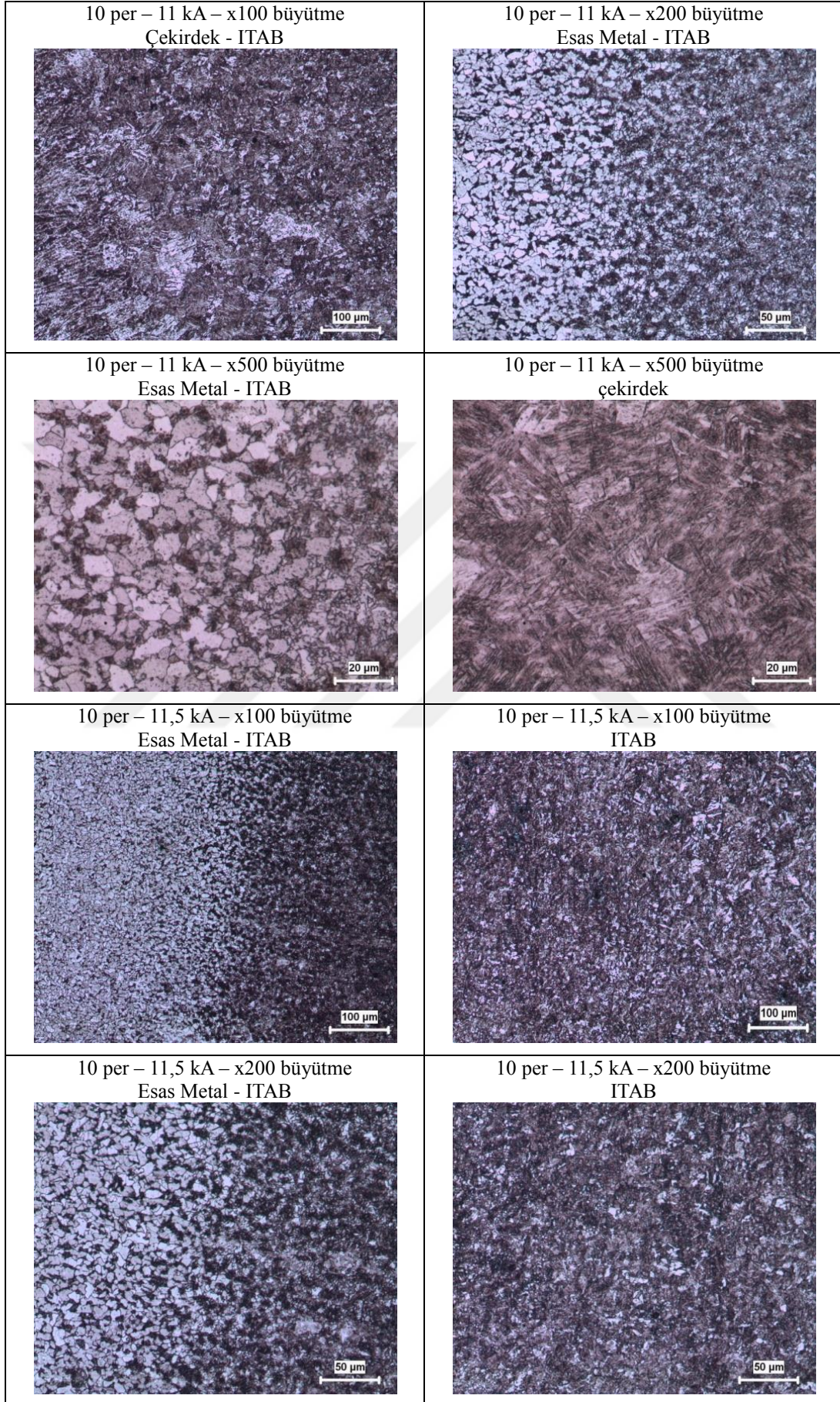


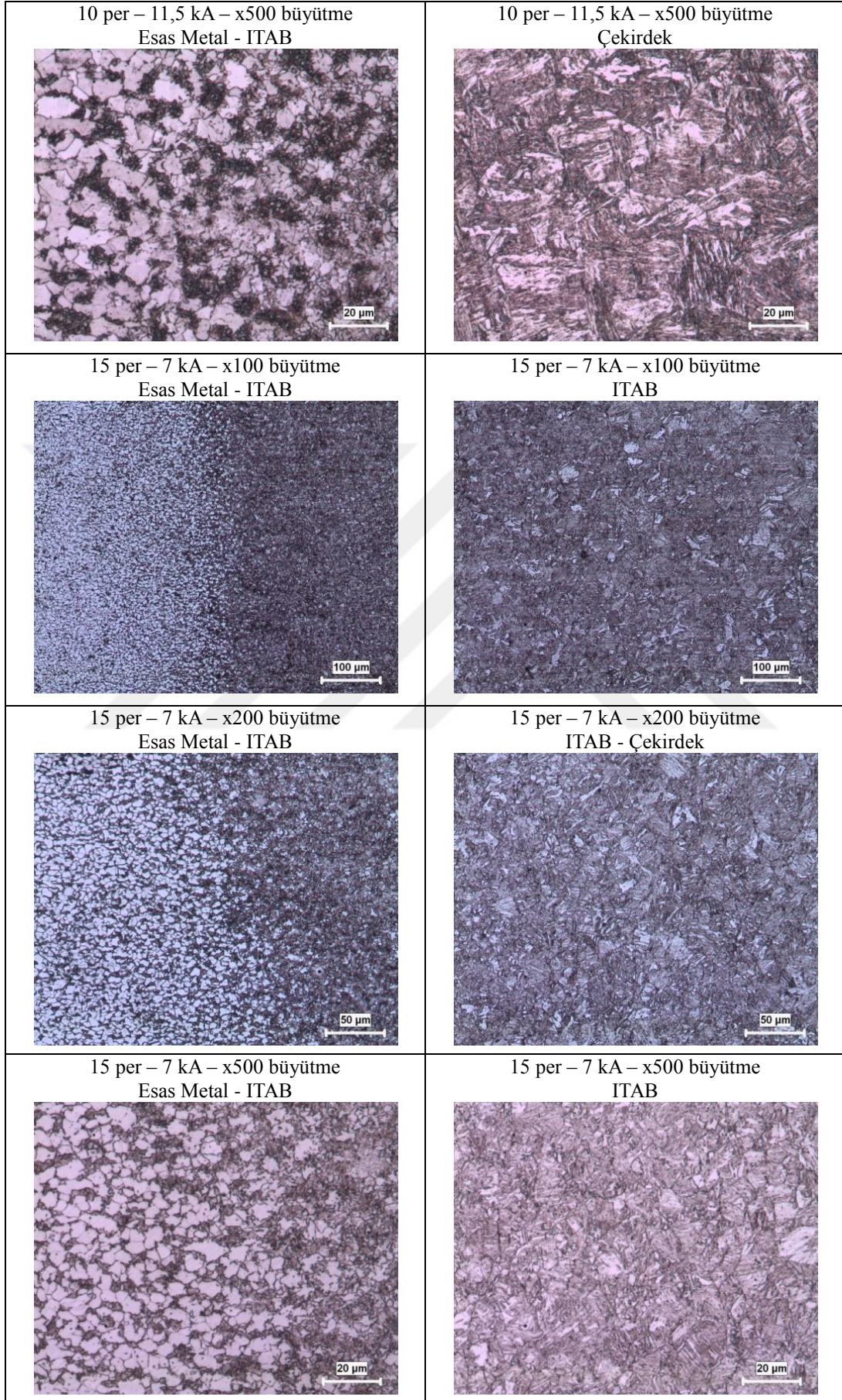
5 per – 13 kA – x500 büyütme
ITAB

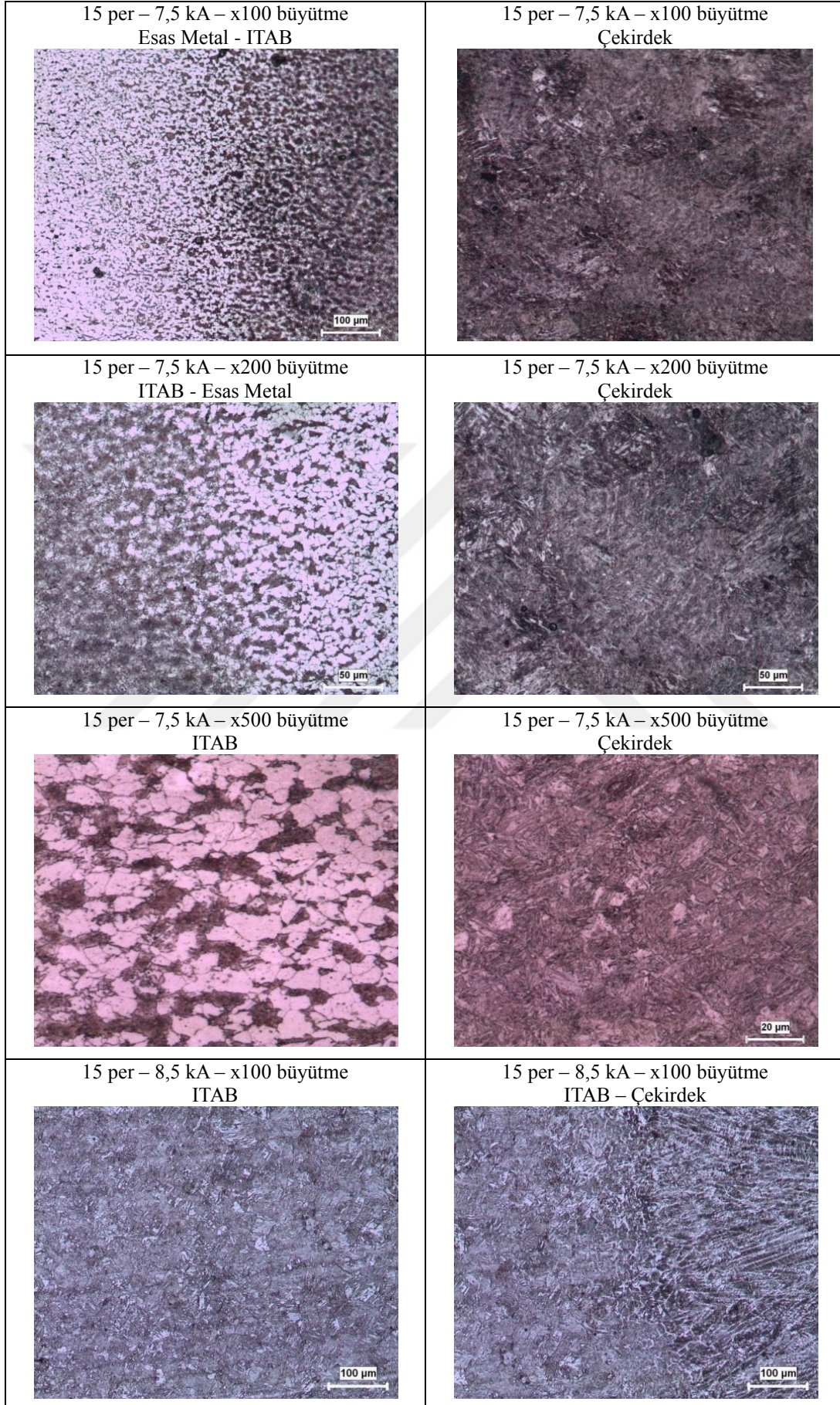




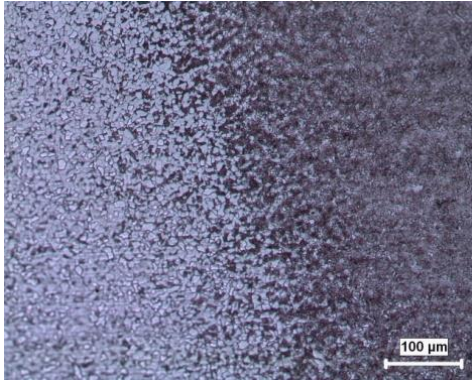
<p>10 per – 10 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>10 per – 10 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x100 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 	<p>10 per – 10,5 kA – x200 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 	<p>10 per – 10,5 kA – x500 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>10 per – 11 kA – x100 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 



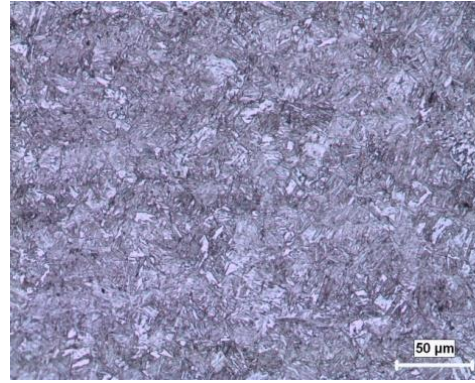




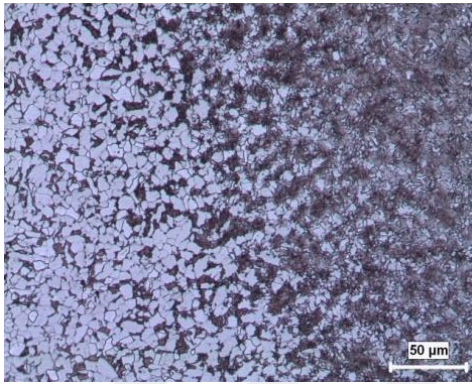
15 per – 8,5 kA – x100 büyütme
Esas Metal – ITAB - Çekirdek



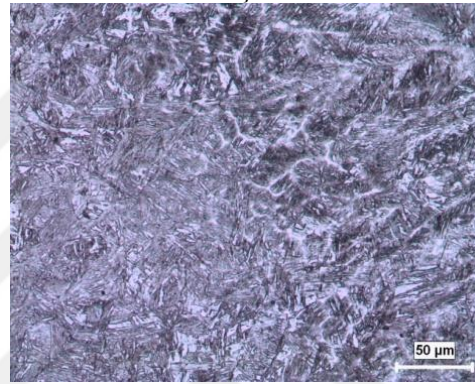
15 per – 8,5 kA – x200 büyütme
ITAB



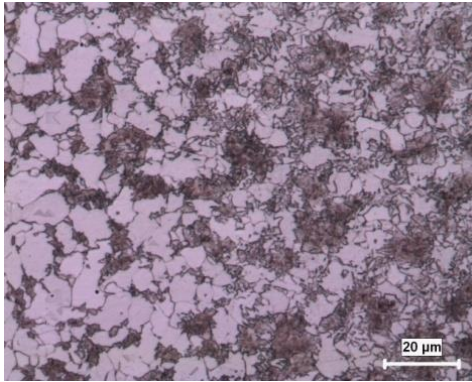
15 per – 8,5 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



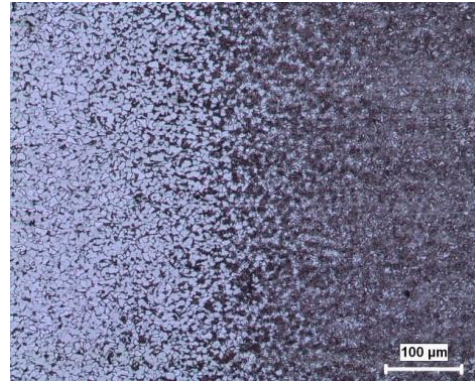
15 per – 8,5 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek



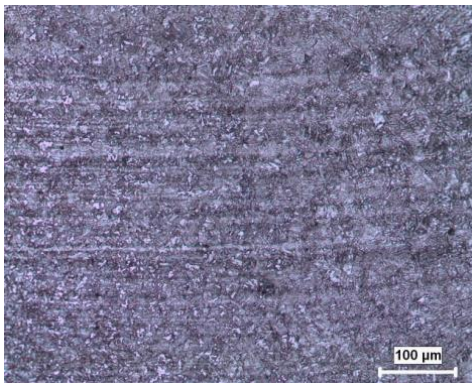
15 per – 8,5 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB



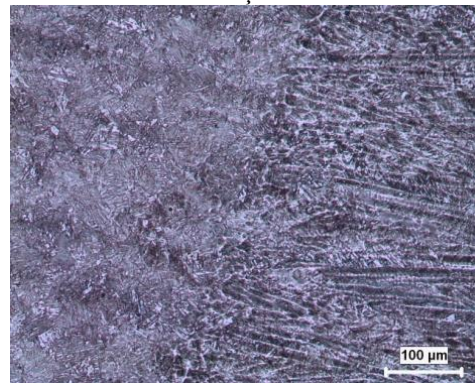
15 per – 9 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



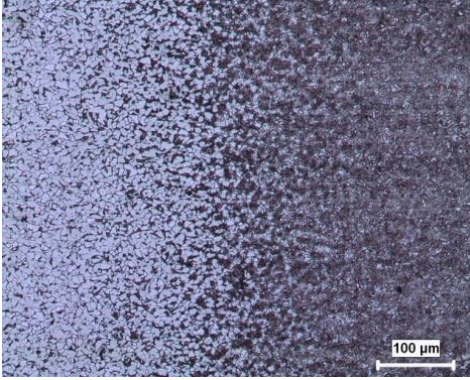
15 per – 9 kA – x100 büyütme
ITAB



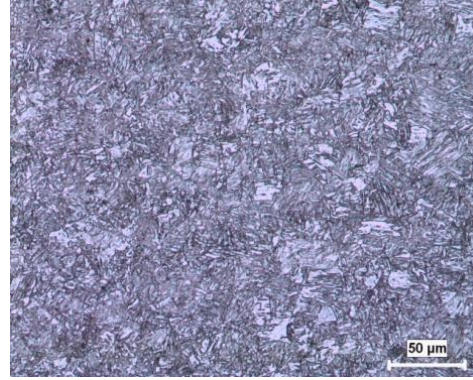
15 per – 9 kA – x100 büyütme
ITAB – Çekirdek



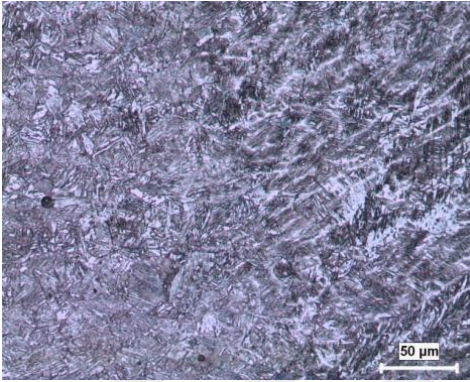
15 per – 9 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



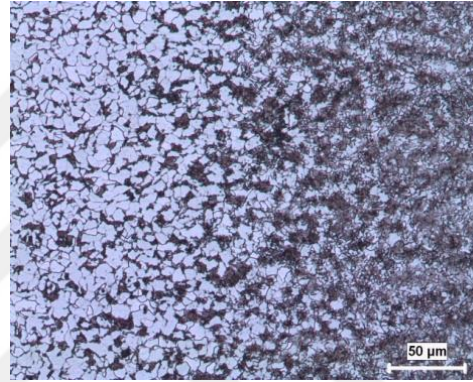
15 per – 9 kA – x200 büyütme
ITAB



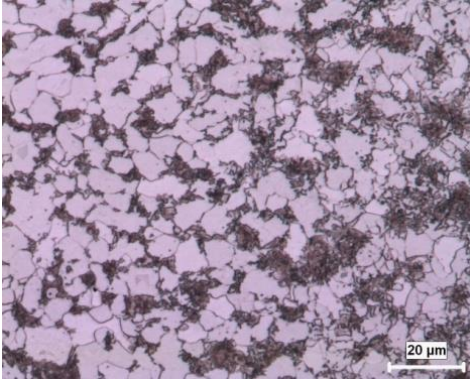
15 per – 9 kA – x200 büyütme
ITAB – Çekirdek



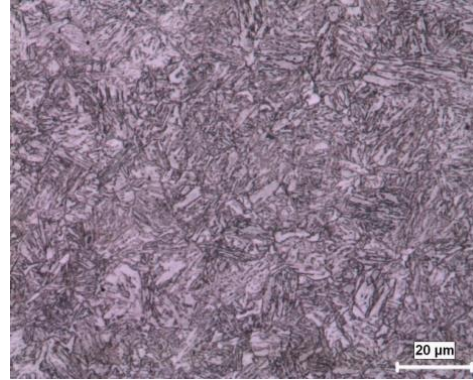
15 per – 9 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



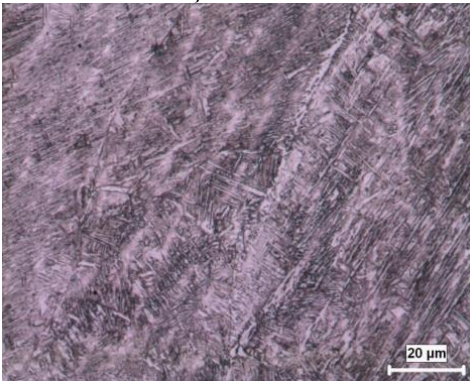
15 per – 9 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB



