

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

**TRIP ÇELİKLER İLE MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Volkan ONAR

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Ağustos 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRIP ÇELİKLER İLE MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Volkan ONAR

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16/08/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Behçet GÜLENG
Üye


Doç. Dr.
Ahmet DURGUTLU
Üye


Doç. Dr.
Uğur ÖZSARAÇ
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Erdinç İLHAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde kendi tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Volkan ONAR

16.08.2017

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, çalışmam boyunca beni teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren, düştüğümde elimde tutup kaldıran, tökezlediğimde düşmemem için kol kanat geren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları için Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' ne ve Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü' ne, Sarıgözoğlu A.Ş. ve Çelikform Gestamp Otomotiv A.Ş.' ne, Mutlusan Kalıp A.Ş. Proje Müdürü Ercan MIZRAK ve öğrencim İmalat Mühendisi Eray YILDIZ' a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini esirgemeyen değerli büyüklerim Doç. Dr. Ferhat AĞIRMAN, Doç. Dr. Mehmet Ali SARI, Doç. Dr. Ali Kağan GÖKAKIN ve Yrd. Doç. Dr. Yusuf ÖZCAN' a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam öncesinde ve sırasında, zor şartlarda yanımda olan, bocaladığım her evrede beni sevgisiyle motive eden, stresimi çeken, hayat arkadaşım, sevdiğim biricik eşim Öğr. Gör. Neşe ARDA ONAR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-02-018) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV SEKTÖRÜ VE ÇELİK.....	3
2.1. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Çelik Çeşitleri	4
2.1.1. Mikro alaşımlı çelikler (HSLA).....	5
2.1.2. Çift fazlı çelikler (DP).....	5
2.1.3. Kompleks çelikler (CP).....	5
2.1.4. TRIP çelikler (Dönüşümle plastikliği arttırılmış çelikler).....	6
2.1.5. Martenzitik çelikler (MART).....	6
2.1.6. Yüksek manganlı çelikler (TWIP)	7
2.1.7. IF çelikleri (Interstitial-Free)	7
2.1.8. BH çelikleri.....	8
BÖLÜM 3.	
MİKROALAŞIMLI ÇELİKLER	9

BÖLÜM 4.	
TRIP ÇELİKLERİ	12
BÖLÜM 5.	
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	16
5.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Direnç Faktörü ve Isı Oluşumu..	19
5.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri	21
5.2.1. Elektrot cinsi ve malzemesi.....	21
5.2.2. Elektrot basma kuvveti.....	22
5.2.3. Kaynak akımı.....	23
5.2.4. Kaynak süresi.....	24
5.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Kalitesi	24
5.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	26
BÖLÜM 6.	
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	28
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
7.1. Genel.....	37
7.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Malzemeler.....	37
7.3. Kullanılan Malzemelerin Boyutları ve Deneye Hazırlanmaları.....	38
7.4. Birleştirmelerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Cihazı	40
7.5. Seçilen Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları	41
7.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi.....	42
7.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması	42
7.8. Çekme-Makaslama, Çapraz Çekme ve Çekme – Sıyırma Deneyleri.....	45
7.9. Çekirdek Boyutunun Ölçülmesi ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi	47

7.10. Optik Mikroskop ile Yapılan Çalışmalar.....	48
7.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Yapılan Çalışmalar	48
7.12. Sertlik Değerlerinin Ölçülmesi.....	49

BÖLÜM 8.

DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ	50
8.1. Genel.....	50
8.2. TRIP 800 ve Mikroalaşımli Çelik Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Makaslama, Çekme-Sıyırma ve Çapraz Çekme Dayanımına Etkisi.....	50
8.2.1. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800-Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	51
8.2.2. Kaynak süresinin TRIP 800-Mikroalaşımli bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi	53
8.2.3. Kaynak süresinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çekme – sıyırma dayanımına etkisi	58
8.2.4. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çekme – sıyırma dayanımına etkisi	59
8.2.5. Kaynak süresinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çapraz çekme dayanımına etkisi.....	61
8.2.6. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çapraz çekme dayanımına etkisi	62
8.3. TRIP 800–Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdeği Boyutlarına Etkisi	63
8.3.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çapına etkisi.....	63
8.3.2. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğine etkisi.....	64

8.3.3. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynakli birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdek boyut oranına etkisi	68
8.4. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliğine Etkisi	73
8.4.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynakli bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi	73
TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerinin elektrot dalma derinliğine etkisi üç farklı şekilde ele alınmıştır.	73
8.5. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi	77
8.5.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynakli bağlantılarında elektrot dalma genişliğine etkisi	77
8.6. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme – Sıyırma, Çekme – Makaslama ve Çapraz Çekme Dayanımına etkisi	78
8.6.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek çapının çekme – makaslama dayanımına etkisi	78
8.6.2. TRIP 800-mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi	81
8.6.3. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çekme – makaslama dayanımına etkisi	83

8.6.4. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek çapının çekme – sıyırma dayanımına etkisi.....	85
8.6.5. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme – sıyırma dayanımına etkisi.....	87
8.6.6. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çekme – sıyırma dayanımına etkisi.....	88
8.6.7. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapının çapraz çekme dayanımına etkisi	90
8.6.8. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinin çapraz çekme dayanımına etkisi.....	92
8.6.9. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çapraz çekme dayanımına etkisi.....	94
8.7. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Elektrot Dalma Derinliğinin Çekme – Makaslama, Çekme – Sıyırma ve Çapraz Çekme Dayanımına Etkisi	96
8.7.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme – makaslama dayanımına etkisi.....	96
8.7.2. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme – sıyırma dayanımına etkisi.....	97

8.7.3. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çapraz çekme dayanımına etkisi.....	100
8.8. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmelerin Sertlik Değerine Etkisi.....	101
8.8.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerinin sertlik değerine etkisi....	102
8.8.2. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetlerinin sertlik değerine etkisi.....	105
8.9. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi.....	108
8.10. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Kaynaklı Birleştirmelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri.....	110
8.11. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Kaynağında Kaynaklı Birleştirmelerin Makroyapı Görüntüleri	115
BÖLÜM 9.	
KAYNAK GRAFİĞİ (WELD LOBE).....	118
BÖLÜM 10.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	119
10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	119
10.2. Öneriler	122
KAYNAKLAR	123
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	161

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: The American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
d1	: Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
d2	: Kaynak Çekirdek Yüksekliği (mm)
dind	: Elektrot Dalma Derinliği (mm)s
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
TRIP	: Plastik dönüşümle mukavemeti arttırılmış sac
SEM	: Scanning Electron Microscopy
t	: Kaynak Süresi (s)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Yüksek mukavemetli çeliklerin sınıflandırılması [40].	9
Şekil 4.1. TRIP çeliğinin şematik olarak üretim aşaması [49].	13
Şekil 4.2. TRIP çeliğinin tipik mikroyapısı [49].	14
Şekil 4.3. TRIP çeliğinin şematik olarak dönüşümü [51].	15
Şekil 5.1. Nokta kaynağının şematik gösterimi [59].	17
Şekil 5.2. EDNK işleminin şematik gösterimi [60].	17
Şekil 5.3. EDNK prosesi [61].	18
Şekil 5.4. EDNK kaynak çevrimi [62].	19
Şekil 5.5. Elektrik direnç nokta kaynağındaki dirençler [67].	20
Şekil 5.6. Elektrik direnç nokta kaynağında ısı dağılımı [62].	23
Şekil 7.1. Çekme – Makaslama deney numuneleri	38
Şekil 7.2. Çekme – Sıyırma Deney numuneleri	39
Şekil 7.3. Çapraz Çekme Deney numuneleri	39
Şekil 7.4. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi	40
Şekil 7.5. Akım ölçme cihazı	41
Şekil 7.6. Elektrotların şematik gösterimi	42
Şekil 7.7. Parametrelerin belirlenmesi için elde edilen numune resimleri	42
Şekil 7.8. Elektrik direnç nokta kaynak parametreleri	43
Şekil 7.9. Çekme – Makaslama deney numuneleri	44
Şekil 7.10. Çekme – Sıyırma deney numuneleri	44
Şekil 7.11. Çapraz çekme deney numuneleri	44
Şekil 7.12. Çapraz çekme deneyi	45
Şekil 7.13. Deneylerde kullanılan 5 tonluk çekme – basma cihazı	47
Şekil 7.14. Çekirdek boyutu ölçümünde kullanılan optik mikroskop	47
Şekil 7.15. Nikon marka optik mikroskop	48
Şekil 7.16. Analiz için kullanılan taramalı elektron mikroskobu	49
Şekil 7.17. Mikro sertlik ölçüm cihazı	49

Şekil 8.1.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Çekme-Makaslama dayanımına etkisi	52
Şekil 8.2.	TRIP 800-Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin Çekme-Makaslama dayanımına etkisi	58
Şekil 8.3.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin çekme – sıyırma dayanımına etkisi	59
Şekil 8.4.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Çekme – Sıyırma dayanımına etkisi	60
Şekil 8.5.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin çapraz çekme dayanımına etkisi	61
Şekil 8.6.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çapraz çekme dayanımına etkisi	62
Şekil 8.7.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek çapına etkisi	63
Şekil 8.8.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin kaynak çekirdek çapına etkisi	64
Şekil 8.9.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi	65
Şekil 8.10.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi	65
Şekil 8.11.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi	66
Şekil 8.12.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi	67
Şekil 8.13.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin kaynak çekirdek boyuna etkisi	67
Şekil 8.14.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyuna etkisi	68
Şekil 8.15.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi	69
Şekil 8.16.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi	69
Şekil 8.17.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi	70
Şekil 8.18.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi	71
Şekil 8.19.	TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresini kaynak çekirdek boyut oranına etkisi	72

Şekil 8.20. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyut oranına etkisi	72
Şekil 8.21. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi	74
Şekil 8.22. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi	74
Şekil 8.23. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi.....	75
Şekil 8.24. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi.....	75
Şekil 8.25. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin toplam elektrot dalma derinliğine etkisi	76
Şekil 8.26. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin toplam elektrot dalma derinliğine etkisi	76
Şekil 8.27. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP'deki elektrot dalma genişliğine etkisi.....	77
Şekil 8.28. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP'deki elektrot dalma genişliğine etkisi.....	78
Şekil 8.29. Kaynak süresine bağlı olarak çekirdek çapı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki.....	79
Şekil 8.30. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak çekirdek çapı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki.....	80
Şekil 8.31. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çekme- makaslama kuvveti arasındaki ilişki.....	81
Şekil 8.32. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki	82
Şekil 8.33. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki	83
Şekil 8.34. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki	84
Şekil 8.35. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek çapı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	85
Şekil 8.36. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek çapı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	86
Şekil 8.37. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği yüksekliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	87
Şekil 8.38. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği yüksekliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki	88
Şekil 8.39. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	89

Şekil 8.40. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki	90
Şekil 8.41. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapını ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	91
Şekil 8.42. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapını ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	92
Şekil 8.43. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	93
Şekil 8.44. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki.....	93
Şekil 8.45. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	94
Şekil 8.46. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki.....	95
Şekil 8.47. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki.....	96
Şekil 8.48. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki	97
Şekil 8.49. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	98
Şekil 8.50. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki.....	99
Şekil 8.51. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	100
Şekil 8.52. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki	101
Şekil 8.53. Kaynaklı birleştirmelerin sertlik ölçüm doğrultuları	102
Şekil 8.54. 10 periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	103
Şekil 8.55. 15 periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	103
Şekil 8.56. 20 periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	104
Şekil 8.57. 25 periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	104

Şekil 8.58. 30 periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	104
Şekil 8.59. 10000 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	105
Şekil 8.60. 10500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	105
Şekil 8.61. 11500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	106
Şekil 8.62. 12500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	106
Şekil 8.63. 13500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	106
Şekil 8.64. 14500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	107
Şekil 8.65. 15000 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	107
Şekil 8.66. 15500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	107
Şekil 8.67. 16000 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi.....	108
Şekil 8.68. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin SEM görüntüsü.....	110
Şekil 8.69. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin ITAB bölgesine ait SEM görüntüsü	110
Şekil 8.70. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü	111
Şekil 8.71. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü	111
Şekil 8.72. Numunelerin çizgisel EDS analizleri.....	112
Şekil 8.73. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri	112
Şekil 8.74. Numunelerin çizgisel EDS analizleri.....	113

Şekil 8.75. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri	113
Şekil 8.76. Numunelerin çizgisel EDS analizleri.....	114
Şekil 8.77. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri	114
Şekil 8.78. 20 periyot kaynak süresine ait çekirdek makroyapı fotoğrafı.....	115
Şekil 8.79. 10 periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı.....	115
Şekil 8.80. 15 periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 8.81. 20 periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 8.82. 25 periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 8.83. 30 periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı.....	116
Şekil 9.1. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelere ait kaynak eğrisi (weld lobe).....	118

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Kaynak kabiliyeti değerdendirmesi.....	27
Tablo 7.1. TRIP 800 sacının kimyasal bileşimi (%)	37
Tablo 7.2. DX56D+Z MB0100 mikro alaşımlı çeliğın kimyasal kompozisyonu (%).....	38
Tablo 7.3. TRIP 800 ve DX56D+ Z MB0100 mikro alaşımlı çeliklerin mekanik özellikleri	38
Tablo 7.4. Kullanılan elektotların kimyasal bileşimi ve özellikleri	41
Tablo 7.5. Oluşan hasar tipleri örnekleri	46
Tablo 8.1. Deney Parametreleri ve Numune Adetleri.....	51
Tablo 8.2. TRIP 800-Mikroalaşımlı bağlantılarda Çekme-Makaslama numunelerinin durumları.....	54
Tablo 8.3. Farklı büyütmelede çekilen kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı görüntüleri.....	109
Tablo 8.4. TRIP 800-Mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelere ait bazı makroyapı görüntüleri.....	117

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, TRIP Çelikleri, Mikro alaşımlı Çelikler

Bu çalışmanın amacı, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan mikroalaşımlı ve TRIP çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilerek optimum mekanik özellikleri sağlayan kaynak parametrelerinin tespit edilmesidir.

Elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmeleri elde etmek amacıyla 120 kVA gücünde akım ve elektrik akım kontrollü pnömatik sisteme sahip kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak süresi olarak 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot=0,02 s) seçilmiştir. Kaynak akım şiddetleri de 9000 A'den 16500 A'e kadar yaklaşık 500 A artırılarak ayarlanmıştır. Elektrot kuvveti sabit tutulup 6 kN olarak belirlenmiştir.

Elde edilen kaynaklı birleştirmelere çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme testleri uygulanmıştır. Optik mikroskop kullanarak makro boyutta çekirdek geometrileri tespit edilmiştir. Bütün bunlara ek olarak mikroyapı, EDS ve SEM görüntüleri incelenerek mikro vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Sonuç olarak kaynak akım şiddetinin, kaynak süresinin ve kaynak çekirdeği geometrisinin çekme-makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme mukavemetlerine etkisi belirlenmiş, optimum kaynak süresi ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak eğrisi diyagramı elde edilmiştir.

INVESTIGATION OF JOINABILITY OF TRIP AND MICRO ALLOYED STEELS IN ELECTRIC RESISTANCE SPOT WELDING

SUMMARY

Keywords: Resistance Spot Welding, TRIP steels, Micro alloyed steel

The aim of this study is to both determination optimum mechanic properties provider welding parameters and investigation of electric resistance spot welding of micro alloyed and TRIP steels.

With the aim of obtain electric resistance spot welding joints were used having 120 kVA capacity and electric current controlled a pneumatic application mechanism welding machine. As welding time preferred, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cycle (1 cycle = 0,02 s) furthermore welding currents were increased approximately by rise of 500 A from 9000 A to 16500 A. The electrode force was described constant as 6 kN.

The obtained welding joints were implemented tensile- share, tensile- peel and cross tensile tests. Optic microscope was used and described macro dimension nugget geometry. Moreover analyzed microstructure, EDS and SEM images and measured micro – hardness.

As a conclusion, was described effects of tensile- share, tensile- peel and cross tensile strengths of Welding currents , welding time and welding nugget geometry. Relied on the optimum welding time and welding current was obtained weld lobe diagram.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günden güne teknolojinin gelişmesi ile toplumun teknolojiden beklentisi de artmaktadır. Daha önce otomotiv sektöründe aranan en temel özellik güvenlik ve konfor iken şimdi üretim maliyeti ve yakıt tasarrufu da bu özelliklere eklenmiş durumdadır. Otomotiv üreten firmaların dünya piyasasında yer bulup tutunabilmesi için bu özellikleri kullanıcıya sunmaları gerekir. Firmaların yolcu güvenliği bakımından üst düzey korumaya sahip, üretim maliyetinin düşük ve yakıt tasarrufunun maksimum düzeye ulaşması için yaptıkları çalışmalar sonucunda yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA: High Strength Low Alloyed Steels) ortaya çıkmış ve bu mikroalaşımlı çelikler kaporta saclarında kullanılmaya başlanmıştır [1-6]. Bununla birlikte otomotiv endüstrisinde gereksinimleri karşılamak amacı ile yüksek mukavemetli çelikler (AHSS), çift fazlı çelikler (DP), TRIP çelikleri (Transformed Induced Plasticity), kompleks fazlı çelikler (CP), ve martenzitik (MS) çelikler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [7,8].

Son yıllarda otomotiv endüstrisinde araç hafifletme çalışmaları kapsamında geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır [9]. Hafifletme, mevcut parçaların dayanım ve performansını koruyarak ve hatta arttırarak daha ince kesitli yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda yüksek manganlı çelikler, yüksek mukavemet ve sünekliğe, mükemmel şekil verme kabiliyeti ve hafif olmaları nedeniyle Transformation Induced Plasticity (TRIP) çelikleri devreye girmektedir [5,10].

Otomobil endüstrisinde çok kullanılmakla beraber sanayide de çelik sacların birbirlerine birleştirilmesinde pratik bir yöntem olması ve ekonomikliği sebebiyle en yaygın olarak kullanılan yöntem elektrik direnç nokta kaynağı yöntemidir [11]. Elektrik direnç nokta kaynağı çok etkin bir birleştirme kaynağıdır. Bu özelliği de

otomobil sektöründe kullanılma oranını arttırmıştır. Üretilen bir otomobilin gövdesindeki birleştirmelerin yaklaşık % 80'i (3000-5000 nokta) elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir [11,12].

Mikroalaşımli çeliklerin ve TRIP çeliklerinin galvanizle kaplanması sonucu korozyon dayanımının artması ve yeni nesil TRIP çeliklerinin deformasyon ile mukavemet değerlerindeki artış, bu çelik çiftinin otomotiv sanayisinde kullanımını ön plana çıkartmaktadır [13].

Yapılan çalışma otomotiv sanayisinde yeni jenerasyon olarak kullanılan TRIP çelikleri ile (araçlarda kullanımı şaside iskelet ve destek bölgeleri) Mikroalaşımli (HSLA) çeliklerin (araçlarda kullanımı kaporta sacı) elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinin araştırılması şeklindedir.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜ VE ÇELİK

Yakın zamana kadar otomotiv sektörü hep daha güvenli araç üretmek için çalışmıştır. Bu doğrultuda çalışan üreticiler her geçen gün otomobillerde çelik kullanımını arttırmışlardır. Çelik kullanımının artması ile otomobillerin ağırlıkları da artmıştır. Artan çelik kullanımı ile araçlarda güvenlik sağlanmış can kaybı oranı yaklaşık olarak %90 azalmıştır. Güvenlik çalışmalarının doğrultusunda ortalama bir aracın ağırlığı 900 kg gelirken önce 1100 kg'a daha sonraları da 1400- 1600 kg' a çıkmıştır. Bununla birlikte de yakıt tüketimi artarken çevreye bırakılan CO miktarı da artmıştır.

Otomotiv üreticilerinin son zamanlarda kullandıkları malzemeler incelendiğinde demir esaslı malzemelerin dışında magnezyum ve alüminyum gibi hafif metallerin ve plastik esaslı malzemelerin kullanımının arttığı gözlemlenmiştir. Otomotiv kullanıcılarının daha ekonomik araç talep etmeleri üzerine otomotiv üreticilerinin hemen hepsi araçlarında hafifliğe önem vermişlerdir. Araçların hafifliği önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlamıştır [14].

Bunlara ek olarak güvenlik söz konusu olduğunda ise otomotiv sektörünün vazgeçilmezi çelik önem kazanmıştır. Çeliğin tek başına kullanımı yine araçları ağırlaştırırken, hem güvenli hem de hafif araç üretimi için çelik üreticileri bazı ilerlemeler kat ederek yeni nesil çelik üretimine girmişlerdir. Bunlarla birlikte malzemelerin kolay şekillendirilebilmesi, darbeye karşı dayanımı, korozyon direnci, estetik görünüm de otomotiv endüstrisi için vazgeçilemeyecek unsurlar halindedir. Bu unsurları sağlamak için farklı malzemelerin bir arada kullanılması gerekmektedir. Sayılan bu özelliklerin bir arada taşıyan tek bir malzeme olmadığından tek başlarına kullanılmaları bu yüzden imkânsızdır. Hafif metaller ve plastik esaslı malzemelerin yeni nesil çelikler ile birlikte kullanımı ile kullanıcıların talepleri büyük ölçüde sağlanmıştır [15].

Ayrıca, yakıt tüketiminin hafif araçlarla düşürülmesi ile yapılan araştırmalar sonucunda çevreye bırakılan CO oranında 5 kişilik bir binek araç için % 6'lık bir düşüş sağlamıştır. Yeni nesil çelikler kullanılarak yapılan araçlarda çelik kullanımı %25'den %45'lere kadar çıkacağı öngörülmektedir. Yeni nesil çeliklerle elde edilen hafiflik sayesinde eski nesil çeliklerle yapılan araçlara nazaran araçların ömrünü tamamlayana kadar harcadığı yakıtın 3000 litrelik bir yakıt tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir [16-19].

2.1. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Çelik Çeşitleri

Otomotiv sektöründe kullanılan çelikler mukavemetlerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmaya göre Yumuşak Çelikler (IF); kolay şekillendirilebilen ve yüksek uzama kabiliyetine sahip olan ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan darbe sönümleme özellikleri iyi düşük karbonlu çelikler, Yüksek Dayanımlı Çelikler (HSS); bu çeliklerin çekme dayanımları yaklaşık olarak 270 – 700 MPa aralığındadır. Bu çelik grubuna alaşımsız çeliklerin bazıları, ray çelikleri (JF), takım çelikleri (HS), soğuk iş takım çelikleri ve yüksek hız takım çelikleri (HSS) girer. Ultra Yüksek Dayanımlı Çelikler (UHSS); bu çeliklerin çekme dayanımları 700 MPa ve üzerinde olan çeliklerdir.

Bunların dışında yeni nesil çelikler olarak kullanıma giren Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli (AHSS) çelikler vardır. Bu çelikler de kendi içinde farklı isimlerde adlandırılarak sınıflandırılmışlardır. Bunlar;

- Mikro Alaşımlı Çelikler (HSLA)
- Çift Fazlı Çelikler (DP)
- Kompleks Çelikler (CP)
- TRIP Çelikler (TRIP)
- Martenzitik Çelikler (MART)
- Yüksek Manganlı Çelikler (TWIP)
- IF Çelikleri
- BH Çelikleri [20].

2.1.1. Mikro alaşımlı çelikler (HSLA)

YDDA (Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı) olarak bilinen çelik grubudur. Karbonlu yapı çeliklerine göre daha yüksek dayanım ve tokluğa sahiptirler [18,20].

2.1.2. Çift fazlı çelikler (DP)

Otomotiv sektörü ve birçok sektörde en çok tercih edilen çelik grubudur. Ancak bu çeliklerin kullanımı çok eskiye dayanmamaktadır. 21. yy. başlarında otomotiv sektörüne kullanılmasıyla birlikte bir devrim yaratan çelik grubudur. Akma mukavemetinin düşük, çekme mukavemetinin yüksek olması, plastik deformasyon uygulaması sonrasında pekleşmesi, % uzamasının iyi olması, sürekli olarak akma gösterebilmesi ve en önemlisi kolay şekillendirilebilirlik özelliklerini taşıması bu çelik grubunun tercih edilmesinin başlıca sebepleridir [21].

Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi incelendiğinde sade karbonlu çeliklerle hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Ancak içinde bulunan çift fazdan oluşan mikroyapısının elde edilmesi ısı işlemlere bağlıdır. DualPhase (DP) olarak da adlandırılan bu çelik grubunun mikroyapısında sünek ferrit (α) yapısının içerisinde küme küme dağılmış %10-30 arasında martenzit (m) fazı içerirler. Üstün özelliklerini de yapısında bulundurduğu martenzitin yüksek mukavemetine ve ferritten elde edilen süneklik özelliğinden alırlar [22].

2.1.3. Kompleks çelikler (CP)

Kompleks çelikler (CP) yüksek çekme dayanımına sahip çeliklerdir. Çekme dayanımları yaklaşık olarak 750 Mpa ve üzerindedir. Akma dayanımları da bununla birlikte yüksek değerlere sahiptir. Mikroyapıları incelendiğinde çok ince ferrit yapının içine çökelmiş çok ince taneli diğer elementlerden oluşan yapılar gözlenir. Alaşım elementleri olarak adlandırılan bu elementler diğer çelik gruplarındakilere benzemektedirler. Ancak olmazsa olmaz elementlerden Nb (Niyobyum), V

(Vanadyum) ve Ti (Titanyum) her koşulda yapılarında az miktarda bulundurulur. Bu elementlerin bulunması da yüksek plastik şekil verme özelliği ve darbe karşısında enerjiyi absorbe etme özelliğine sahip olmasını sağlar. Tüm bu özellikleri ile otomotiv sektörü için ideal bir çelik grubu olma şartlarını sağlamaktadır.

2.1.4. TRIP çelikler (Dönüşümle plastikliği arttırılmış çelikler)

TRIP çelikleri, otomotiv sektörü için üretilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin başında gelir. Mikro yapıları incelendiğinde yumuşak olan ferrit yapısı içerisinde, beynit ve kalıntı östenit içerdiği görülmektedir. TRIP çelikleri mikroyapı olarak diğer çeliklerle kıyaslandığında daha kompleks bir yapıya sahiptirler. Bu üç farklı fazın belirli oranlarda birlikte bulunarak oluşturduğu çelik grubunda üstün mekanik özellikler sağladığı için otomotiv sektöründe yeni gelişmelere adım atılmasının önünü açmıştır [23-28].

Mikro yapıda bulunan üç fazın boyutu, şekli ve dağılımı çeliğin tüm mekanik özelliklerinin değişmesini sağlamaktadır. Boyut farklılıkları ile de farklı mekanik özellikler gösterirler. Çekme dayanımları geleneksel çeliklere göre daha yüksektir ve darbe sönümlmeleri sayesinde de araçların şasilerinde, ön ve arka trapez kısımlarında yoğun olarak kullanılmaktadır [29-34].

2.1.5. Martenzitik çelikler (MART)

Martenzitik çelikler tavlama ya da sıcak haddeleme yapılırken mikro yapının tamamen östenite dönüştüğü sırada hızlı soğutma ile yapıdaki östenitin tamamen martenzite dönüşmesiyle elde edilir [35]. Bu martenzitik yapı şekil verme esnasında da elde edilebilmektedir.

Bu çelik grubunun çekme dayanımı yaklaşık olarak 1690 Mpa kadar çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Ancak bu çeliklerin süneklikleri çok düşük olduğundan üretildikten sonra uygulama öncesi temperleme işlemi yapılabilmektedir.

Martenzitik yapının sertliğinden daha fazla bir sertlik isteniyorsa yapıda bulunan C (karbon) miktarı arttırılabilir veya sertleştirici elementler eklenebilir.

2.1.6. Yüksek manganlı çelikler (TWIP)

TWIP çelikleri, yüksek Mn içermesi ile şekillendirilebilirliği iyi ve yüksek mekanik özelliklere sahip bir çelik grubudur. Yüksek manganlı TWIP çeliğinin endüstriyel olarak üretilmesi de yaygındır.

TWIP çelikleri deformasyon mekanizması ile ikizlenmiş olmasından ve yüksek Mn içermesi sebebiyle çalışma sırasında sertleşebilen ve üstün süneklik özelliklerine sahip çeliklerdir. Bundan dolayı da otomotiv sektörünün günümüzde vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir [36].

Mikroyapısında kütlece % 15-30 Mn içermektedir. Bu Mn oranına ek deformasyon ikizlemesi ile içersine ilave edilen C, Si ve Al alaşım elementleri sayesinde yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik elde edilir [37].

2.1.7. IF çelikleri (Interstital-Free)

Bu çelik türünün üretiminde hidrojen, karbondioksit, azot gibi gazların vakumla giderilerek çeliğin ultra düşük karbon içermesi sağlanmıştır. Bunun yanında atomların arasına bulunacak azot ve karbon gibi elementler alaşım elementleri ile birleşerek nitrür ve karbür yapıları oluştururlar. Bu bileşimlerden dolayı mikroyapıda oluşacak nitrürü ve karbürü kontrol etmek amacıyla kolumbiyum, titanyum nitrür ve karbür yapıcı elementler ilave edilir. Atomik yapıda oluşan nitrür ve karbürler IF çeliğinin yüksek sünekliğe sahip olmasını sağlar. IF çeliği derin çekme uygulamalarında bu özelliğinden dolayı da ideal bir malzeme haline gelmiştir. Bu çelik türüne “*ekstra derin çekme çelikleri*” de denir. Düşük mukavemetlidirler, ancak, yüksek çalışma sertliği ve mükemmel şekillendirilebilirlik özelliği azot ve başka elementlerin ilavesi ile gerçekleşir.

Bu elikler araç gövdelerinde ve gövde saclarında kullanılır [38].

2.1.8. BH elikleri

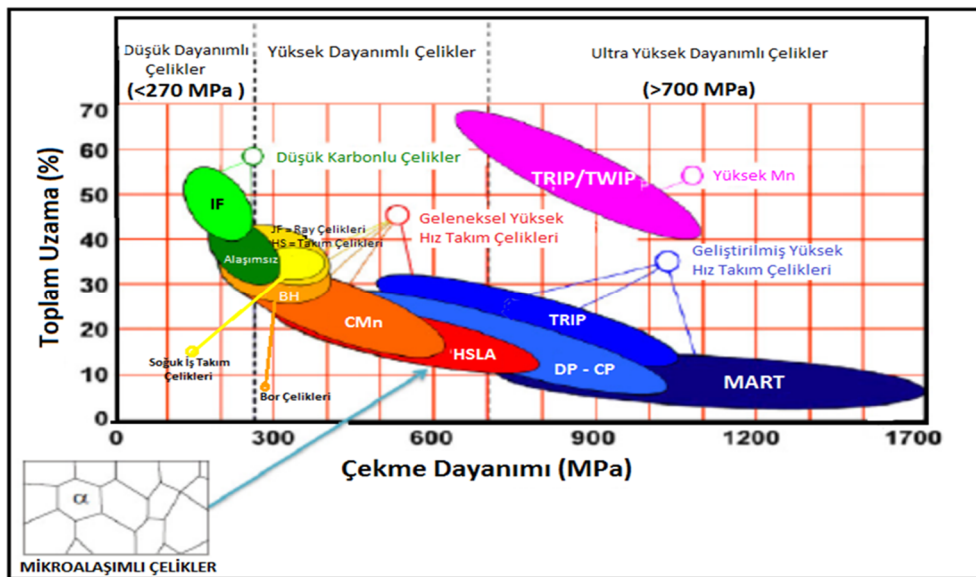
Basit ferritik mikroyapıya sahip çeliklerdir. Ama mikroyapı içerisine bazı elementlerin eklenmesi ve çökeltilmesi sonucu yüksek mukavemet kazanan elik grubudur. Üretimi sırasında elik fırınında karbonun yapıda kalması için özel teknikler kullanılır. Fırında sinterleme ve sertleştirme işlemleri sayesinde mükemmel şekillendirilebilirlik özelliğini korunurken akma dayanımının yükselmesi sağlanır. Bu elik gurubu yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu için davlumbazlar ve yüzey kaplamaları gibi ürünler için idealdir.

BÖLÜM 3. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLER

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler olarak bilinirler. Bu çelikler diğer yapı çeliklerine göre daha yüksek dayanım ve tokluğa sahiptirler [18]. HSLA çeliklerinin en önemli üstünlüğü geleneksel sıcak haddeme yöntemiyle üretilen düşük karbonlu hafif ve ferrit-perlit mikro yapısına sahip çeliklerden daha ince ferrit yapısına sahip olmalarıdır.

Bu çeliklerin piyasa ve literatüre bakıldığında farklı isimlerde lanse edildiği görülebilir.

- Mikro alaşımlı çelikler (Micro alloyedsteel, Mikrolegiertestähle)
- Perlit oranı çok az olan çelikler (Perlitarmestähle)
- İnce taneli mikroyapıya sahip çelikler (Feinkornbaustähle)
- HSL A- çelikleri (Stähle)
- Z StE-çelikleri veya ZE çelikleri [39].



Şekil 3.1. Yüksek mukavemetli çeliklerin sınıflandırılması [40].

Karbon miktarının düşük olduğu HSLA eliklerinin mukavemet değerlerinin yüksek olmasının sebebi yapısında bulundurduğu mikro alaşım elementleridir. Bu çeliklere uygulanan kontrollü ısıt ışlemler sonucunda akma sınırı 500 N/mm^2 ye ulaşırken, tane büyümesini ve sertliğini koruması amacıyla yapı içerisine Nb, V, Ti elementleri eklenmektedir [41].

Mikroalaşımlı eliklerin geliştirilme amaçları şöyle sıralanabilir.

- Kaynaklı birleştirmenin çok önemli olması
- Kullanıldıkları alanda dayanım ve tokluk gibi mekanik özelliklerin artması
- Düşük ağırlık
- Maliyetinin diğer malzemelere göre daha ekonomik olması

Malzemeden istenilen özelliklere göre mikro alaşımlama, östenitleme, sıcak haddeleme ve bunlara ek olarak kontrollü soğutma gibi prosesler tek başına veya kendi ilerinde beraber kullanılabilirler. Yapıya Nb eklendiğinde mikroyapıda tane küçülmesi sağlanır ve çökelme sertleşmesi mekanizmasını tetikler. Böylelikle tok bir yapı elde edilmiş olur. Ancak, maksimum oran %0, 04' dr. Yapı içerisine Ti elementinin eklenmesi de tane küçülmesini tetikler ve yüksek mukavemet sağlanır. Tane küçültmek için kullanılan diğer bir element de V elementidir. Vanadyum yeniden kristalleşme mekanizmasını geciktirir ve yüksek sıcaklıkta katı olarak kalarak katı çözelti oluşturur. Bununla birlikte de tane büyümesini engeller. Vanadyum oranının artması akma sınırını artıran etki gösterirken aynı zamanda da diğer elementler kadar tane kltemediği için tokluk özelliğini dşrrlr. Buna karşın Alüminyum alaşım elementinin elik mikro yapısına etkisi incelendiğinde hem mikro alaşım elementi olarak davranırken hem de azot ile birleşerek AlN bileşiği oluşturarak östenitin tane büyümesini engelleyerek ince taneli yapı oluşturur [42-44].

Mikro alaşımlı çeliklerin yapısında diğer alaşım elementlerine ek olarak %1,52 Mangan elementi bulunur. Mangan elementi yapıya ferriti inceltici ve tane küçültücü olarak etki eder. Ancak mikroyapıda karbon oranı kısıtlanarak % 0,1 oranının

altındaki deęerlere indirilmiřtir. Bunun sebebi ise tokluk deęerini dūřürmesi ve kaynaklanabilirlięe olumsuz etki etmesindendir [45-46].



BÖLÜM 4. TRIP ÇELİKLERİ

TRIP çeliklerinin mikroyapısına bakıldığında matris olarak ferrit ve ferrit içinde bulunan kalıntı östenit ve beynit tanelerinden oluştuğu görülmektedir. Bu matris ve diğer yapıların oranlarına dikkat edecek olursak hacimce yaklaşık olarak %65 ferrit (α), %20 beynit $\alpha_{(B)}$ ve %15 kalıntı östenitin (γ_R) varlığı söz konusudur [21]. Gerçekte “TRIP”, Transformation Induced Plasticity kelimelerinin kısaltılmış halidir. Bu çeliklerde yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti malzeme içyapısında bulunan kararsız haldeki kalıntı östenitin (γ , sünek ve demirin yüksek sıcaklık fazı) verilen plastik deformasyonla birlikte daha sert ve kararlı olan martenzit fazına dönüşmesi ile elde edilmektedir. Bu anlamda TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi için oldukça büyük öneme sahiptir [47].

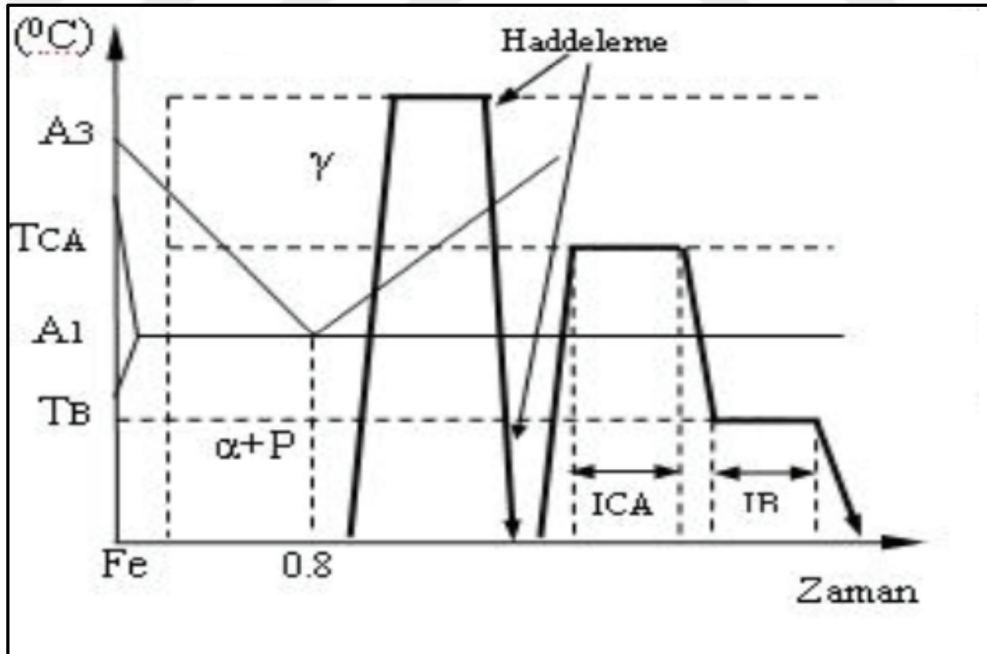
TRIP çeliklerinin geliştirilmesi sürecinde optimum şekillendirme oranlarında en az 1 GPa mukavemet ve %18 uzama değerlerine ulaşılması üzerine odaklanılmıştır. Bu özelliklere ulaşmanın bir yolu karbon miktarının artırılmasıdır. Karbon miktarının artması malzemenin kaynaklanabilirliğini düşürecektir. Bu yüzden, uygun kaynaklanabilirlik için karbon içeriğinin % 0,25 ile sınırlandırılmalıdır. TRIP çeliklerinde kaynaklanabilirliğinde bozunma olmadan mekanik özelliklerin artırılması için bir diğer yaklaşım Ti, Nb, V gibi mikro alaşım elementlerinin eklenmesidir. Katı eriyikte çözünmüş Niyobyum (Nb) sıcak deformasyon sırasında yeniden kristalleşme sürecini ve östenitten ferrite dönüşümü geciktirir. Karbon ve azot gibi ara yer atomları ile birleşerek Nb (C,N) çökeltileri oluşturur. Bu yeniden kristalleşme ve tane büyümesini geciktirir ve çökelti sertleşmesine sebep olur. Vanadyum (V) TRIP çeliklerinde dönüşüm davranışını kontrol etmek için kullanılabilir [48].

Alaşıım elemti olarak eklenen Ti azot ile birleşerek TiN çökeltileri oluşturur ve tane sınırlarında çökerek östenit tane kabalaşmasını engeller. Bununla birlikte Ti alaşımelementinin eklenmesi rekristalizyaon sıcaklığını yükseltir ve yeniden kristalleşmeyi geciktirir.

Alaşıım elementleri içerisinde karbon önemli bir rol oynamaktadır. Karbon içyapıda yer alan kalıntı östeniti ara yer katı çözeltisi pekleşmesi ile mukavemetlendirmekte ve kararlılığını da artırmaktadır. Çeliğin beynitik dönüşümü esnasında karbon kalıntı östenit içerisine diffuse ederek östeniti karbonca zenginleşmektedir [49-51].

Karbon dışındaki alaşımlandırma elementlerinin malzemeye ilave edilme sebepleri şu şekilde sıralanabilir.

- İç yapıdaki kalıntı östenit miktarının optimize edilmesi
- Sementit çökmesinin kontrol edilmesi
- Ferrit fazının dayanımının artırılması
- Sertleşebilirliğin artırılması [47].

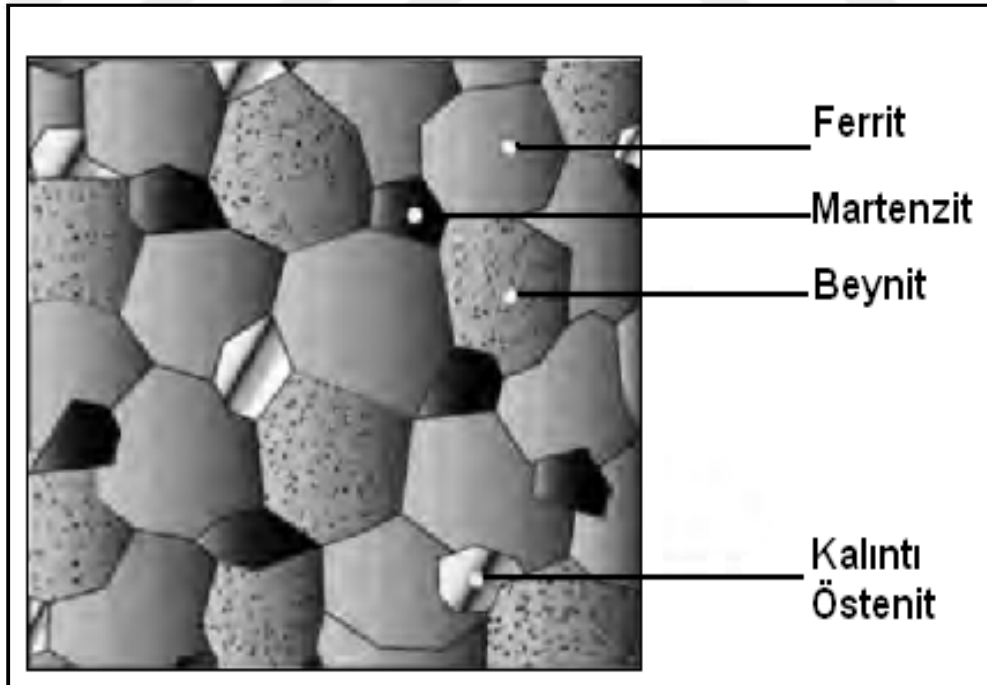


Şekil 4.1. TRIP çeliğinin şematik olarak üretim aşaması [49].

TRIP çeliklerin ısıt işlemleri sonucunda, üç fazlı bir içyapı elde edilir ki bu yapı ferrit, beynit ve kalıntı ostenitten ibarettir.