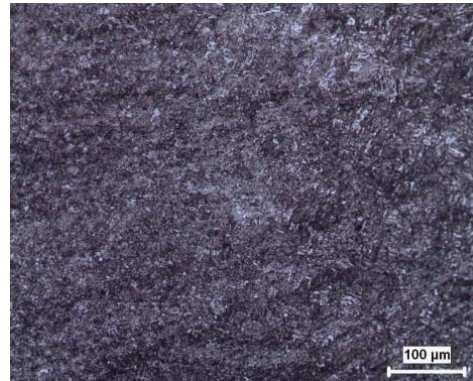
15 per – 9 kA – x500 büyütme
ITAB

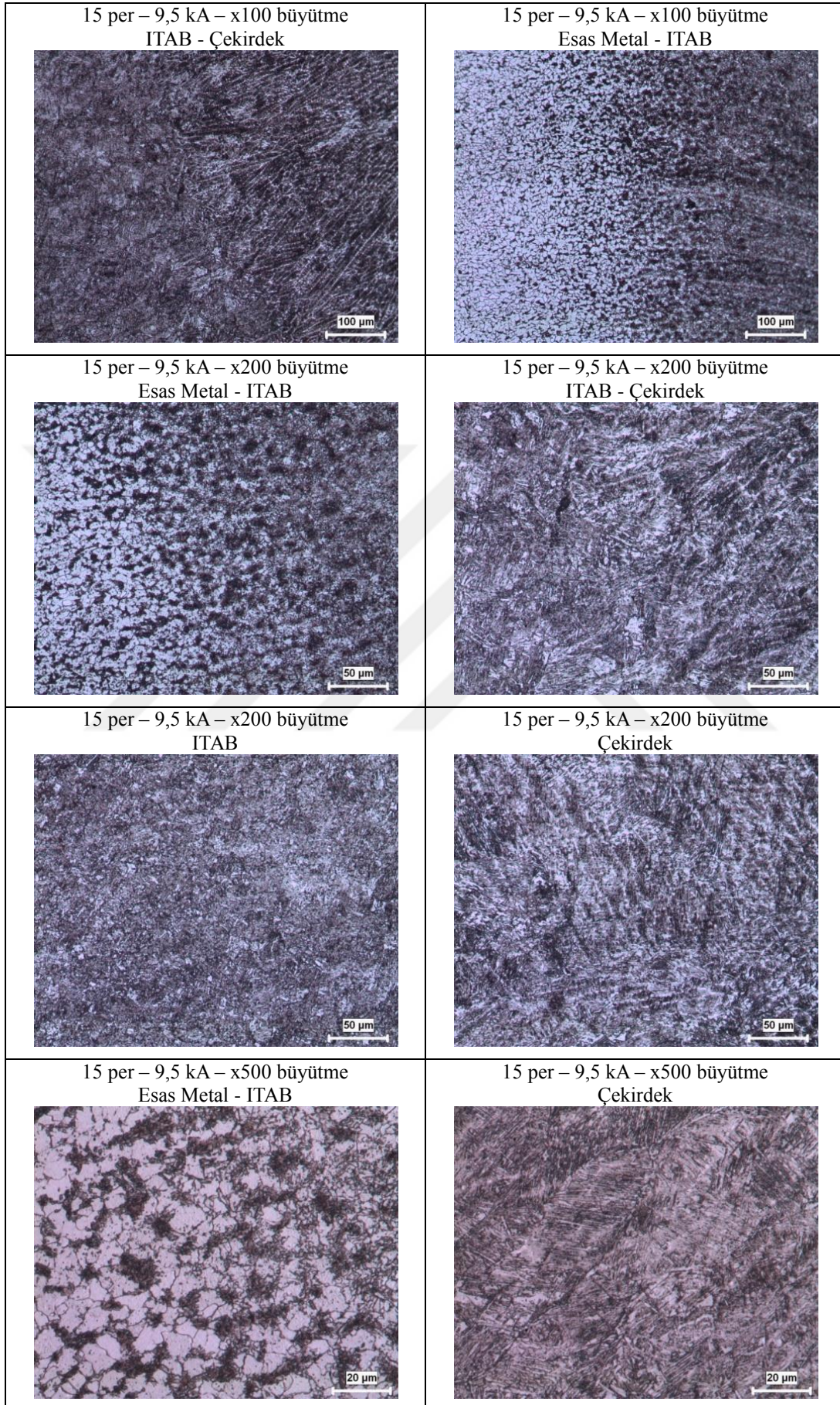


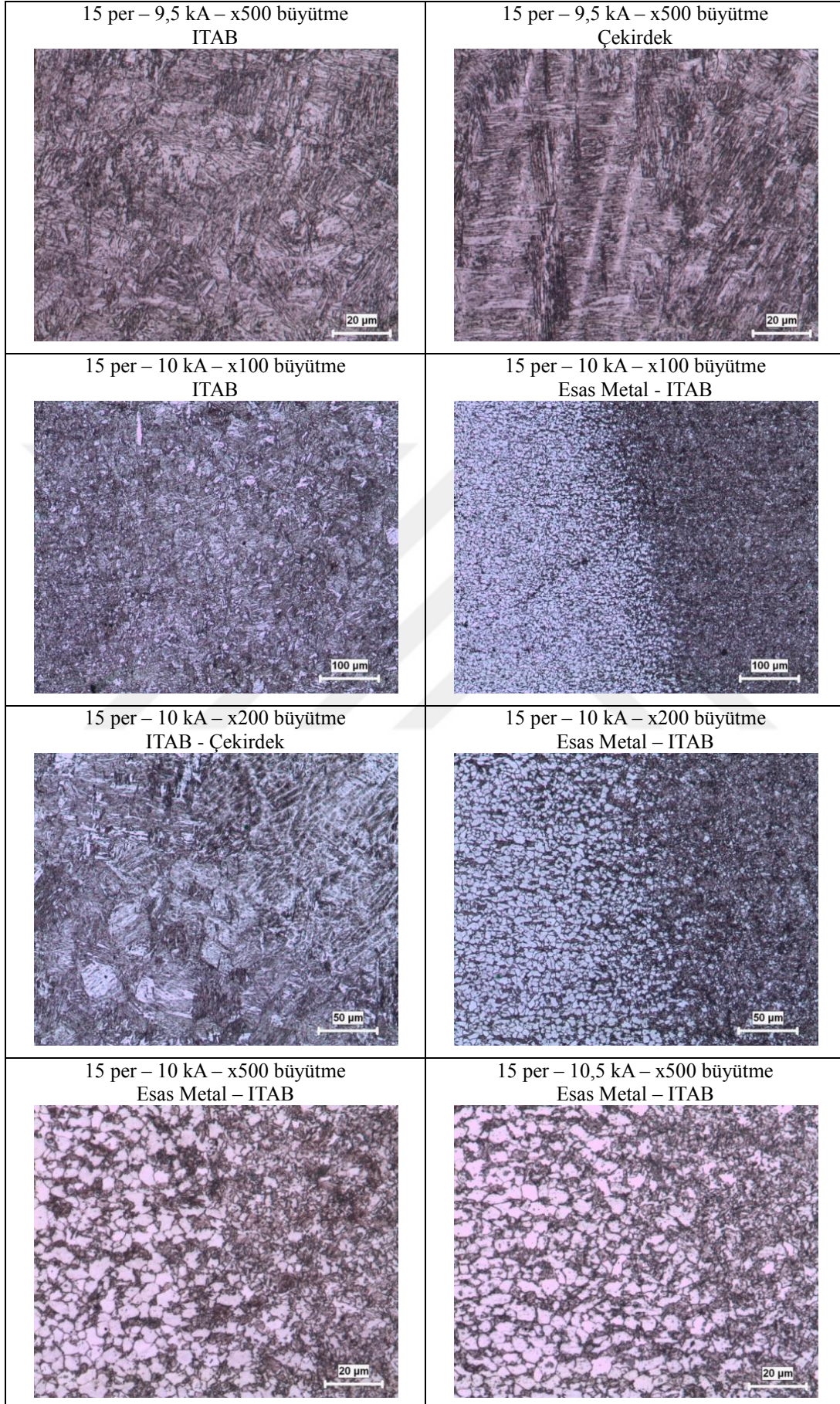
15 per – 9 kA – x500 büyütme
Çekirdek

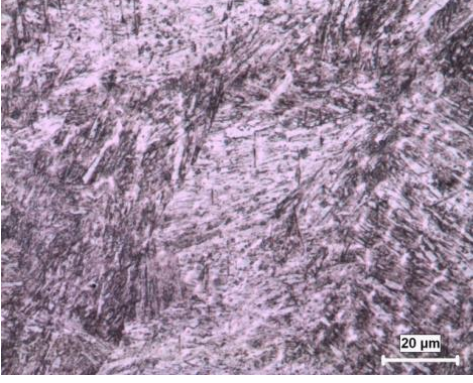
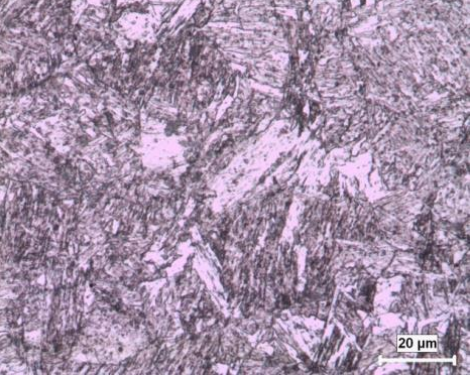
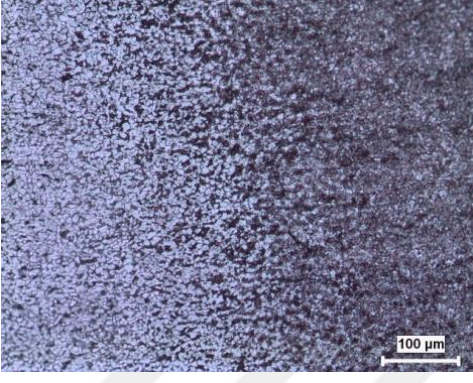
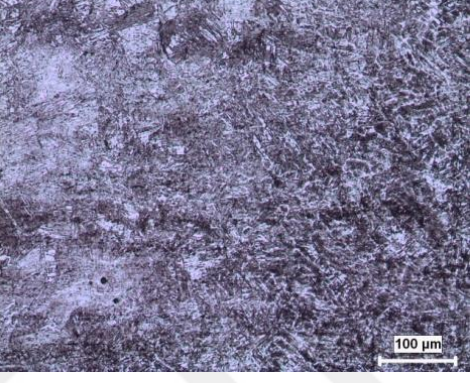
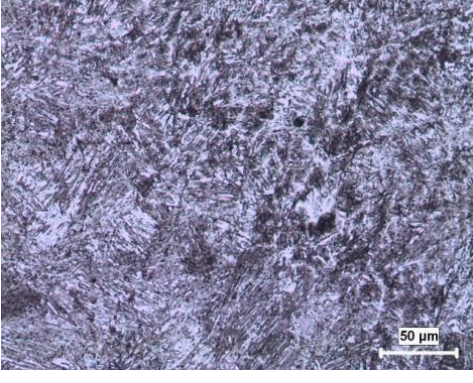
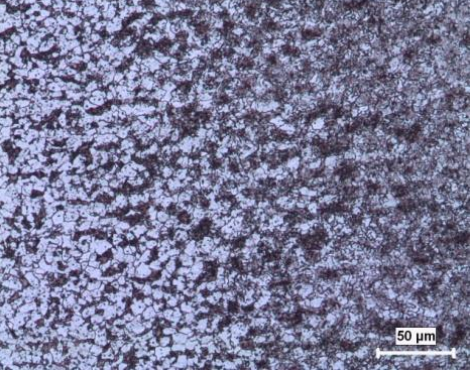
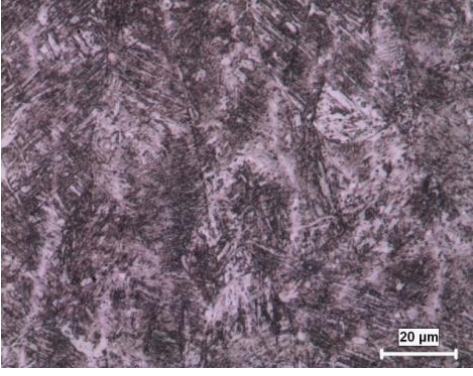
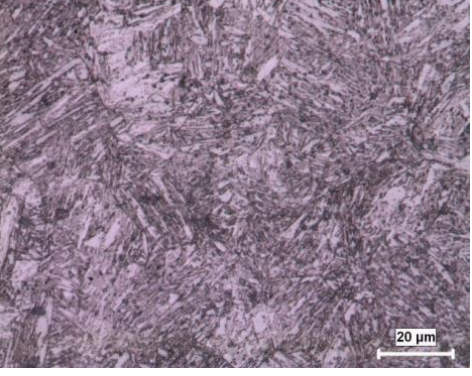


15 per – 9,5 kA – x100 büyütme
ITAB

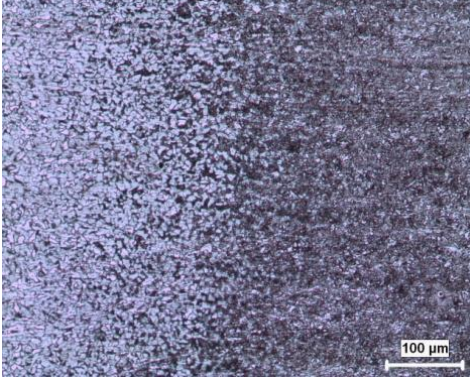




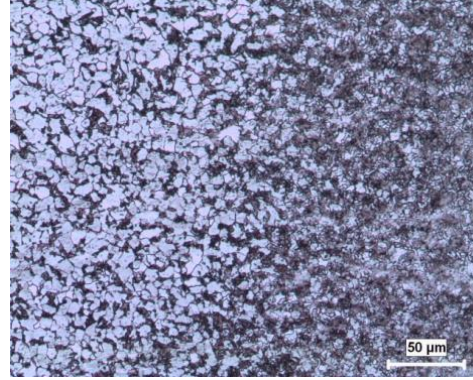


<p>15 per – 10,5 kA – x500 büyütme ITAB – Çekirdek</p> 	<p>15 per – 10,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>20 per – 6,5 kA – x100 büyütme Esas Metal - ITAB – Çekirdek</p> 	<p>20 per – 6,5 kA – x100 büyütme ITAB – Çekirdek</p> 
<p>20 per – 6,5 kA – x200 büyütme ITAB – Çekirdek</p> 	<p>20 per – 6,5 kA – x100 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 
<p>20 per – 6,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 6,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 

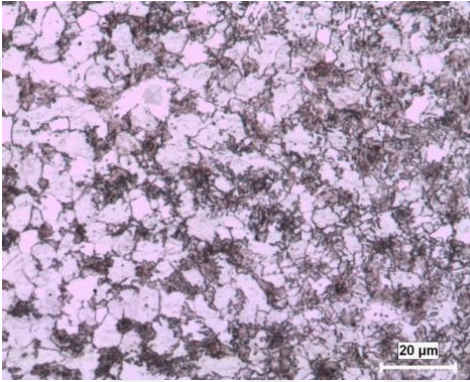
20 per – 7,5 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



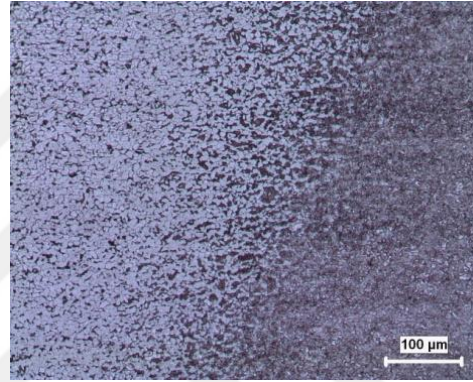
20 per – 7,5 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



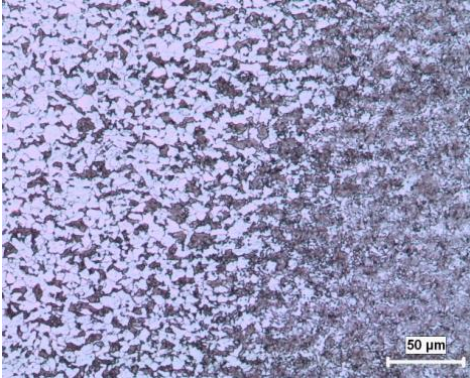
20 per – 7,5 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB



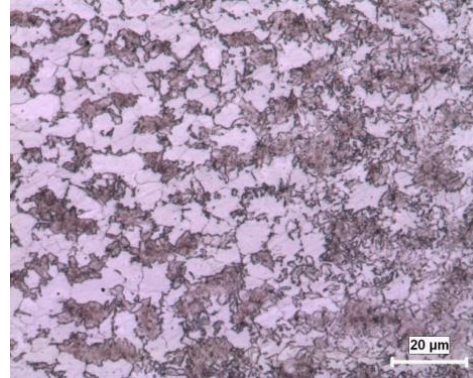
20 per – 8 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



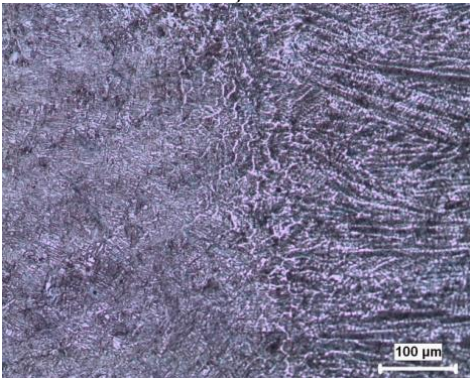
20 per – 8 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



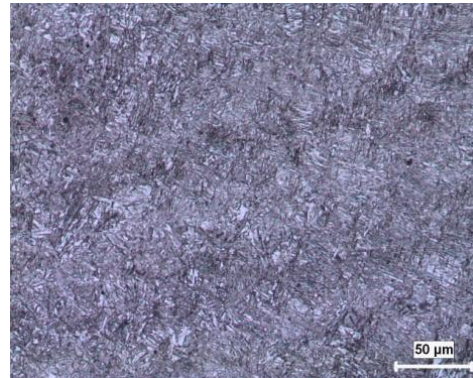
20 per – 8 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB

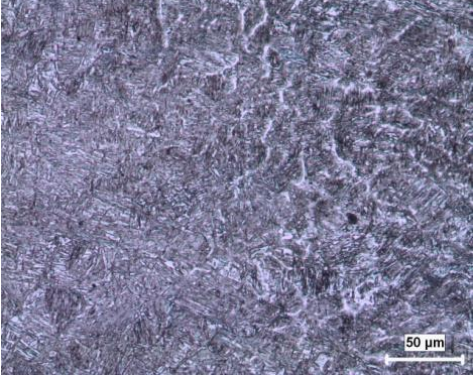
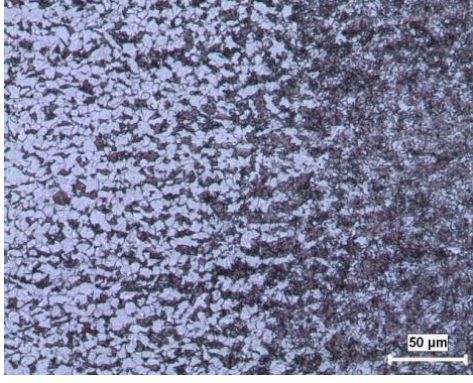
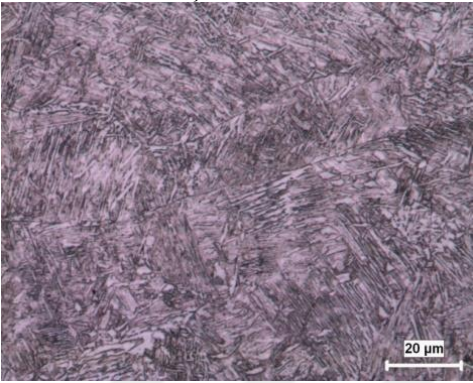
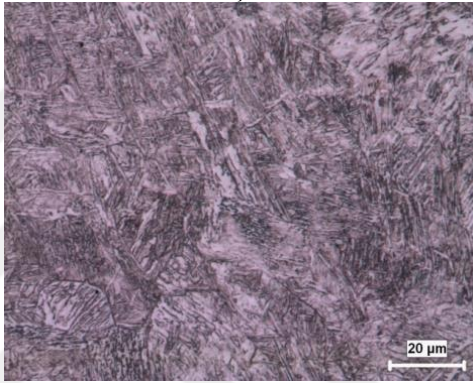
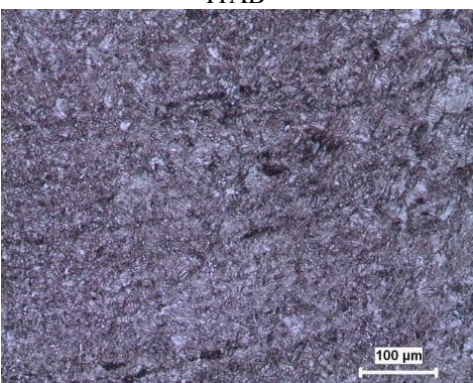
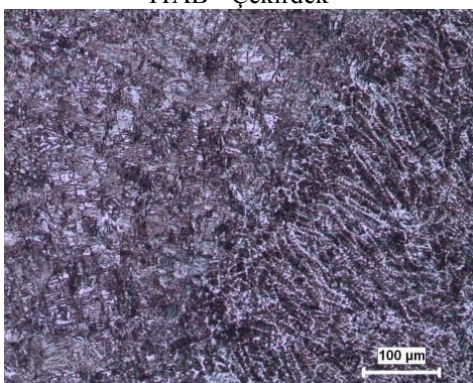
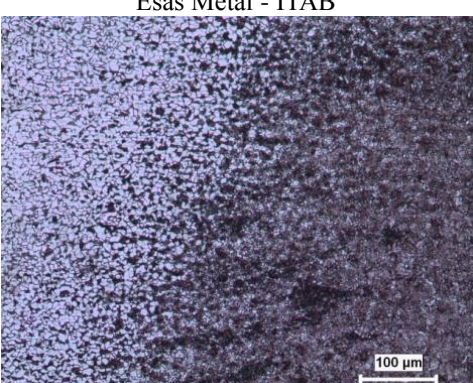
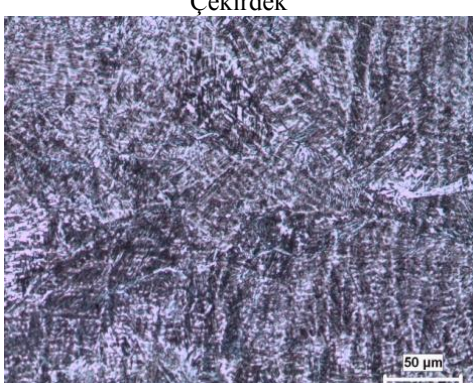


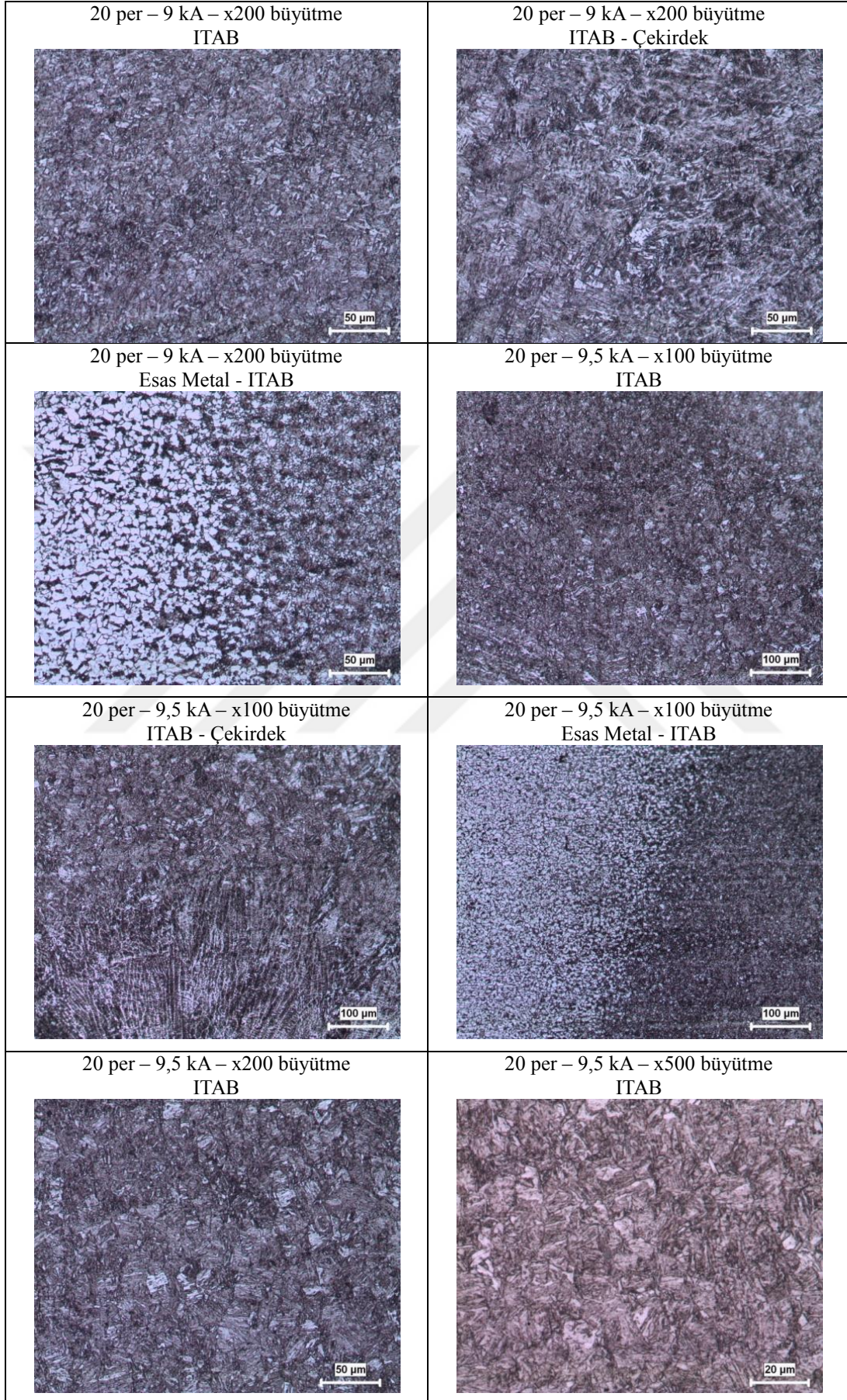
20 per – 8,5 kA – x100 büyütme
ITAB - Çekirdek



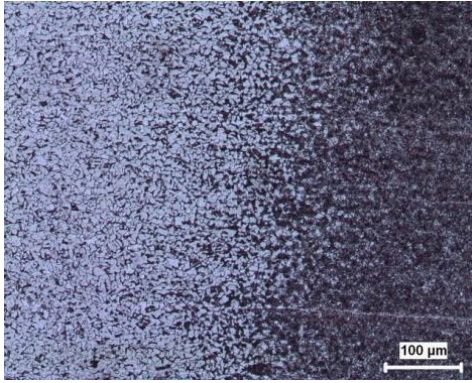
20 per – 8,5 kA – x200 büyütme
ITAB



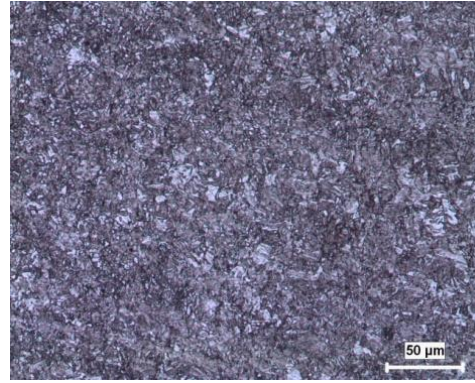
<p>20 per – 8,5 kA – x200 büyütme ITAB - Çekirdek</p> 	<p>20 per – 8,5 kA – x200 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 
<p>20 per – 8,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 8,5 kA – x500 büyütme ITAB - Çekirdek</p> 
<p>20 per – 9 kA – x100 büyütme ITAB</p> 	<p>20 per – 9 kA – x100 büyütme ITAB - Çekirdek</p> 
<p>20 per – 9 kA – x100 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 	<p>20 per – 9 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 



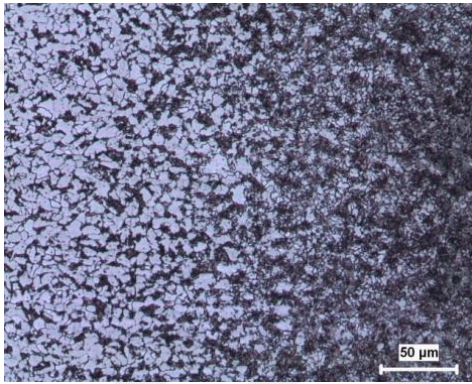
20 per – 10 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



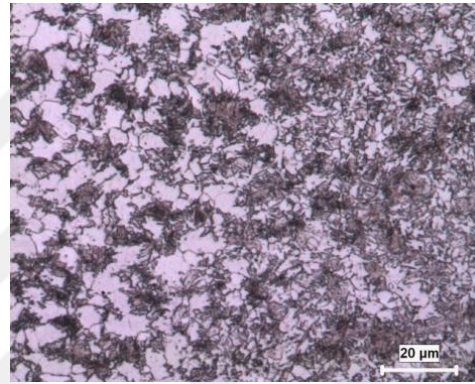
20 per – 10 kA – x200 büyütme
ITAB



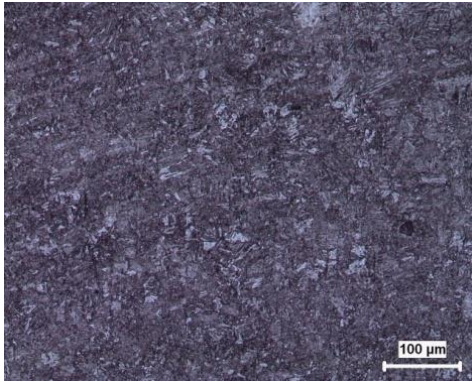
20 per – 10 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



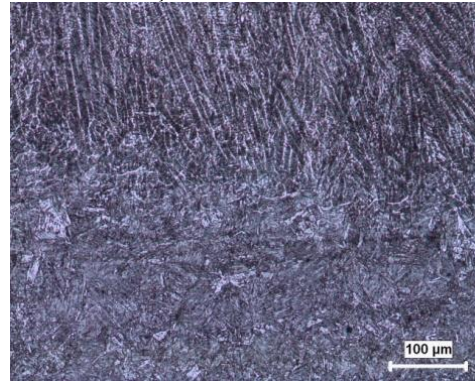
20 per – 10 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB



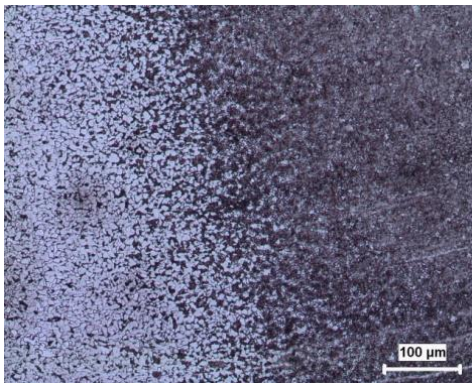
25 per – 6 kA – x100 büyütme
ITAB



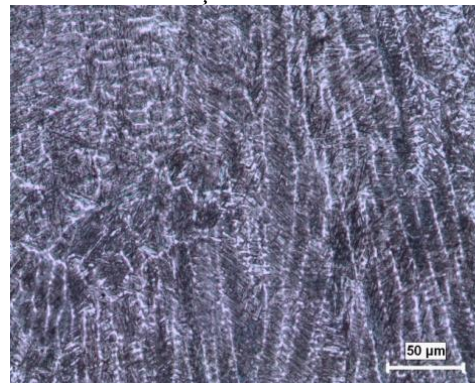
25 per – 6 kA – x100 büyütme
Çekirdek – ITAB



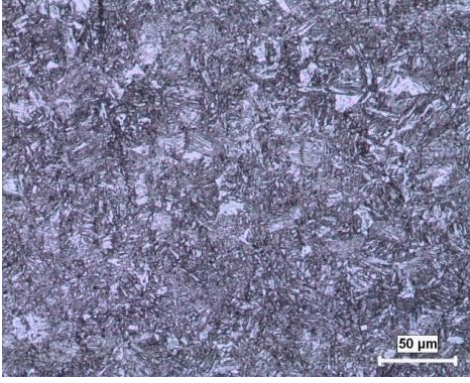
25 per – 6 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



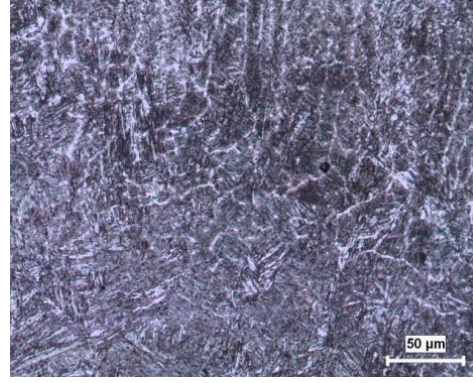
25 per – 6 kA – x200 büyütme
Çekirdek



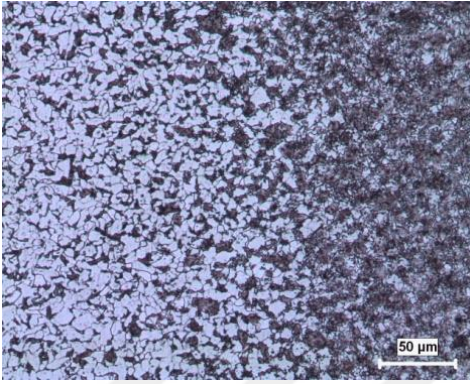
25 per – 6 kA – x200 büyütme
ITAB



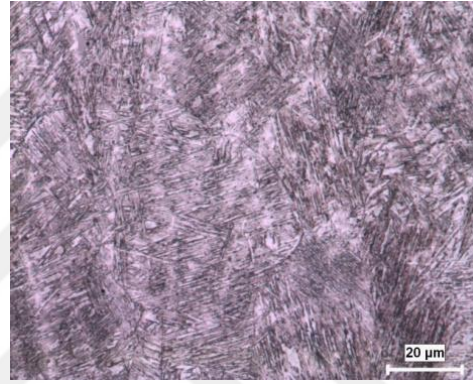
25 per – 6 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek



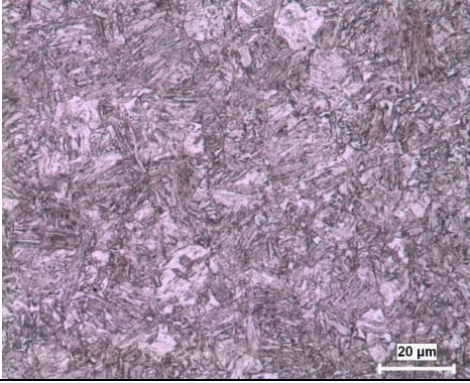
25 per – 6 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



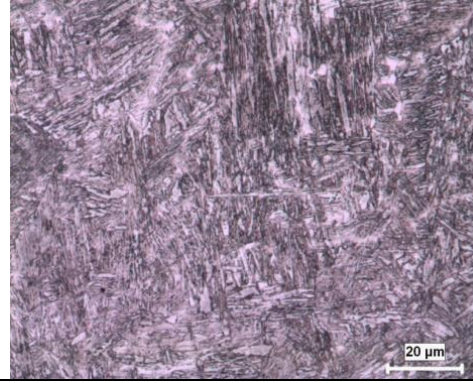
25 per – 6 kA – x500 büyütme
Çekirdek



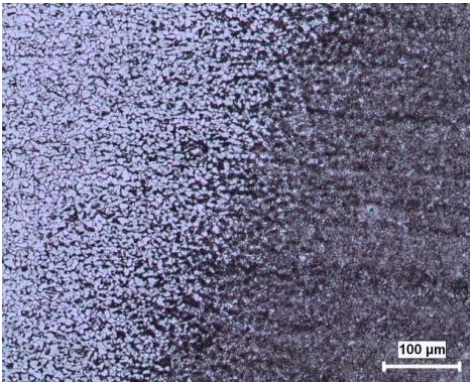
25 per – 6 kA – x500 büyütme
ITAB



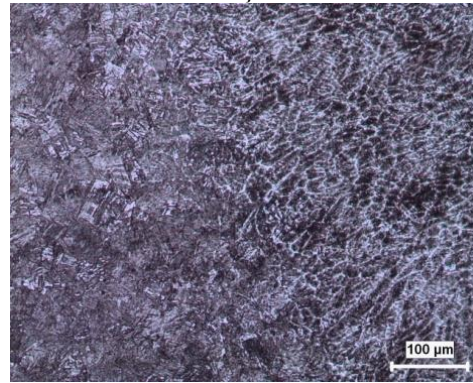
25 per – 6 kA – x500 büyütme
ITAB - Çekirdek