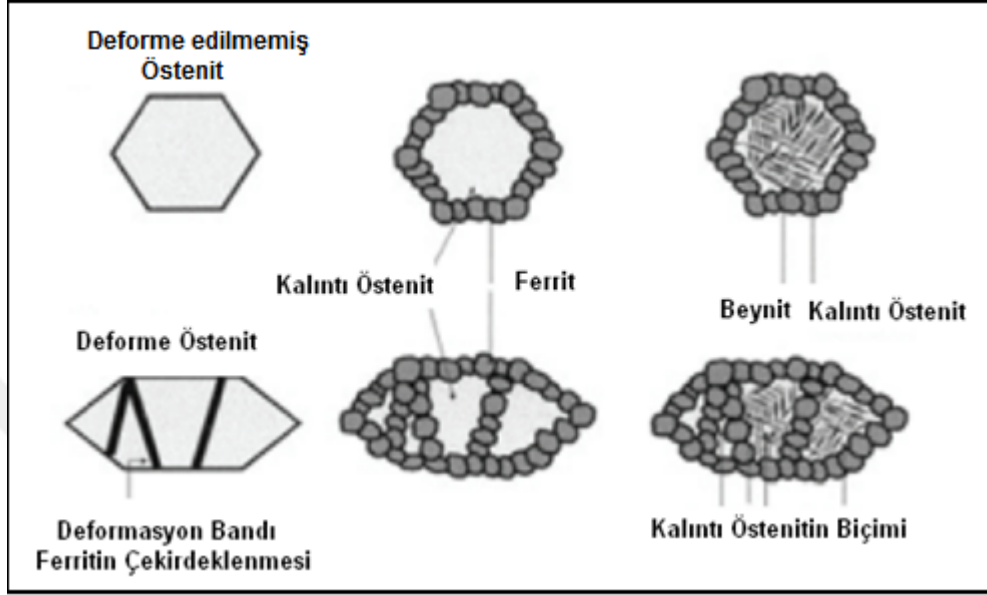
Geleneksel düşük alaşımlı TRIP destekli çeliklerin kimyasal kompozisyonu içerisinde % olarak 0,15 C, 1.2-1,5 Mn ve 1,1-1,5 Si bulunmaktadır [52]. Sementit oluşumunu engellemek için yaygın olarak % 0,3-0,8 Si eklenmektedir [52,53]. Bununla birlikte eklenen Si elementinin oksijenle tepkimesi sonu SiO₂ oluşturması da yüzey kalitesini düşürmektedir [54].

İyi mekanik özellikler ve iyi bir yüzey kalitesi için yeterli olan östenit miktarı korunmalıdır. Bu yüzden semenit oluşumunu engellemek için Si yerine Al gibi birçok element kullanılmıştır [53]. Son zamanlarda Al içeriğine sahip yeni bit TRIP çeliği geliştirildi ve bu tip çelikte iyi mekanik özellikler sağlandı. Bu özellikler 1 GPa' ın üzerinde çekme dayanımı ve %23 oranında uniform uzamadır [5,6]. δ - TRIP çelik katı hale tüm sıcaklıklarda kendi içerisinde kararlı olarak δ - ferriti bulundurmaktadır[50,58].



Şekil 4.2. TRIP çeliğinin tipik mikroyapısı [49].

TRIP çeliğindeki yüksek mukavemet ve şekillendirilebilirlik, içyapıda bulunan kararsız haldeki kalıntı östenitin oda sıcaklığında deformasyon ile birlikte kararlı martenzit fazına dönüşmesi ile sağlanmaktadır.

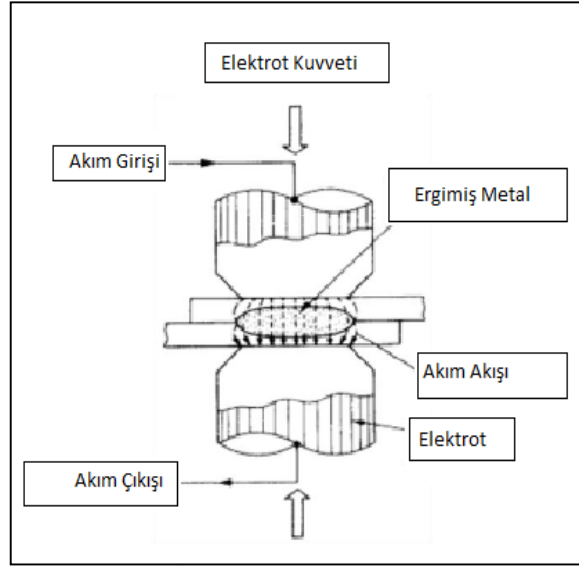


Şekil 4.3. TRIP çeliğinin şematik olarak dönüşümü [51].

BÖLÜM 5. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

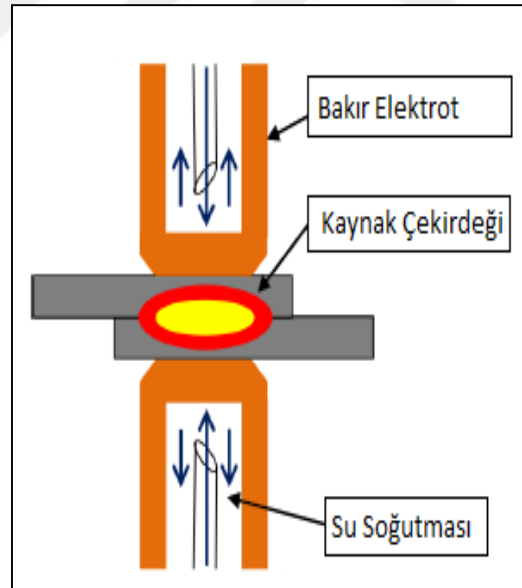
Elektrik direnç nokta kaynak (EDNK) yöntemi basit, seri üretim için uygun, otomasyon sistemli çalışabilen ve hızlı metal birleştirme yöntemidir. Bu nedenle de otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan birleştirme yöntemidir. Bir otomobilin montajında genellikle 3000’ den fazla nokta direnç kaynağı kullanılır. EDNK diğer yöntemlerin aksine ilave malzeme gerektirmez.

EDNK iki sac levhanın iki elektrot arasında sıkıştırılmasıyla başlar. Şekil 5.1 ‘de bu işlem gösterilmiştir. Sıkışan levhalardan düşük voltajlı yüksek amperin geçmesiyle levhalar arasında ısı oluşur. Burada en önemli nokta levhaların birbirine temas ettikleri ara yüzeyde oluşan temas direncidir. Isı da burada oluşarak metal malzemeyi eritmeye başlar ve elektrotlara uygulanan yüksek basınç ile levhalar arasında ergime başlar. Elektrot ve levhalardan geçen akım kesilir, belli bir tutma süresinde elektrotların su soğutmasıyla ergimiş bölge hızla katılaşarak kaynak çekirdeğini oluşturur. Böylece kaynak süreci tamamlanmış olur. Genellikle bu işlem bir saniyeden daha kısa sürer. Kaynak akımı, kaynak zamanı, elektrot tipi ve elektrot kuvveti gibi değişkenler EDNK’nın en önemli parametreleridir. Birleştirilecek metalin kalınlığı ve cinsine bağlı olarak bu parametreler ayarlanmalıdır [59].

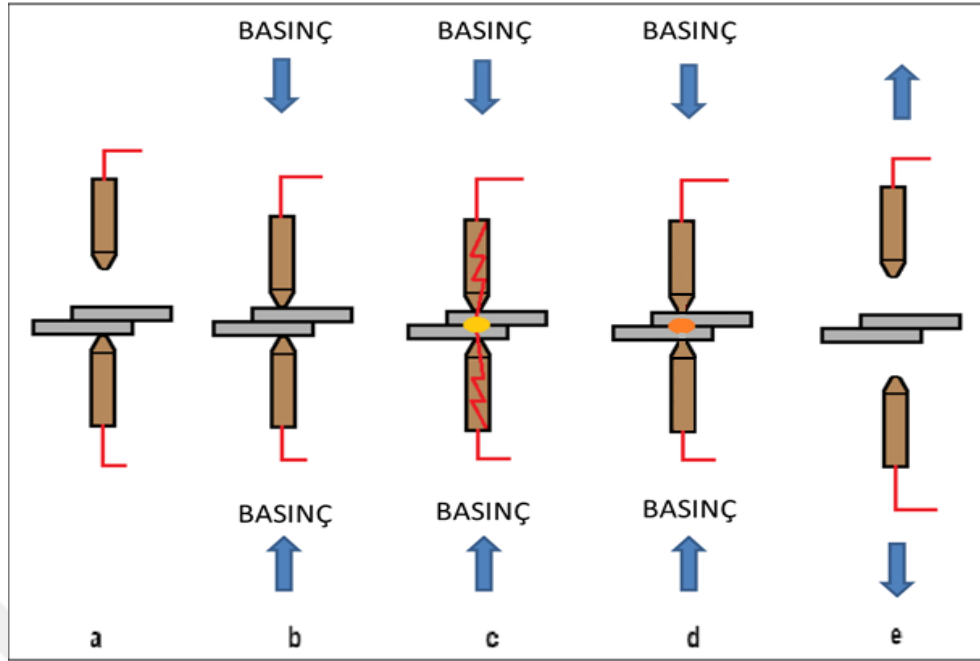


Şekil 5.1. Nokta kaynağının şematik gösterimi [59].

Şekil 5.2.' de [60], EDNK'nın prensibi ve Şekil 5.3.' de [61] EDNK prosesi ve çekirdek oluşum aşamaları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.2. EDNK işleminin şematik gösterimi [60].



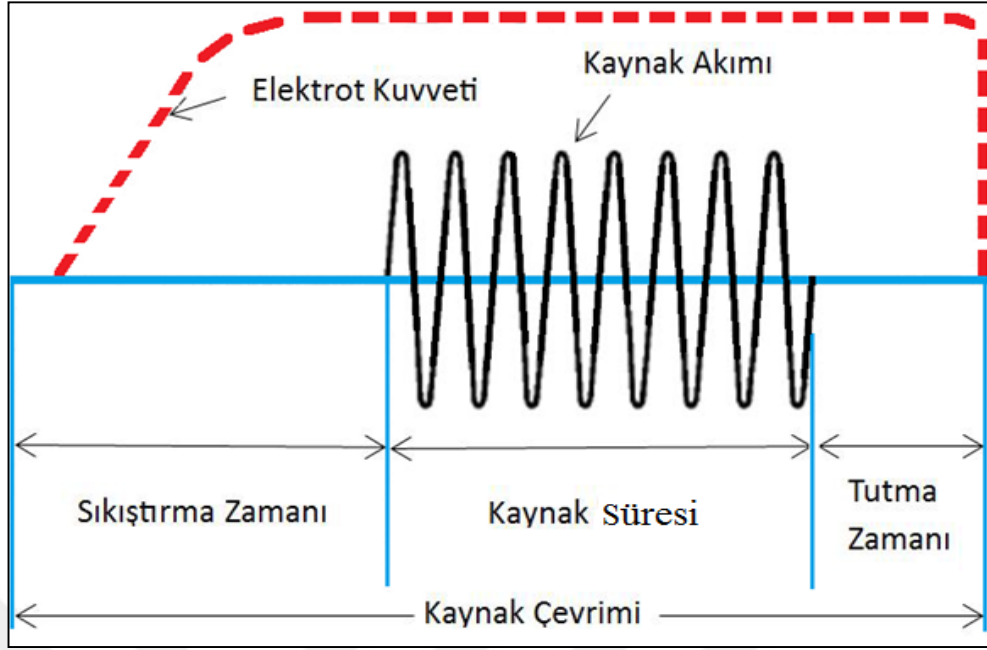
Şekil 5.3. EDNK prosesi [61].

EDNK prosesinde çekirdek oluşum prosesi dört adımda gerçekleşir. Bu adımlar;

- Yaklaşma ve sıkıştırma zamanı (a – b)
- Kaynak zamanı (c)
- Tutma zamanı (d)
- Ayrılma zamanı (e)

Yaklaşma ve sıkıştırma zamanının da hareketli olan üst çeneye bağlı elektrot ile alt çenedeki elektrot yaklaşarak iş parçasını sıkıştırır. Kaynak zamanında sıkışan bu iş parçalarından düşük gerilimde yüksek akım geçirilir. Tutma zamanında kaynak akımı kesilerek elektrotların kaynak bölgesini soğutması sağlanır ve sıkıştırma işlemi devam eder. Ayrılma zamanında da üst çeneye bağlı elektrot alt çeneye bağlı elektrottan uzaklaşarak iş parçalarını bırakır. Bütün bu zaman dilimlerinin süreleri periyot ile ifade edilir. Frekansı 50 Hz olan bir sistemde 1 periyot 1/50 saniyeye tekabül eder.

Şekil 5.4.'de elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi gösterilmektedir [62].



Şekil 5.4. EDNK kaynak çevrimi [62].

5.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Direnç Faktörü ve Isı Oluşumu

Elektrik direnç nokta kaynağı adından da belli olacağı gibi elektrik akımının geçtiği bölgelerde dirence maruz kalması ile meydana gelen ısı ile gerçekleşmektedir. Kaynak akımı sistemdeki transformatörün şebekeden gelen düşük akımlı ve yüksek gerilimli gücü yüksek akımlı ve düşük gerilimli güce çevirmesiyle elde edilir. Kaynak sırasında kaynak akımının karşılaştığı dirençler birbirinden farklıdır ve kaynak sırasında oluşan ısı enerjisini belirleyebilmek için toplam direnci hesaba katmamız gerekir. Buna göre oluşan ısı;

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

Formüle göre kısaltmalar aşağıda verilen birimleri temsil etmektedir:

Q : Isı (Joule)

I : Kaynak akımı (A)

R : Toplam direnç (Ω)

t : Kaynak süresi (s).

Elde edilen ısıda en önemli ve karmaşık olan faktör sistemdeki toplam dirençtir. Bu direnç malzemelerin temas yüzeylerinin temizliğine, pürüzlülüğüne bağlı olduğu gibi iş parçalarının temas yüzeylerine ve elektrotların iş parçalarına temas ettiği yüzey çapına da bağlıdır. Örneğin elektrotların iş parçasına temas ettikleri yüzey büyüdükçe direnç artacak ve akım azalacaktır. Yine yüzeydeki kirliliğin ve pürüzlülüğün artmasıyla malzemelerin temas direnci artacak ve akım düşecektir. Diğer faktörlerden kaynak akımı ve kaynak zamanı kolaylıkla ölçülebilir değişkenlerdir [63-66].

Elektrik direnç nokta kaynağında toplam direncin (R) bulunması şöyle ifade edilir.

$$R_{\text{toplam}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (5.2)$$

Formülde;

R_1 : Üst çeneye bağlı olan elektrotun direnci

R_2 : Üstteki iş parçası ile üst çeneye bağlı elektrotun temas direnci

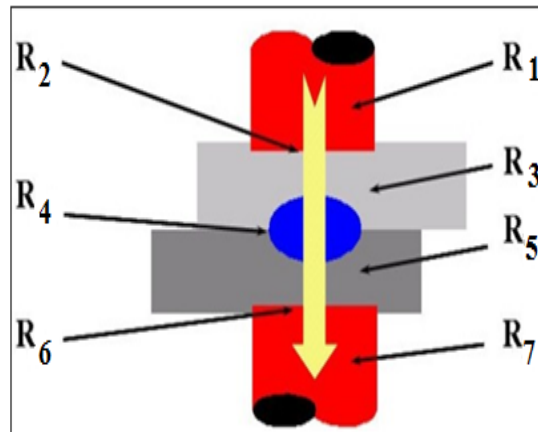
R_3 : Üstteki iş parçasının kendi direnci

R_4 : Altındaki iş parçası ile üstteki iş parçasının birbirlerine olan temas direnci

R_5 : Altındaki iş parçasının kendi direnci

R_6 : Altındaki iş parçası ile alt çeneye bağlı elektrotun temas direnci

R_7 : Alt çeneye bağlı olan elektrotunun direnci



Şekil 5.5. Elektrik direnç nokta kaynağındaki dirençler [67].

Elektrik direnç nokta kaynağında sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerji birbirine eşit olmalıdır.

Elektrik direnç nokta kaynağının oluşabilmesi için en önemli nokta, üretilen ısı miktarının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olmasının gerekliliğidir. Böylelikle ısı bir noktada yığılabılır. Yöntemde yüksek soğuma hızları istenmez. Ancak yüksek ısı iletim kabiliyetine sahip malzemeler hızlı soğuyacağı için sertleşme üst seviyeye çıkar dolayısıyla çatlama ve kırılma riski artar. Ancak elektrotlardaki su soğutması tercih edilen bir özelliktir. Bu özellik ile elektrotla malzemenin temas ettiği alanda oluşan ısı düşük olacağından iki yüzey arasında alaşımlama oluşmaz veya minimize edilmiş olur [68].

Akımın elektrot-işparçası-elektrot arasından geçmesiyle oluşan ısı sistemdeki elektrik iletkenliğine ters orantılı olarak değişir [69].

5.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynaklı birleştirmenin kalitesini etkileyen en önemli parametreler aşağıdaki gibi sıralandırılabilir;

- Elektrot cinsi ve malzemesi
- Elektrot basma kuvveti
- Kaynak akımı
- Kaynak süresi

5.2.1. Elektrot cinsi ve malzemesi

Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotları bazı özellikleri taşımalıdır. Bu özellikler şöyledir;

- Isı ve elektrik iletkenliği iyi olmalıdır.
- Elektrot malzemesi yüksek dayanıma sahip olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıkta sert kalabilmelidirler.
- Yüksek sıcaklığa çıkıldığında iş parçasıyla alaşımlama yapmamalıdır.
- Elektrot uçlarının soğutulması emniyet halinde olmalıdır.

Bir malzemenin iyi iletken olması elektrik direnç kaynağı için çok önemli değildir. İletkenlik kabiliyeti ile birlikte malzemenin dayanımında yüksek olması gerekmektedir. Örneğin bakır çok güzel bir iletken olmasına rağmen düşük dayanıma sahip olduğu için tek başına kullanımı çok tercih edilmez. Ama alaşımlama işlemi ile yüksek dayanım sağlanabilir. Ancak, alaşım oranları iyi ayarlanmalıdır. Bakır genellikle Cr ve Zr alaşım elementleriyle birlikte kullanılan en yaygın elektrot malzemesi olarak bilinir [70-71].

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilecek malzemenin cinsine göre elektrot malzemesi de ayrıca seçilmelidir. Yumuşak malzemenin kaynaklı birleştirilmesi yapılacaksa şayet elektrottan yüksek dayanım değil aksine yüksek iletkenlik beklenir. Yüksek dayanıma sahip olan malzemelerin kaynağı için kullanılacaksa burda da yüksek dayanım beklenir [69].

5.2.2. Elektrot basma kuvveti

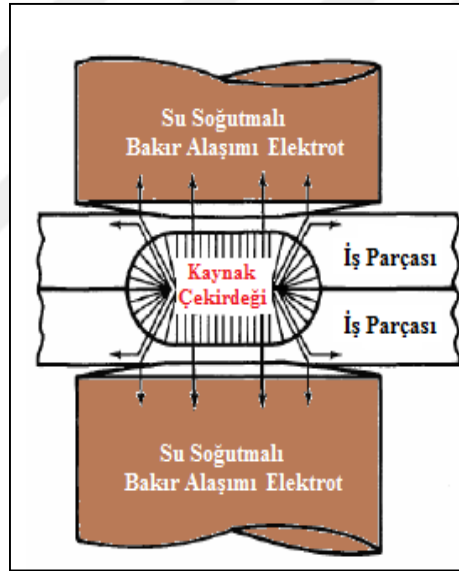
Elektrot basma kuvveti, elektrotların bir kaynak çevrimi boyunca iş parçasına uygulanan kuvvettir. nemli parametrelerden biri olan elektrot basma kuvveti iş parçasının elektrotla olan temas direncinde ve akımın iletilmesinde önemli rol oynar. Elektrot basma kuvveti arttıkça elektrot dalma derinliği artarken basma kuvvetinin az olduğu uygulamalarda dalma derinliği düşer.

Elektrot basma kuvveti kaynak öncesi sıkıştırma anında kaynağın hangi noktadan olacağını belirlerken levhaların arasında oluşan temas direncinin küölmesini sağlar. Kaynak esnasında geçen sürede elektrot basma kuvvetinin en önemli görevi iş parçaların temas yüzeylelerinde ergiyen metalin fişkırmasını önleyerek oluşturduğu

dalma derinliğiyle basınç altında tutularak bu derinlikte fiskırmadan kalmasını sağlamaktır. Akımın kesildiği tutma zamanında ise katılaşan kaynak çekirdeğinde büzülmeden kaynaklı çatlakların ve boşlukların kısacası kaynak hatalarının minimize edilmesini sağlamaktır [69].

5.2.3. Kaynak akımı

Ergitmeli kaynakların hepsinde olduğu gibi kaynak akımı sistemin her yerinde ısıya dönüşerek sistemden uzaklaşmaya çalışır. Yani sistem içerisinde kondikasyon , konveksiyon ve radyasyon yoluyla ısı kaybolur.



Şekil 5.6. Elektrik direnç nokta kaynağında ısı dağılımı [62].

Ancak, Elektrik direnç nokta kaynağında bu durum biraz farklıdır. Bunun sebebi de elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotların ısıl iletkenlikleri iş parçalarından yüksek olmasına rağmen dayanımları iş parçalarından düşüktür. Buna ek olarak elektrotlar su ile soğutulmaktadır. Bu bağlamda incelendiğinde ısıнын birikmesi yalnızca iş parçasında ve iş parçalarının birbirlerine temas ettiği yüzeyde meydana gelir.

5.2.4. Kaynak süresi

Kaynak süresi kaynaklı birleştirmenin dayanımıyla doğrudan bağlantılıdır. Elektrik direnç nokta kaynağı çevriminde kaynak süresinin artması ile sistemde üretilen ısı doğru oranda artar. Oluşacak çekirdek boyutu büyür. Bununla birlikte kaynaklı bağlantının dayanımı da artmış olur. Ancak, uzun kaynak sürelerinde fişkırmalar meydana gelir. Bu fişkirmalar nedeniyle de aşırı dalma derinliği elde edileceği için çatlamlar ve gözenekler oluşurabilir. Azalan kaynak sürelerinde ise çekirdek boyutundaki küçülme yetersiz dalma derinliği gibi faktörlerden dolayı kaynaklı bağlantının dayanımı düşer hatta birleşme sağlanamayabilir.

Kaynak süresi ve akım şiddetini ayarlayarak üniform çekirdek boyutu elde edilebilir. Kaynak süresi ile akım şiddeti ters orantılı şekilde ayarlanırsa yüksek akım şiddeti düşük kaynak şiddetinde veya tam tersi durumda çekirdek boyutu aynı olarak gözlemlenebilir.

5.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Kalitesi

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş bir iş parçasının kalitesini ölçmek için kaynağın bazı özelliklerinden faydalanılır. Bu özelliklerden ilki geometrik özelliklerdir. Geometrik özellikleri açıklamalarıyla birlikte aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Elektrot dalma derinliği ($d1_{iş} + d2_{iş}$) : İş parçalarında oluşan elektrot batma derinliğinin toplamıdır.
- Oluşan çekirdeğin çapı ($d1$): Kaynak sırasında oluşan çekirdeğin soldan sağa uzunluğudur.
- Oluşan çekirdeğin yüksekliği ($d2$): Kaynak sırasında oluşan çekirdeğin üst noktasından alt noktasına kadar olan uzaklığıdır.
- Oluşan çekirdeğin boyut oranı ($d2/d1$): İki ölçünün birbirine olan oranıdır.

Geometrik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özellikleri de bağlantının kalitesi açısından kullanıcıya fikir verir. Bu fiziksel özellikler şu şekildedir;

- Fıskırma
- İç süreksizlikler
- Yüzey görünümü

Bahsettiğimiz faktörlerden kaynaklı birleştirmenin dayanımını en çok etkileyen çekirdek çapıdır ve dayanımla doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte ikinci olarak da çekirdek boyutu gelir. Araştırmacılar bu iki faktörü kullanarak çeşitli çalışmalar yapmışlardır ve boyut oranının etkisini incelemişler ve kaynağın dayanımına doğrudan etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir [63,71-75].

Bir kaynaklı birleştirme de minimum çekirdek çapı aşağıdaki bağıntıda verilmiştir. buna göre;

$$d1 = 4s^{0,5} \quad (5.3)$$

s : İş parçasının kalınlığıdır [76].

Bir kaynaklı birleştirmede oluşacak minimum çekirdek boyutu iş parçasının kalınlığının 1/5'i kadar olduğu kabul edilirken maksimum olarak da ince parçanın kalınlığının 4/5' i kabul edilir [68].

Elektrot dalma derinliği de bağlantının kalitesini etkileyen başka bir faktördür. Dalma derinliğinin fazla olması kaynaklı bağlantının dayanımını düşürür. Yapılan araştırmalar sonucunda standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlara göre de elektrot dalma derinliğinin birleştirilecek iş parçalarının toplam kalınlığının %30'unu geçmemesi gerekmektedir [77].

5.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Herhangi bir metalin herhangi bir kaynak yöntemi ile kaynaklanması esnasında belirli bir noktaya kadar kaynak yapılabileceği kabul edilmektedir. Bu yüzden de her malzemenin kaynakla birleştirilmesinde bazı sınırlar olduğu kabul edilir. Bu sınırların içinde yapılan kaynaklı birleştirmelerde ekstradan başka işleme ve/veya hazırlığa ihtiyaç duyulmuyorsa o malzemenin kaynak kabiliyetinin iyi olduğu anlamına gelir.

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyetine direk etki eden unsur malzemenin cinsidir (direnci, ısı iletkenliği ve ergime sıcaklığı). Kaynak sırasında seçilen kaynak akımının iş parçalarından geçerken iş parçalarının elektrik akımına uyguladığı direnç, iş parçalarının ısı iletkenliği, iş parçalarının elektrik iletkenliği ve iş parçalarının ergime derecesi tamamen iş parçası olarak kullanılan malzemenin cinsiyle alakalıdır. İş parçası olarak kullanılan malzemenin ergime sıcaklığı yüksek ise kaynak için gerekli olan ısı da yüksek olur. Dolayısıyla verilecek akım da ve kaynak süresi de buna göre değişim gösterir.

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyetinin tespiti aşağıda verilmiş olan ampirik denklem sayesinde [71,78].

$$S = \frac{10^4}{\lambda \times \alpha \times t_e} \quad (5.4)$$

Denkleme göre; iş parçasının kaynak kabiliyeti (S) , iş parçasının ısı iletkenliği (λ) ,iş parçasının elektrik iletkenliği (α), iş parçasının ergime sıcaklığı °C (t_e) olarak gösterilmiştir. Bu denklem ile bulunan iş parçasının kaynak kabiliyeti aşağıda verilen Tablo 5.1.'de açıklanmaktadır [79].

Tablo 5.1. Kaynak kabiliyeti değerlendirmesi

Kaynak Kabiliyeti	Kaynak Kabiliyeti Sonucu
$S < 0,25$	Kötü
$0,25 < S < 0,75$	Yeterli
$0,75 < S < 2$	İyi
$S > 2$	Çok İyi

BÖLÜM 6. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında çok sayıda araştırmacının otomotiv endüstrisinin gelişimi için çalışmalar yaptığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda yapılan deneylerin birbirine benzer olduğu saptanmıştır. Yapılan literatür çalışmasına göre;

Marya ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda DP600 çeliklerin nokta kaynaklı birleştirmelerinin geliştirilmesini incelemişler ve farklı kalınlıklardaki (1,8-1,2mm) galvanizli DP600 çelik sac çiftinin dirneç nokta kaynağı ile kaynatmışlar ve kaynak kırıklarını incelemek için otomotiv endüstrisinde kullanılan testlere tabi tututup sonuçlarını incelemişlerdir. Kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot basma kuvveti gibi birçok parametrenin sac yüzeyindeki çinko eksilmesi üzerine etkisini incelemişler ve nokta direnç kaynağında kaynak kırıklarının mikroyapı ve mekanik özellikler ile ilişkisini araştırmışlardır. Seçilen DP600 çelik çiftinin kimyasal bileşimindeki farklılıklar ve galvaniz kaplamanın mikroyapı üzerindeki etkileri ihmal edilmiş ve kaynak kırıkları için ölçülebilir sonuçlar elde etmişlerdir. Bunun aksine kaynak çaplarında %10'luk farkların, farklı sac kalınlıklarından meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu kaynaklı birleştirmelerin düşük kesme makaslama kuvvetlerine sahip olduğu, büyük büzülme boşluklarına sebebiyet verdiği ve kalın DP600 çelik çiftleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin arayüzeylerinde kırıkların olduğunu gözlemlemişlerdir. İki çelik çifti için daha uzun kaynak sürelerini kullanarak (>20 çevrim), düşük akım (< 9 kA) ve yüksek güçlerde (>900 lb veya 4,0 kN) arayüzeydeki kırıkları ortadan kaldırmışlardır. Bu süreçlerin artması ergime bölgesinde çinko kayıplarını engellerken kaynak çekirdek çaplarında artma görülmüştür. Çinkonun kaynağa etkisi hızlı yapılan kaynaklarda (yaklaşık 5 çevrim) en belirgin şekilde görülmüştür. Katılma çatlakları ve kaynak kırıklarındaki değişimin düşük ergimeden kaynaklandığını bulmuşlardır [65].

Gould ve arkadaşları yaptıkları çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan (AHSS) çeliklerindeki birleştirmelerde kaynak mukavemeti, şekillendirilebilirlik ve darbe direncinin sahip oldukları mikroyapıya bağlı olduğunu belirtmişler ve martenzitik yapıya sahip olan kaynak bölgesinde genellikle azalan mekanik özelliklerin öncüsü olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında kaynaklı bağlantının mikroyapısının çelik türleri ve ölçme cihazlarına bağlı olarak önceden tahmin edilebileceğini söylemiş ve tahmin etmişlerdir. Çalışmanın ilk basamağında elektrik direnç kaynağı, lazer bombardıman kaynağı ve gazaltı kaynaklarında soğutma oranlarını hesaplamışlardır. Daha sonra da termodinamik olarak faz dönüşüm modelleri kullanılarak bir dizi otomotiv (AHSS) çeliklerindeki kritik soğuma hızındaki martenzit dönüşümlerini hesaplamışlardır [66].

Cho ve arkadaşları yapacakları çalışmada elektrik direnç nokta kaynağındaki akım yolundaki karmaşıklıktan dolayı, sıcaklık ile mikroyapı ve faz değişim problemleri gibi termal davranışları analitik olarak tahmin etmek istemişlerdir. Bunun üzerine yaptıkları sonlu elemanlar metodu ile deneysel olarak incelenmiş bir yumuşak çeliğin kaynaklı bağlantısını karşılaştırmışlar sonuç olarak da kaynak nüfuziyetinin kaynak çekirdek boyutu ile ilişkili olduğunu görmüşlerdir [67].

Marashi ve arkadaşları galvanizli düşük karbonlu çelik ile östenitik paslanmaz çelik çiftinin elektrik direnç nokta kaynaklarında mikroyapı ve oluşan kaynak hatalarını incelemişlerdir. İnceledikleri çelik çiftinde direnç nokta kaynaklarında mikroyapı farklılıkları ve kaynak hatalarını incelemişler ve ergime bölgesinde oluşan kaynak hatasının türü ,ergime bölgesinin boyutu ve mikroyapı arasındaki ilişkiyi, nokta kaynaklı birleştirmenin sıyırma testinde gördükleri hatayı galvanizli düşük karbonlu çelik tarafında oluşan ergime bölgesinin boyutu ile ilişkilendirmişlerdir. Ergime bölgesinin sertliği iki metal arasında oluşan ergiyeğin kontrol edilmesi gerektiğini ve galvanizli karbon çeliği tarafında meydana gelen kaynak hatalarının belirlenmesinde en büyük faktörün ergiyik bölge büyüklüğünden meydana geldiğini görmüşlerdir[80].

Harlin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada düşük karbonlu çelik ile sıcak daldırma yöntemi ile çinko kaplanmış düşük karbonlu çelik çiftini elektrik direnç kaynağı ile birleştirmişlerdir. Yaptıkları analizde çinko kaplı düşük karbonlu çelikteki ısı girdisinin kaplı olmayan düşük karbonlu çeliğe göredaha az olduğunu bulmuşlardır [81].

Dong ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda ince nikel kaplı çelik sacların mikro elektrik direnç kaynağı sırasında elektrotun malzemeye yapışması olumsuzluğunu ortadan kaldırmak için elektrot basınç kuvveti, elektrot tipi, elektrot mesafesi, kaynak zamanı, kaynak akımı gibi parametreleri incelemişlerdir. Sonuçlarda nikel kaplı çelik saclar ile elektrot arasında kurulan metalurjik bağın yapışmayı oluşturduğu gözlenmiştir. Kaynak süresinin ve kaynak akımının azaltılması ile elektrot basınç kuvveti ile artan elektrot boşluğu ile yapışmayı azaltmışlardır. Normal elektrotlar (CuCrZr) TiC ile kaplanarak yapılan kaynaklarda elektrot yapışmasının ortadan kalktığı gözlenmiştir [82].

Hilditch ve arkadaşları otomotiv endustrisinde kullanılan gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin (TRIP) elektrik nokta direnç kaynaklı birleştirmeleri hakkında çalışmış ve arayüzeyde oluşan kırılmaları incelemişlerdir. TRIP çelikleri için arayüzeyde oluşan kırıklar, aşırı yüksek direnç ve yorulma özellikleri ile nokta kaynağı sonrası sertlik ve mikroyapılar arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Kaynak sonrası kaynaklı mikroyapıyı değiştirmek için basit ısıtma işlemleri yapmışlardır. TRIP çeliği ile tripsiz çeliğin kaynaklı birleştirilmesinde kaynak havuzunun inceltmesi ile arayüzeydeki kırıklara olan etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak kaynak bölgesindeki sertliğin arayüzeyde oluşan kırılmalarla doğrudan ilgili olmadığını gözlemlemişlerdir. Düşük kaynak çevrimlerinde arayüzeyde kaynak kırılmalarının olduğu ancak yüksek devirlerde kaynaklı birleştirmelerde arayüzey kırıklarının herhangi bir etkisine rastlamamışlardır [83].

Brauser ve arkadaşları otomotiv uygulamalarında kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin deformasyon davranışlarını incelemişlerdir. Farklı yükler altında birleştirmelerin ve montajların güvenlik testleri simülasyon üzerinde yapılmıştır.

Bunu desteklemek üzere TRIP çeliği (HCT690T9 ile mikroalaşımli çeliklerin (HX340LAD) elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılmış birleştirmelerinin deformasyon özelliklerini deneysel olarak çalışmışlardır. Lokal gerilim dağılımını DIC (dijital görüntülü korelasyon) tekniği ile hesaplamışlardır. Elektrik direnç nokta kaynağındaki mikroyapı ve sertlik değerleri seçilen malzeme kombinasyonları ile lokal gerilmeler arasındaki farklılıklarını ele alıp incelemişlerdir. Ayrıca yerel gerilme oranlarını açıklamak için TRIP çeliği içerisindeki kalıntı östenit miktarlarını analiz etmişlerdir. Sonuçlara bakıldığında benzer bir çalışmada da olduğu gibi TRIP çelikleri mikroalaşımli çeliklere göre düşük lokal gerilim değerleri gösterdiğini ve bunun nedeninin kalıntı östenit miktarının azlığından kaynaklanabileceğini söylemişlerdir. Benzer malzemelerin birleştirildiği nokta direnç kaynağında farklı malzemelerin kaynağına göre lokal gerilmelerin daha az olduğu sonucuna varmışlardır [84].

Mei ve arkadaşları yaptıkları çalışmada TRIP 600 çeliğinin özelliklerini incelemişlerdir. % kütsel olarak içeriği %0,11 C, % 1,19 Si, % 1,67 Mn bulunmaktadır. Alın birleştirme yapılan TRIP 600 çeliğinin mekanik özellikleri, tokluk darbe dayanımı, T birleştime için kaynak kaynak ve ITAB bölgelerinin çatlağa duyarlılığı, kaynaklı birleştirmelerin termal yırtılmaya karşı kontrolü 60 ° Y kaynak ağzı açılmış ve MAG kaynağı ile birleştirilmiş TRIP 600 çeliğine uygulanan testlerdir. Testler sonucunda çekme mukavemeti 700 Mpa değerinden daha fazla çıkmıştır. Alın alına yapılan kaynaklı birleştirmeler için ergime bölgesi ve ITAB’ da darbe dayanımı oda sıcaklığında 27 J olarak bulunmuştur. Yapılan birleştirmelerin düşüksıcaklıklarda süneklik davranışlarının iyi olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak çatlamaya duyarlılık testlerinde kaynak yüzeyinde çatlamaların olduğu ve diğer kaynak hatalarının da olduğu gözlenmiştir. Yapılan tüm deneyler sonucunda TRIP 600 çeliğinin kaynak kabiliyetinin iyi olduğu saptanmıştır. Çalışmalarında kullandıkları otomobil traversi mükemmel kaynak kabiliyeti sergilemiştir [85].

Dancette ve arkadaşları TRIP780 çeliği, farklı DP çelikleri, IF çeliğini farklı kombinasyonlarda elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmişler ve mikrotomografi, fraktografi ve metalografikolarak incelemişlerdir. 1. Alt kritik

ısıdan etkilenen bölge ile ana metal arasındaki lokal gerginlik, 2. Kaynağın çevresinde oluşan sünek kesilme, 3. Kaynak çekirdeğindeki yarı gevrek kırılma gibi 3 farklı kaynak hata mekanizmasına rastlamışlardır. Hangi tür kaynak hatası olduğunu göstermek için bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Simule edilen ısı tesiri altındaki bölgelerin çekme testlerinden genel davranışları tespit etmişlerdir. Bu model ile kaynak geometrisinin bir fonksiyonu olarak güvenli bir biçimde yük taşıma kapasitesini ve hasar türünü belirlemişlerdir [86].

Nayak ve arkadaşları yaptıkları çalışmada TRIP çelikleri ergime bölgesine göre üç şekilde sınıflandırmışlardır

- AT: C-Mn-Al
- AST: C-Mn-Al-Si
- ST: C-Mn-Si

Bu sınıflandırmaya göre TRIP çeliklerinin nokta kaynağı sertlik ve faz analizleri mikroyapılarına göre karakterize edilmiştir. Ergime bölgesinin mikroyapısının kimyasal bileşime bağlı olduğu bulunmuştur.

AT çelikleri martenzit bölgeleri ve beynitik bölge ile çevrili ferrit fazı içerir. AST çelik iğnems martenzitler ve aralarında kalıntı östenit ile baynit yapıları göstermektedir. ST çelikleri ise tek fazlı iğnems martenzitler ile aralarındaki östenitten oluşur. Kaynaklanmış bir TRIP çeliği XRD işlemine tabi tutulduğunda ergime bölgesinde Si miktarının artmasıyla östenit fraksiyonunda arttığı görülebilir. AST çeliğinin ergime bölgesi AT ve ST çeliğinin arasında yer alır. ST çeliği ergime bölgesi AT çeliği Ergime bölgesinden tek fazlı martenzit mikroyapı nedeniyle daha sert olmuştur. Lazer ve elektrik direnç nokta kanağı aynı malzemeye yapıldığında soğuma hız oranı daha yüksek olan elektrik direnç nokta kaynağında ergime bölgesinde daha fazla sertliğe rastlanmıştır. Bu sertliği mikroyapıdaki yumuşak ferrit fazındaki azalmaya veya iğnems martenzitik yapının artmasına bağlamışlardır [87].

Sun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bindirme yapılmış gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik direnç kaynağında kaynaklı birleştirmeye kesme makaslama yükü altında enerji Emilimi ve statik mukavemetinin, füzyon bölgesi boyutunun kaynak hatalarına etkisini incelenmişlerdir. DP800 ve TRIP800 çelileri nokta kaynağı yapılacak çelikler olarak seçilmişlerdir. Nokta kaynaklarında en belirgin hasar tipleri kaynak çekirdeğinin büzülmesi ve arayüzeydeki kırılmalardır. Kısmi bir arayüzey kırılması da gözlenmiştir. Sonuç olarak nokta kaynağında DP800 ve TRIP800 çeliklerinde çekirdek büzülmesi hasarına rastlanmıştır. Ayrıca, TRIP800 kullanılan küçük kaynaklarda ve tüm DP800 malzemelerin kaynağında enerji emme ve maksimum yük üzerinde hata türünün güçlü bir etkisi vardır. Çekirdek büzülmesi arayüzeydeki kırılma hatalarından daha yüksek enerji emme istatistiksel yüksek mukaveme sahiptir. TRIP800 kaynaklarında kritik ergime bölgesinde taşınabilecek maksimum yük ve enerji Emilimi azalmaktadır. DP800 ve TRIP800 çeliklerinin her ikisinin de nokta kaynağında ergime alanının büyüklüğü maksimum yük ve enerji Emilimi açısından kaynak kalitesini belirleyen en kritik faktör olduğu sonucuna ulaşmışlardır [88].

Cretteur ve arkadaşları dahaönceleri elektrik nokta direnç kaynağı yapılmış TRIP çeliklerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için farklı çevrim sayıları denemişlerdir. Kaynak öncesi ve sonrasında dört TRIP çeliğinin kaynak kabiliyetini geliştirmek amaçlı ısıtma işlemi üzerine çalışmışlardır. Kaynak öncesi ön tav yaparak ve tutma süresini değiştirerek kaynak sırasında arayüzde oluşacak kaynak kırılmalarını önlemişlerdir [89].

Kim ve arkadaşları kaynak zamanı, kaynak kuvveti ve kaynak akımını değiştirerek optimum kaynak parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. İstenilen kaynak metaline üzerine bu belirttikleri parametrelerin etkisinin olduğunu söylemişlerdir. Sonuç olarak çalıştıkları parametreler ile kaynak metalinin mekanik özelliklerini geliştirmişlerdir [90].

Khan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AHSS çeliklerinden 590R,DP600,DP780 ve TRIP780 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmelerini

incelemişlerdir. Ve geleneksel HSLA (mikroalaşımli) çelikler ile kıyaslamışlardır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerde kullanılan farklı çelik çiftlerinin mekanik özellikleri ve mikroyapıları ayrıntılı olarak açıklamışlardır. Ayrıca kimyasal kompozisyon ile ergime bölgesindeki ilişkiyi incelemişlerdir. Çekme testi sırasında DP600 çeliğinde arayüzeyde kırık görülürken diğer çelikçiftlerinde düğme şeklinde kırılmanın olduğunu bulmuşlardır [91].

Shi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı çelikleri elektrik direnç kaynağı ile birleştirmişler ve TRIP çeliklerinin arayüzeyinde tam ve kısmi kırıkların olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Önlemek amaçlı yaptıkları çalışmada hızlı soğumanın ortadan kaldırılması ve düşük kaynak çevrimlerinin kullanılabileceğini önermişlerdir [92].

Aslanlar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kromatlı galvanizli mikroalaşımli çelik çiftinin (1,2 mm) elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma çekme- kopma mukavemetlerine olan etkisini incelemişler ve optimum kaynak zamanını tespit etmişlerdir. Artan kaynak zamanı ile ısı girdisinin arttığı ve kaynak çekirdek boyutunun arttığı buna bağlı olarak da çekme- makaslama dayanımının arttığını saptamışlardır. Maksimum çekme-makaslama değerini 10kA kaynak akımında 12 ve 15 kaynak çevrimlerinde ve maksimum çekme-sıyırma dayanımı 11 kA kaynak akımında ve 10 kaynak çevriminde elde etmişlerdir [93].

Anık ve arkadaşları düşük alaşımli sacların nokta kaynağında temas direnci problemini çeşitli yüzey koşulları için denemişler ve temas direnci ile çekme makaslama dayanımı arasında kesin bir ilgi bulunmadığını, fakat artan pürüzlülük nedeniyle temas direncinin arttığını saptamışlardır [94].

Minarik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nokta kaynağı yapılmış farklı çeliklerin sıfırın altındaki sıcaklıklarda yaptığı çekme-makaslama dayanımlarını incelemişlerdir [95].

Fidaner ve arkadaşları galvanizli çeliklerin nokta kaynağında elektrotlarda meydana gelen deformasyonu incelemişlerdir etkin olan mekanizmalar ve deformasyon hızının azaltılması için gereken işlemleri incelemişler ve elektrot yüzeyinin yumuşaması, elektrod yüzeyinde alaşımların oluşması, elektrod yüzeyinde çukurlaşmalar gibi deformasyon mekanizmalarını açıklamışlardır [96].

Defourny ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elektrot yüzeyini yeniden işlemeden veya akım yoğunluğunu değiştirmeden, verilen bir kaynak hızında maksimumsayıda yapılabilecek elektrik direnç nokta kaynağı sayısını incelemişlerdir. Elektroliz yoluyla ve sıcak daldırma ile galvanizlenmiş saclar ele alınmış ve nokta kaynağı ile yapıştırma tipi bağlantılar, çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak da elektrot aşınmasını en az düzeyde tutmak için, kaynak hızının, optimum 25 nokta/min de tutulması gerektiğini ve hiç bir zaman 50 nokta/min oranının aşılmaması gerektiğini belirtmiştir [97].