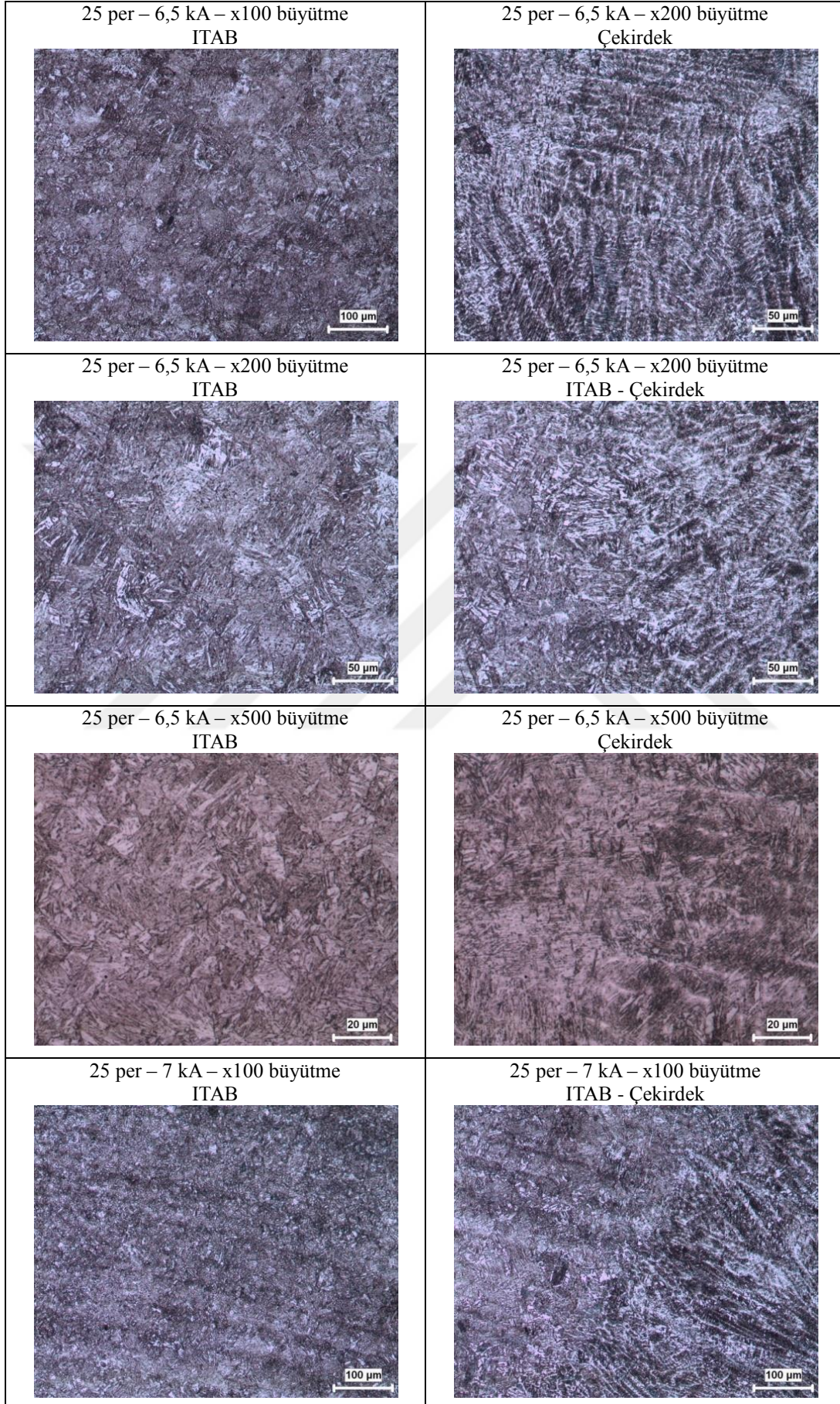


25 per – 6,5 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB

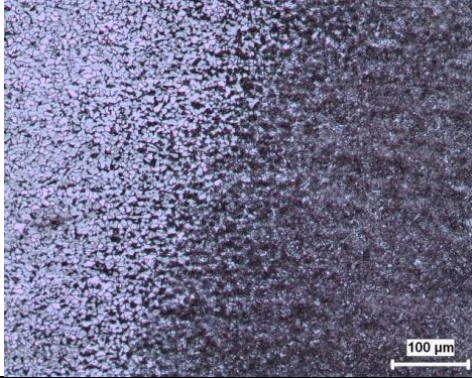


25 per – 6,5 kA – x100 büyütme
ITAB – Çekirdek

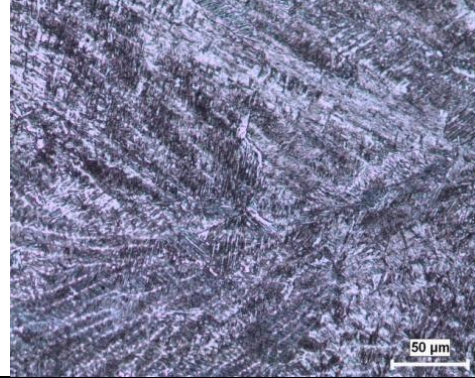




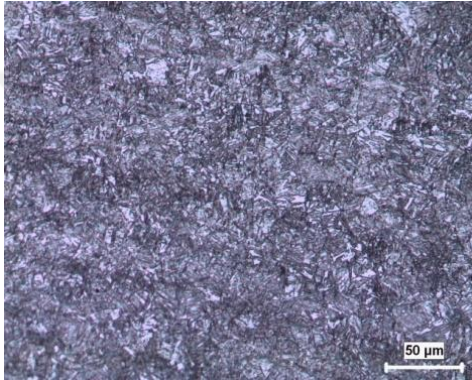
25 per – 7 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



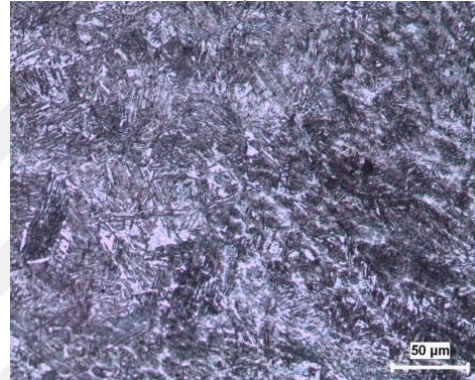
25 per – 7 kA – x200 büyütme
Çekirdek



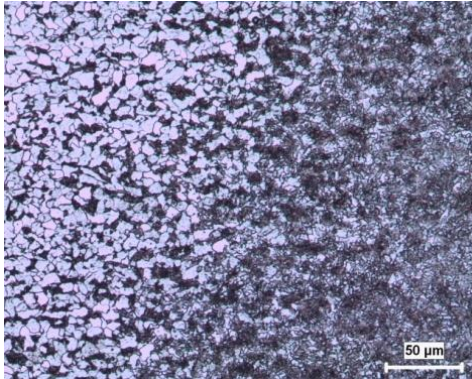
25 per – 7 kA – x200 büyütme
ITAB



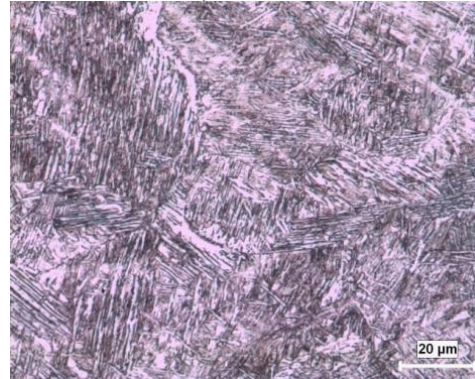
25 per – 7 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek



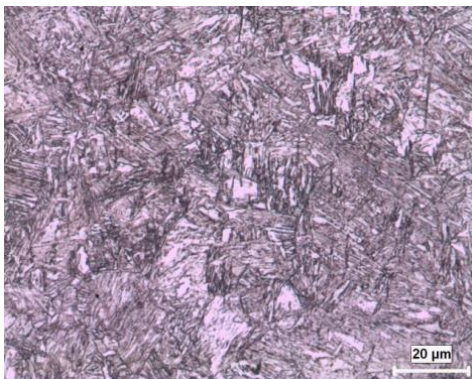
25 per – 7 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



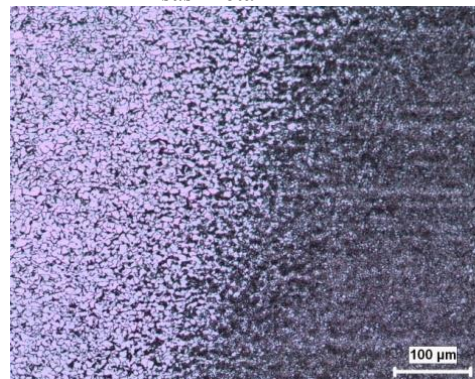
25 per – 7 kA – x500 büyütme
Çekirdek

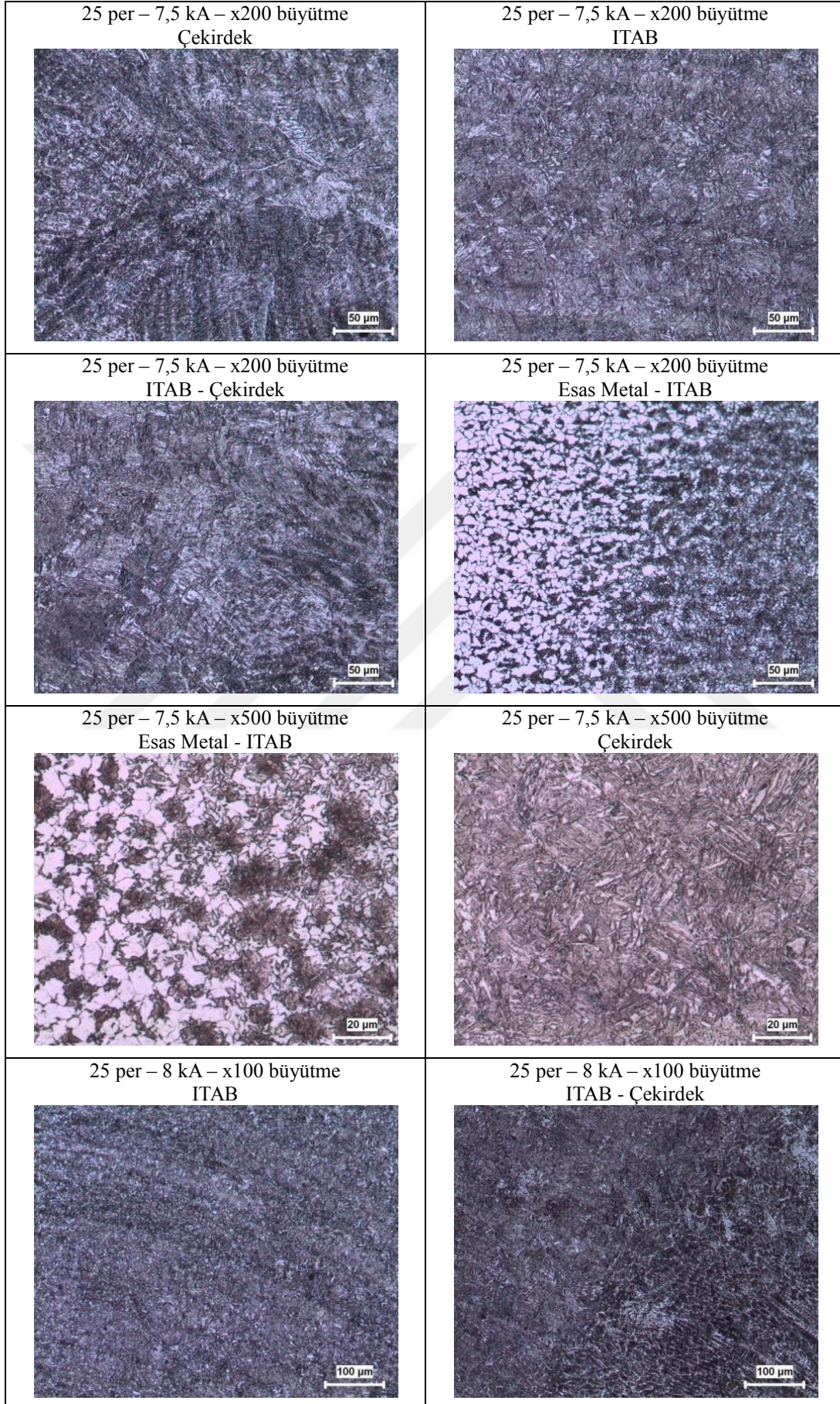


25 per – 7 kA – x500 büyütme
ITAB

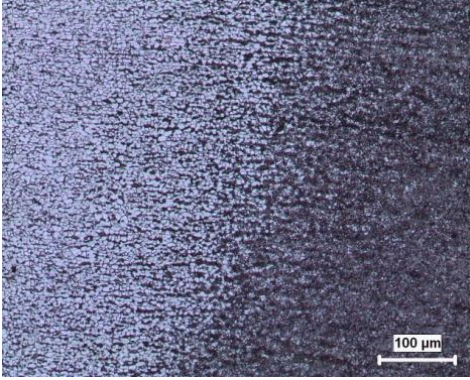


25 per – 7,5 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB

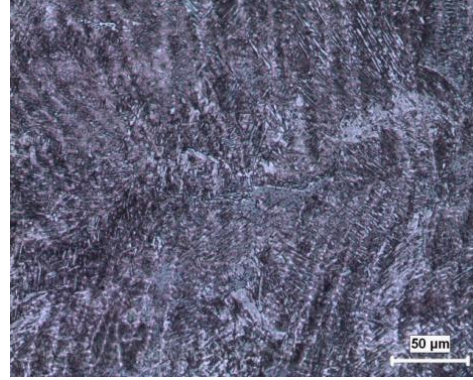




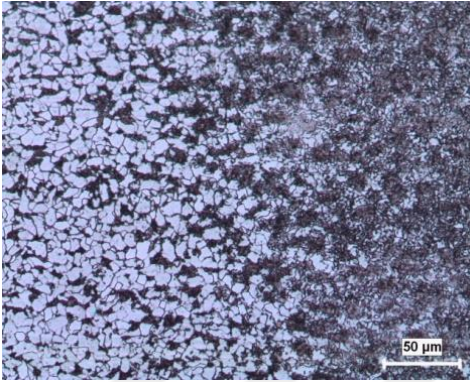
25 per – 8 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



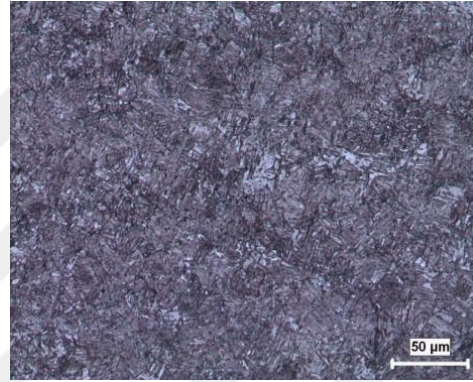
25 per – 8 kA – x200 büyütme
Çekirdek



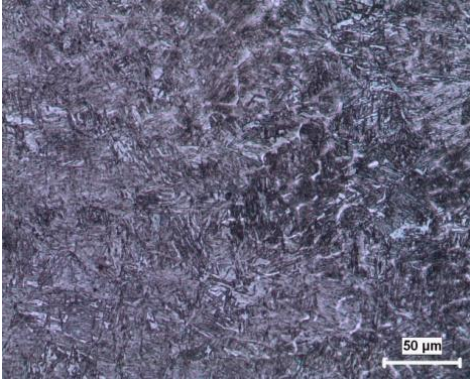
25 per – 8 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



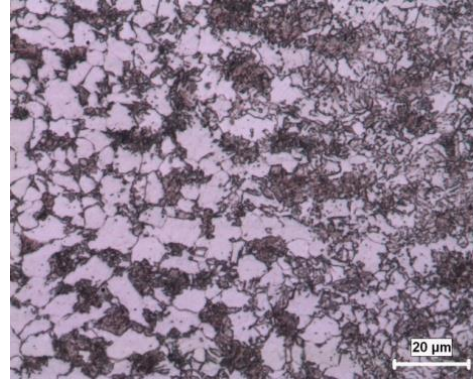
25 per – 8 kA – x200 büyütme
ITAB



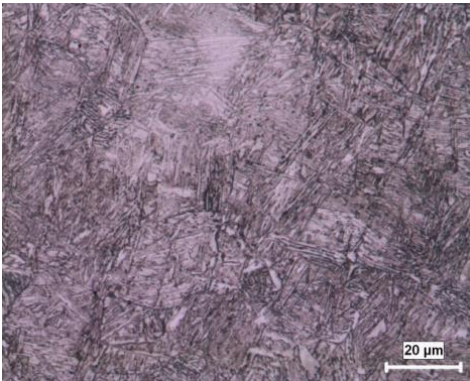
25 per – 8 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek



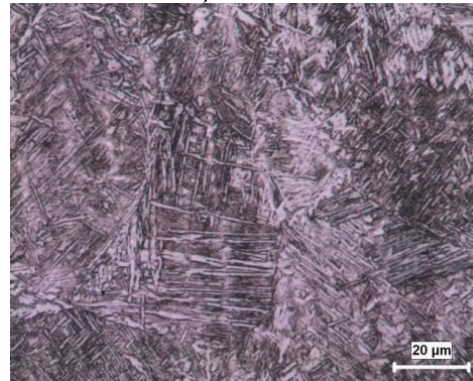
25 per – 8 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB

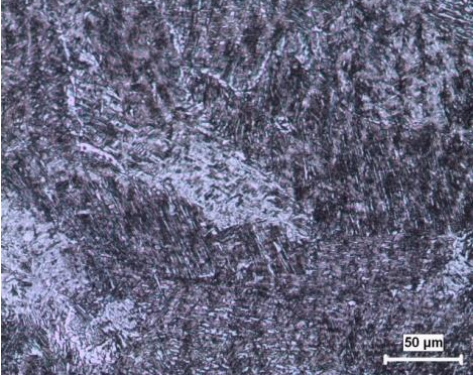
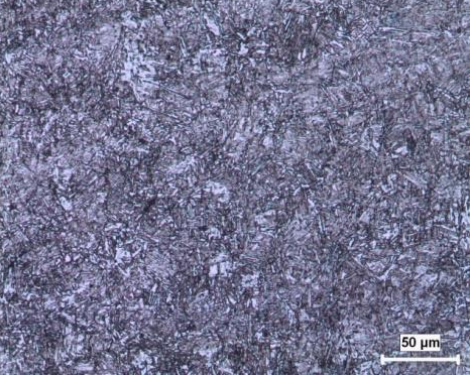
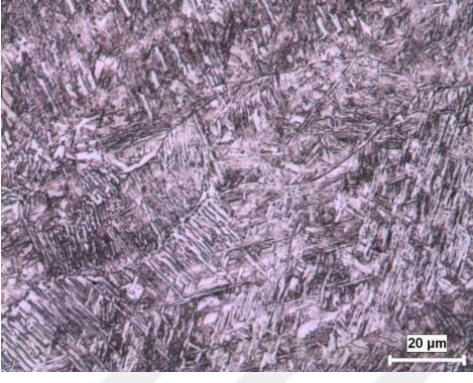
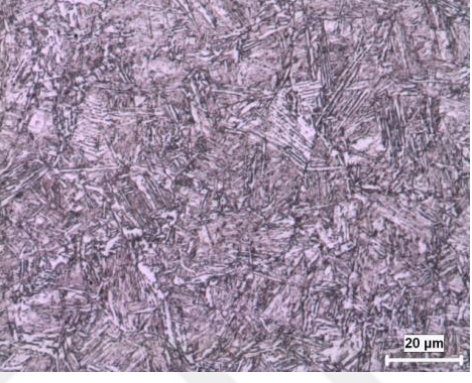
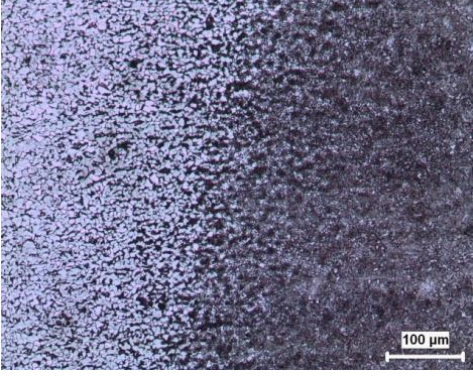
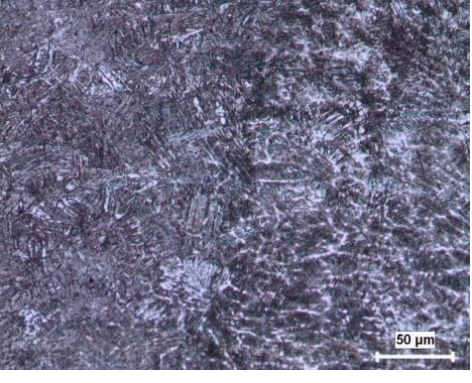
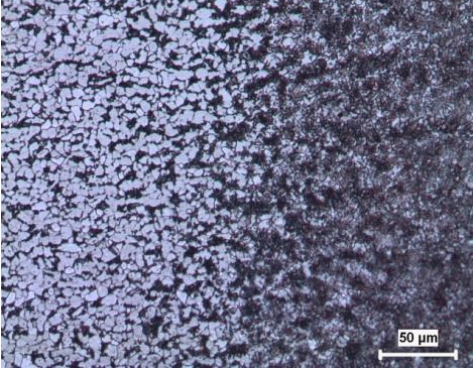
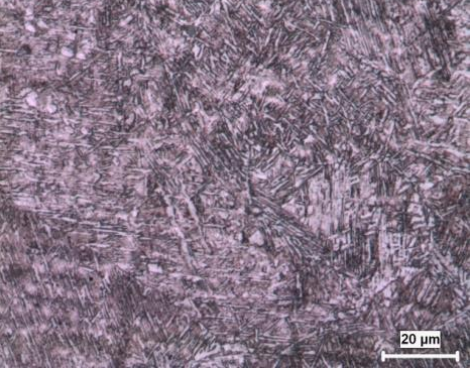


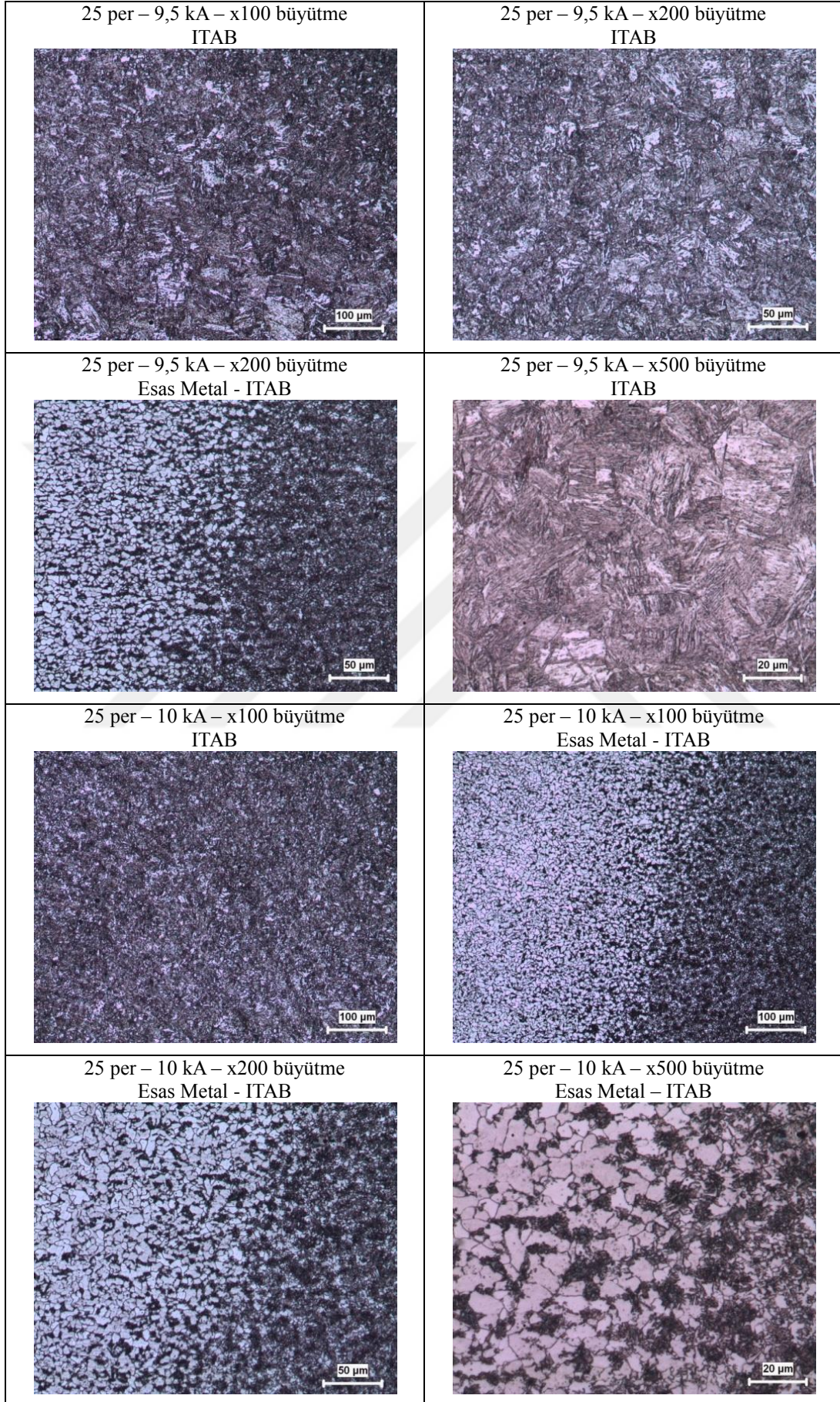
25 per – 8 kA – x500 büyütme
ITAB



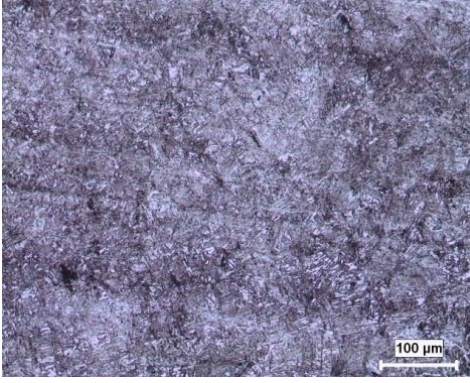
25 per – 8 kA – x500 büyütme
Çekirdek



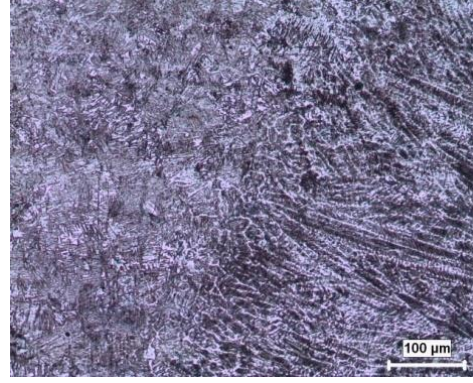
<p>25 per – 8,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>25 per – 8,5 kA – x200 büyütme ITAB</p> 
<p>25 per – 8,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>25 per – 8,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>25 per – 9 kA – x100 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 	<p>25 per – 9 kA – x200 büyütme ITAB - Çekirdek</p> 
<p>25 per – 9 kA – x200 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 	<p>25 per – 9 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 



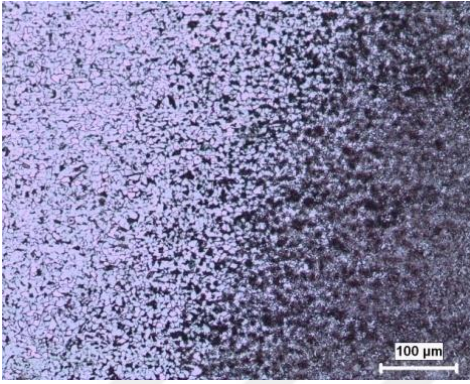
30 per – 6 kA – x100 büyütme
ITAB



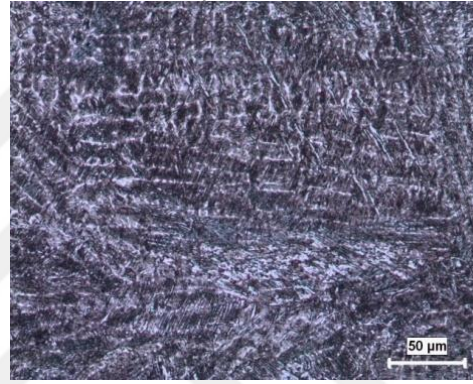
30 per – 6 kA – x100 büyütme
ITAB - Çekirdek



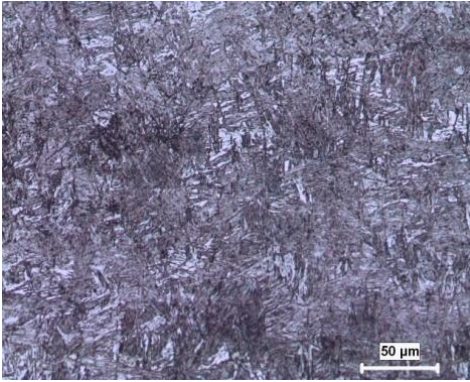
30 per – 6 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