Kimchi, düşük karbonlu çelik sacların nokta kaynağı üzerine yaptığı çalışmada, kaynak süresini ve akım şiddetini değiştirmiş ve bu parametrelerin, bağlantının yorulma dayanımına, yorulma ömrüne ve çekirdek çapına etkilerini çeşitli diyagramlarla açıklamıştır [98].

Lane ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada galvanizli sacların nokta kaynağında kaynak akımında yapılacak değişiklikler ile daha üniform kaynak çekirdeği oluşumunu sağladığını, yaptıkları değişiklikler ile elektrot ile iş parçası ve iş parçalarının arayüzeylerindeki çinko tabakasının erimesine de etkiyerek hem elektrotların yapışmasını geciktirici hem de temas direncini olumlu yönde etkilediğini söylemişlerdir [99].

Vural yaptığı çalışmada galvanizli çelik sacların karbonlu ve ferritik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına etkisini incelemiştir [100].

Brown yapmış olduğu çalışmada düşük karbonlu ve yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çeliklerin hem kaplanmış hem de galvanizli hallerde ki kaynak edilebilirliklerini araştırmıştır. Çalışmanın sonucuna göre doğru akımla yapılan kaynak alternatif akıma göre % 27 daha düşük bir akımda kaynaklanmanın mümkün olduğunu tespit etmiş, herhangi bir kaynak süresinde kullanılan kaynak akımı alanının doğru akım kullanımında daha geniş olduğu ve doğru akımla yapılan kaynaklarda elektrot ömrünün yaklaşık olarak 3 kat artış gösterdiğini saptamıştır[101].



BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Genel

Bu çalışmada, otomobil sektöründe kullanılan iki farklı galvaniz ve kromat kaplı saclar birbirleri ile eşleştirilmiş ve elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Yapılan birleştirme işlemlerinde elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma süreleri sabit tutularak kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilmiştir. Kullanılan her parametre için mikro ve makroyapı incelemesi, mikro sertlik ölçümü ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme testleri uygulanmıştır.

7.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Malzemeler

Otomobil endüstrisinde şase yapımında kullanılan iki yüzü de galvaniz ve kromat kaplı 1,5 mm kalınlığında TRIP 800 ve destek elemanı, kaporta sacı ve otomobilde yüksek şekil verilecek alanlarda kullanılan 1 mm kalınlığına sahip iki yüzeyi de galvanizli mikro alaşımlı DX56D+Z MB0100 sacları kullanılmıştır. Kullanılan sacların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 7.1, Tablo 7.2 ve Tablo 7.3’ de verilmiştir.

Tablo 7.1. TRIP 800 sacının kimyasal bileşimi (%)

%C	%P	%Mo	%Ti	%Sn	%Si	%S	%Ni	%Cu	%V
0,179	0,011	0,025	0,014	0,01	1,719	0,007	0,074	0,1	0,013
%Mg	%Mn	%Cr	%Al	%Nb	%W	%Fe			
0,001	1,691	0,065	0,027	0,053	0,04	95,902			

Tablo 7.2. DX56D+ Z MB0100 mikro alaşımlı çeliğin kimyasal kompozisyonu (%)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Si	%Fe
0,12	0,50	0,60	0,10	0,045	0,30	98,33

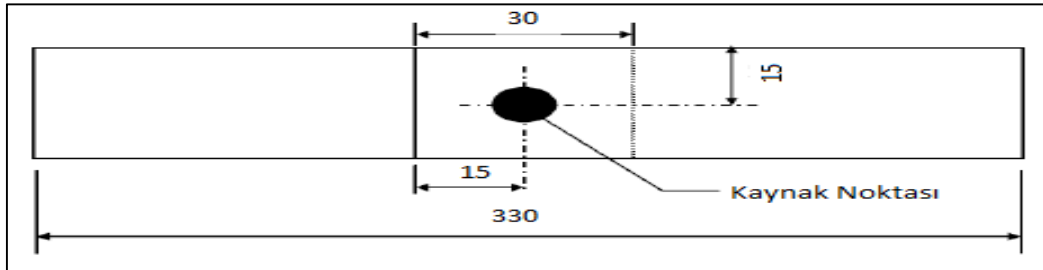
Tablo 7.3. TRIP 800 ve DX56D+ Z MB0100 mikro alaşımlı çeliklerin mekanik özellikleri

	Malzeme Kalınlığı (mm)	Akma Dayanımı (Mpa)	Kopma Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı/ Kopma Dayanımı	% Uzama
TRIP 800	1,50	523	881(min780	0,611	36
DX56D+ Z	1	171,4	337,5	0,507	39

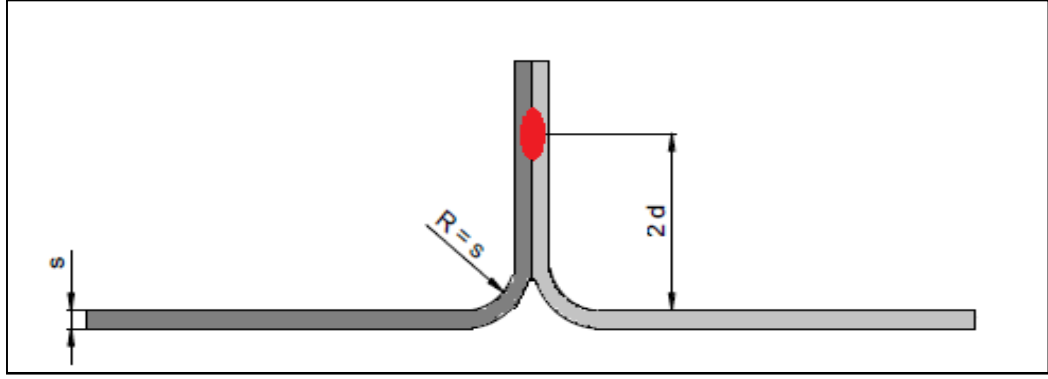
7.3. Kullanılan Malzemelerin Boyutları ve Deneye Hazırlanmaları

Kaynaklı birleştirmeler için seçilmiş olan sac lar giyotin makas ile istenilen boyutlarda (100x30) kesildikten sonra % 99,6 saflıkta aseton banyosunda yıkanarak yüzeyde bulunan yağ, kir, pas gibi yabancı maddeler temiz bir bezle silinerek kurulanmış ve arındırılmıştır.

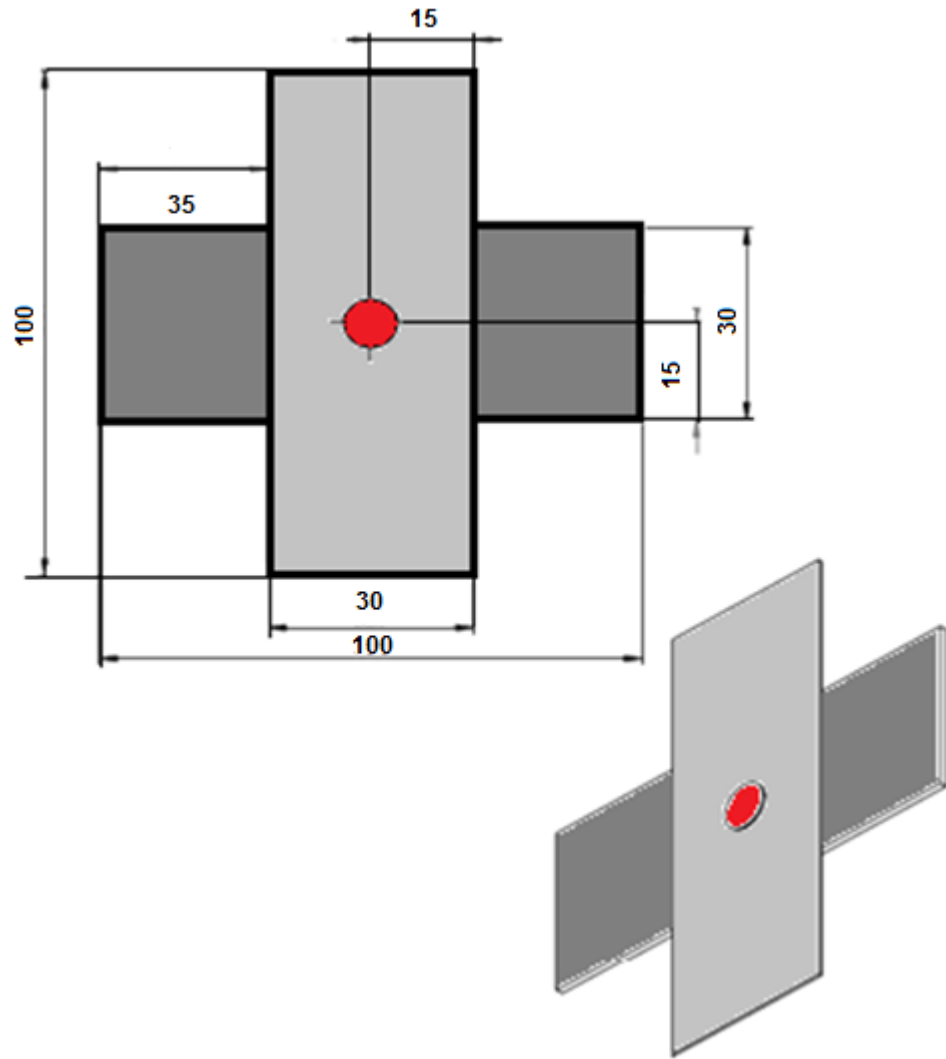
Çekme- Makaslama deneyinde kullanılacak numuneler EN ISO 14270 [102] standartlarında hazırlanmış ve boyutları Şekil 7.1’ de şematik olarak verilmiştir. Çekme – Sıyırma deneyinde kullanılacak numuneler EN ISO 14273 [103] standardına göre hazırlanmış ve deney numunelerinin boyutları Şekil 7.2’ de şematik olarak verilmiştir. Çapraz Çekme Deneyi için hazırlanan deney numuneleri EN ISO 14272 [104] standardına göre hazırlanmış ve boyutları Şekil 7.3’ de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 7.1. Çekme – Makaslama deney numuneleri



Şekil 7.2. Çekme – Sıyırma Deney numuneleri



Şekil 7.3. Çapraz Çekme Deney numuneleri

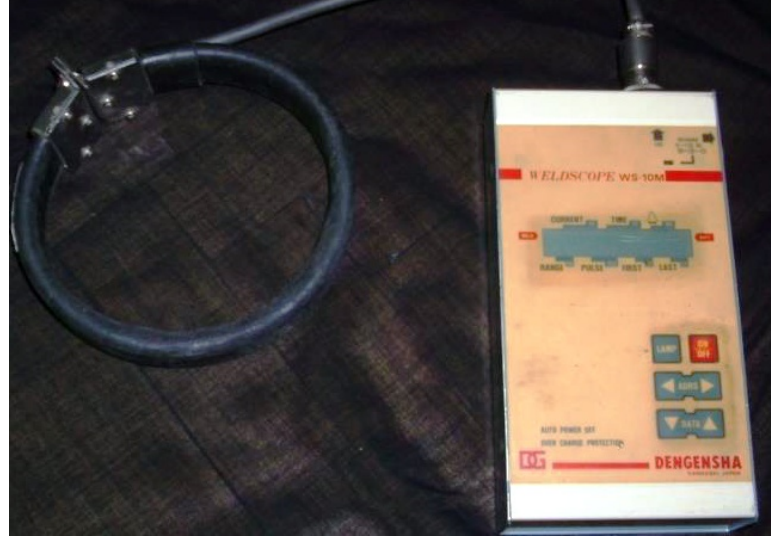
7.4. Birleştirmelerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Cihazı

Yapılan seri birleştirmelerin hepsinde 120 kVA akım değerine sahip ve kaynak zamanı kontrol edilebilen, pnömatik sisteme sahip elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Kullanılan bu makinenin parametre ayarları üzerindeki elektrik donanımdan ayarlanabilmektedir. Kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi şekil 7.4.'de gösterilmiştir.

Seri birleştirmelerde kullanılan akım değerleri makinenin alt ve üst çenesine bağlanan akımölçer aracılığı ile ölçölmüştür. Kullanılan akım ölçme cihazı şekil 7.5.'de gösterilmiştir.



şekil 7.4. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi



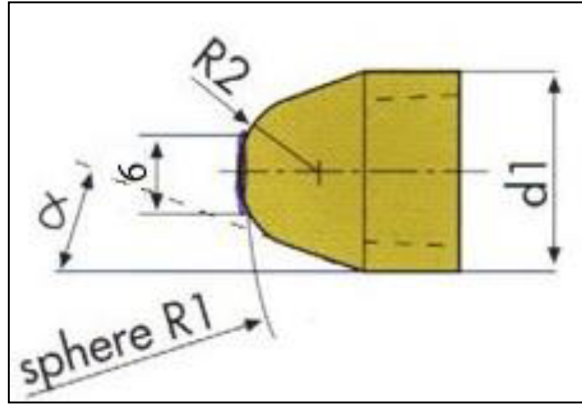
Şekil 7.5. Akım ölçme cihazı

7.5. Seçilen Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları

Yapılan deneylerin hepsinde konik uçlu küresel sıkı geçmeli direnç nokta kaynak elektrotları kullanılmıştır. Sıkı geçme olan elektrotlar su soğutması sayesinde sürekli soğutulmuştur. Elektrot temas yüzey çapı 6 mm olarak seçilmiştir. Şekil 8.6' da elektrotlar şematik olarak verilmiştir. Deneylerde kullanılan elektrotlar Cu-Cr-Zr alaşımı olmakla birlikte Tablo 7.4' de kimyasal bileşimi gösterilmiştir.

Tablo 7.4. Kullanılan elektrotların kimyasal bileşimi ve özellikleri

Alaşım	Kimyasal Bileşim (%)	Isıl İletkenlik (J/Cms °K)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)
CuCrZr	Cr>4			
(RWMA/DIN 44759 Sınıf 2)	Zr >0,03	320	590	48
	Cu 95,97			



Şekil 7.6. Elektrotların şematik gösterimi

7.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Önceden hazırlanmış sac çiftleri üst üste bindirilmek suretiyle kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.7.'de yapılan ön deneylere ait temsili numuneler gösterilmiştir.

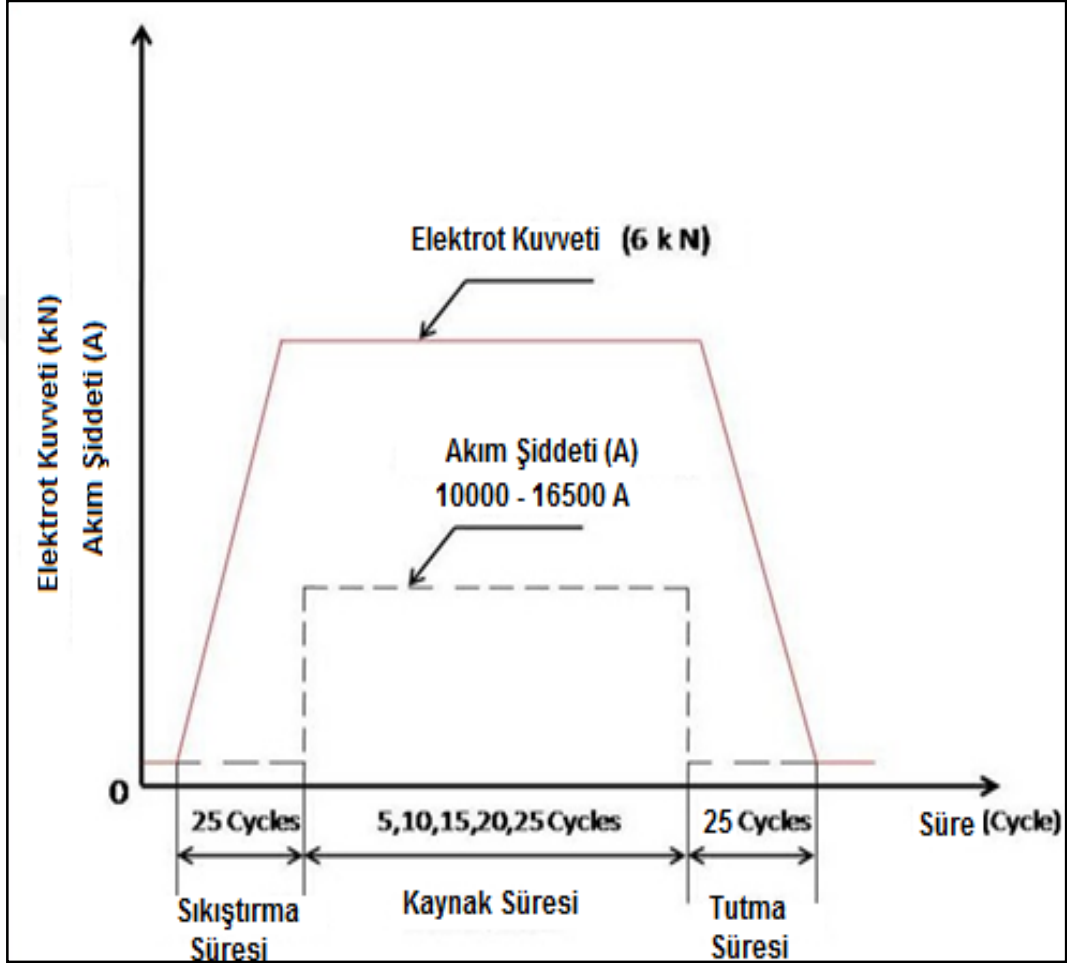


Şekil 7.7. Parametrelerin belirlenmesi için elde edilen numune resimleri

7.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması

Deney numuneleri Şekil 7.1., Şekil 7.2. ve Şekil 7.3.'de şematik olarak gösterilen ebatlarda hazırlandıktan sonra gerekli yüzey temizlikleri yapılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Deney numunelerinin hepsinde elektrot kuvveti sabit tutulmuş (6 kN) ve yapılan birleştirmeler esnasında sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kaynak süreleri ön deneyler sonucunda 5,10,15,20,25, ve 30 periyot (1 periyot kaynak süresi =0,02 sn) belirlenmiş ve seçilen her kaynak akımı için (8500 A-16500A aralığında) değiştirilerek kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Bununla birlikte sıkıştırma süresi ve tutma süresi 25 periyot olarak sabit tutulmuştur. Kullanılan kaynak parametreleri Şekil 7.8.'de şematik olarak gösterilmektedir. Tüm kaynaklı birleştirmelerde elde edilen numuneler EN ISO 14373 [108] standardına uygundur.



Şekil 7.8. Elektrik direnç nokta kaynak parametreleri

Çekme deneylerinde kullanılan numuneler haricinde mikrosertlik, mikroyapı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri için aynı kaynak parametrelerinde farklı deney numuneleri elde edilmiştir.

Uygun parametrelerde elde edilen elektrik direnç nokta kaynağı birleştirmelerine ait bazı resimler Şekil 7.9., Şekil 7.10. ve Şekil 7.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Çekme – Makaslama deney numuneleri



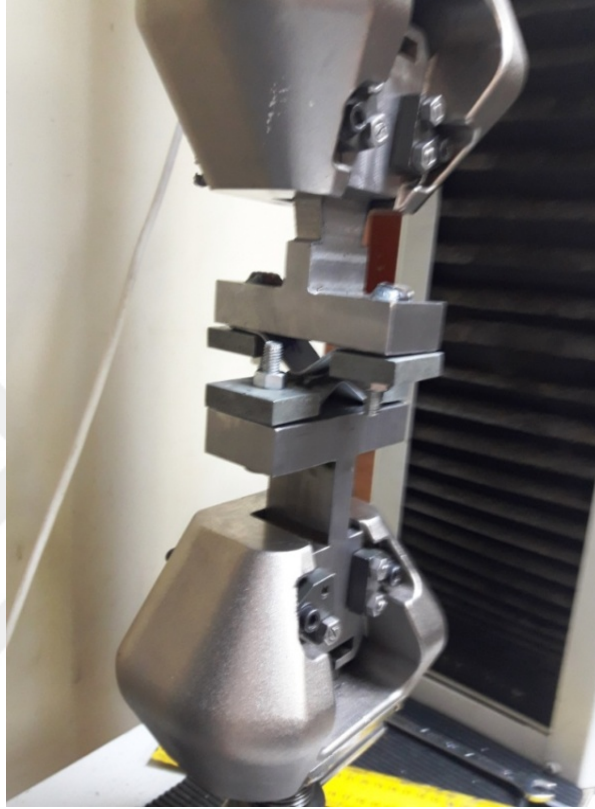
Şekil 7.10. Çekme – Sıyırma deney numuneleri



Şekil 7.11. Çapraz çekme deney numuneleri

Her bir deney parametresi için on adet elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiş numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerden üç tanesi çekme –

makaslama, üç tanesi çekme – sıyırma ve son üç tanesi de çapraz çekme testlerine tabi tutulmuştur. Çapraz çekme deneyi Şekil 7.12’ de gösterilmiştir. Bunlara ek olarak onuncu numune ise sertlik ölçümleri (mikro vickers), makroyapı (çekirdek boyutunun ölçülmesi) , mikroyapı ve SEM görüntülerini almak için kullanılmıştır.



Şekil 7.12. Çapraz çekme deneyi

7.8. Çekme-Makaslama, Çapraz Çekme ve Çekme – Sıyırma Deneyleri

Her bir deney parametresinde Şekil 7.9, Şekil 7.10. ve Şekil 7.11.’ e göre üçer tane elde edilen numuneler laboratuvar ortamında bulunan Shimadzu marka (Şekil 7.13.) 5 ton kapasiteye sahip çekme basma deney cihazında çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme esnasında çekme hızı 10 mm/min olarak ayarlanmıştır. Çekme parametreleri kontrol ünitesinden kuvvet – zaman grafikleri elde edilmiş ve çekme esnasında maksimum kuvvet okunmuştur.

Çekme – makaslama deneyi sırasında üç tür hasar tipine rastlanmıştır. Bunlar;

- Yırtılma
- Ayrılma
- Düğmelenme şeklindedir.

Oluşan hasar tipleri Tablo 7.5.'de gösterilerek detaylı olarak incelenmiştir.