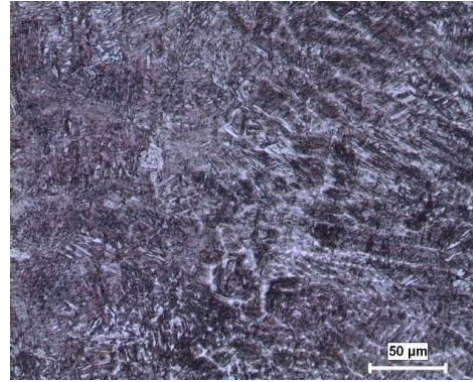
30 per – 6 kA – x200 büyütme
Çekirdek



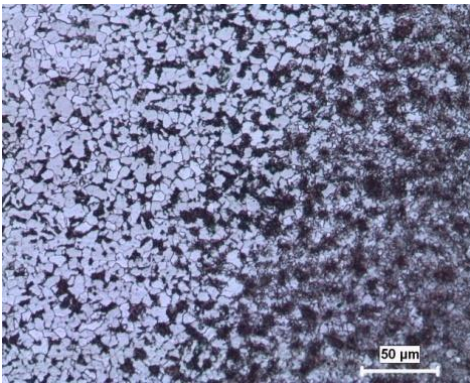
30 per – 6 kA – x200 büyütme
ITAB



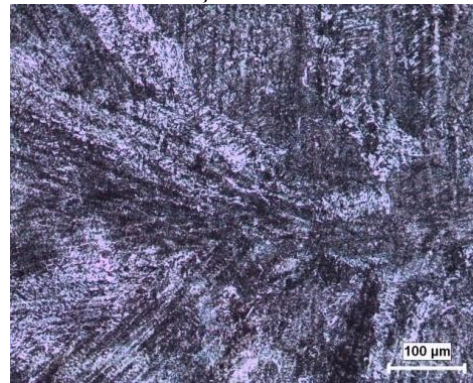
30 per – 6 kA – x200 büyütme
ITAB – Çekirdek

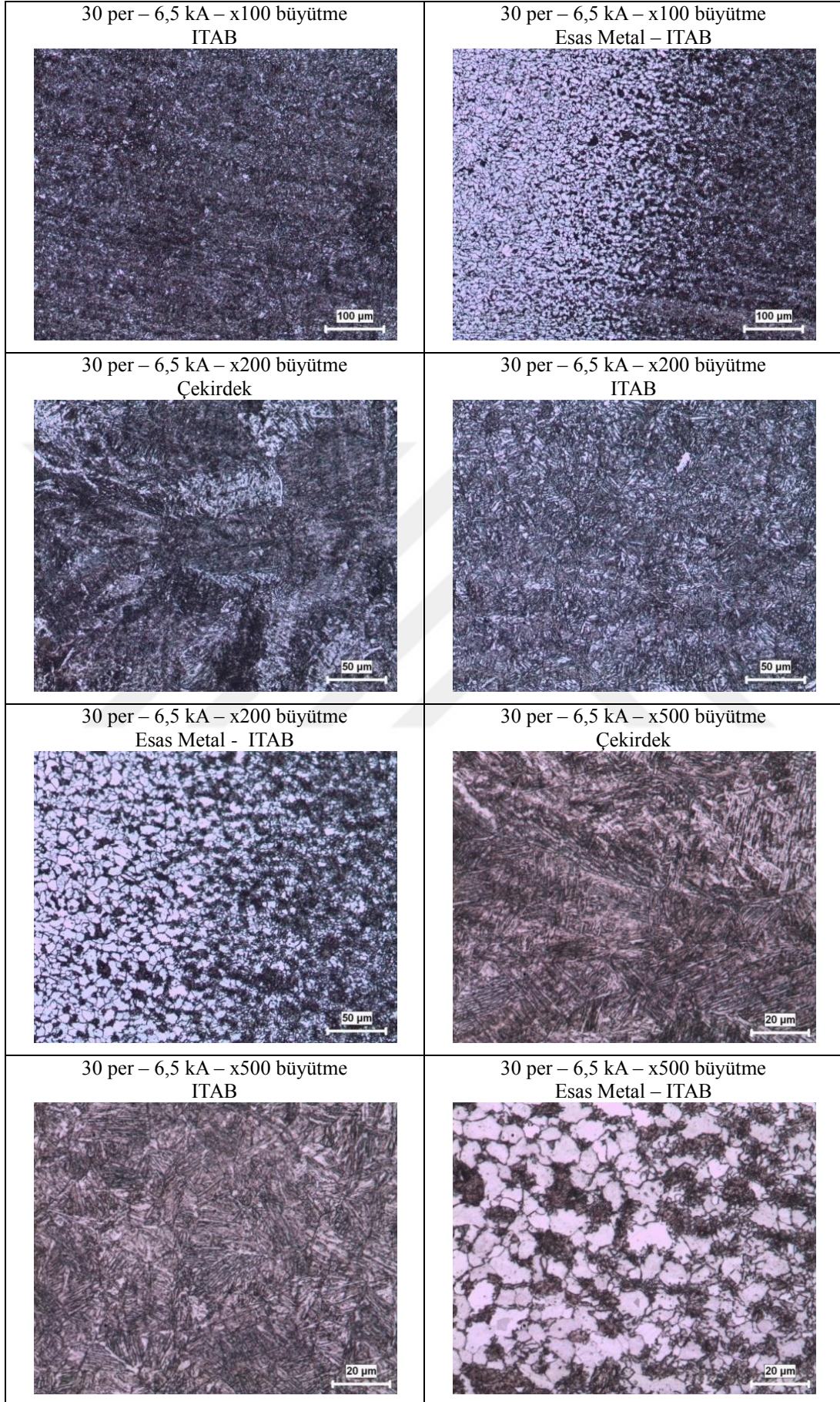


30 per – 6 kA – x200 büyütme
Esas Metal – ITAB

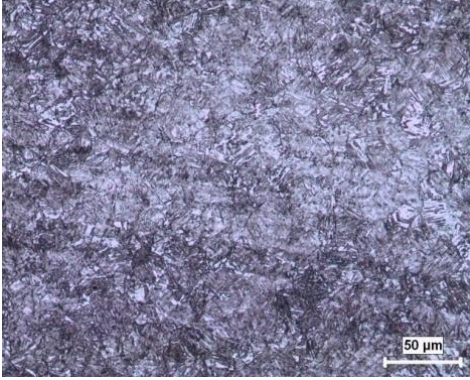


30 per – 6,5 kA – x100 büyütme
Çekirdek

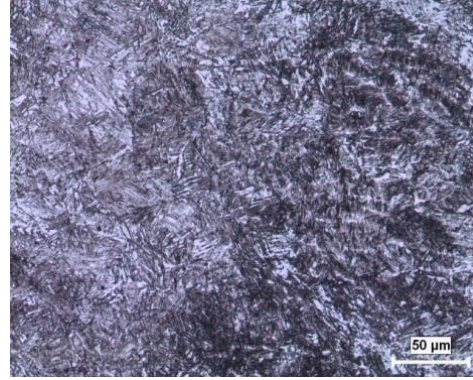




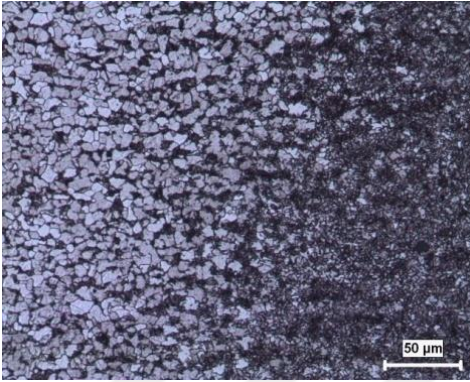
30 per – 7 kA – x200 büyütme
ITAB



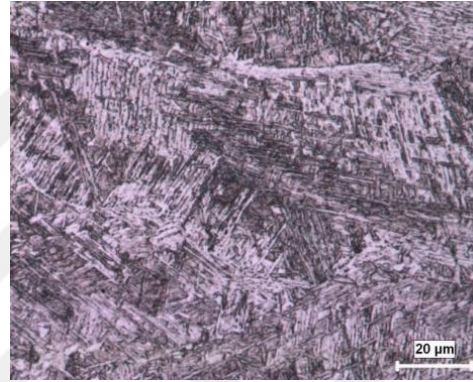
30 per – 7 kA – x100 büyütme
ITAB - Çekirdek



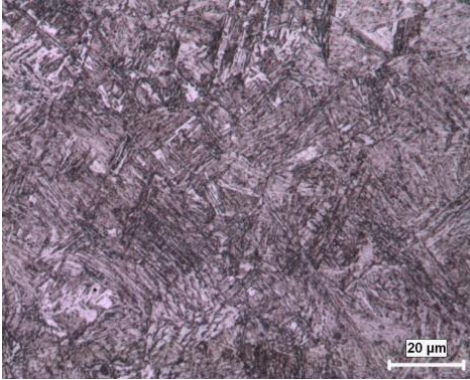
30 per – 7 kA – x200 büyütme
Esas Metal – ITAB



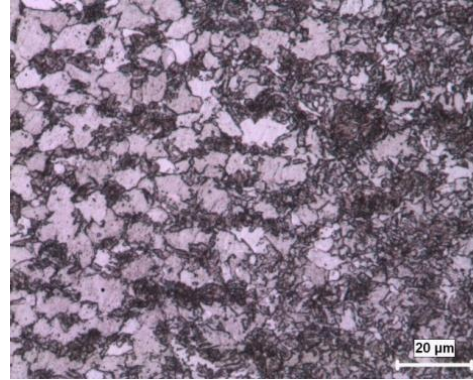
30 per – 7 kA – x500 büyütme
Çekirdek



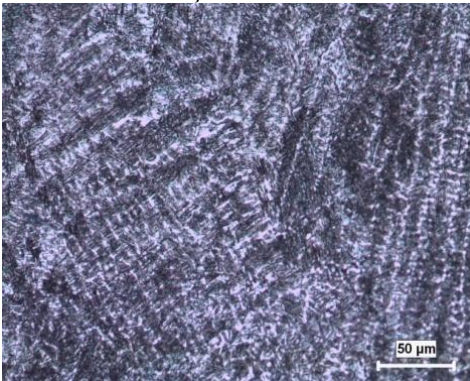
30 per – 7 kA – x500 büyütme
ITAB



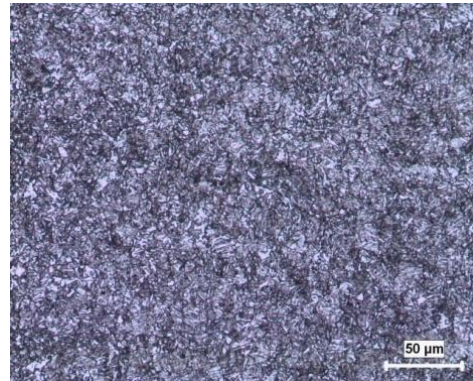
30 per – 7 kA – x500 büyütme
Esas Metal – ITAB



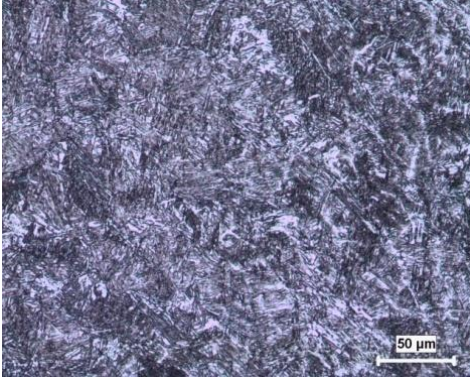
30 per – 7,5 kA – x200 büyütme
Çekirdek



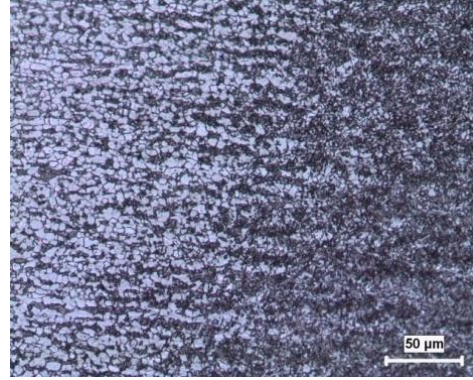
30 per – 7,5 kA – x200 büyütme
ITAB



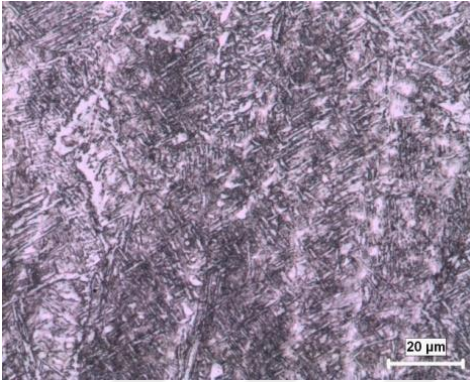
30 per – 7,5 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek



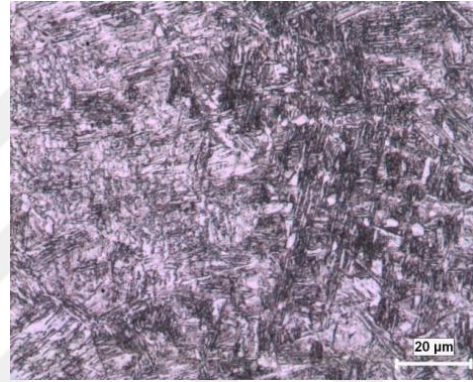
30 per – 7,5 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



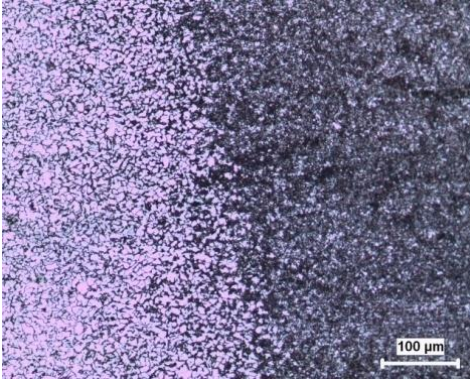
30 per – 7,5 kA – x500 büyütme
Çekirdek



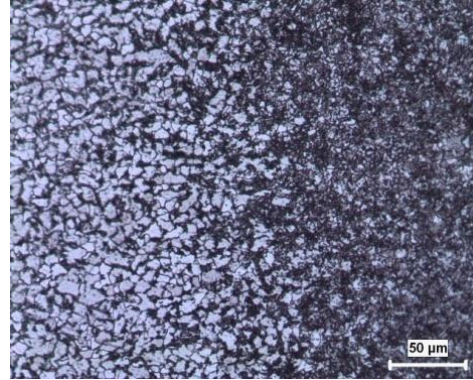
30 per – 7,5 kA – x500 büyütme
ITAB - Çekirdek



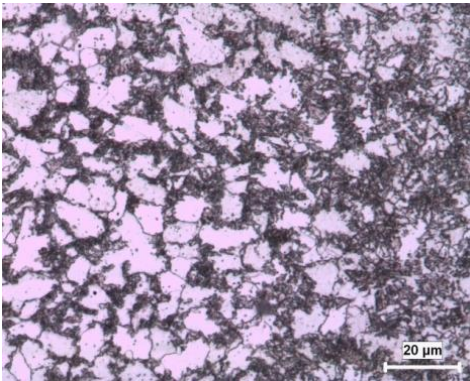
30 per – 8 kA – x100 büyütme
Esas Metal - ITAB



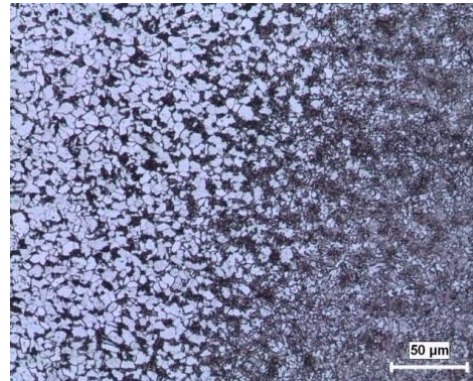
30 per – 8 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB

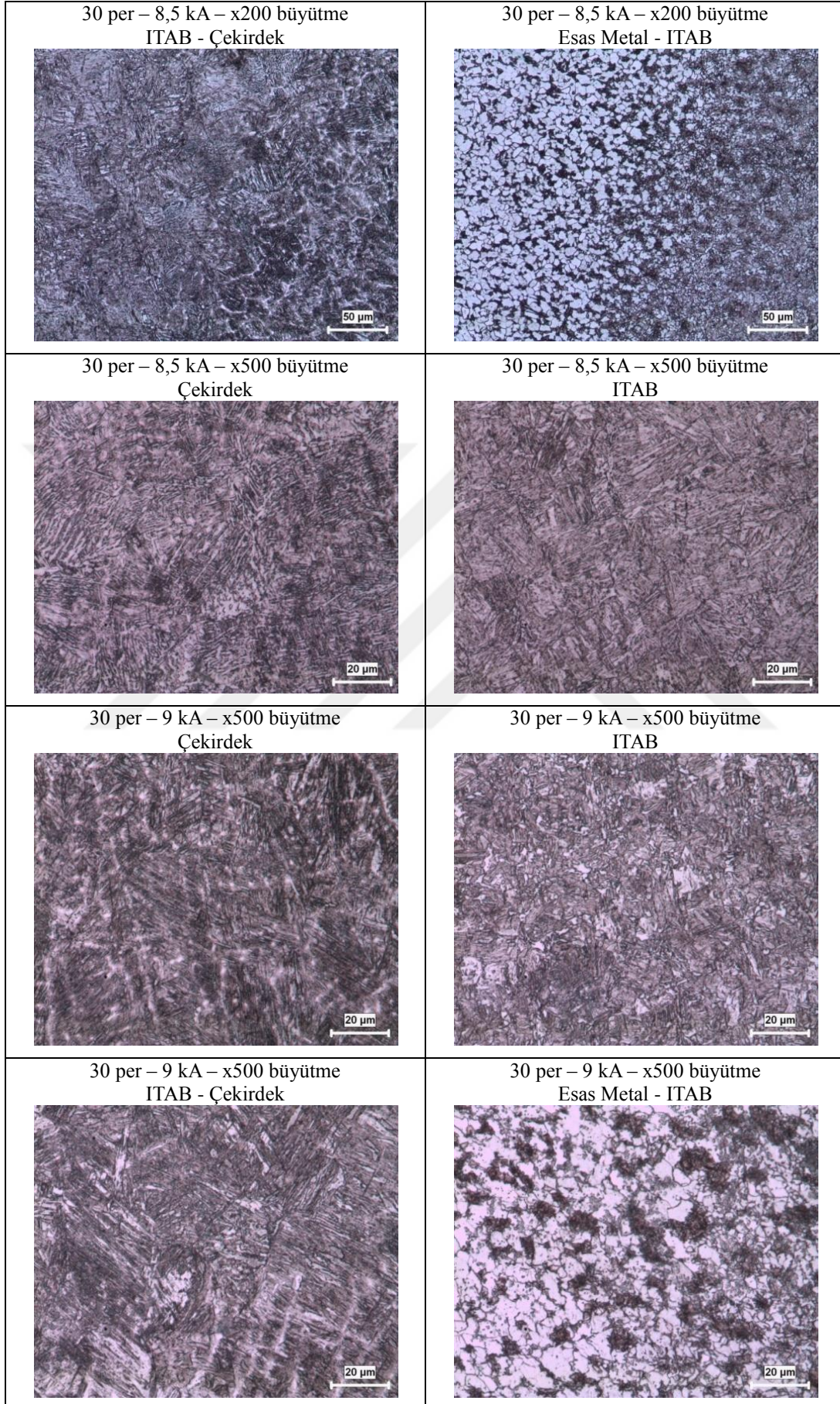


30 per – 8 kA – x500 büyütme
Esas Metal - ITAB

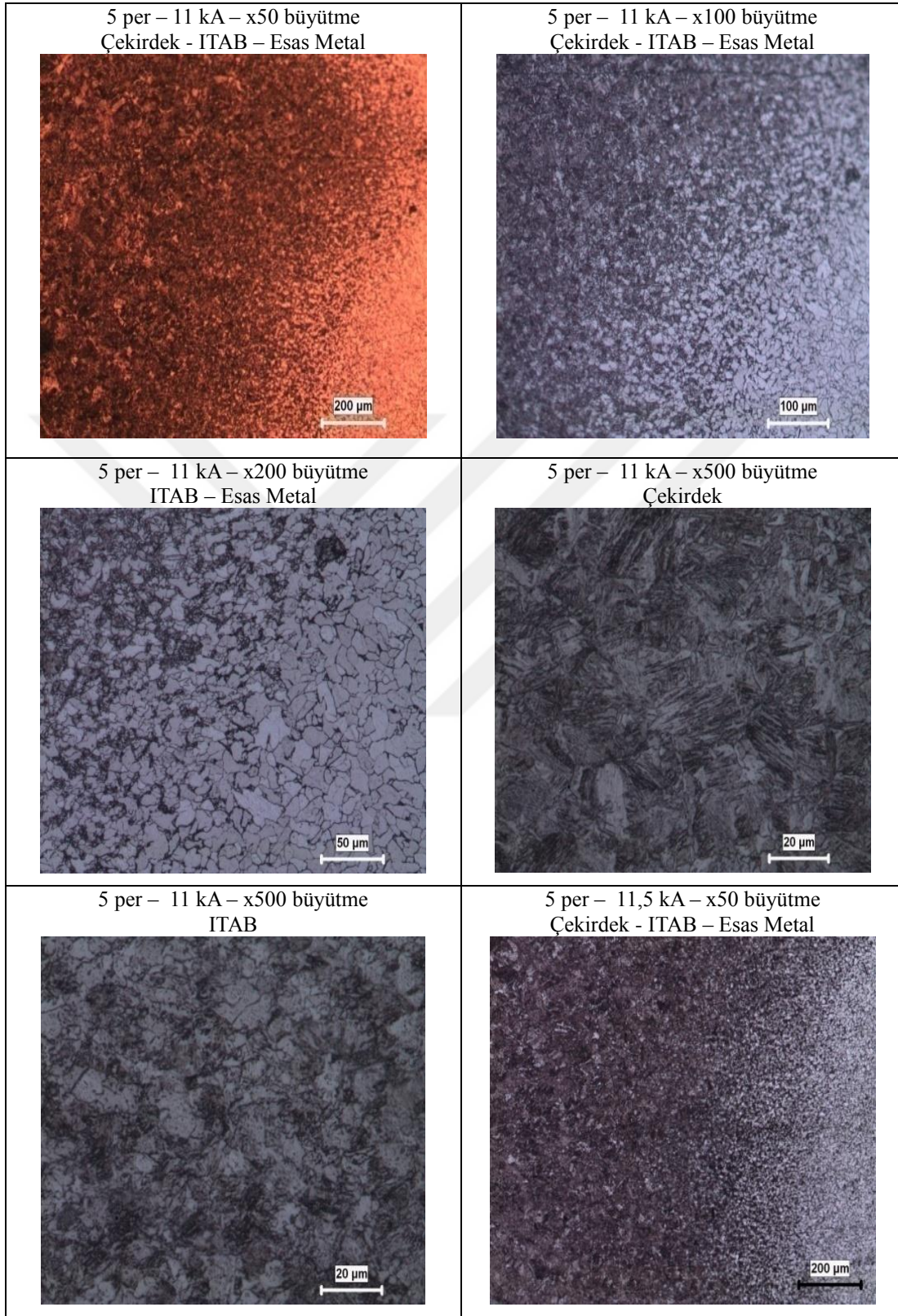


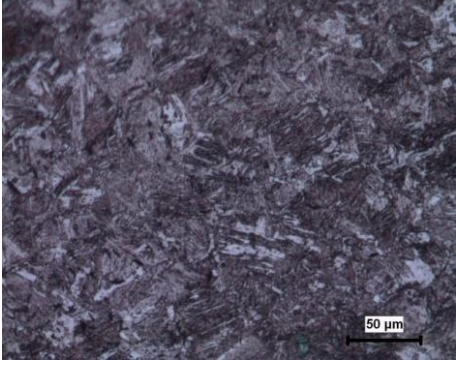
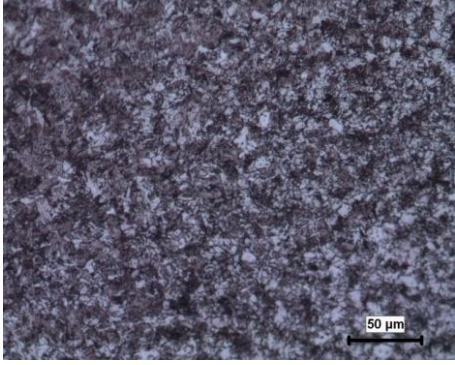
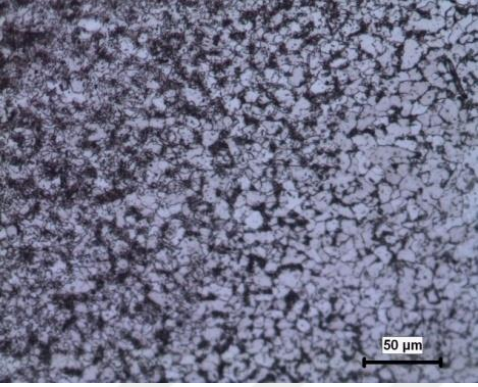
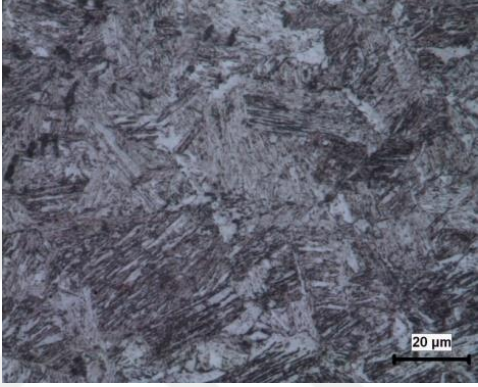
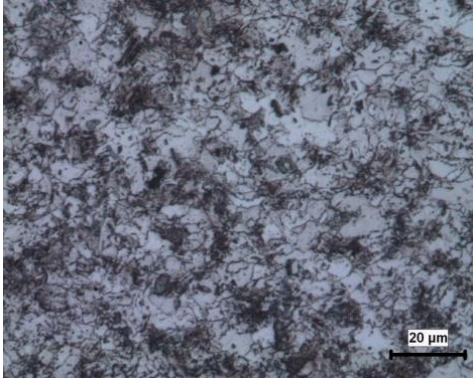
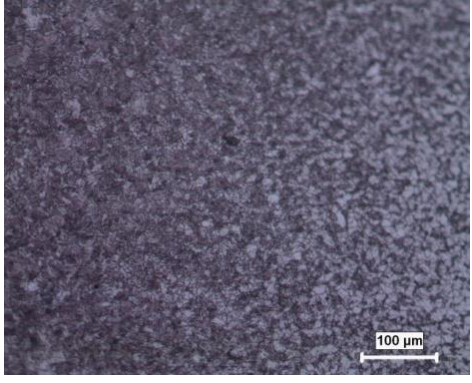
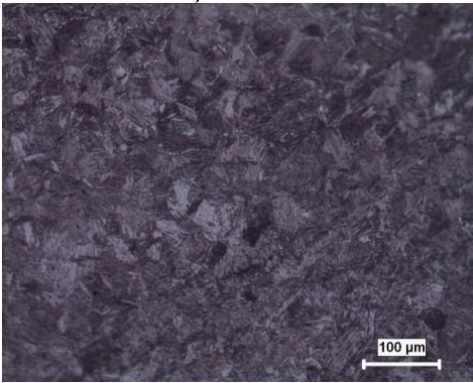
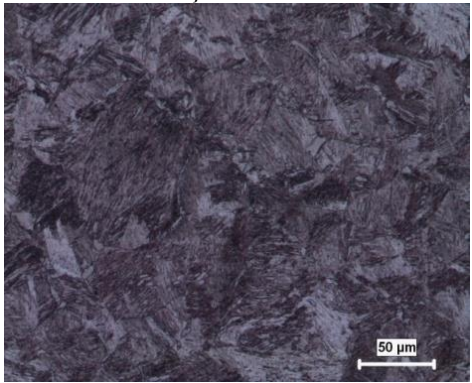
30 per – 8,5 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



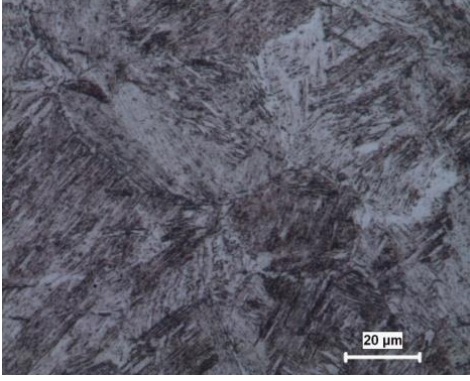


EK 2. S235JR(Cu) bağlantılara ait mikroyapı görüntüleri

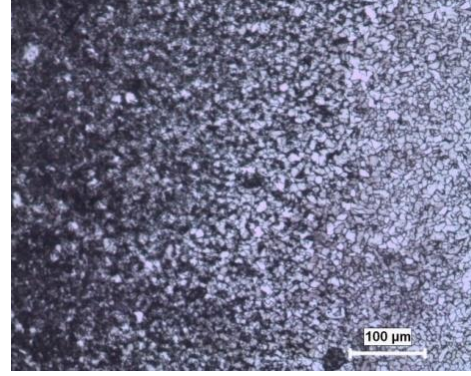


<p>5 per – 11,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>5 per – 11,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 
<p>5 per – 11,5 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>5 per – 11,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>5 per – 11,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 	<p>5 per – 12 kA – x100 büyütme Çekirdek - ITAB – Esas Metal</p> 
<p>5 per – 12 kA – x100 büyütme Çekirdek</p> 	<p>5 per – 12 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 

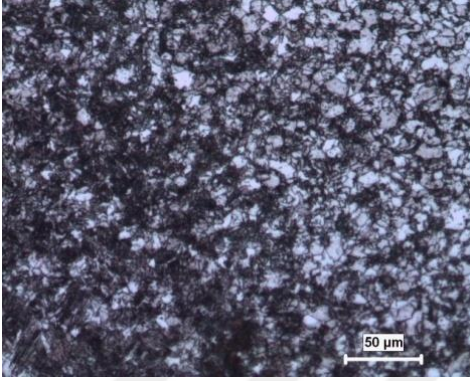
5 per – 12 kA – x500 büyütme
Çekirdek



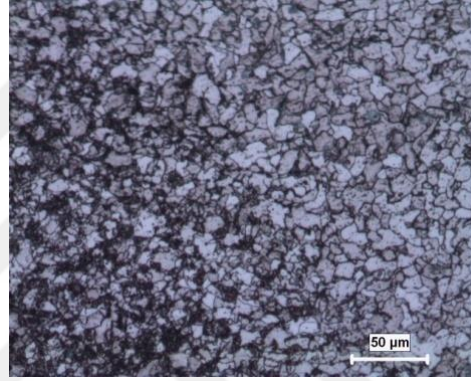
5 per – 13 kA – x100 büyütme
Çekirdek - ITAB – Esas Metal



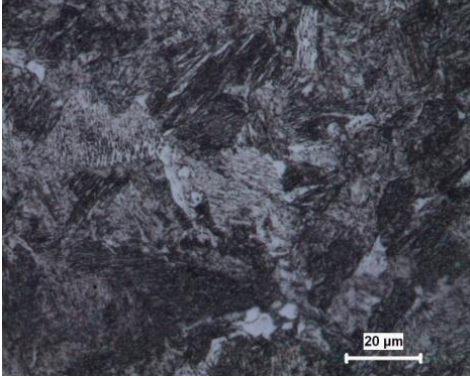
5 per – 13 kA – x200 büyütme
Çekirdek - ITAB



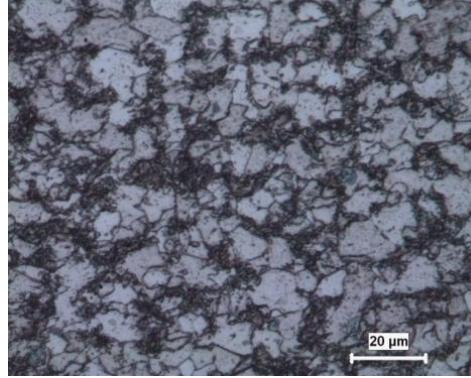
5 per – 13 kA – x200 büyütme
ITAB – Esas Metal



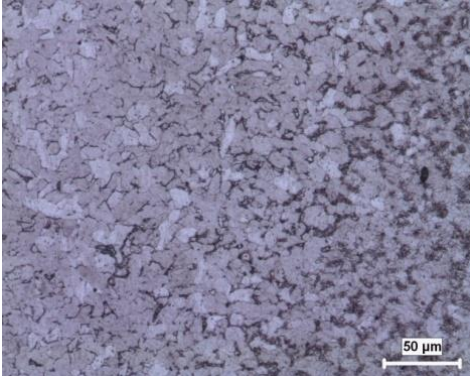
5 per – 13 kA – x500 büyütme
Çekirdek



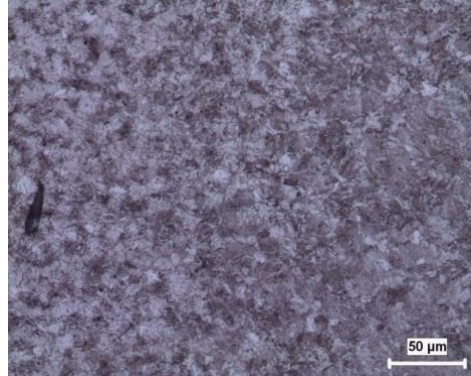
5 per – 13 kA – x500 büyütme
ITAB

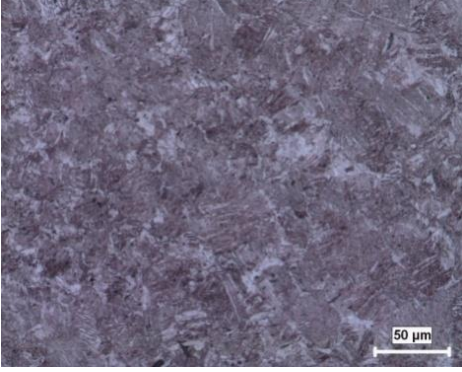
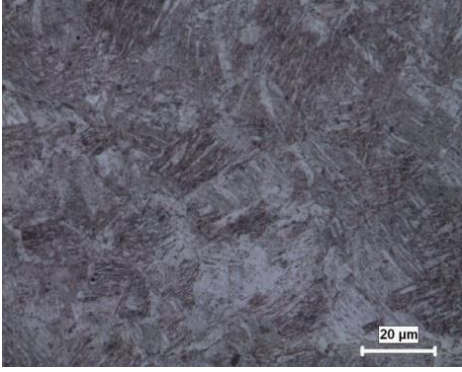
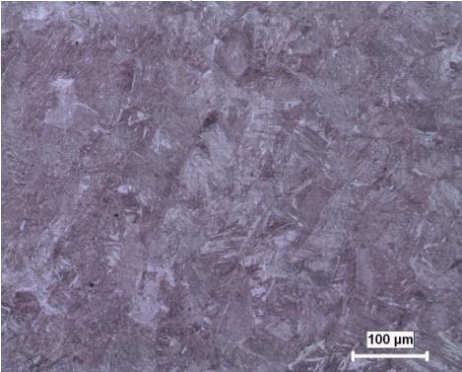
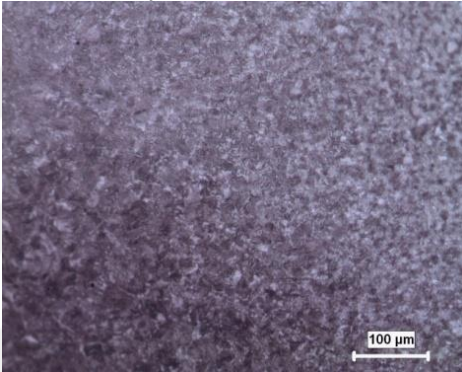
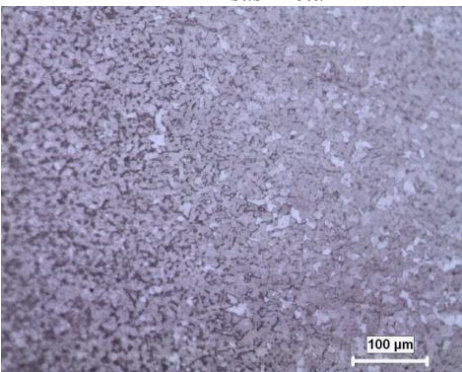
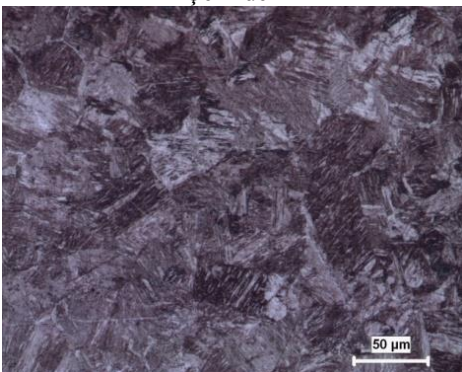
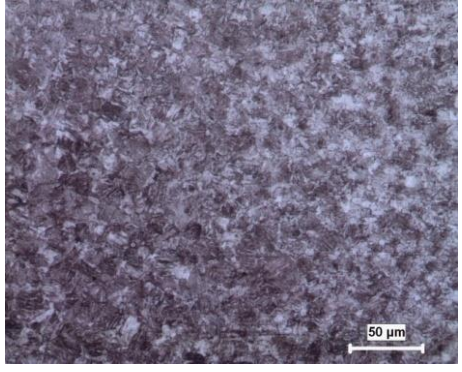
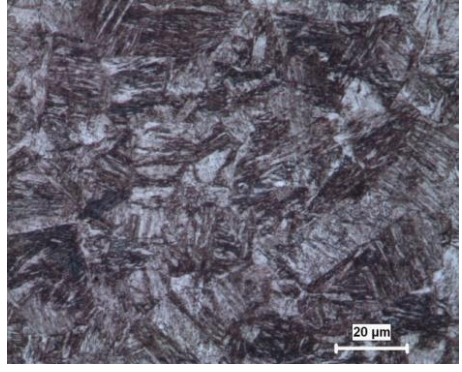


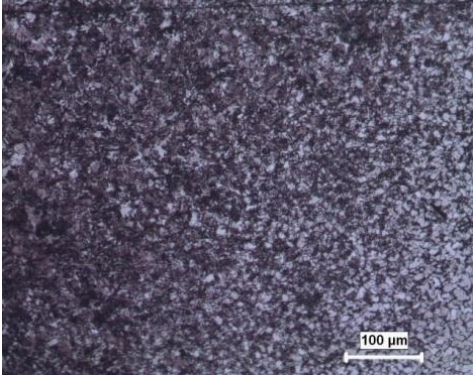
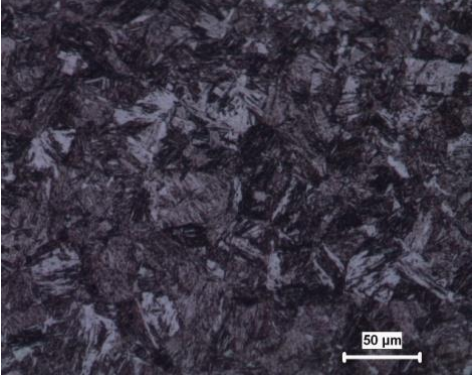
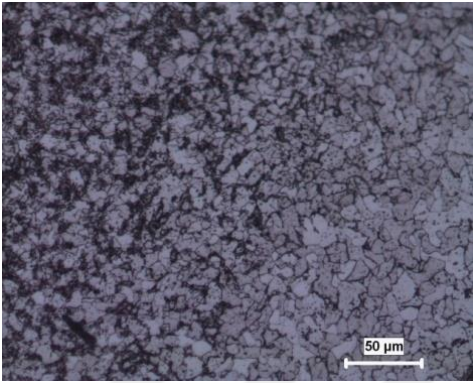
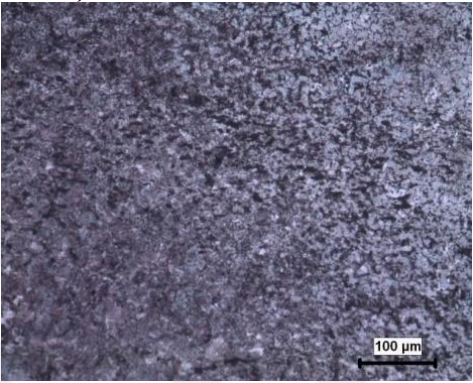
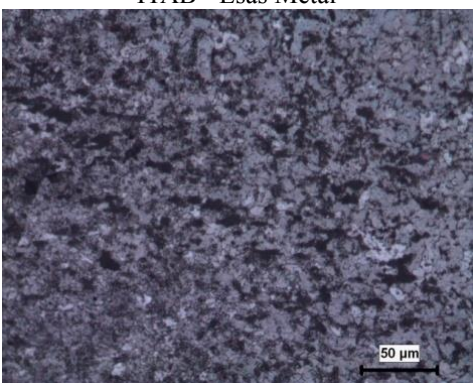
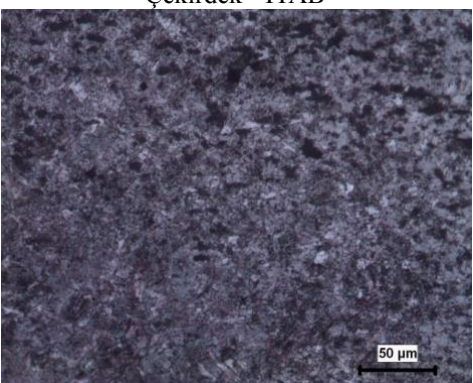
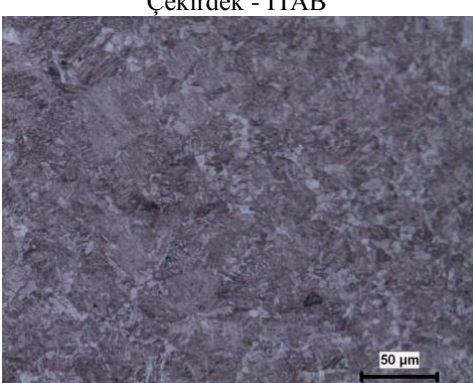
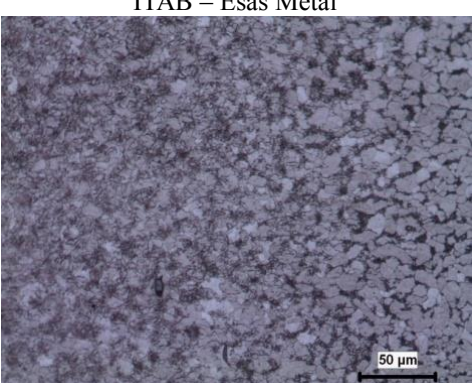
5 per – 14 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB


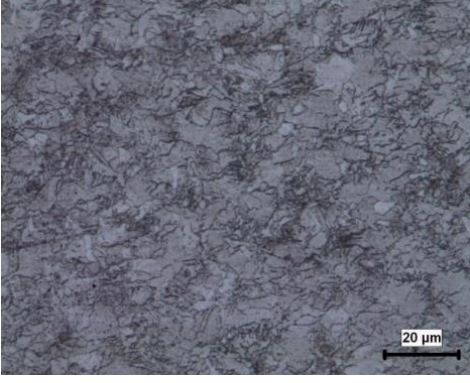
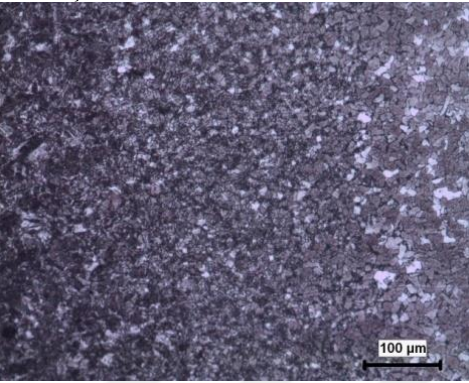
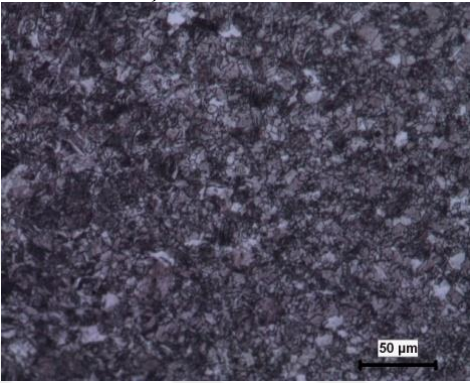
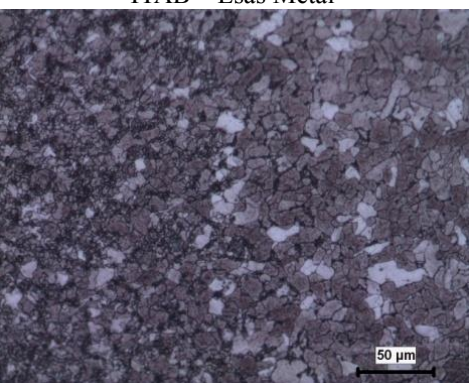
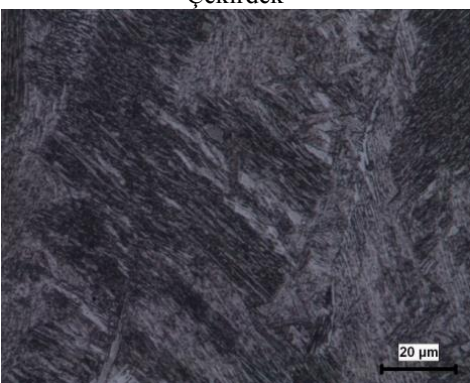
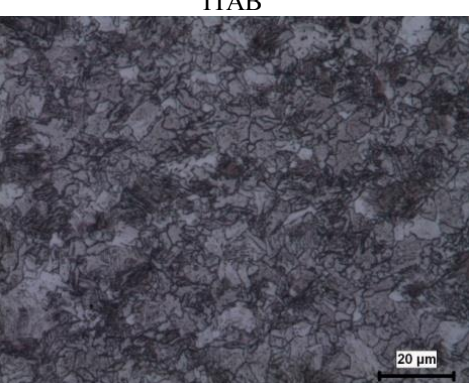
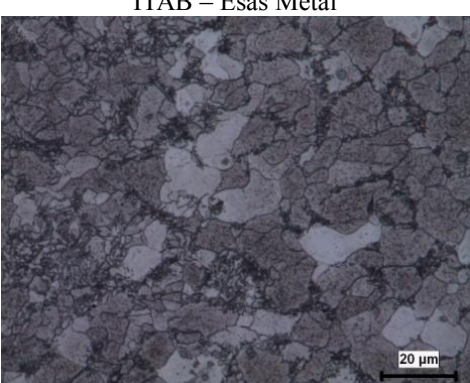


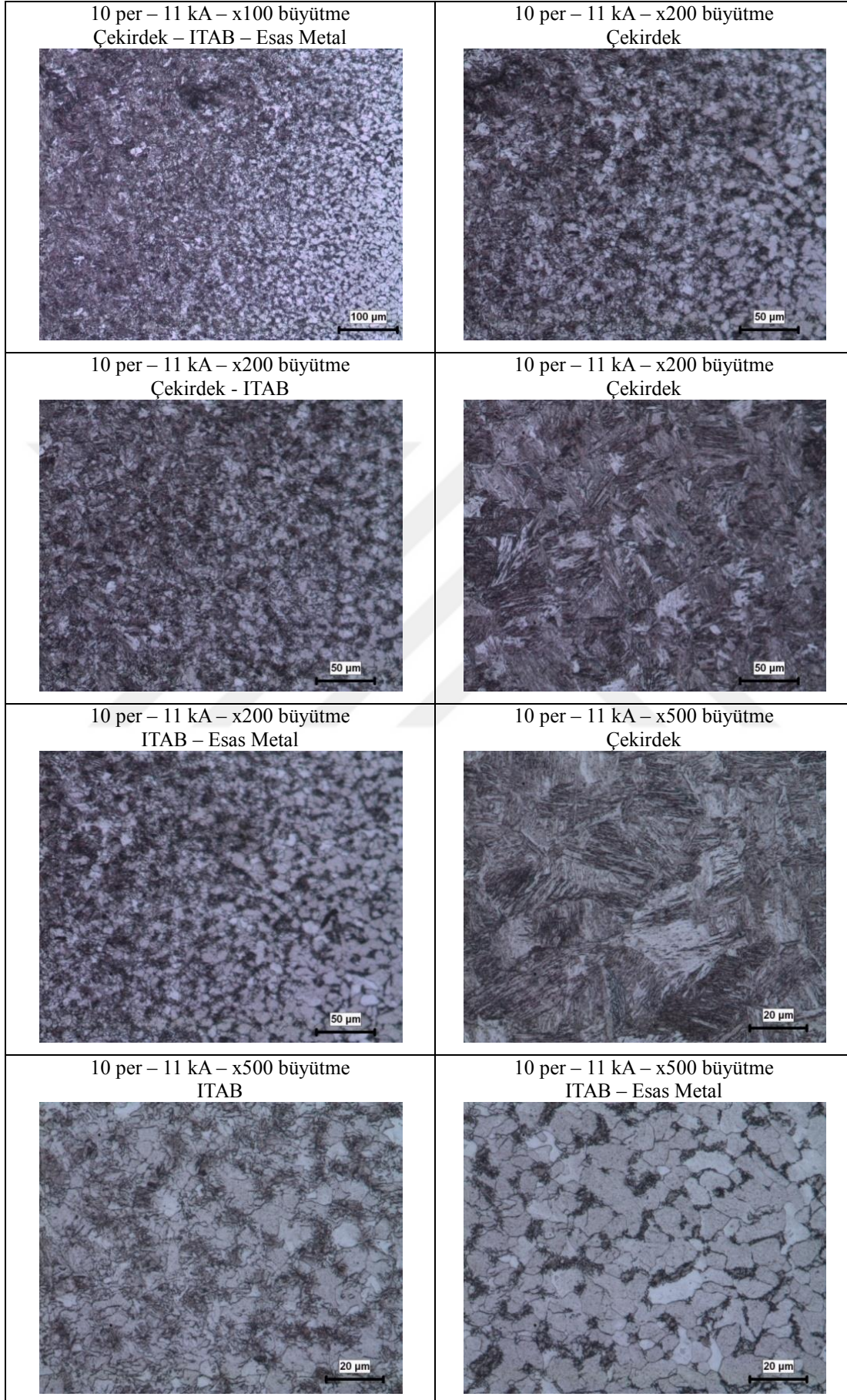
5 per – 14 kA – x200 büyütme
ITAB - Çekirdek

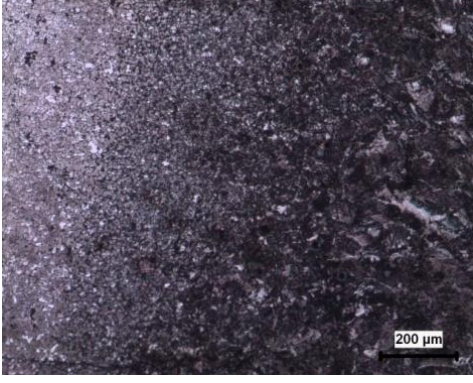
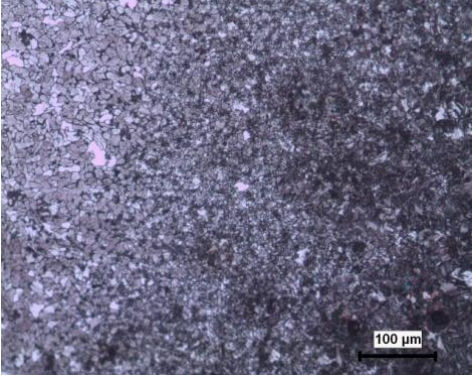
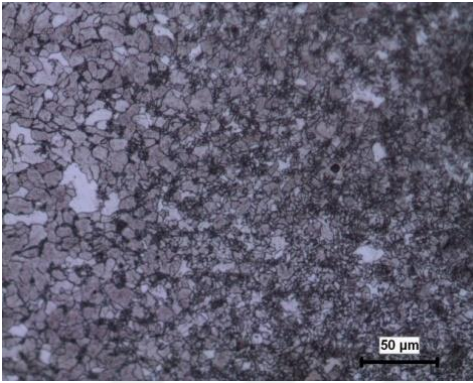
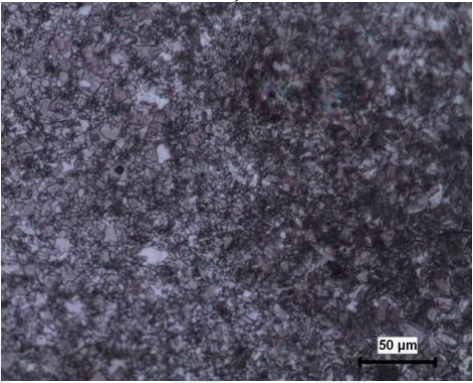

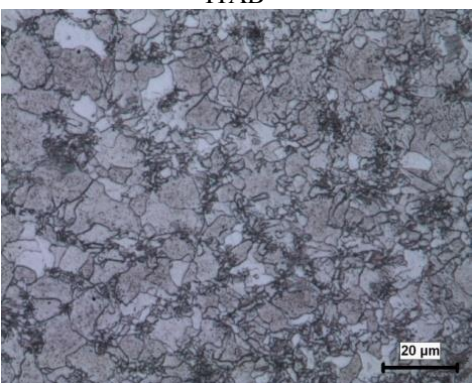
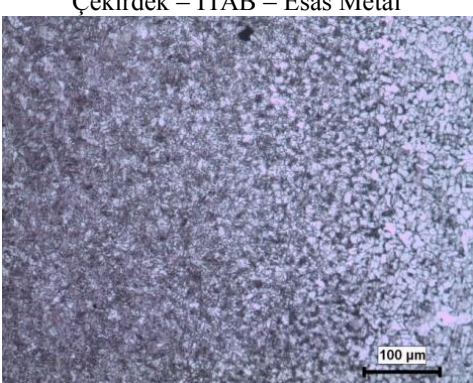
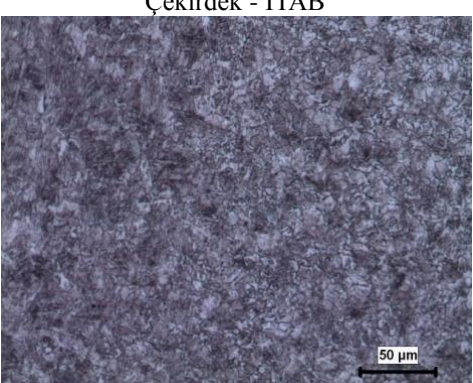


<p>5 per – 14 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>5 per – 14 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>10 per – 8 kA – x100 büyütme Çekirdek</p> 	<p>10 per – 8 kA – x100 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 
<p>10 per – 8 kA – x100 büyütme ITAB - Esas Metal</p> 	<p>10 per – 8 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>10 per – 8 kA – x200 büyütme Çekirdek – ITAB</p> 	<p>10 per – 8 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 

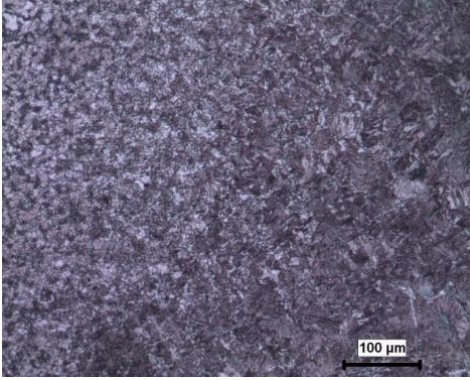
<p>10 per – 8,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 	<p>10 per – 8,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>10 per – 8,5 kA – x200 büyütme ITAB - Esas Metal</p> 	<p>10 per – 9 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 
<p>10 per – 9 kA – x200 büyütme ITAB - Esas Metal</p> 	<p>10 per – 9 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 
<p>10 per – 10 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 	<p>10 per – 10 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 

<p>10 per – 10 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>10 per – 10 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 	<p>10 per – 10,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>10 per – 10,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>10 per – 10,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 	<p>10 per – 10,5 kA – x500 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 

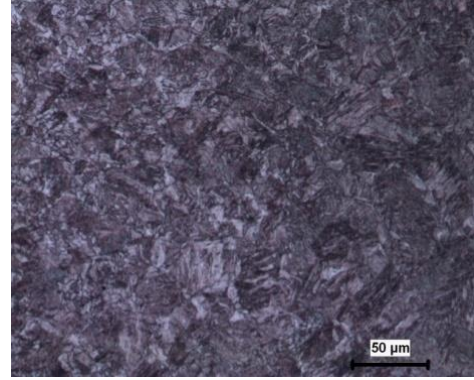


<p>15 per – 7,5 kA – x50 büyütme Esas Metal – ITAB - Çekirdek</p> 	<p>15 per – 7,5 kA – x100 büyütme Esas Metal – ITAB - Çekirdek</p> 
<p>15 per – 7,5 kA – x200 büyütme Esas Metal - ITAB</p> 	<p>15 per – 7,5 kA – x200 büyütme ITAB - Çekirdek</p> 
<p>15 per – 7,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>15 per – 7,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>15 per – 8,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 	<p>15 per – 8,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 