Tablo 7.5. Oluşan hasar tipleri örnekleri

Çekme – Makaslama Deneyi sonucunda oluşan hasar tipleri

- 1- Yırtılma
- 2- Düğmelenme
- 3- Ayrılma



Çekme – Sıyırma Deneyi sonucunda oluşan hasar tipleri

- 1- Ayrılma
- 2- Düğmelenme
- 3- Yırtılma





Şekil 7.13. Deneylerde kullanılan 5 tonluk çekme – basma cihazı

7.9. Çekirdek Boyutunun Ölçülmesi ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi

Yapılan kaynaklı birleştirmelerin hepsinde farklı parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerin en önemlileri kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanıdır. Bu bağlamda kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin birleştirmelerde oluşan çekirdeğin boyutu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, bakalite alınıp metalografik işlemler sonrasında elde edilen numunelerin makro boyutta resimleri çekilerek çekirdek boyutları ölçülmüştür. Ölçme işlemi EN ISO 14329 standardına göre Şekil 7.14.'de verilmiş olan Nikon marka optik mikroskopla gerçekleştirilmiştir [110].



Şekil 7.14. Çekirdek boyutu ölçümünde kullanılan optik mikroskop

7.10. Optik Mikroskop ile Yapılan Çalışmalar

Yapılan kaynaklı birleştirmelerin her birinden alınan deney numuneleri, kaynak çekirdeğinin tam ortasından kesilmiş ve sıcak bakalite alma yöntemiyle bakalite alınmıştır. Bakalite alınan her numune de metalografik inceleme işlemi için sulu zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilmiştir. Daha sonra bu numuneler % 3'lük nital çözeltisi ile dağlanarak mikroyapı incelemesine geçilmiştir. Bu işlemde esas metal, çekirdek ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri çekilmiş ve kaynak sonrasında birleştirmede oluşan mikroyapı değişimleri titizlikle incelenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde Şekil 7.15.'de gösterilen Nikon marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 7.15. Nikon marka optik mikroskop

7.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Yapılan Çalışmalar

Mikroyapı görüntüleri alınan her numune için SEM incelemesi gerçekleştirilmiştir. SEM incelemesi için BOR Çelik fabrikasının AR-GE merkezinde bulunan Şekil 7.16.'deki Taramalı Elektron Mikroskop (Zeiss Evo 50) + Bruker EDS Analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.16. Analiz için kullanılan taramalı elektron mikroskobu

7.12. Sertlik Değerlerinin Ölçülmesi

Kaynak zamanının ve kaynak akım değerinin sertlik üzerine olan etkisini incelemek için, elde edilmiş olan her bir numunenin sertlik değerleri mikro sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Mikro sertlik ölçümlerinde 200 g yük kullanılmış (HV 0,2), 10 s süre zarfında konik uçlu batıcı ucun numune üzerine batmasıyla ölçülmüş ve değerler Vickers olarak bulunmuştur. Kaynak bölgesi iki farklı malzemeden oluştuğu için çekirdek bölgesinin sol üst kısmından başlayarak çekirdek bölgesinin sağ alt kısmına doğru çapraz bir yol izlenerek 0,2 mikron aralıklarla alınmıştır. Ölçümlerin hepsi EN ISO 14271 standardına göre Şekil 7.17.'de gösterilen Wolpert – Wilson marka cihaz ile laboratuvar şartlarında yapılmıştır [111].



Şekil 7.17. Mikro sertlik ölçüm cihazı

BÖLÜM 8. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ

8.1. Genel

Bu çalışma kapsamında 1,5 mm kalınlığında TRIP 800 ve 1 mm kalınlığında mikroyapılı otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik sac lar birbirleri arasında eşlenerek elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değişken parametreler olarak seçilmiş ve bunlara bağlı olarak da bu parametrelerde oluşan çekirdek geometrisin mekanik özelliklere ve mikroyapı özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Tüm deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

8.2. TRIP 800 ve Mikroyapılı Çelik Sac ların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Makaslama, Çekme-Sıyırma ve Çapraz Çekme Dayanımına Etkisi

Çalışmamızda değişken kaynak parametrelerinden olan kaynak süresi ve kaynak akım şiddetinin birleştirmelerdeki çekme dayanımına etkisini incelemek amacıyla numuneler EN ISO 14273 [102] standardına uygun olarak çekme – makaslama, EN ISO 14270 [103] standardına uygun olarak çekme – sıyırma ve EN ISO 14272 [104] standartlarına uygun olarak çapraz çekme testlerine tabii tutulmuşlardır. Her bir kaynak parametresi için üç adet kaynaklı bağlantı hazırlanmış ve üç testin ortalaması alınarak kaynaklı bağlantının çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme deneylerinde maksimum çekeceği kuvvet değerleri tespit edilmiştir.

Tüm kaynaklı bağlantıların çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme dayanımlarını belirlemek için 5,10,15,20,25, ve 30 periyot kaynak sürelerinde 8500

A, 9000 A, 9500 A, 10000 A, 10500 A, 11500 A, 12500 A, 13500 A, 14500 A, 15000 A, 15500 A, 16000A ve 16500 A kaynak akım şiddetlerinde kaynaklı birleştirmeler elde edilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler için parametreler ve numune adetleri Tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 8.1. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda Çekme – Makaslama numunelerinin durumları

ÇEKME - MAKASLAMA, ÇEKME - SİYIRMA ve ÇAPRAZ ÇEKME							
DENEYLERİ İÇİN ELDE EDİLEN NUMUNELER							
YAKLAŞMA VE TUTMA ZAMANI 25 Cycle	AKIM ŞİDDETİ (A)	KAYNAK SÜRESİ (Cycles)					
		5 PERİYOT	10 PERİYOT	15 PERİYOT	20 PERİYOT	25 PERİYOT	30 PERİYOT
	8500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	9000	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	9500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	10000	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	10500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	11500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	12500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	13500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	14500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	15000	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	15500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	16000	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	16500	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
	Topam numune	78 Adet	78 Adet	78 Adet	78 Adet	78 Adet	78 Adet
Her Deney Çeşidi İçin 468 Numune							
ELEKTROT KUVVETİ 6 kN							

8.2.1. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800-Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi

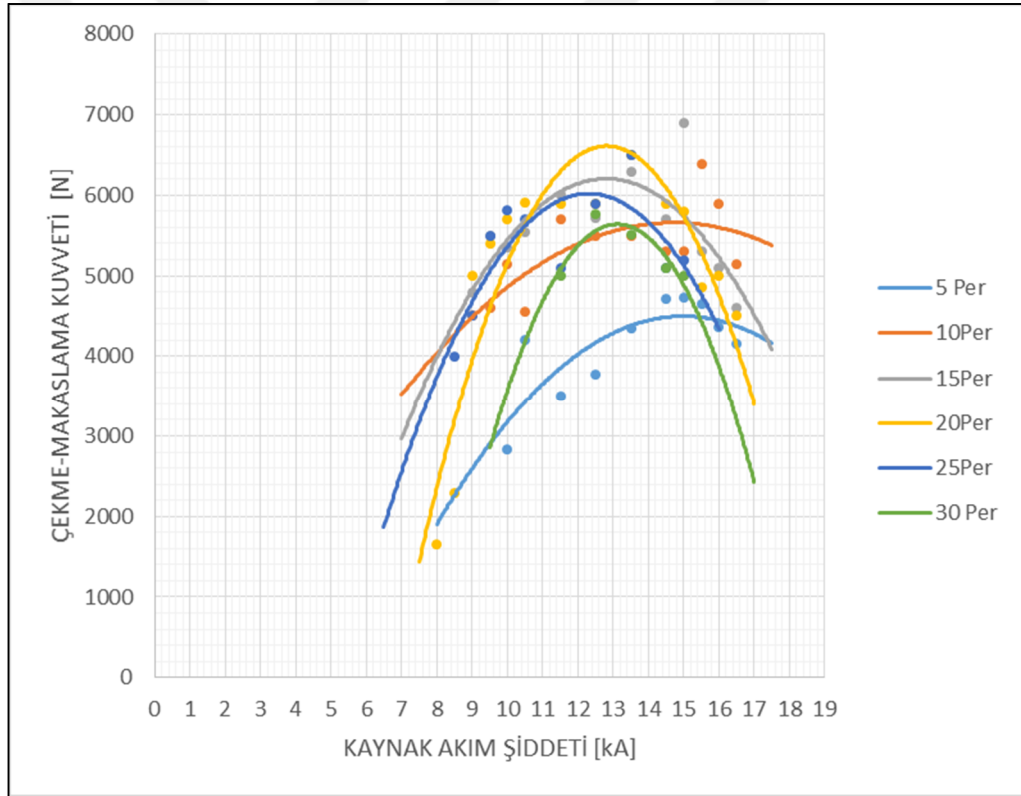
Şekil 8.1’ de görüldüğü gibi TRIP 800 – Mikroalaşımli sac çiftinden oluşan bağlantıların kaynak akım şiddetinin artması ile birlikte çekme – makaslama dayanımı da artmaktadır. En yüksek çekme – makaslama kuvveti 20 Periyot kaynak süresive 13500 A akım şiddetinde elde edilmiştir.

10 Periyot kaynak süresinde en yüksek çekme - makaslama dayanımına sahip kaynaklı birleştirme 15500 A’de 5600 N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilebilir akım şiddeti aralığı 9000 A – 15500 A’dır.

15 Periyot kaynak süresinde en yüksek çekme – makaslama dayanımına sahip kaynaklı birleştirme 13000 A'de 6210 N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilebilir akım şiddeti aralığı 9000 A – 13000 A'dir.

20 Periyot kaynak süresinde en yüksek çekme – makaslama dayanımına sahip kaynaklı birleştirme 13000 A'de 6600 N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilebilir akım şiddeti aralığı 9000 A – 13500 A'dir.

25 Periyot kaynak süresinde en yüksek çekme – makaslama dayanımına sahip kaynaklı birleştirme 12500 A'de 6000 N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilebilir akım şiddeti aralığı 9500 A – 13500 A'dir.



Şekil 8.1. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Çekme-Makaslama dayanımına etkisi

30 Periyot kaynak süresinde en yüksek çekme – makaslama dayanımına sahip kaynaklı birleştirme 13000 A'de 5610 N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilebilir akım şiddeti aralığı 11000 A – 13500 A elde edilirken bu değerlerin

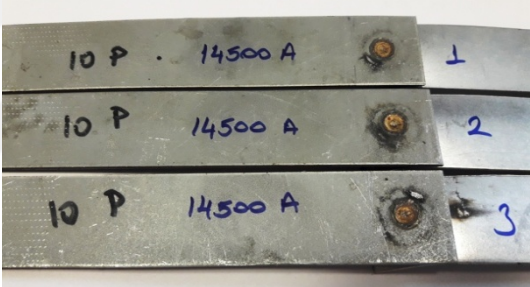
üzerinde ısı girdisinin çok miktarda artmasından dolayı dalma derinliği mikro alaşımlı sacın kesitine kadar erişmiş ve fişkırmalar artmıştır.

Bundan dolayı da iki malzemenin arasında oluşan ergime miktarı artarak kesit daralmasına sebep olmuştur. Elektrotun malzeme yüzeyine yapışması, malzemeyi delmesi ve derin elektrot izleri oluşturması ve oluşan renk değişimi Tablo 8.1’ de gösterilmektedir. Bu bağlamda da çekme – makaslama kuvvetinin azaldığı gözlenmektedir. Elektrik direnç nokta kaynağı literatürüne yerleşmiş çalışmalarda da benzer sonuçların olduğu saptanmıştır [71, 113-116].

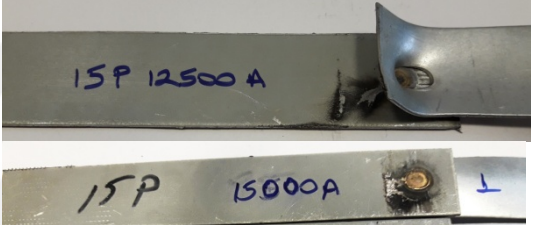
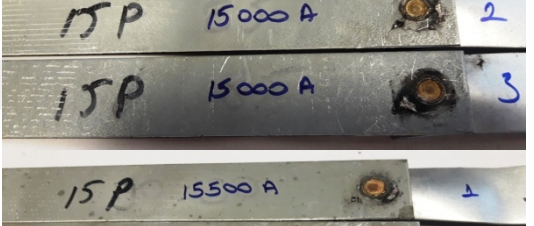
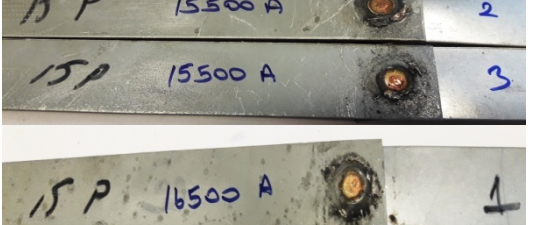
8.2.2. Kaynak süresinin TRIP 800-Mikroalaşımlı bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 8.2.’de görüldüğü gibi kaynaklı birleştirmelerde kaynak akım süresinin artmasıyla kaynak bölgesindeki ısı girdisi de artmaktadır. Isı girdisinin artması çekme – makaslama dayanımında da belirli bir noktaya kadar arttırmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerde olması gereken çekme – makaslama dayanımını veren numuneler 10 ve 15 Periyot kaynak sürelerinde 9000 A – 15500 A kaynak akım şiddeti aralığında ve en yüksek dayanım 6000 N, 15 ve 20 Periyot kaynak sürelerinde, 9000 A – 13000 A akım şiddetlerinde ve en yüksek dayanım 6580 N, 20 ve 25 Periyot kaynak sürelerinde 9000 A ve 13500 A akım şiddeti aralığında ve en yüksek dayanım 6520 N, 25 ve 30 Periyot kaynak süresi aralığında ve 9000 A – 12000 A akım şiddeti aralığında ve en yüksek dayanım 6600 N olarak elde edilmiştir. 5 Periyot kaynak süresinde ısı girdisinin az olmasından dolayı gerekli olan dayanım elde edilememiştir. Kaynak süresi belirli bir değere çıktıktan sonra elektrik direnç nokta kaynağında olması istenmeyen kaynak çekirdek kesitinden fişkırmalar başlamıştır. Bu fişkırmalar nedeni ile çekme – makaslama dayanımı da düşüş göstermiştir. Literatürdeki çalışmalarda da buna benzer veriler ortaya çıkmıştır [71,113-118].

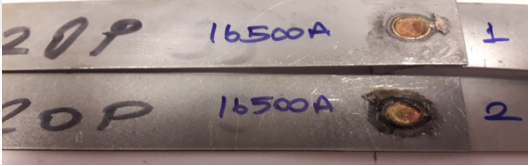
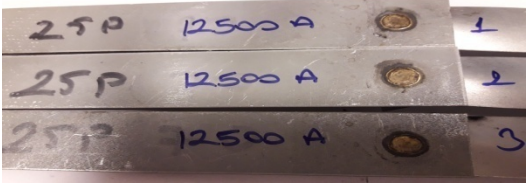
Tablo 8.2. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda Çekme – Makaslama numunelerinin durumları

Kaynak Süresi (CYCLE)	KAYNAK AKIMI (A)	DURUM	Kaynaklı Numune
10 P	12500	-Fıskırma Başlangıcı	
10 P	13500	-Elektrot Yapışması -Renk Değişimi	
10 P	14500	-Yapışma Arttı -Fıskırma Başlaması	
10 P	15000	-Yapışma Hat Safhada -Renk Değişimi -Fıskırma Artışı	

Tablo 8.1. (Devamı)

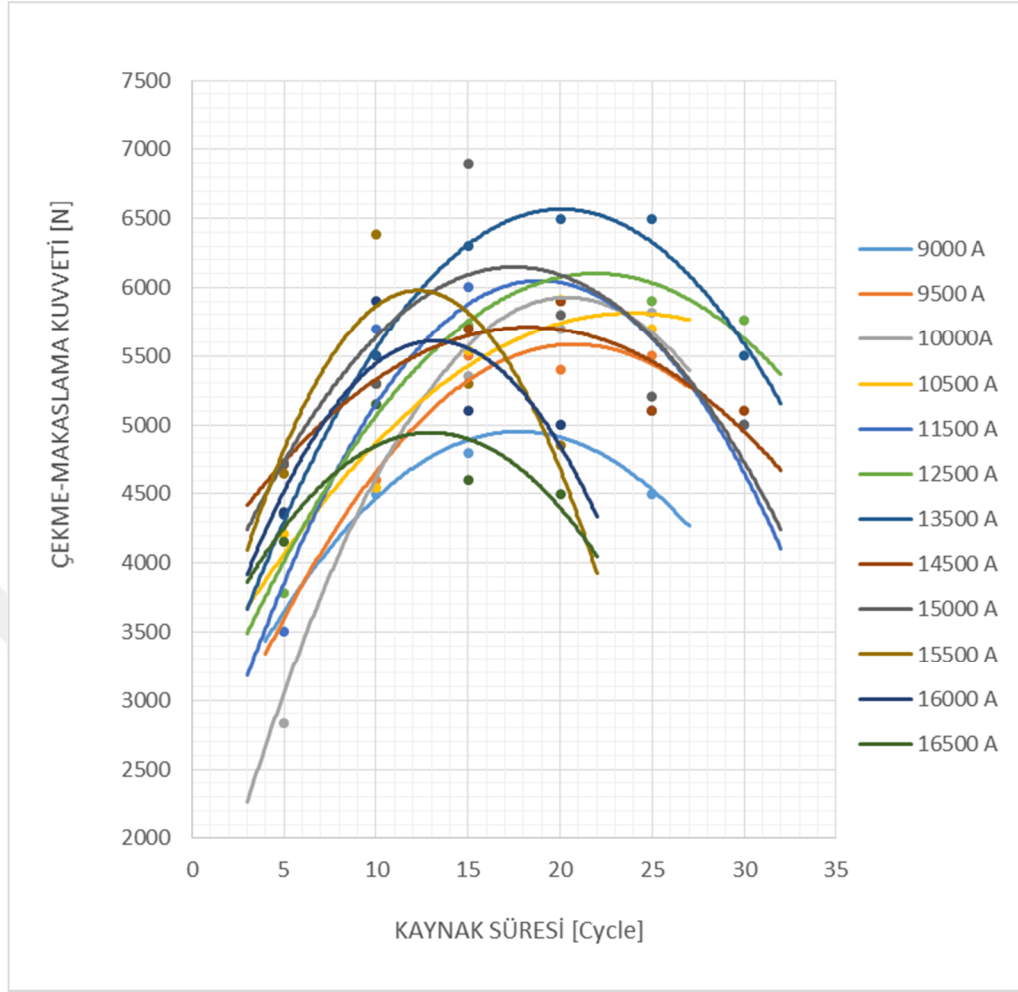
10 P	16500	-Derin Elektrot İzi -Fıskırma Çok Fazla	
15 P	12500	-Fıskırma Başlangıcı	
15 P	15000	-Elektrot Yapışması -Derin Elektrot İzi -Renklenme	
15 P	15500	-Daha Fazla Elektrot Yapışması -Derin Elektrot İzi -Aşırı Renklenme	
15 P	16500	-Aşırı Fıskırma -Elektrot Yapıştıktan Sonra Ayrılmadı -Kaynak Çekirdeğine Elektrot Parçaları girdi -Çok Derin Elektrot İzi	
20 P	12500	-Fıskırma Başladı	

Tablo 8.1. (Devamı)

20 P	14500	-Elektrot Yapışmaya Başladı -Derin Elektrot İzi -Fıskırma Arttı	 
20 P	15500	-Aşırı Fıskırma -Kaynak Çekirdeğine Elektrot Parçaları girdi -Çok Derin Elektrot İzi -Aşırı Renklenme	 
20 P	16500	-Elektrot Tam Yapıştı -Elektrot Yapıştıktan Sonra Ayrılmadı -Aşırı Fıskırma	
25 P	10500	-Fıskırma Başlangıcı	
25 P	12500	-Fıskırma Artışı -Renklenme Başlangıcı	

Tablo 8.1. (Devamı)

25 P	15000	-Elektrot Yapıştıktan Sonra Ayrılmadı -Renklenmede Artış -Aşırı Fıskırma -Çok Derin Elektrot İzi	
30 P	9500	-Fıskırma Başlangıcı	
30 P	12500	-Fıskırma Artışı -Renklenme Başlangıcı	
30 P	14500	-Elektrot Yapıştıktan Sonra Ayrılmadı -Renklenmede Artış -Aşırı Fıskırma -Çok Derin Elektrot İzi	

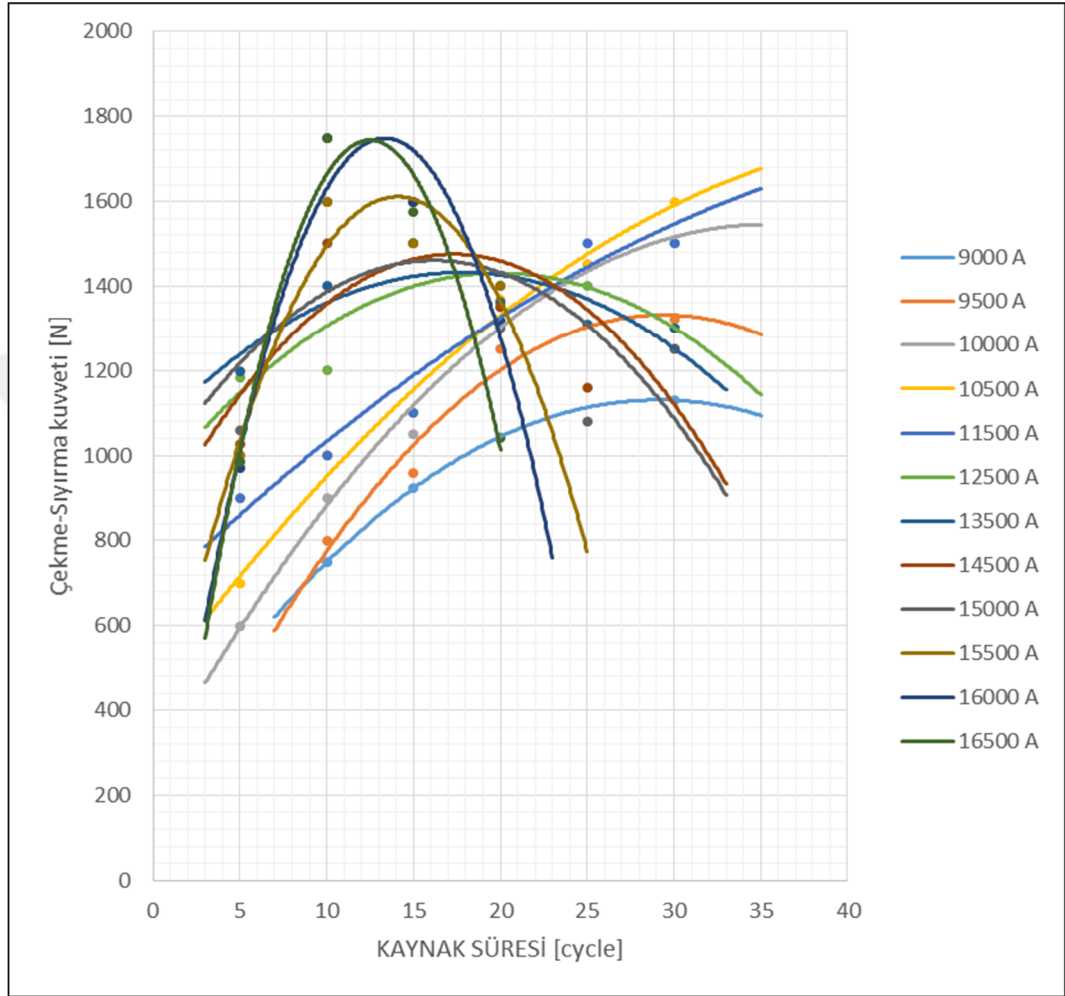


Şekil 8.2. TRIP 800-Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin Çekme-Makaslama dayanımına etkisi

8.2.3. Kaynak süresinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çekme – sıyrma dayanımına etkisi

Kaynak süresindeki artış ile çekme - sıyrma dayanımının arttığı Şekil 8.3.'de görülmektedir. Kaynaklı bağlantılarda gerekli olan dayanıma sahip numuneler 25 ve 30 periyot kaynak süresi arasında 10000 A'de en yüksek dayanım 1460 N, 10500 A'de en yüksek dayanım 1600 N ve 11500 A akım şiddetinde en yüksek dayanım 1475 N; 15 ve 20 periyot kaynak sürelerinde 11500 A'de en yüksek dayanım 1430 N, 12500 A'de 1418 N, 13500 A' de en yüksek dayanım 1417 N, 14500 A'de en yüksek dayanım 1430 N ve 15000 A'de en yüksek dayanım 1419 N ; 10 ve 15 periyot kaynak sürelerinde tüm akım şiddetlerinde en yüksek dayanım 1718 N olarak elde edilmiştir.