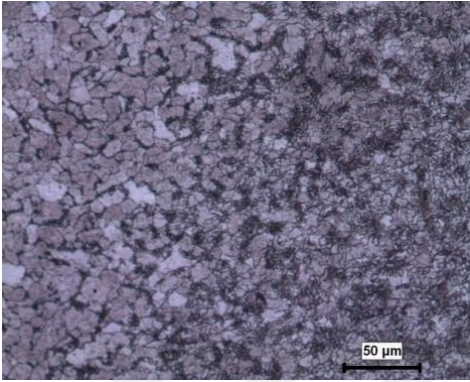
15 per – 9 kA – x100 büyütme
Esas Metal – ITAB - Çekirdek



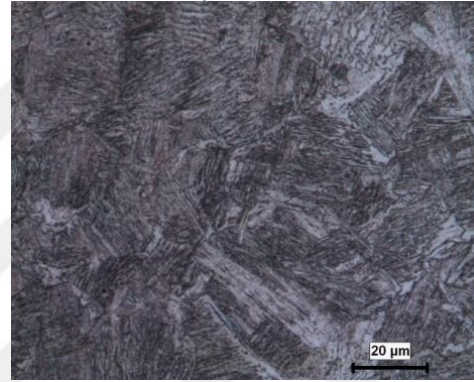
15 per – 9 kA – x200 büyütme
ITAB – Çekirdek



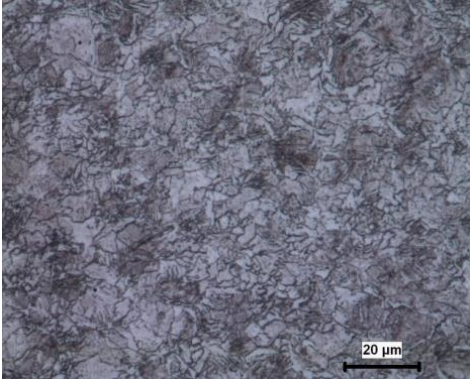
15 per – 9 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



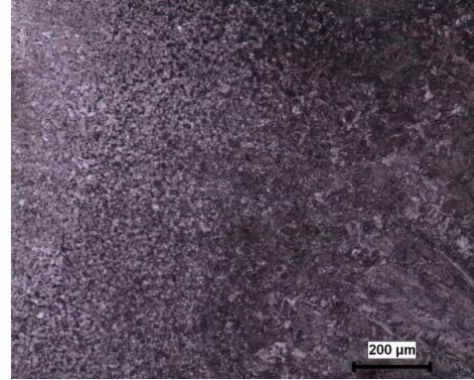
15 per – 9 kA – x500 büyütme
Çekirdek



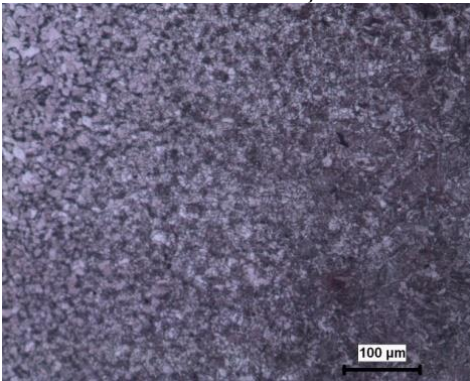
15 per – 9 kA – x500 büyütme
ITAB



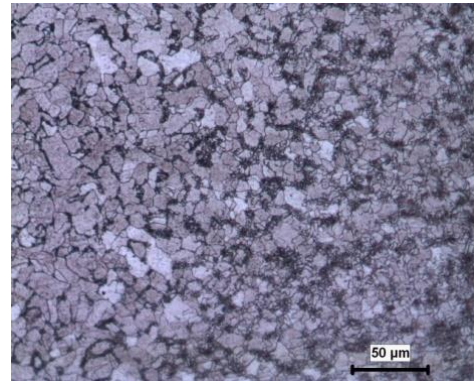
15 per – 9,5 kA – x50 büyütme
Esas Metal – ITAB - Çekirdek

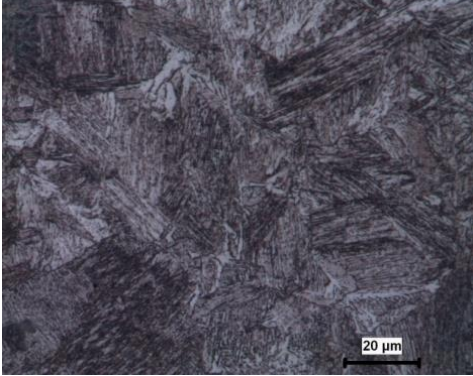
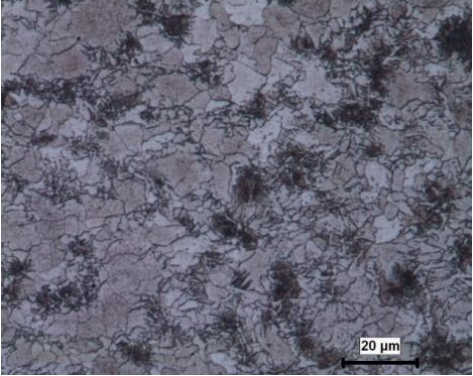
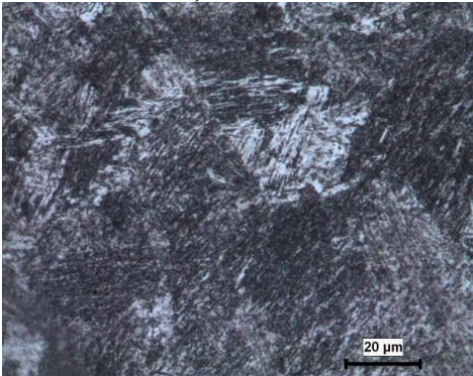
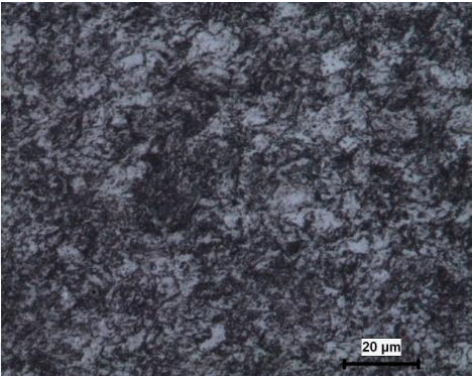
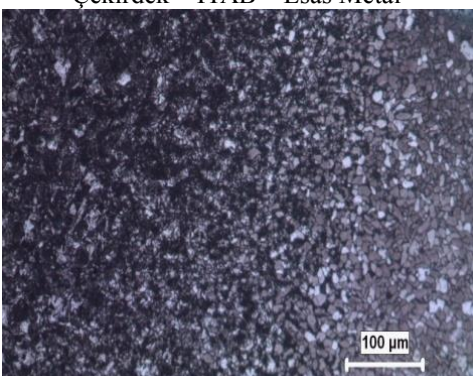
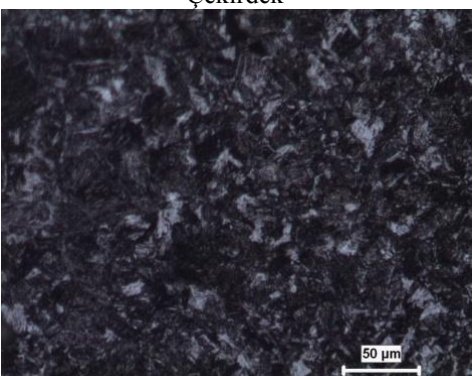
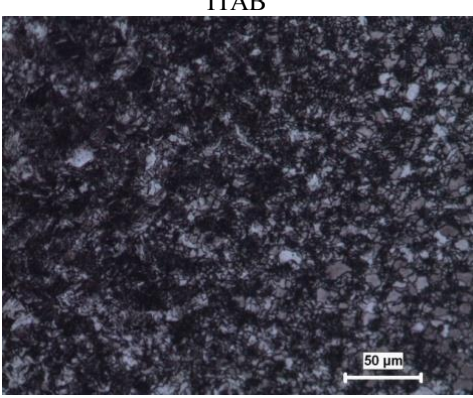
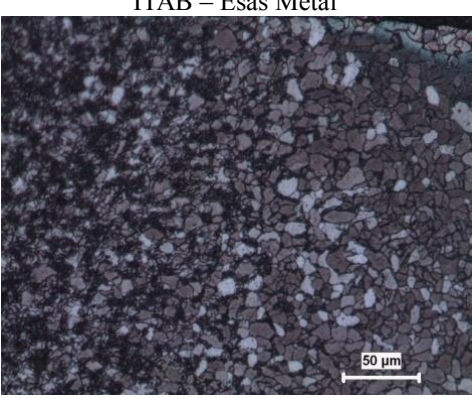


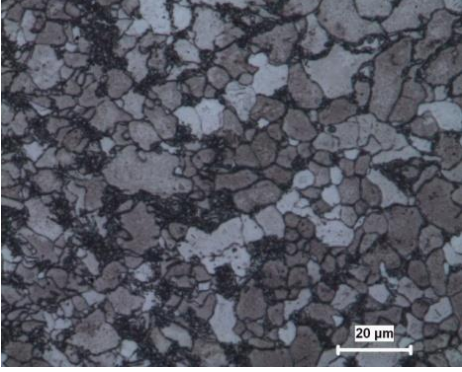
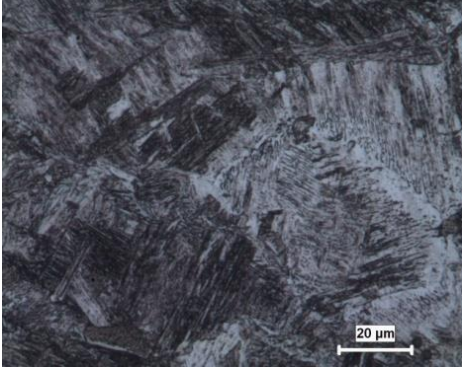
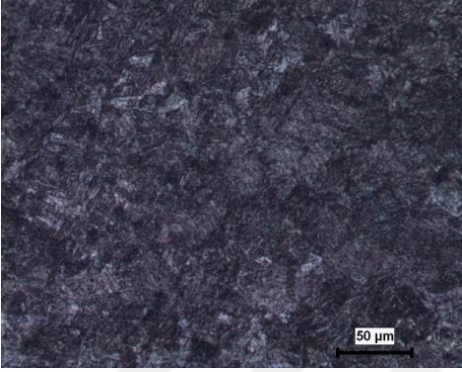
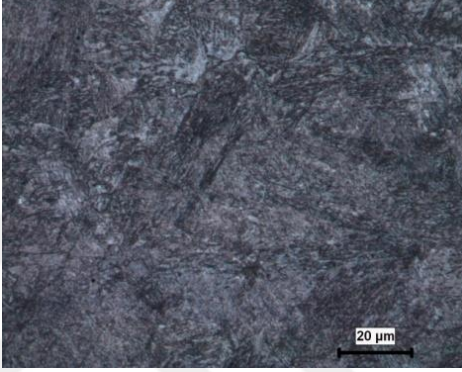
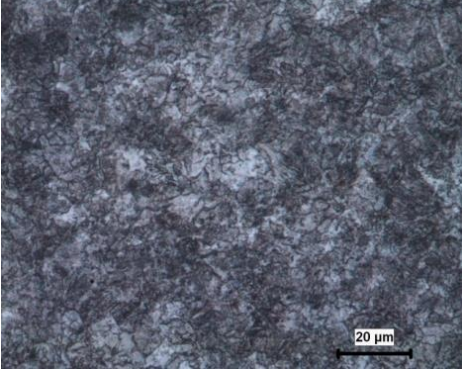
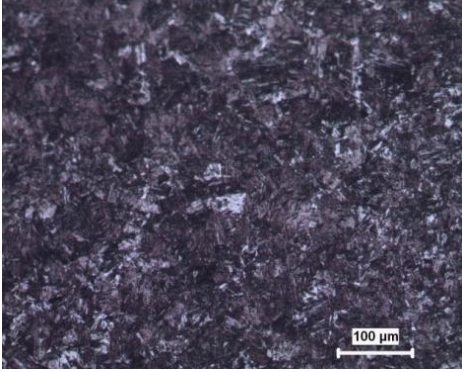
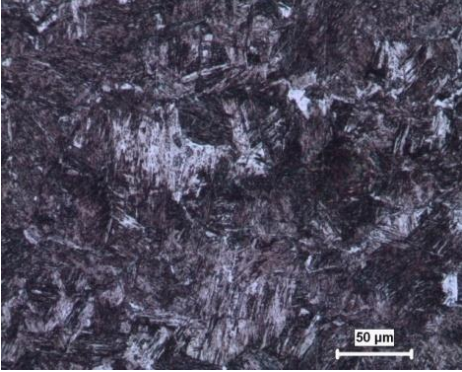
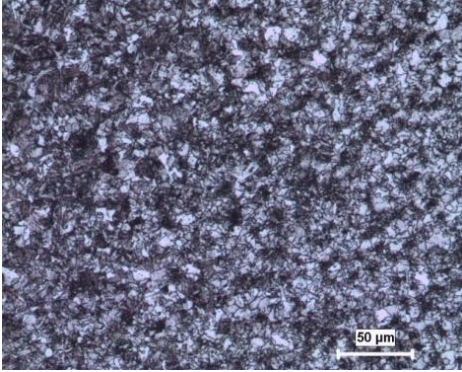
15 per – 9,5 kA – x100 büyütme
Esas Metal – ITAB - Çekirdek



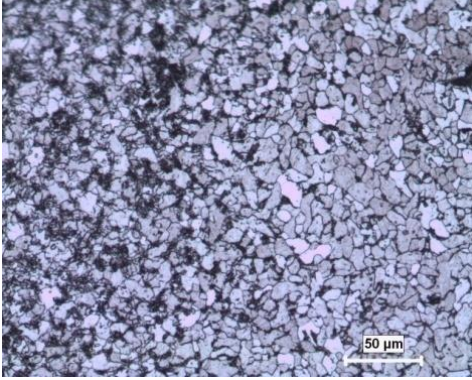
15 per – 9,5 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



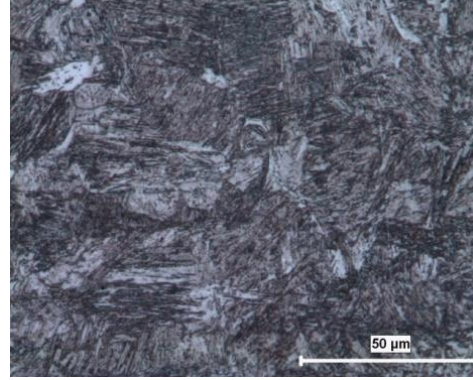
<p>15 per – 9,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>15 per – 9,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>15 per – 10 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>15 per – 10 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>15 per – 10,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 	<p>15 per – 10,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>15 per – 10,5 kA – x200 büyütme ITAB</p> 	<p>15 per – 10,5 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 

<p>15 per – 10,5 kA – x500 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>15 per – 10,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>20 per – 6,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 6,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>20 per – 6,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 	<p>20 per – 7 kA – x100 büyütme Çekirdek</p> 
<p>20 per – 7 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 7 kA – x200 büyütme ITAB</p> 

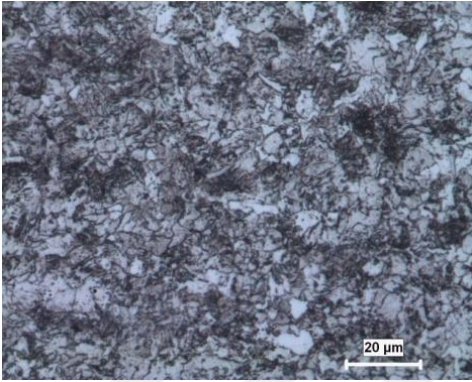
20 per – 7 kA – x200 büyütme
Esas Metal - ITAB



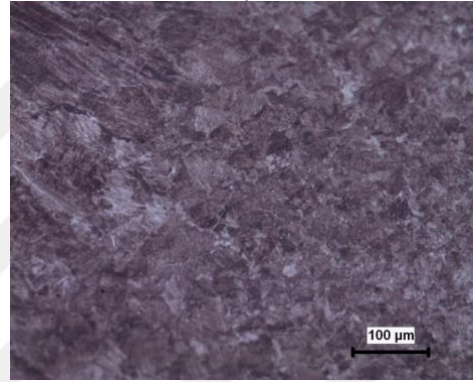
20 per – 7 kA – x500 büyütme
Çekirdek



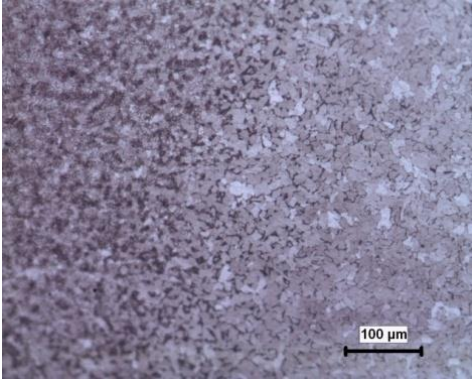
20 per – 7 kA – x500 büyütme
ITAB



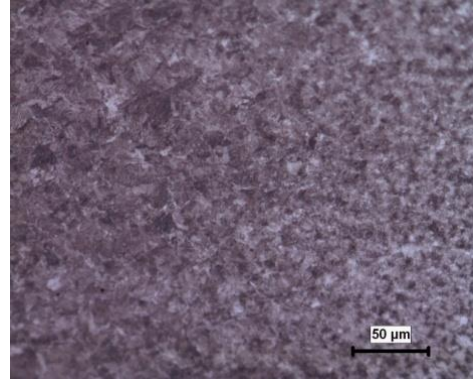
20 per – 8 kA – x100 büyütme
ITAB – Çekirdek



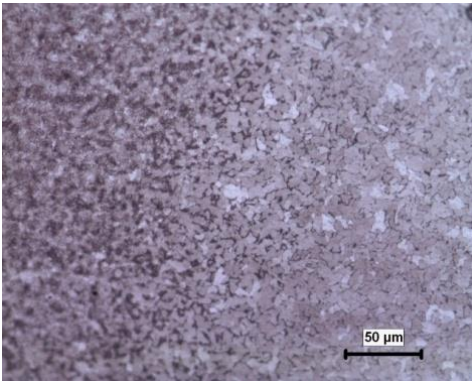
20 per – 8 kA – x100 büyütme
ITAB – Esas Metal



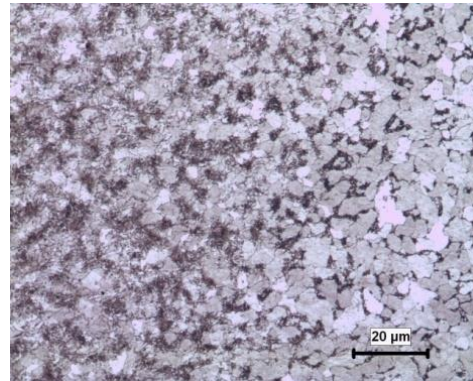
20 per – 8 kA – x200 büyütme
Çekirdek - ITAB

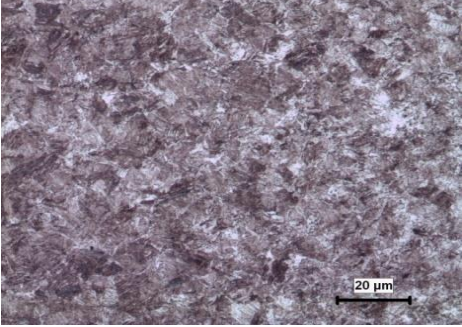
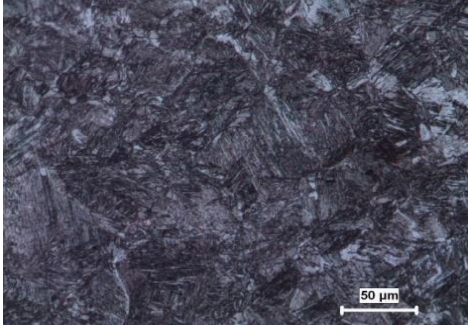
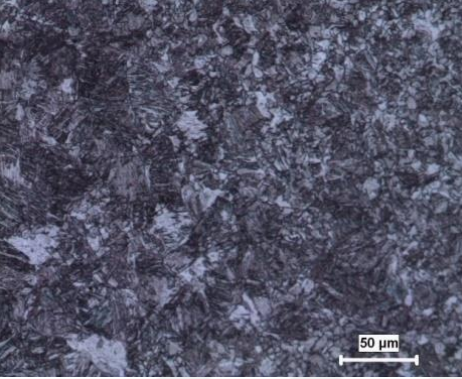
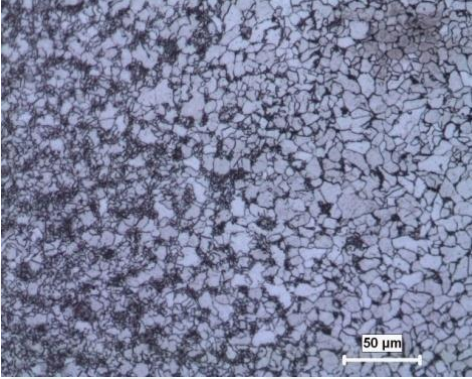
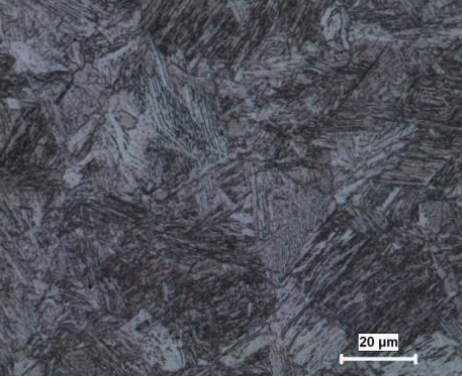
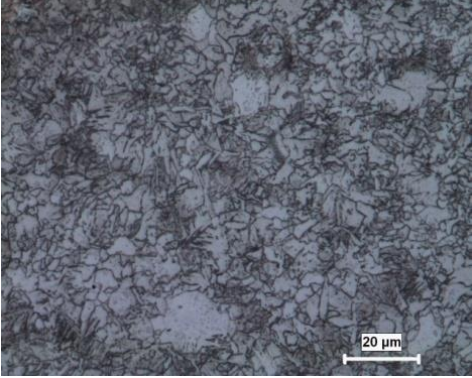
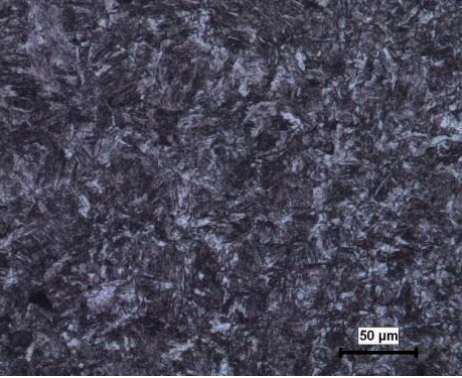
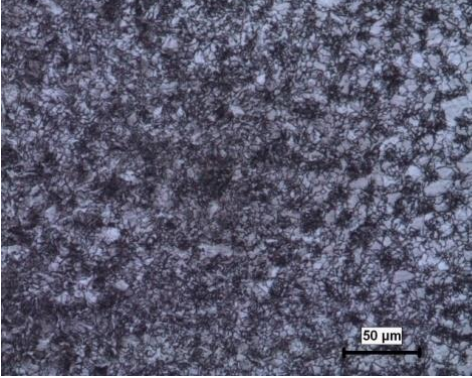


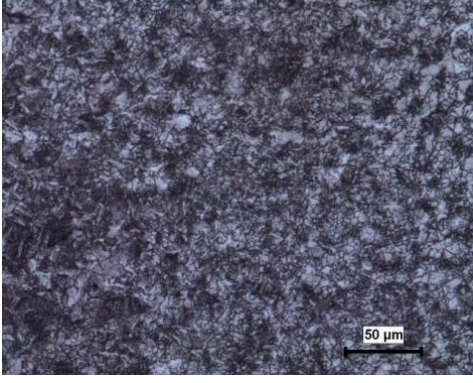
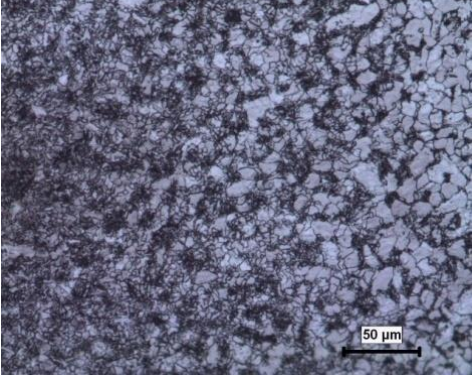
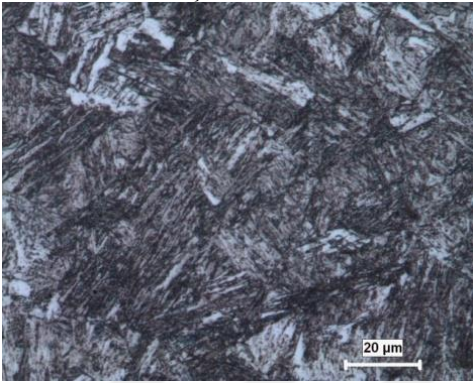
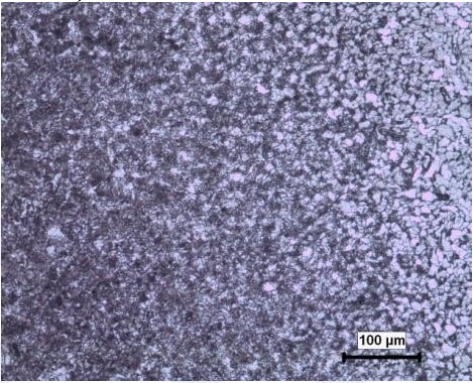
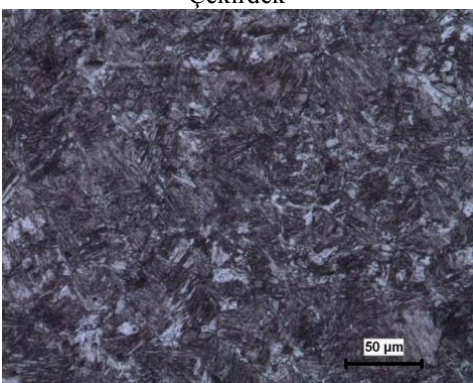
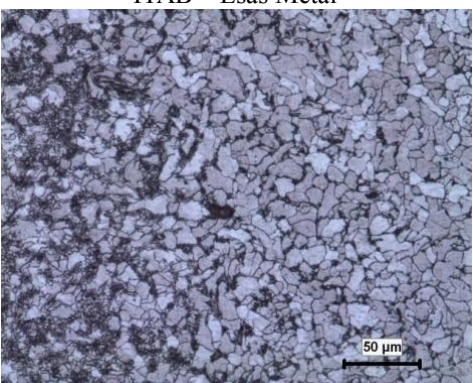
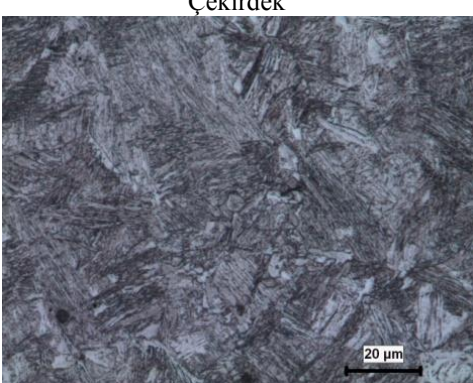
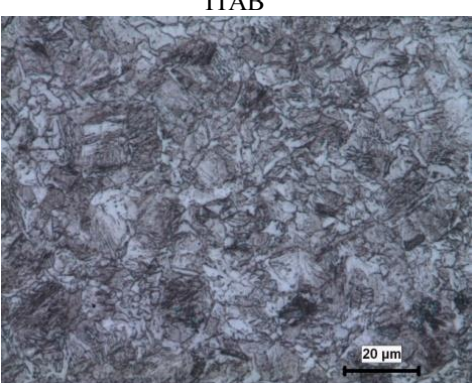
20 per – 8 kA – x200 büyütme
ITAB – Esas Metal

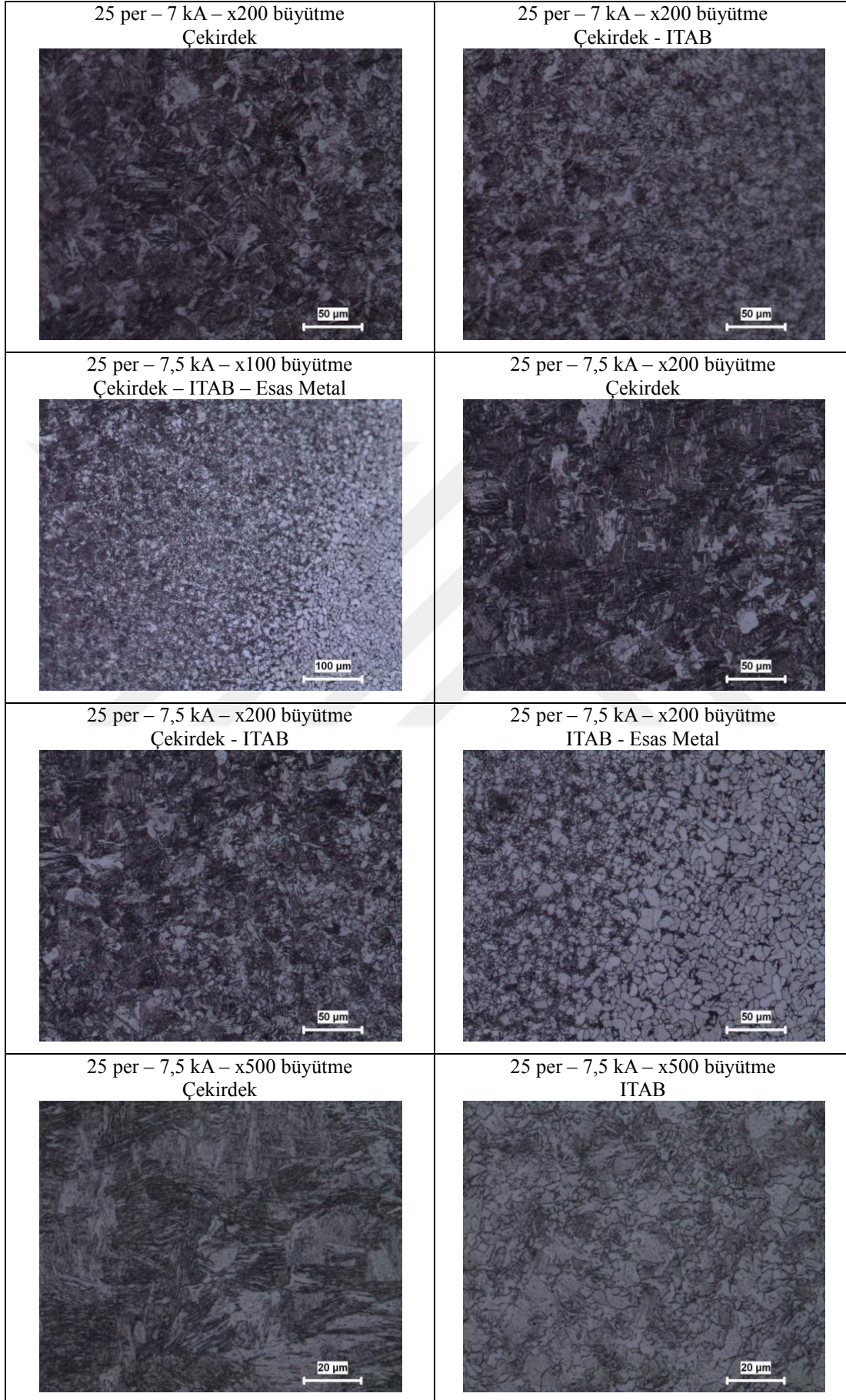


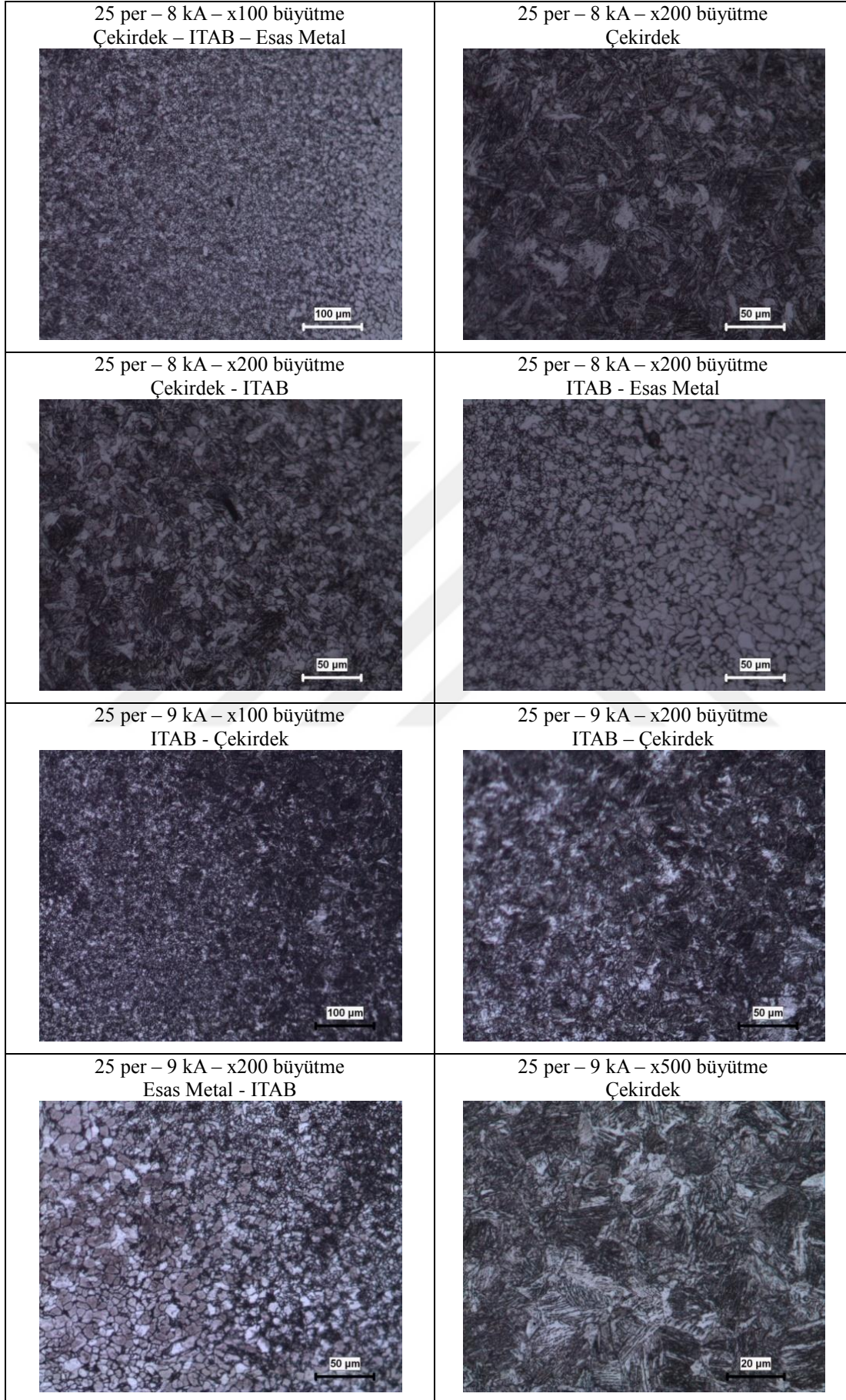
20 per – 8 kA – x500 büyütme
ITAB – Esas Metal

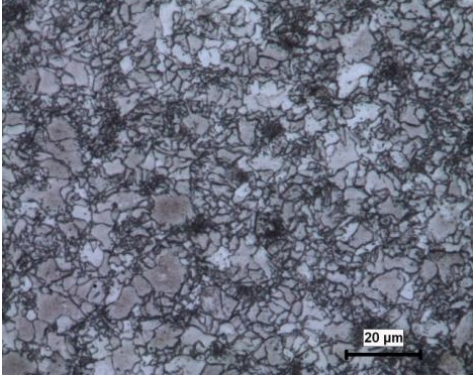
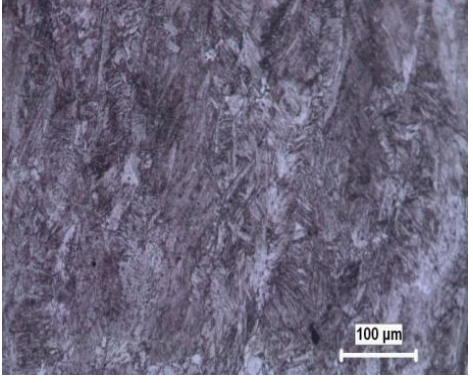
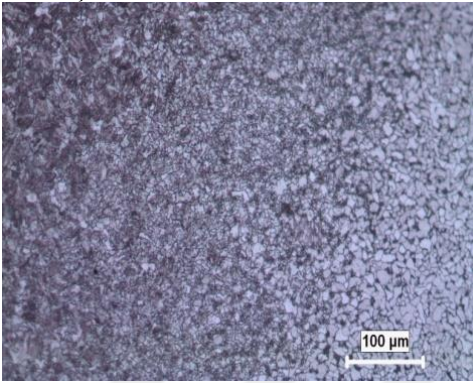
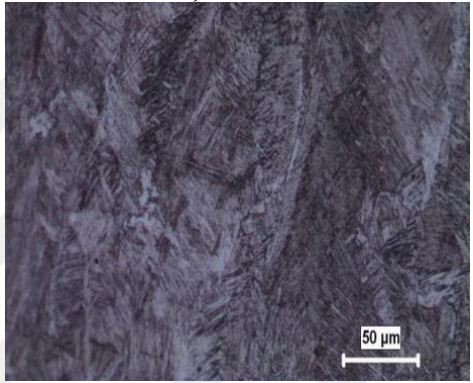
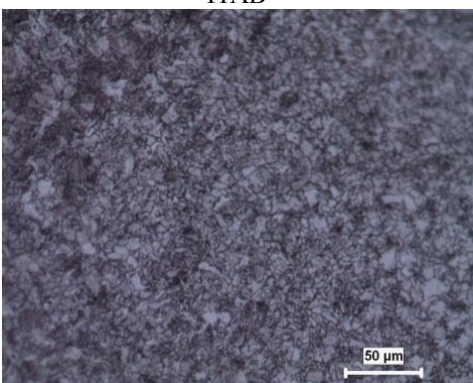
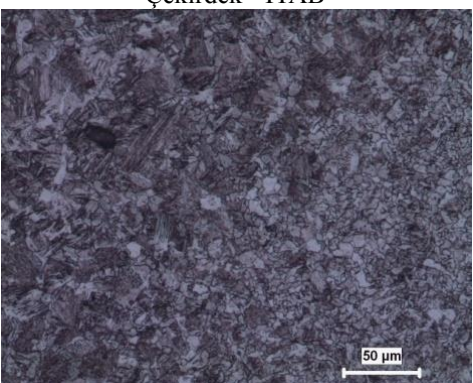
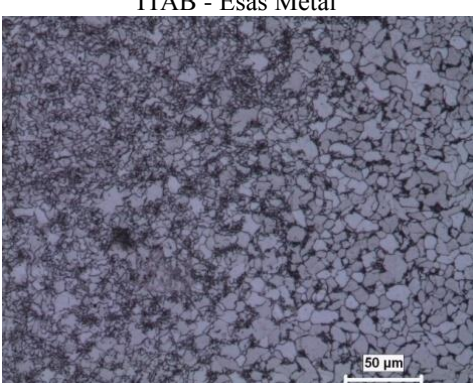
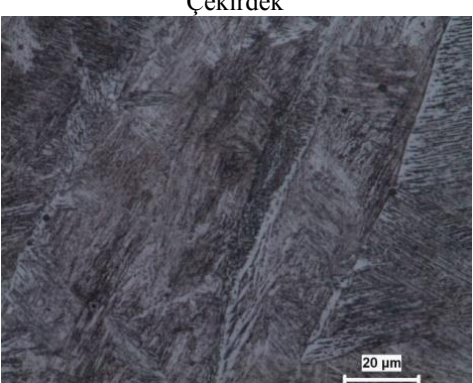


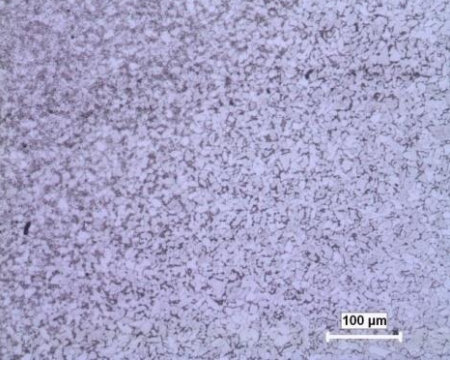
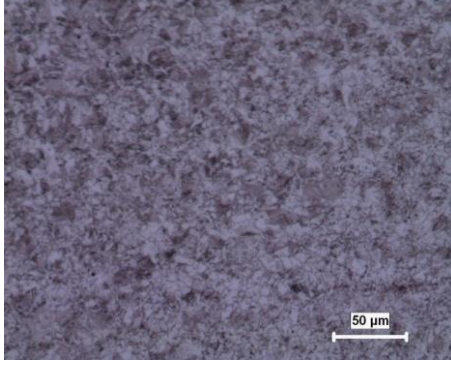
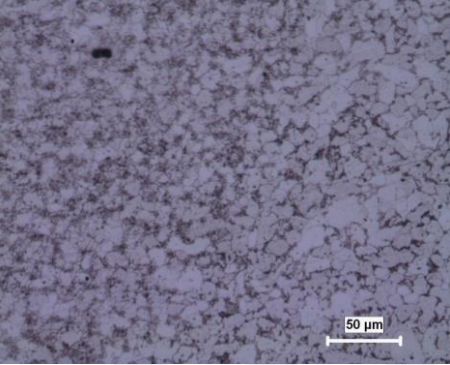
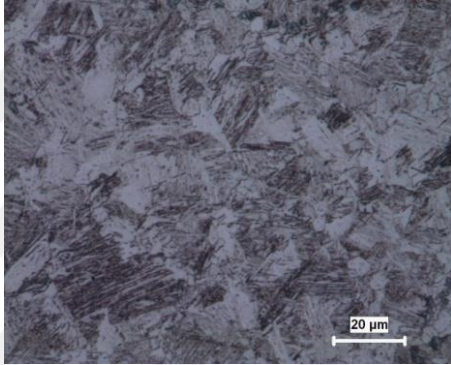
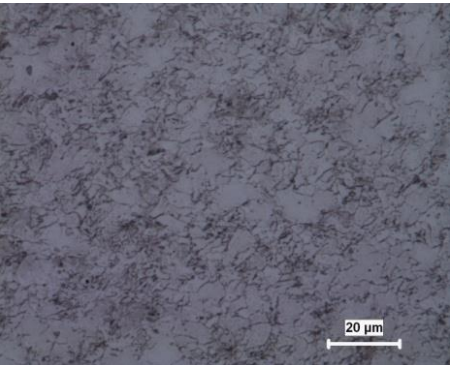
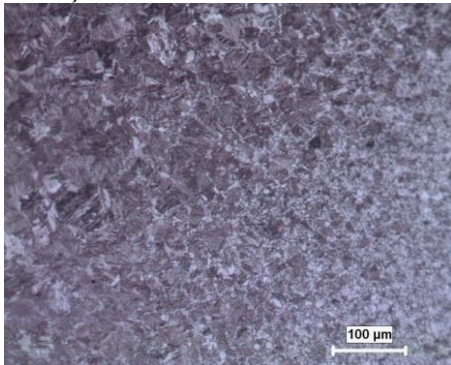
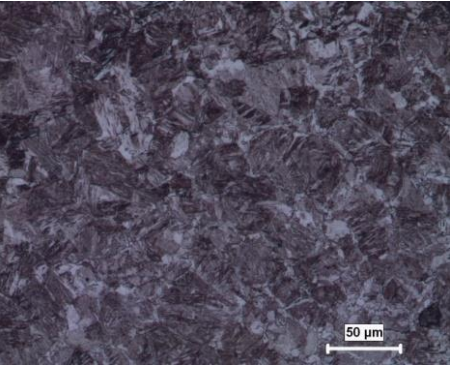
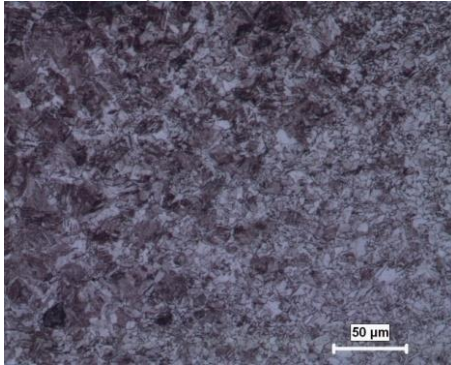
<p>20 per – 8 kA – x500 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 	<p>20 per – 8,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>20 per – 8,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 	<p>20 per – 8,5 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 
<p>20 per – 8,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 8,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 
<p>20 per – 9 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>20 per – 9 kA – x200 büyütme ITAB</p> 

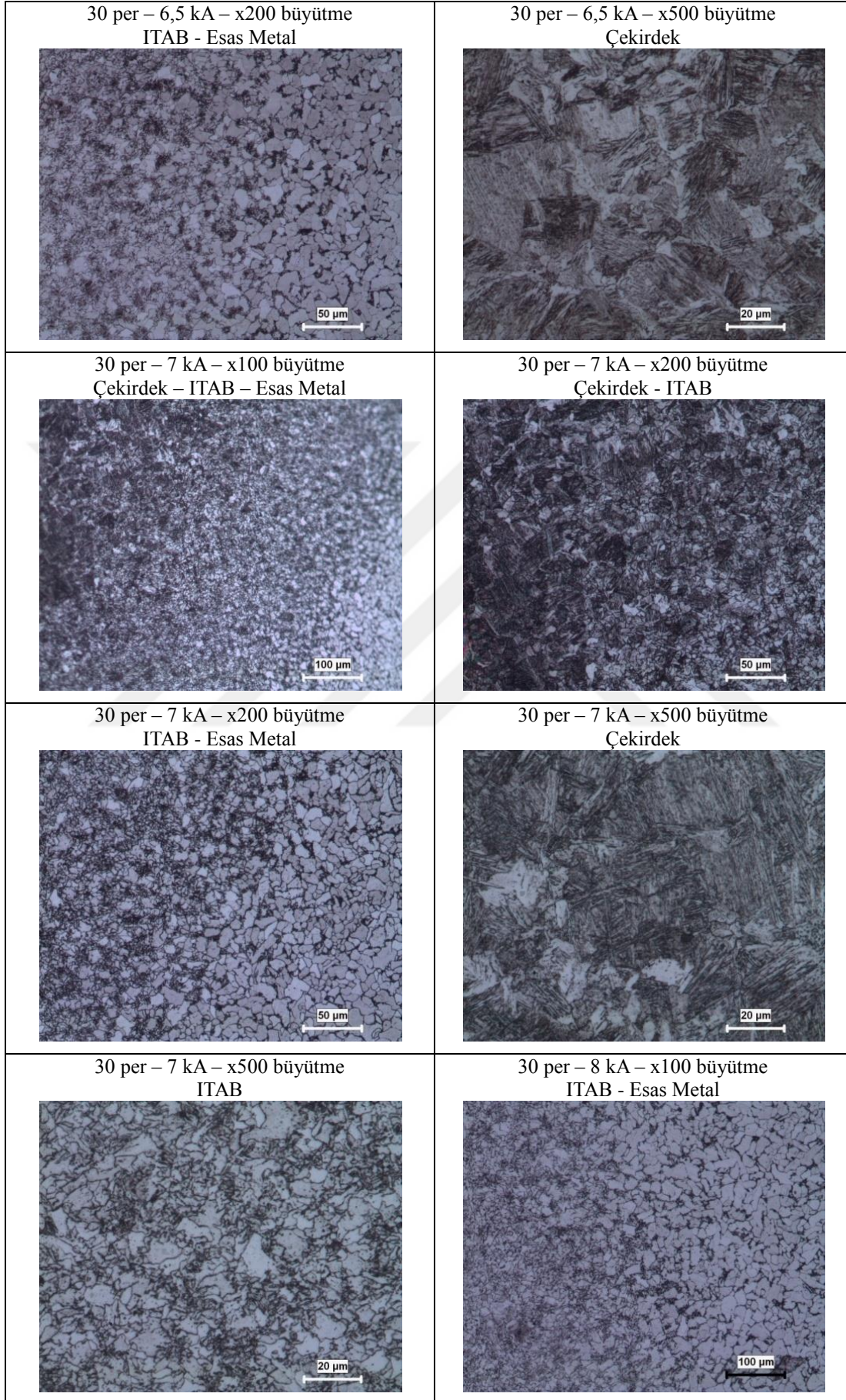
<p>20 per – 9 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 	<p>20 per – 9 kA – x200 büyütme ITAB - Esas Metal</p> 
<p>25 per – 6 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>25 per – 6,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 
<p>25 per – 6,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>25 per – 6,5 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 
<p>25 per – 6,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 	<p>25 per – 6,5 kA – x500 büyütme ITAB</p> 

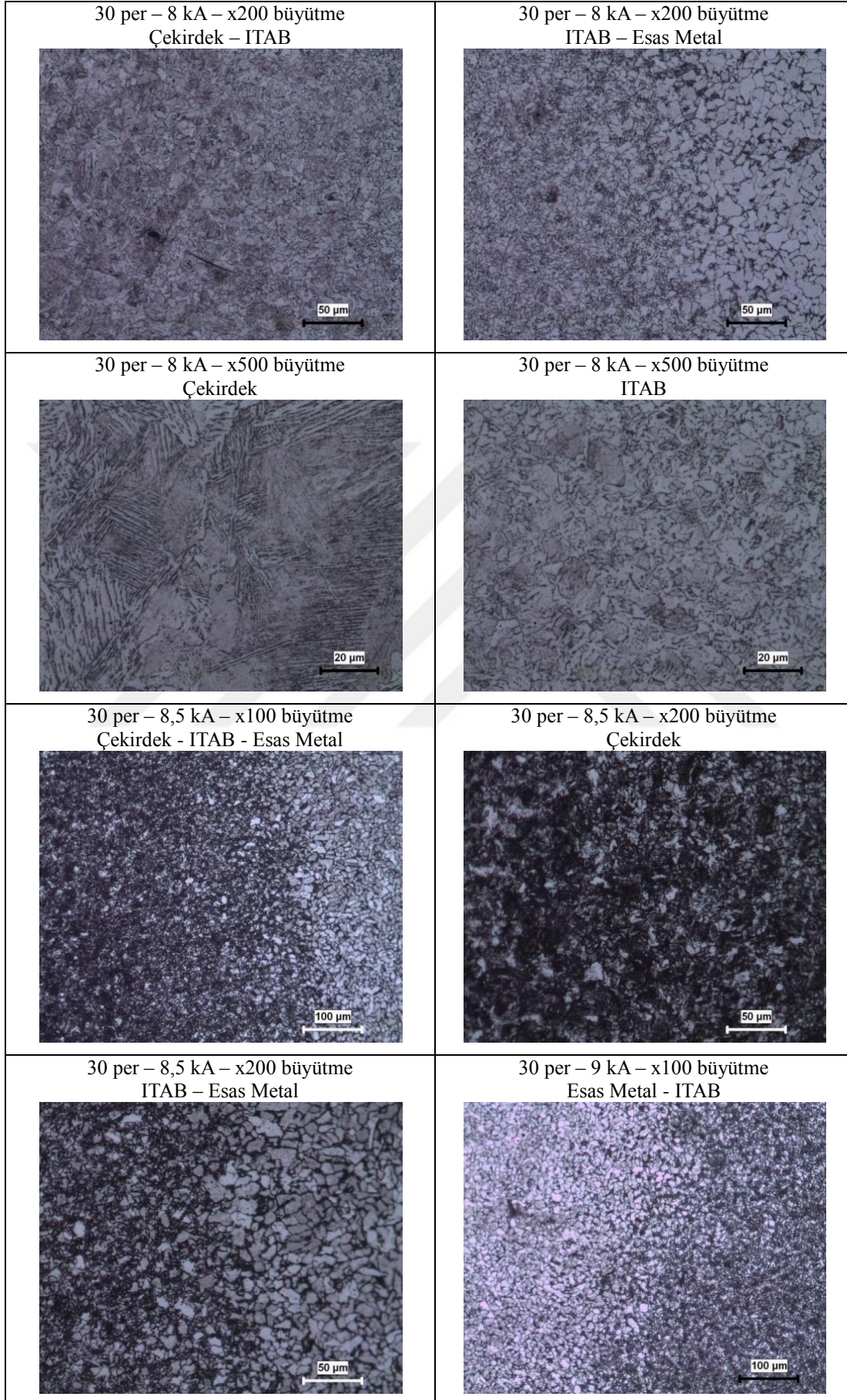




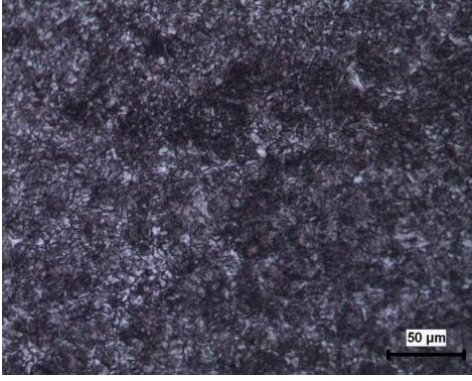
<p>25 per – 9 kA – x500 büyütme ITAB</p> 	<p>25 per – 9,5 kA – x100 büyütme Çekirdek</p> 
<p>25 per – 9,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 	<p>25 per – 9,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 
<p>25 per – 9,5 kA – x200 büyütme ITAB</p> 	<p>25 per – 9,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 
<p>25 per – 9,5 kA – x200 büyütme ITAB - Esas Metal</p> 	<p>25 per – 9,5 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 

<p>30 per – 6 kA – x100 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>30 per – 6 kA – x200 büyütme Çekirdek – ITAB</p> 
<p>30 per – 6 kA – x200 büyütme ITAB – Esas Metal</p> 	<p>30 per – 6 kA – x500 büyütme Çekirdek</p> 
<p>30 per – 6 kA – x500 büyütme ITAB</p> 	<p>30 per – 6,5 kA – x100 büyütme Çekirdek – ITAB – Esas Metal</p> 
<p>30 per – 6,5 kA – x200 büyütme Çekirdek</p> 	<p>30 per – 6,5 kA – x200 büyütme Çekirdek - ITAB</p> 

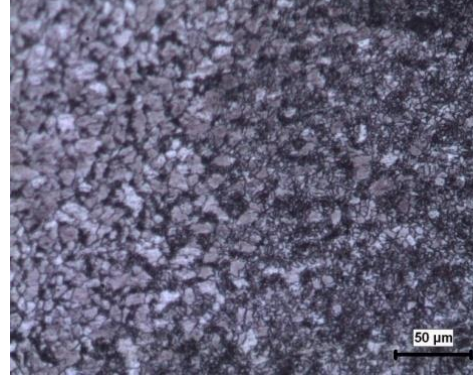




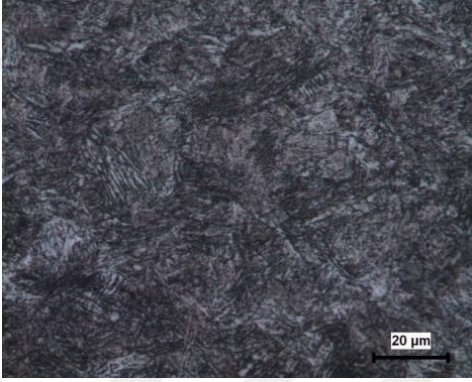
30 per – 9 kA – x200 büyütme
ITAB – Çekirdek



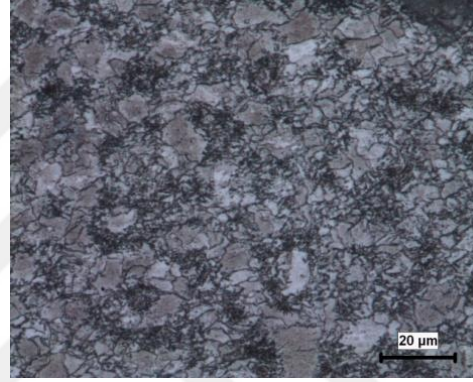
30 per – 9 kA – x200 büyütme
Esas Metal – ITAB