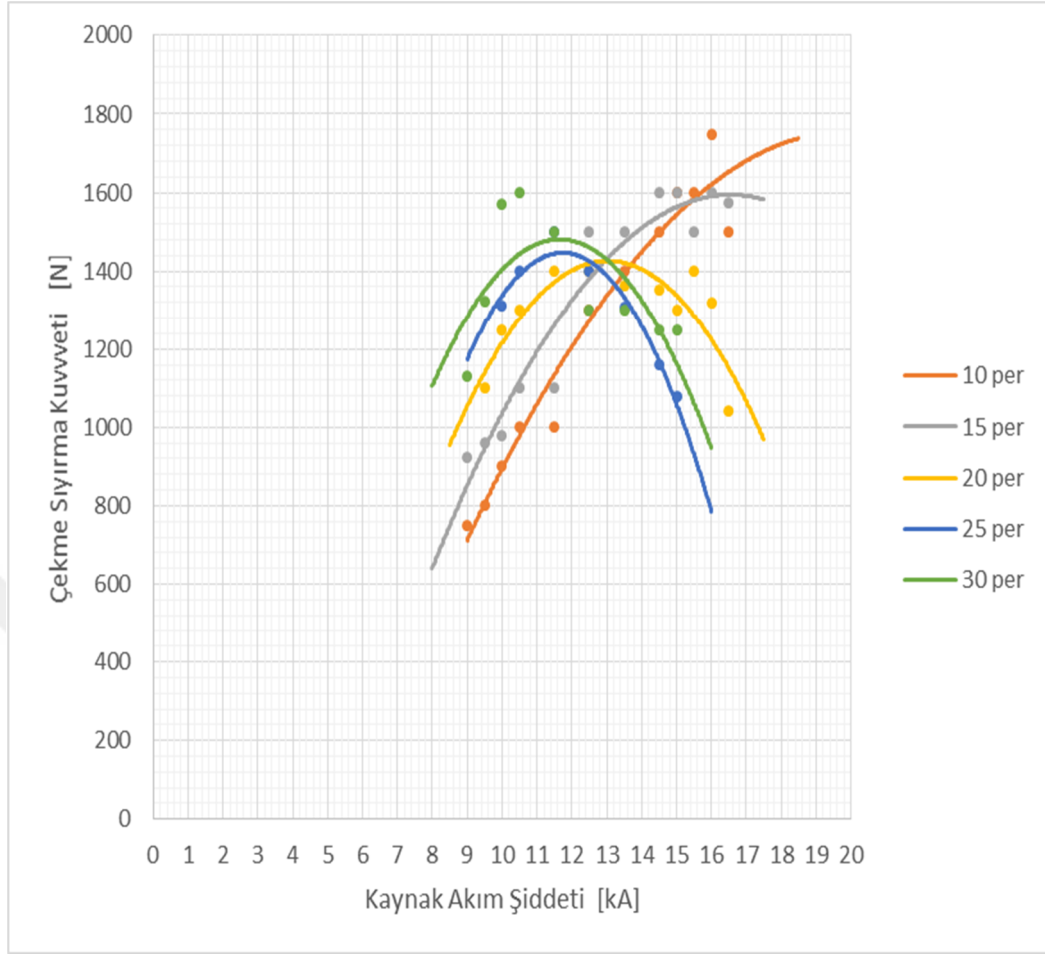
Bu değerlerden sonra ısı girdisinin artışına paralel olarak toplam elektrot dalma derinliği toplam kesitin % 20 sini geçmesinden dolayı kaliteli bir kaynaklı bağlantı oluşmamaktadır. Bu nedenle çekme - sıyrma dayanımı düşmektedir.



Şekil 8.3. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin çekme – sıyrma dayanımına etkisi

8.2.4. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çekme – sıyrma dayanımına etkisi

Kaynak akım şiddetindeki artış ile çekme - sıyrma dayanımının arttığı Şekil 8.4’ de görülmektedir. 5 periyot kaynak süresinde yapılan kaynaklı birleştirmelerde gerekli olan çekme – sıyrma dayanımı elde edilememiş ve bu birleştirmelerde kendiliğinden ayrılma gözlemlenmiştir.



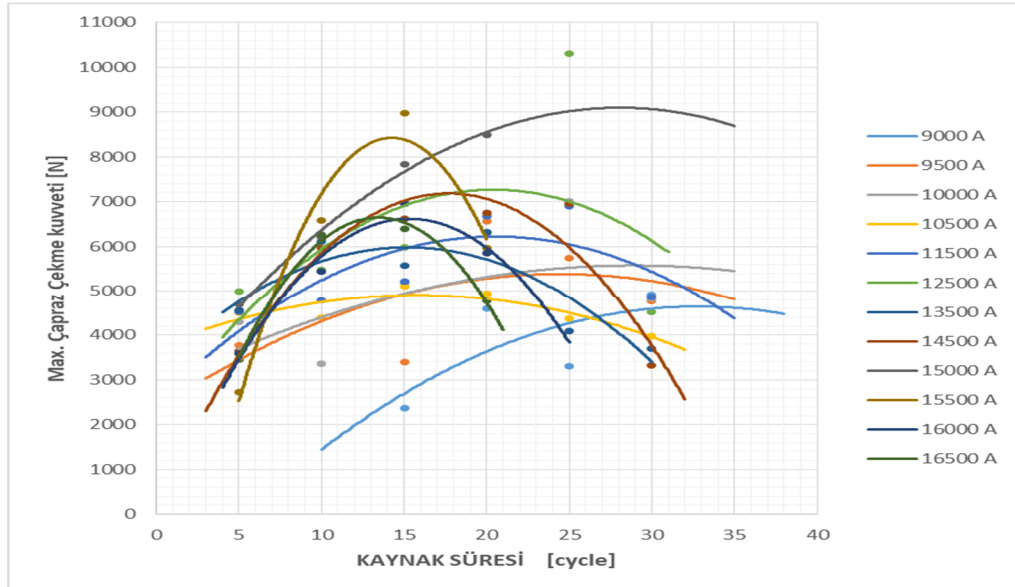
Şekil 8.4. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Çekme – Sıyırma dayanımına etkisi

10 ve 15 periyot kaynak sürelerinde yapılan kaynaklı bağlantılarda çekme – sıyırma dayanımı akım şiddetinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Diğer periyotlarda kaynak süresinin artmasıyla 12000 A akım şiddetine kadar çekme – sıyırma dayanımlarında artış gözlemlenmiş, daha üst akım şiddetlerinde çekme – sıyırma dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. 10 periyot kaynak süresinde 9000 A – 13500 A akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 1635 N, 15 periyot kaynak süresinde 9000 A – 16500 A akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 1600 N, 20 ve 25 periyot kaynak süresinde 9000 A – 12500 A akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 1437 N, 30 periyot kaynak süresinde 8000 A – 12500 A akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 1480 N olarak elde edilmiştir. Bu akım şiddetlerinin üzerine çıkıldığında dayanımda ısı girdisinin artmasına bağlı olarak düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi de ısı girdisinin artmasından kaynaklı malzemelerde aşırı ergime ve buna bağlı olarak ergimiş bölgenin fışkırması ve elektrot dalma derinliğinin artması

ile kesitte oluşan daralmadan meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan literatür çalışmasında elde edilen çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [71,111-118].

8.2.5. Kaynak süresinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çapraz çekme dayanımına etkisi

Kaynak süresindeki artış ile çapraz çekme dayanımının arttığı Şekil 8.5’ de görülmektedir. Ancak, bu artış belirli bir noktadan sonra düşüş göstermektedir. Kaynaklı bağlantılarda istenen dayanıma sahip numuneler 20, 25 ve 30 periyot kaynak süresi aralığında en yüksek dayanım 9000 A’de 4580 N, 9500 A’de 5210 N, 10000 A’de 5600 N ve 15000 A’de 9100 N; 15 ve 20 periyot kaynak sürelerinde 9000 A – 15000 A kaynak akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 8600 N ve 10 ve 15 periyot kaynak sürelerinde 9500 A – 16500 A akım şiddetleri aralığında en yüksek dayanım 8415 N olarak elde edilmiştir. Bu değerlerden sonra ısı girdisinin artışına paralel olarak toplam elektrot dalma derinliği toplam kesitin % 20 sini geçmesinden dolayı kaliteli bir kaynaklı bağlantı oluşmamaktadır. Bu nedenle çapraz çekme dayanımı düşmektedir.

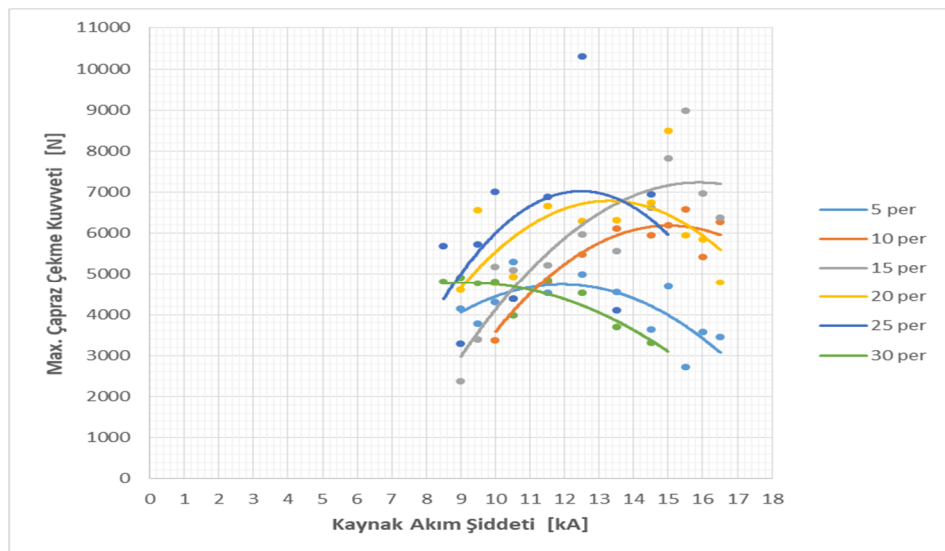


Şekil 8.5. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin çapraz çekme dayanımına etkisi

8.2.6. Kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantıların çapraz çekme dayanımına etkisi

Kaynak akım şiddetindeki artış ile çapraz çekme dayanımının arttığı Şekil 8.5’ de görülmektedir. 10, 15, 20 ve 25 periyot kaynak sürelerinde yapılan kaynaklı bağlantılarda çapraz çekme dayanımı akım şiddetinin artmasıyla arttığı görülmüştür. 30 periyot kaynak süresinde ise 10000 A kaynak akım şiddetinden sonra çapraz çekme dayanımı hızla düşmektedir. Bu da aşırı ısı girdisinin sonucu olarak açıkça görülmektedir.

En yüksek çapraz çekme dayanımı 15 periyot kaynak süresinde 16000 A akım şiddetinde 7210 N olarak elde edilmiştir. 10 ve 15 periyot kaynak sürelerinde akım şiddetinin artmasıyla çapraz çekme dayanımı da artmaktadır. 10 Periyot kaynak süresinde en yüksek çapraz çekme dayanımı 15000 A kaynak akım şiddetinde 6195 N olarak elde edilmiştir. Bu akım şiddetinden sonra da çapraz çekme dayanımında düşüş gözlenmiştir. 20 Periyot kaynak süresinde en yüksek çapraz çekme dayanımı 13500 A kaynak akım şiddetinde 6798 N, 25 Periyot kaynak süresinde 12500 A kaynak akım şiddetinde 7016 N ve 30 Periyot kaynak süresinde ise 9000 A kaynak akım şiddetinde 4800 N olarak elde edilmiştir. Sonuçlar daha önce yapılan çalışmalara benzerlik göstermektedir [71,111-118].

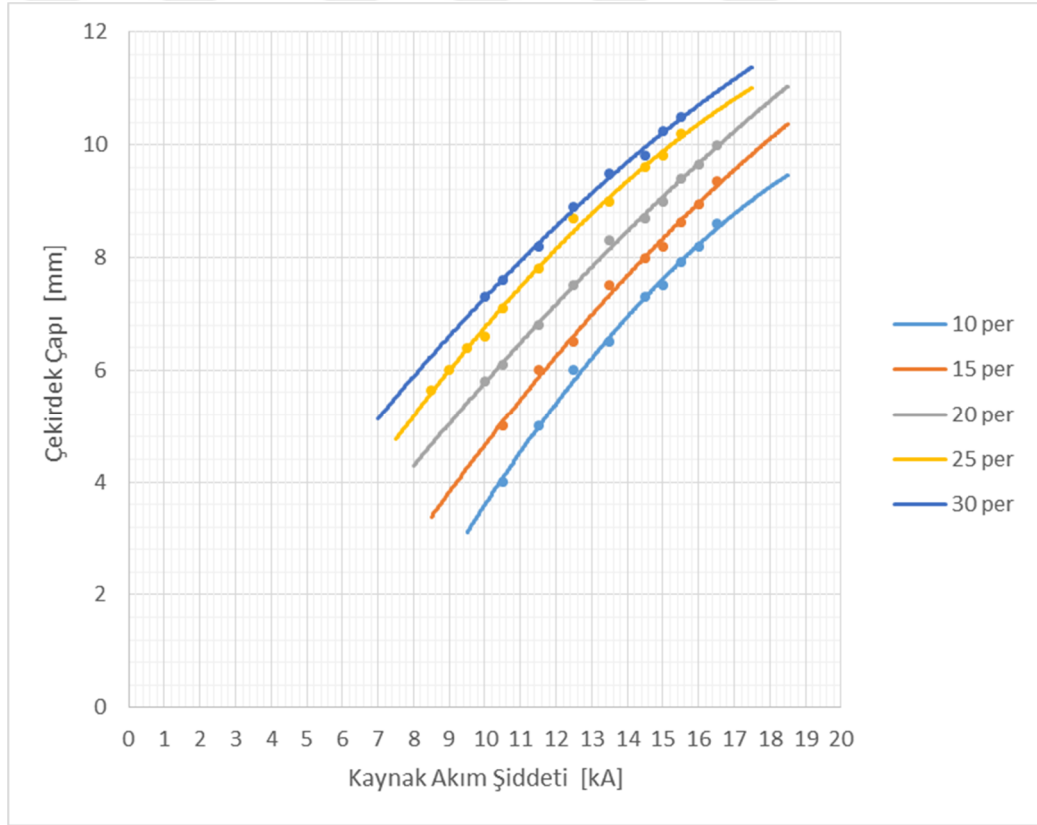


Şekil 8.6. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çapraz çekme dayanımına etkisi

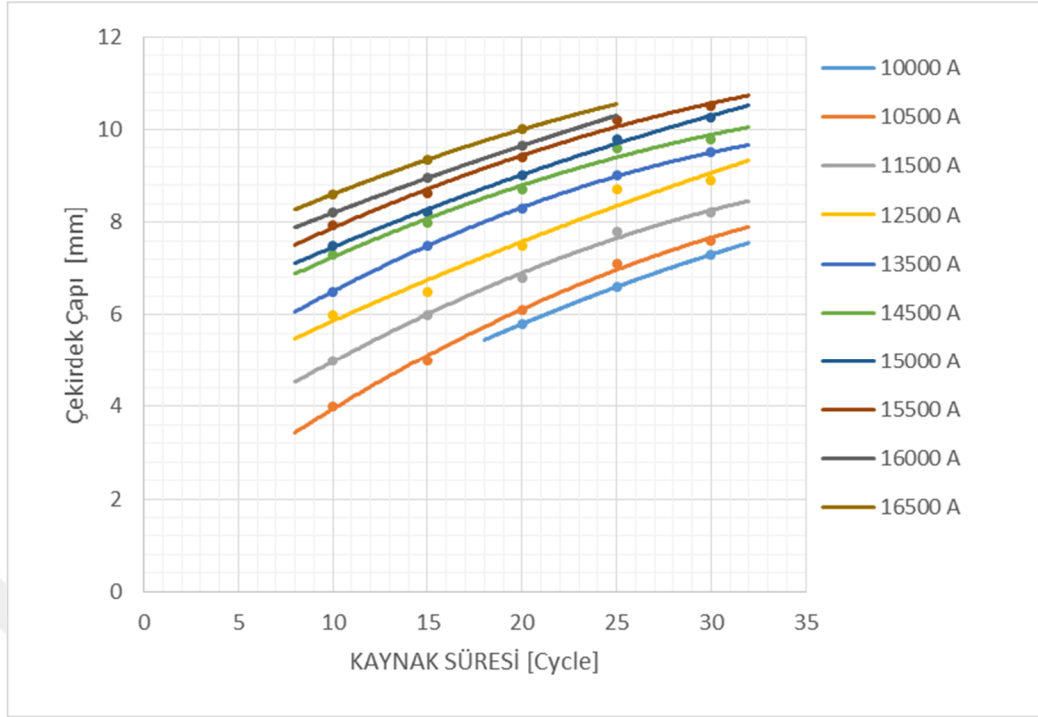
8.3. TRIP 800–Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdeği Boyutlarına Etkisi

8.3.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çapına etkisi

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi arttıkça kaynak çekirdek çapının da arttığı Şekil 8.7. ve Şekil 8.8.’ de görülmektedir. Literatürde buna benzer çalışmalar mevcuttur [111-118].



Şekil 8.7. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek çapına etkisi



Şekil 8.8. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin kaynak çekirdek çapına etkisi

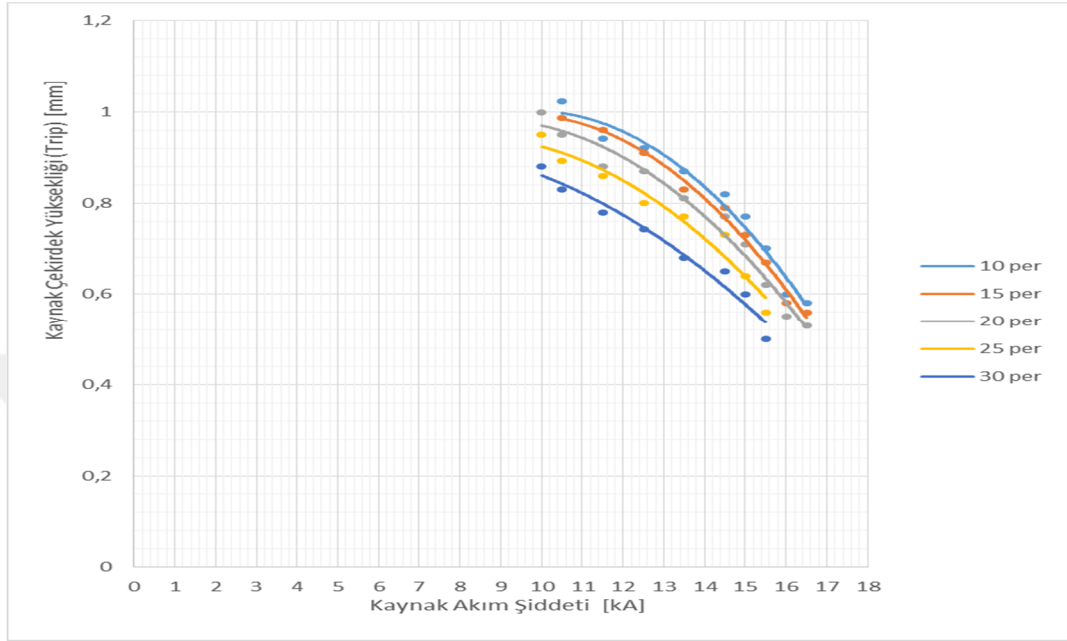
8.3.2. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğine etkisi

8.3.2.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği yüksekliğine etkisi

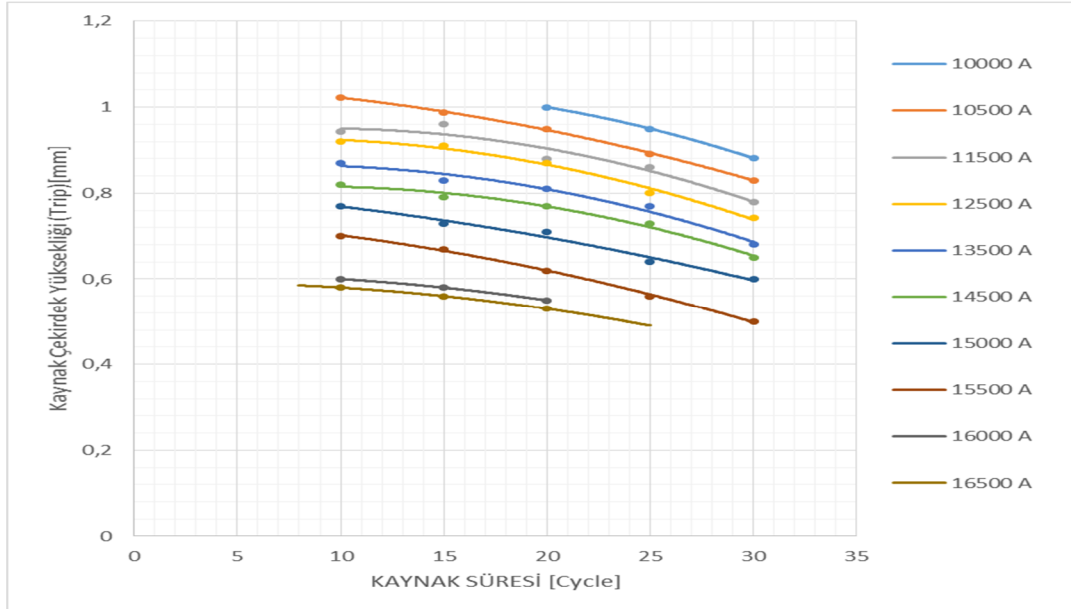
Kaynak akım şiddetinin artmasıyla TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğindeki düşüş Şekil 8.9' da görülmektedir. 10000 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdek yüksekliği 0,8 mm – 1 mm arasındayken akımın artmasıyla birlikte çekirdek yüksekliği 0,5 mm – 0,6 mm aralığına düşmektedir.