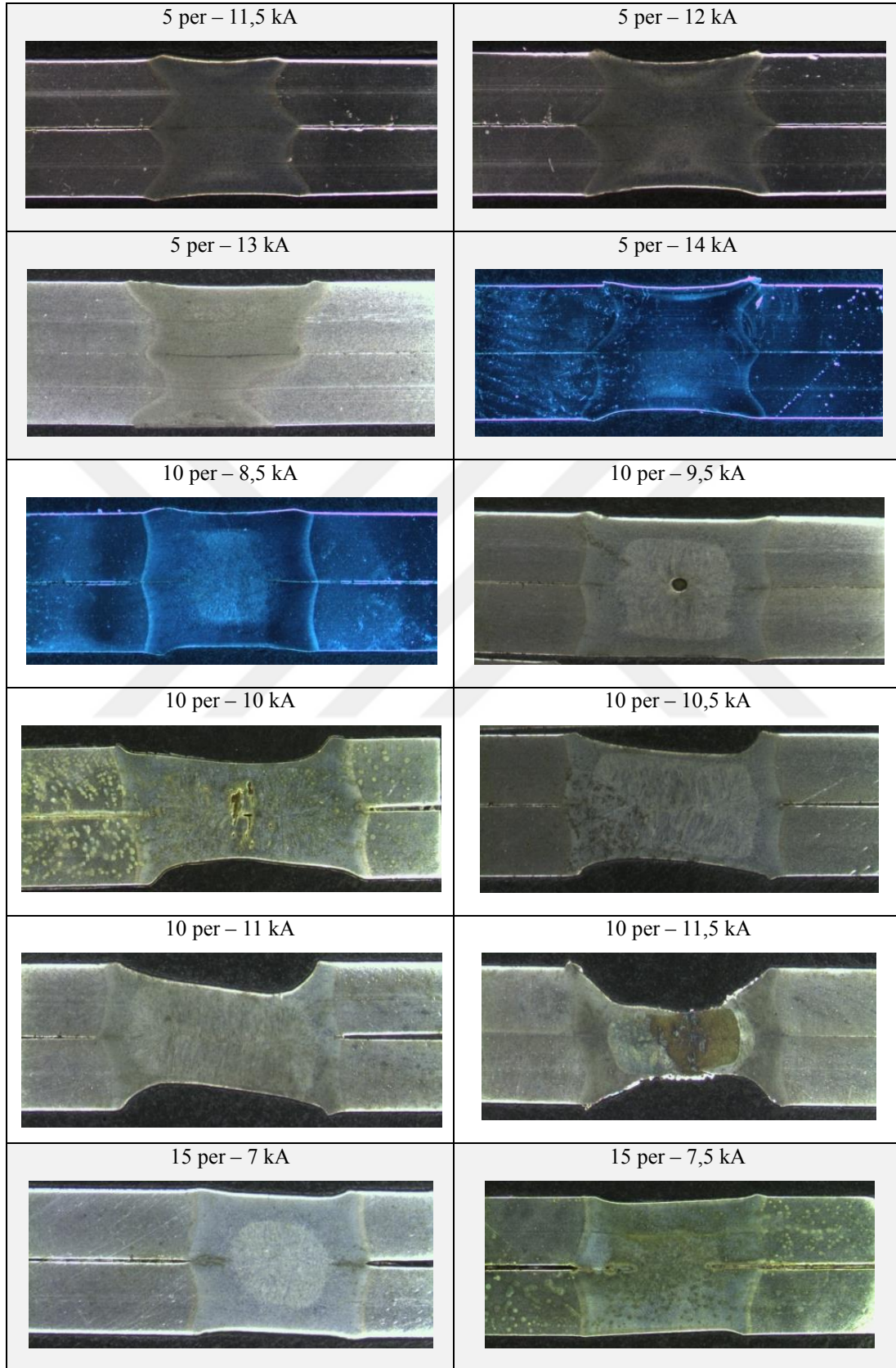
30 per – 9 kA – x500 büyütme
Çekirdek

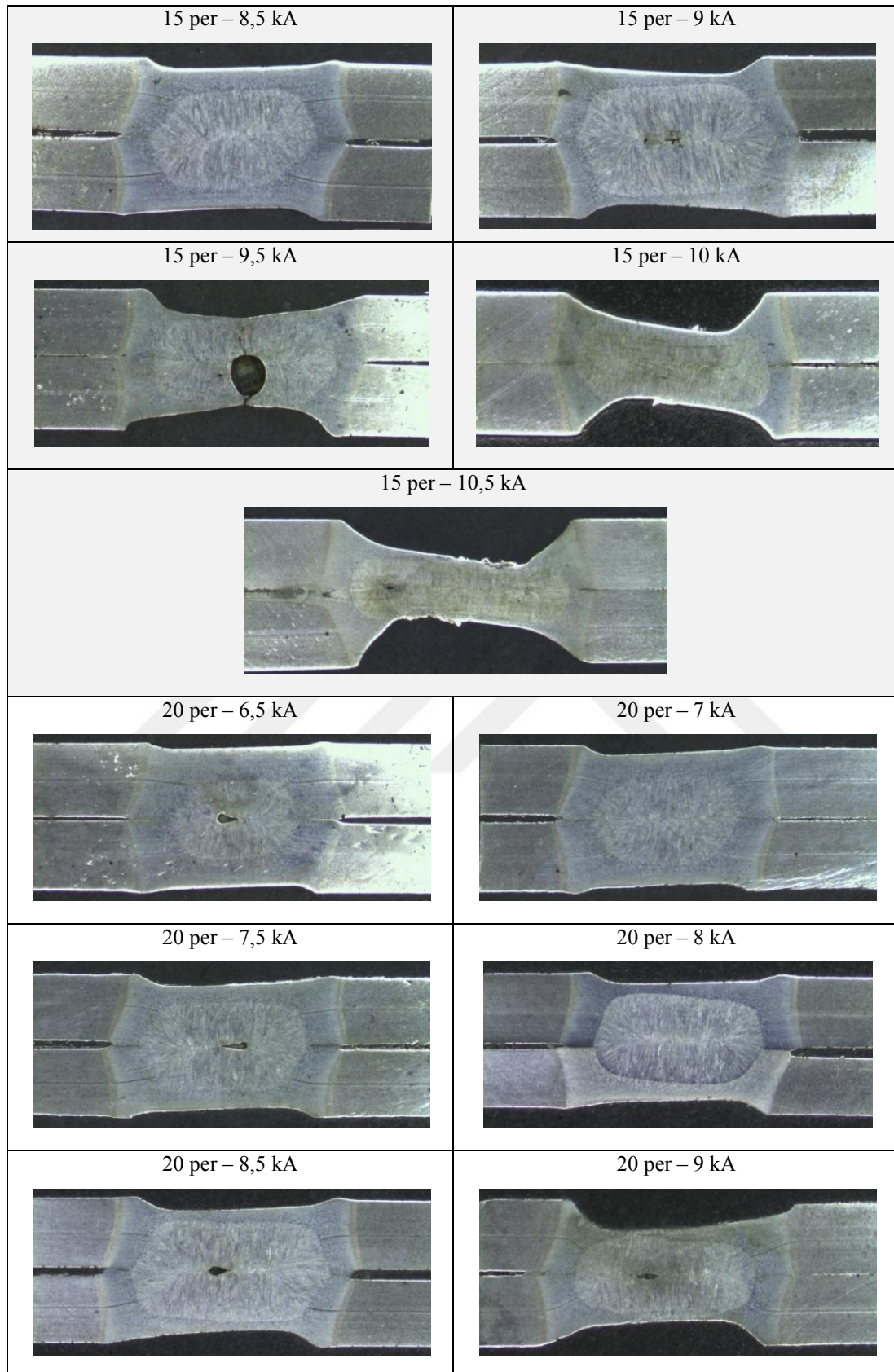


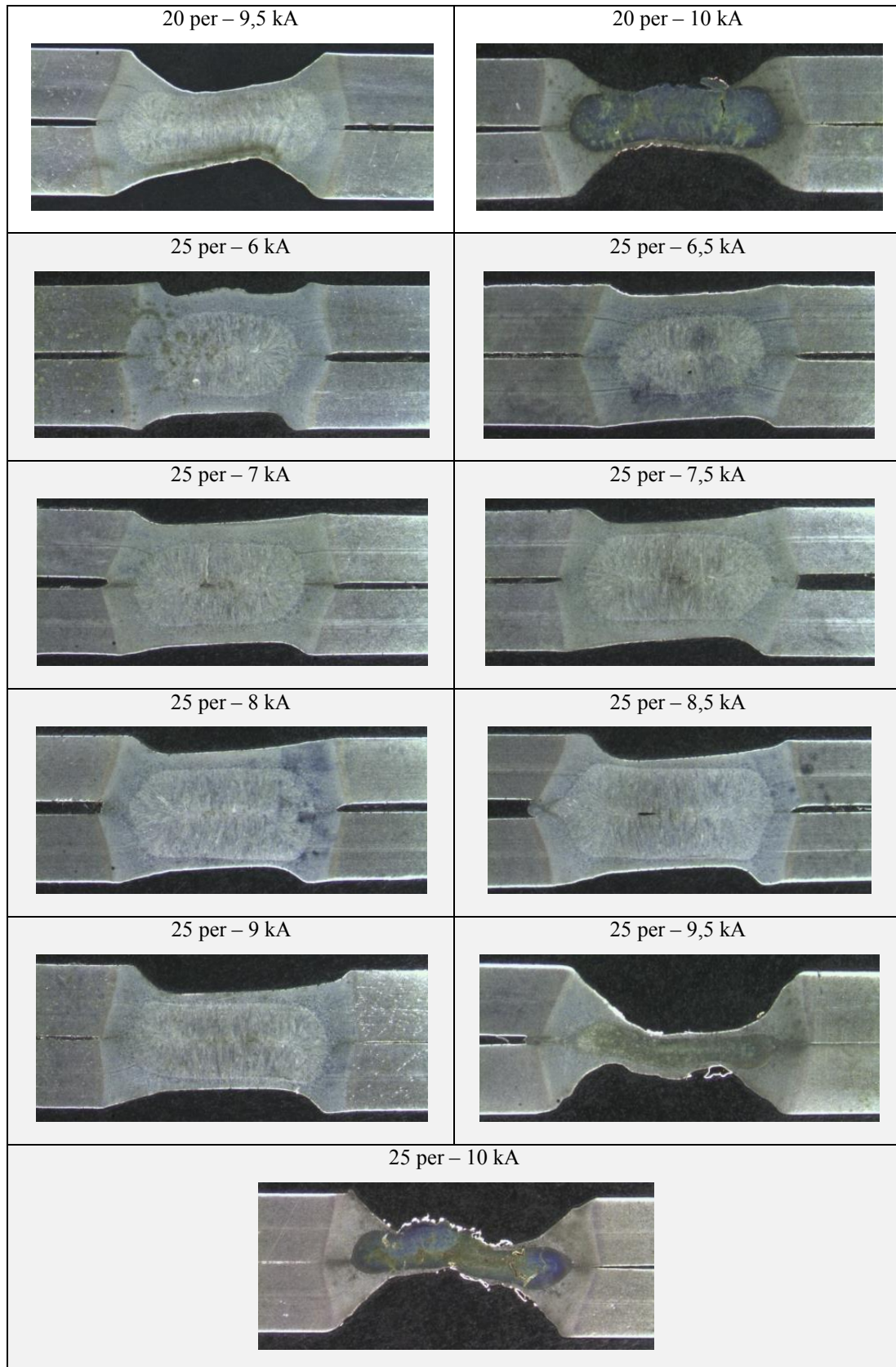
30 per – 9 kA – x500 büyütme
ITAB

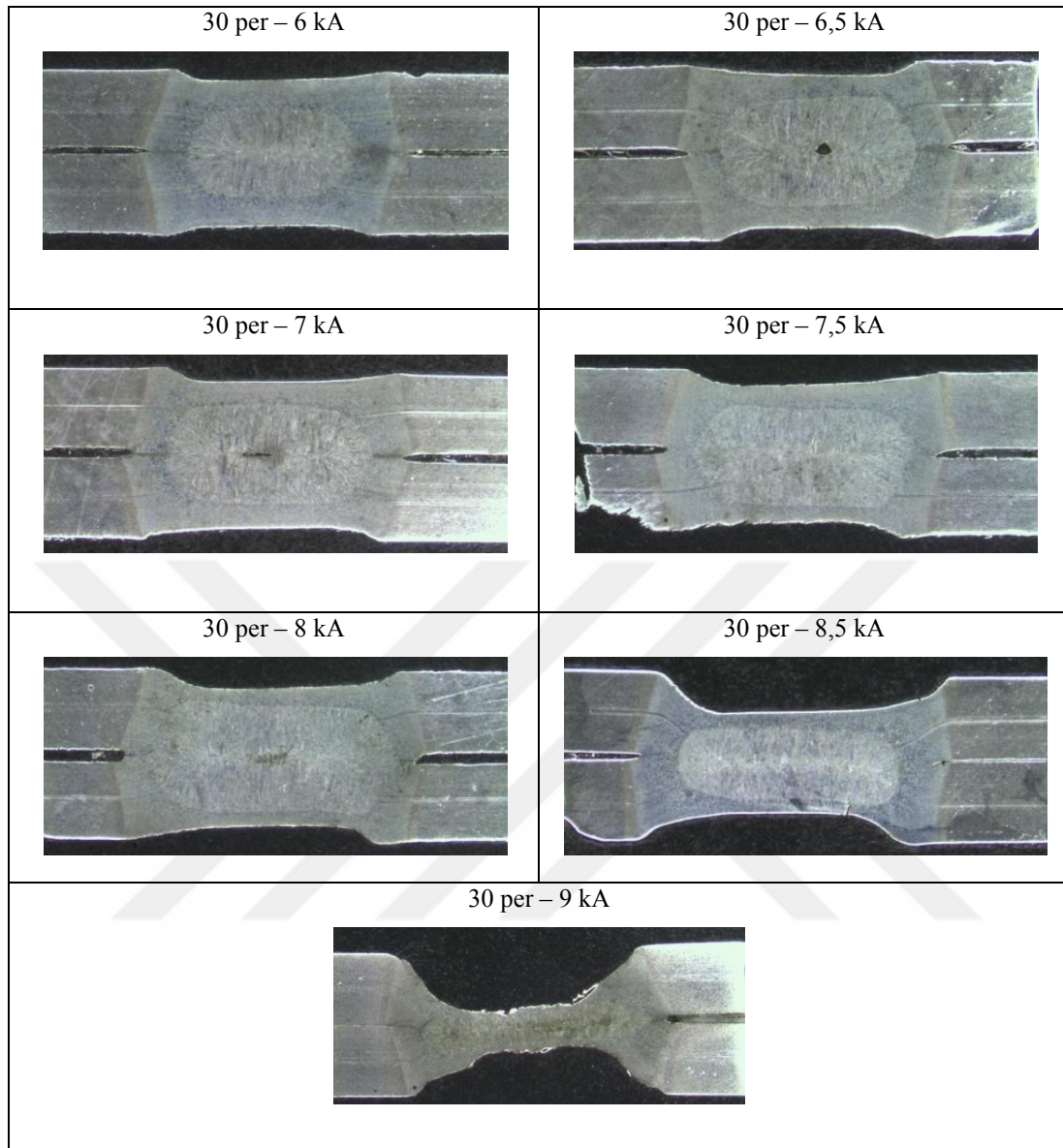


EK 3. SPA-C bağlantılara ait makroyapı görüntüleri

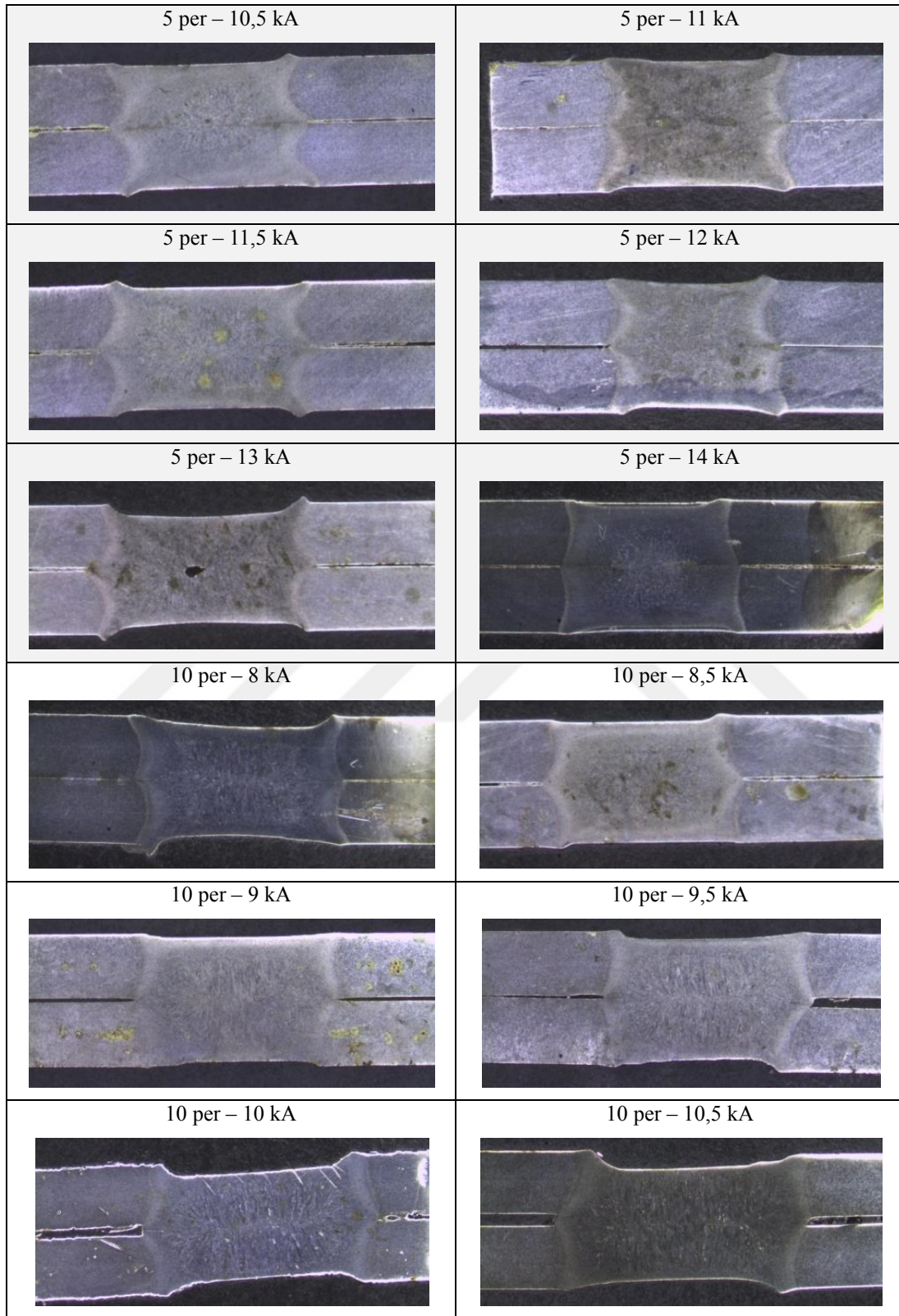


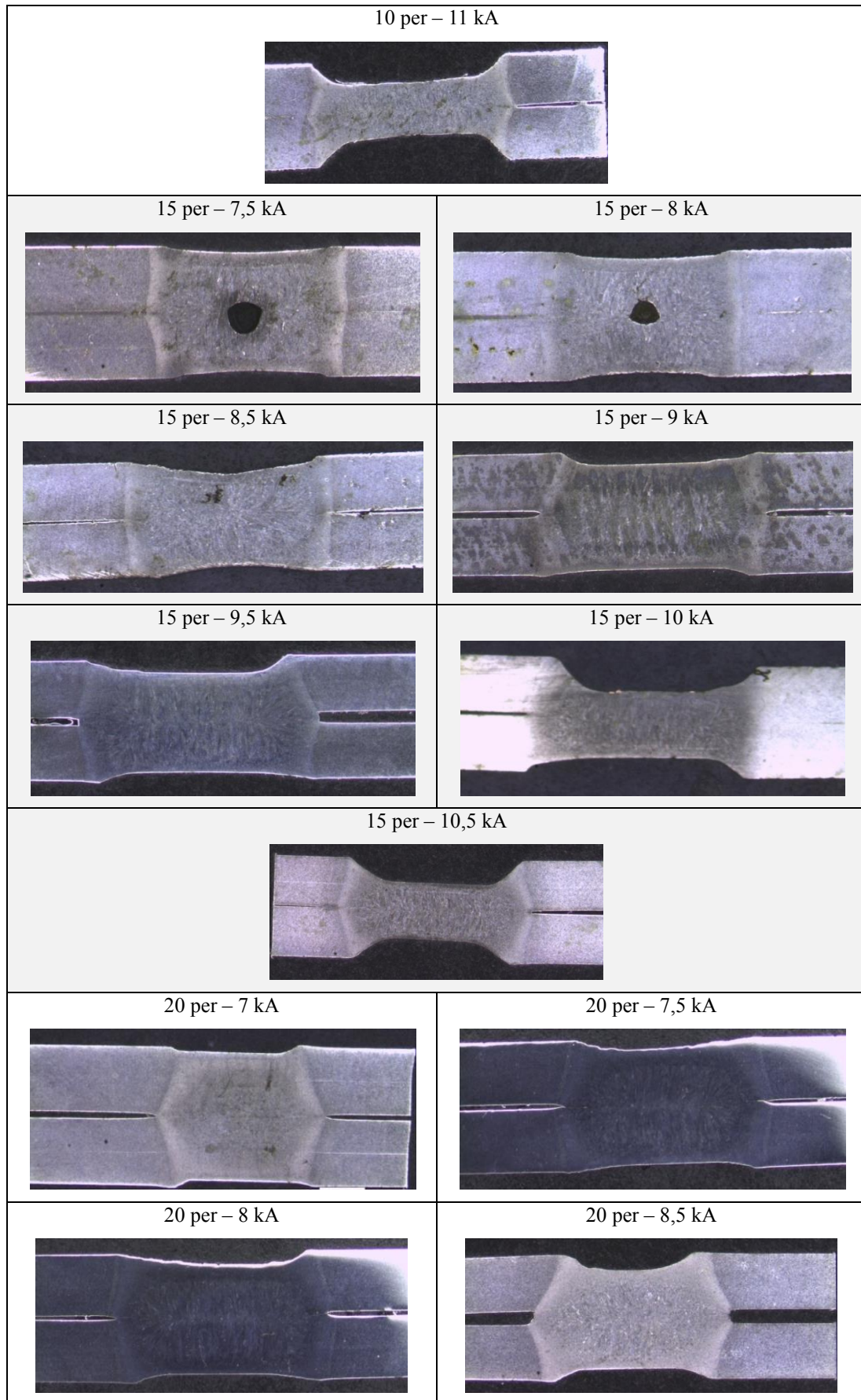


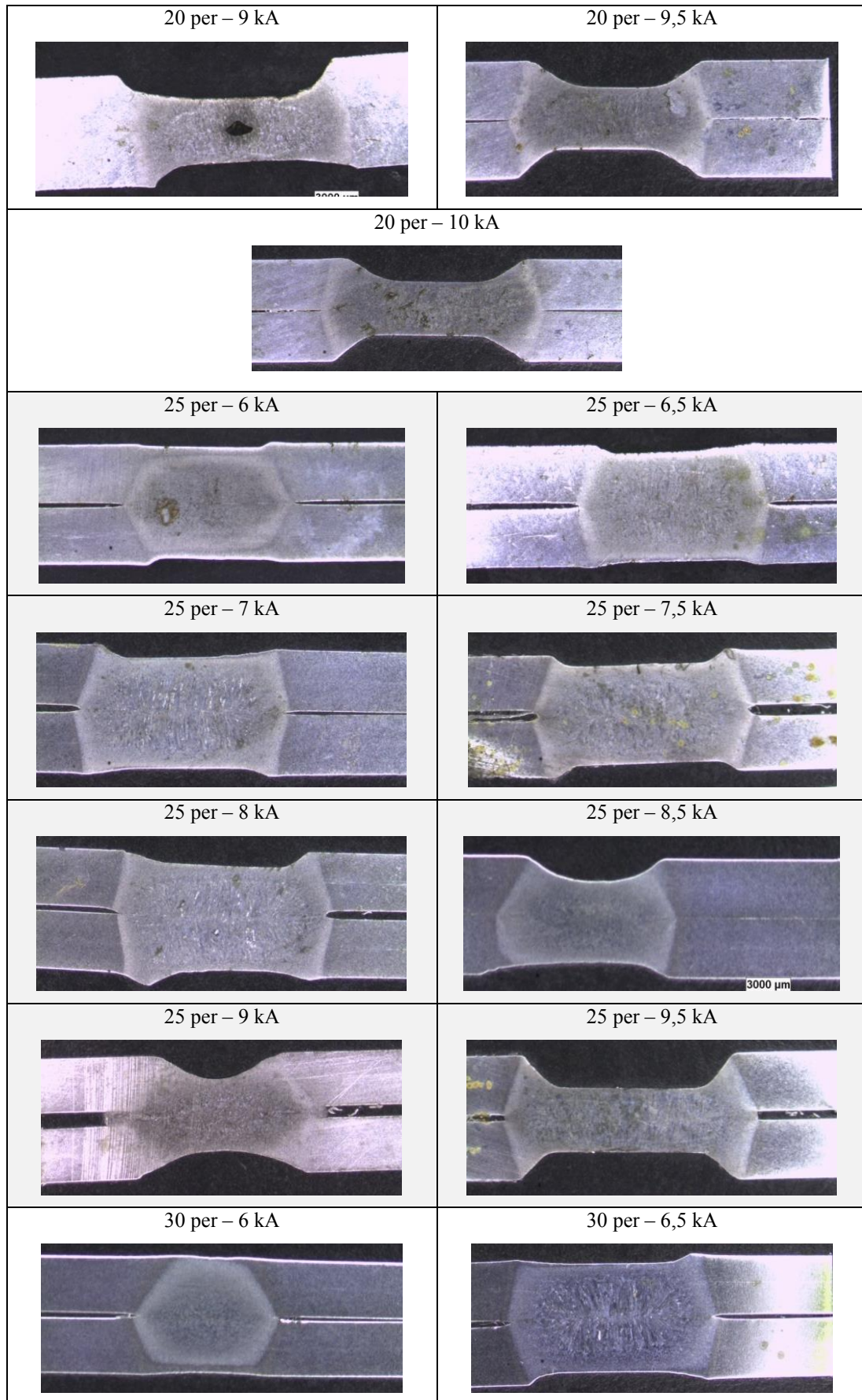


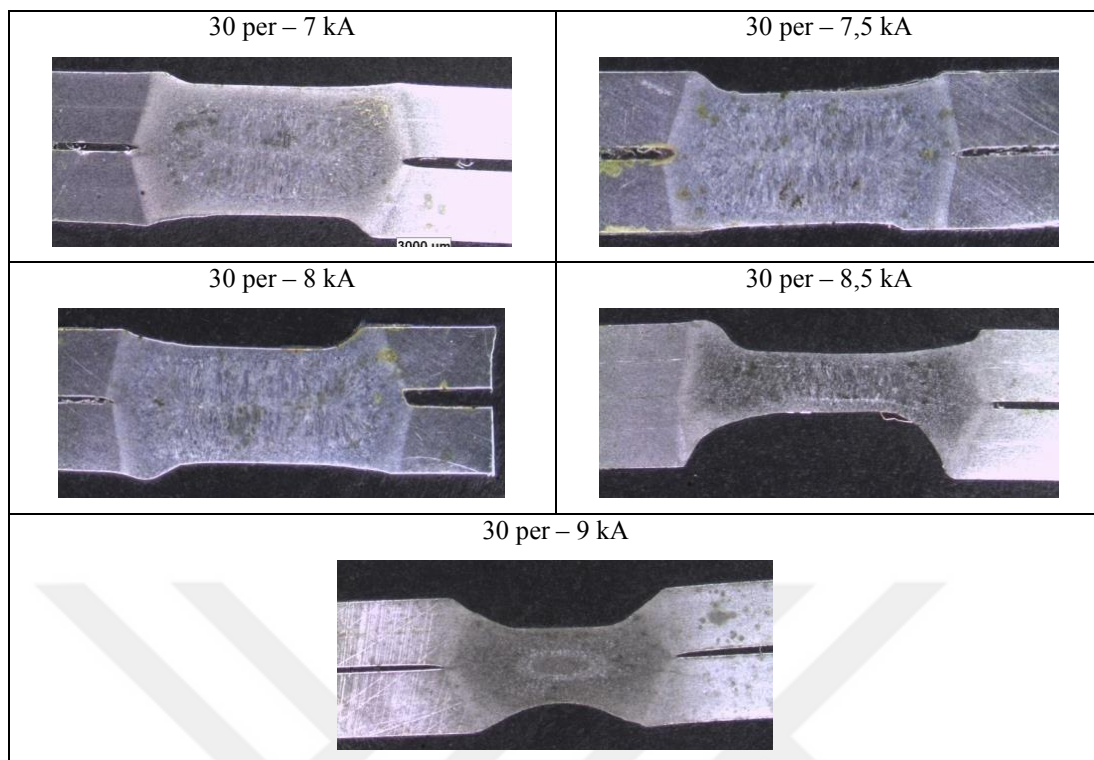


EK 4. S235JR(Cu) bağlantılara ait makroyapı görüntüleri









ÖZGEÇMİŞ

Nuri Akkaş, 06.03.1975 de Sakarya’ da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 1992 yılında Adapazarı Atatürk Lisesinden mezun oldu. 1993 yılında başladığı YTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği bölümünü 1998 yılında bitirdi. 2000-2003 yılları arasında Başak Traktör fabrikasında kalite kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesinde başladığı yüksek lisans eğitimini 2006 yılında bitirdi. 2003-2006 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Yapı İşleri ve Kontrol Dairesinde kontrol mühendisi olarak çalıştı. Aynı zamanda 2004-2007 yılları arasında Türk Standartları Enstitüsünde araç proje kontrol mühendisi olarak görev yaptı. Şu anda Sakarya Büyükşehir Belediyesi SASKİ Genel Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.