Kaynak süresinin artmasıyla TRIP çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğindeki düşüş Şekil 8.10.' da görülmektedir. Tüm akım şiddetlerinde 10 Periyot kaynak süresinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin TRIP 800' de oluşan çekirdek yüksekliği 0,6 mm – 1 mm aralığında iken kaynak süresinin artmasıyla

örneğin 30 Periyot kaynak süresinde 0,5 mm – 0,9 mm aralığına düşmektedir. Kaynak süresinin artması ile artan ısı girdisi ergimenin fazla olmasına ve buna bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinde düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 8.9. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi

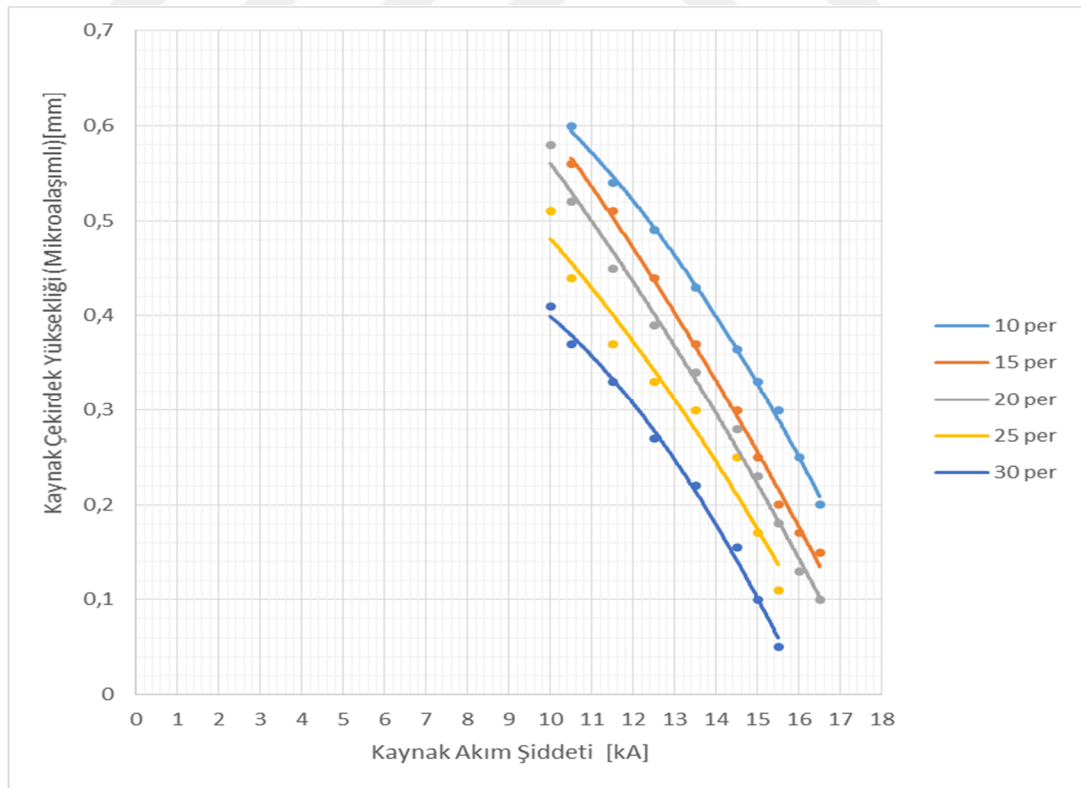


Şekil 8.10. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi

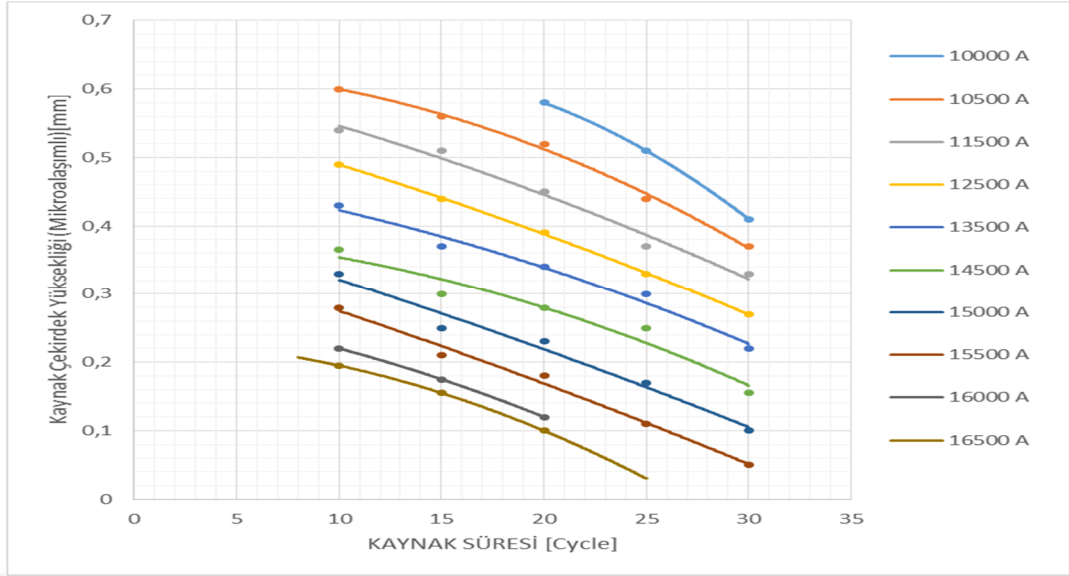
8.3.2.2. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği yüksekliğine etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğindeki düşüş Şekil 8.11.'de görülmektedir. 10000 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdek yüksekliği 0,4 mm – 0,6 mm arasındayken akımın artmasıyla birlikte çekirdek yüksekliği 0,1 mm – 0,2 mm aralığına düşmektedir.

Kaynak süresinin artmasıyla mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğindeki düşüş Şekil 8.12.' de görülmektedir. Tüm akım şiddetlerinde 10 periyot kaynak süresinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mikroalaşımli çelikte oluşan çekirdek yüksekliği 0,2 mm – 0,6 mm aralığında iken kaynak süresinin artmasıyla örneğin 25 periyot kaynak süresinde 0,02 mm – 0,5 mm aralığına düşmektedir. Kaynak süresinin artması ile artan ısı girdisi ergimenin fazla olmasına ve buna bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinde düşüşe sebep olmuştur.



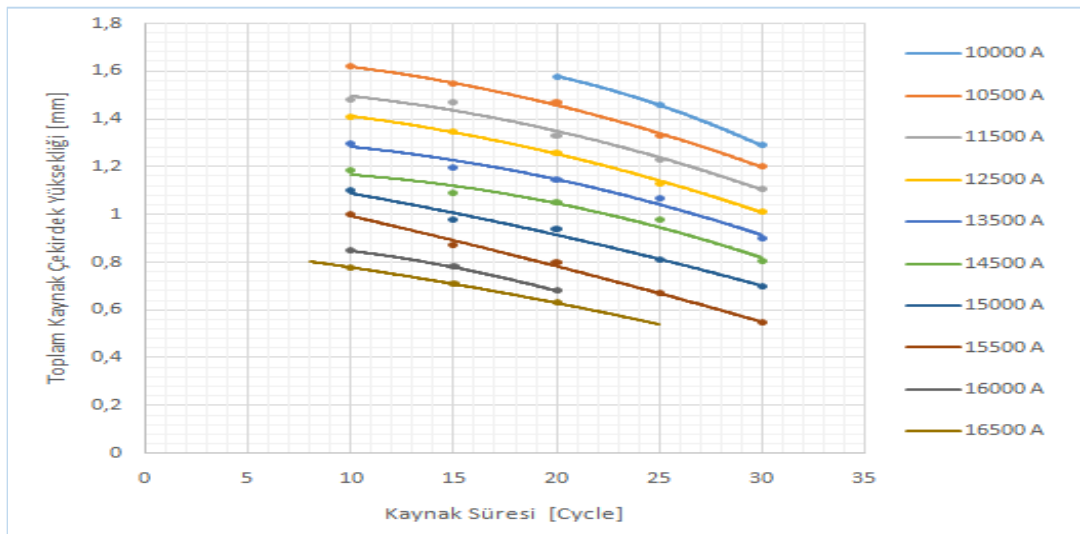
Şekil 8.11. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi



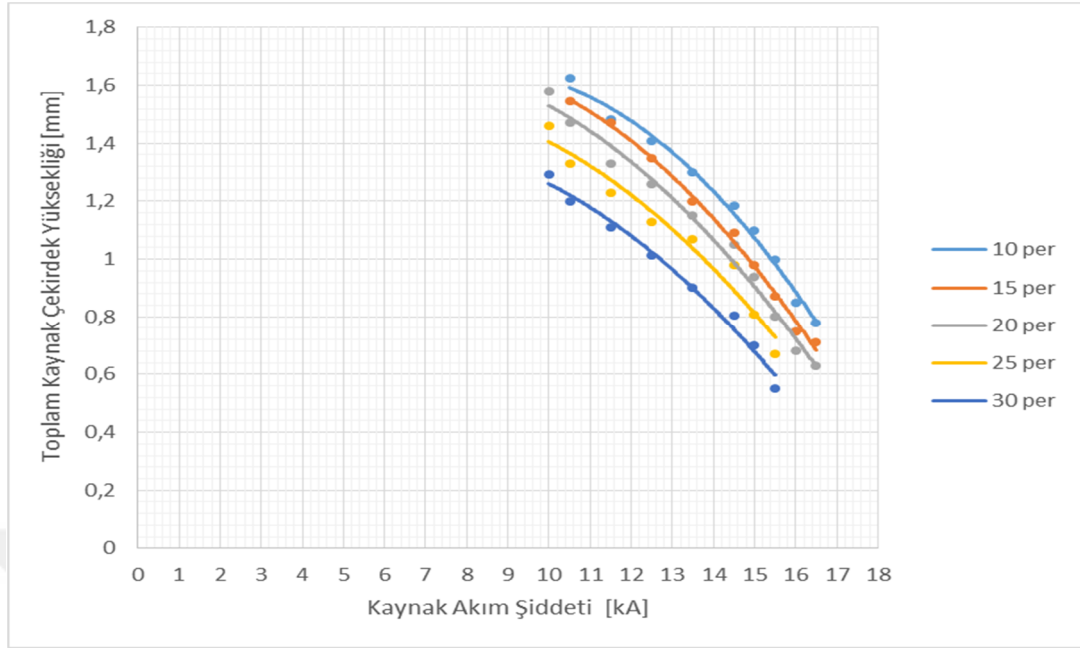
Şekil 8.12. TRIP 800 – Mikroalaşımlı bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımlı çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi

8.3.2.3. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP – mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelerde oluşan toplam kaynak çekirdeği yüksekliğine etkisi

Kaynak süresi artarken kaynak çekirdek yüksekliğinin de tam tersine azaldığı Şekil 8.13.'de görülmektedir. Aynı şekilde kaynak akım şiddeti artarken kaynak çekirdek yüksekliğinin azaldığı Şekil 8.14.'de görülmektedir



Şekil 8.13. TRIP 800 – Mikroalaşımlı bağlantılarda kaynak süresinin kaynak çekirdek boyuna etkisi



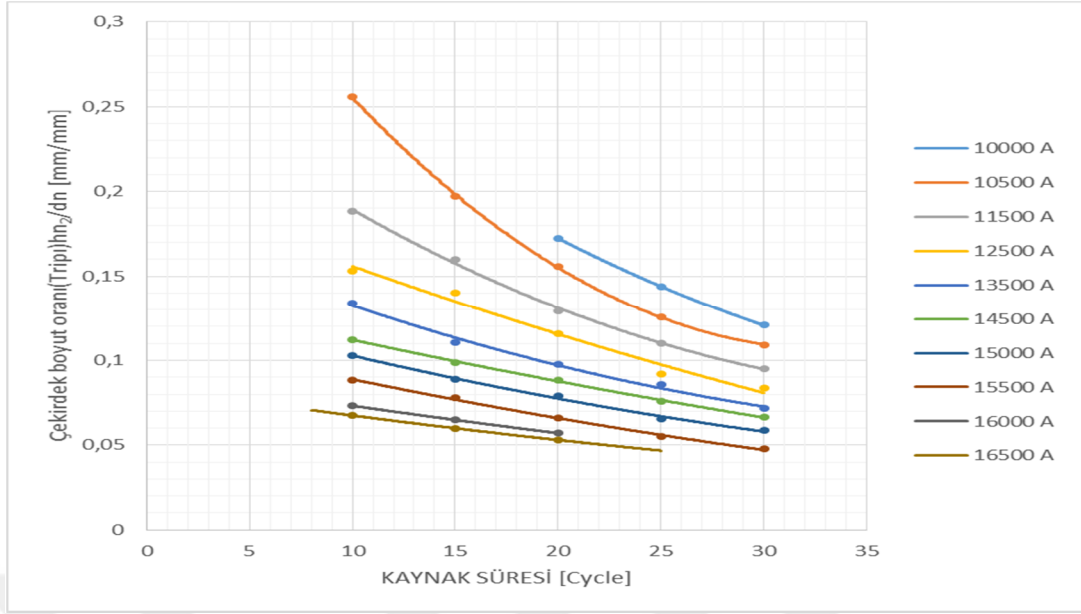
Şekil 8.14. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyuna etkisi

Her iki parametrede de ısı girdisi artarken kaynak çekirdek yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise artan ısı girdisiyle birlikte kaynak ara yüzeyindeki ergime artmış ve kaynak çekirdeğinde oluşan fişkırmının artmasıdır. Daha önce yapılmış çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [71,113-118].

8.3.3. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetininTRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdek boyut oranına etkisi

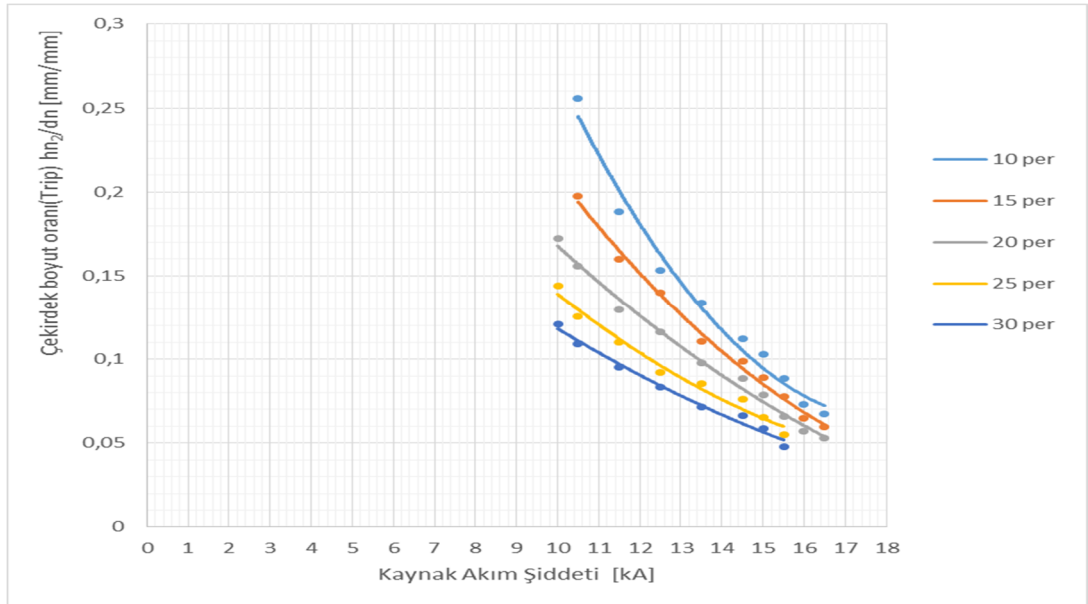
8.3.3.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetininTRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

Kaynak süresinin artmasıyla TRIP 800 çeliğinde kaynak çekirdeği boyut oranının düştüğü Şekil 8.15.' de görülmektedir. Tüm akım şiddetlerinde 10 periyot kaynak süresinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mikroalaşımli çelikte oluşan çekirdek yüksekliği 0,07 mm – 0,26 mm aralığında iken kaynak süresinin artmasıyla örneğin 30 periyot kaynak süresinde 0,05 mm – 0,13 mm aralığına düşmektedir.



Şekil 8.15. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

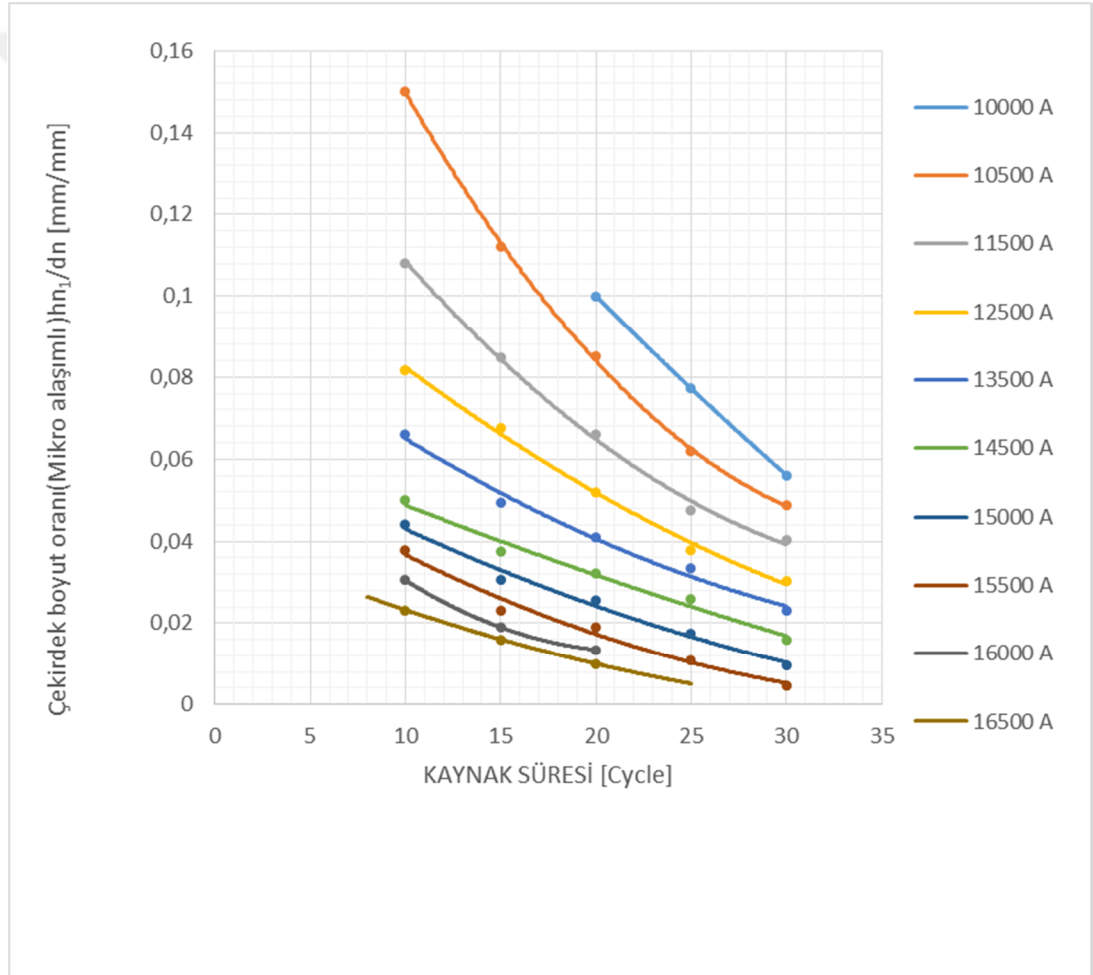
Kaynak akım şiddetinin artmasıyla TRIP 800 çeliğinde kaynak çekirdeği boyut oranının düştüğü Şekil 8.16.' da görülmektedir. 10500 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdeği boyut oranı 0,13 mm – 0,25 mm arasındayken akımın artmasıyla birlikte 15500 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdeği boyut oranı 0,05mm – 0,09 mm aralığına düşmektedir.



Şekil 8.16. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

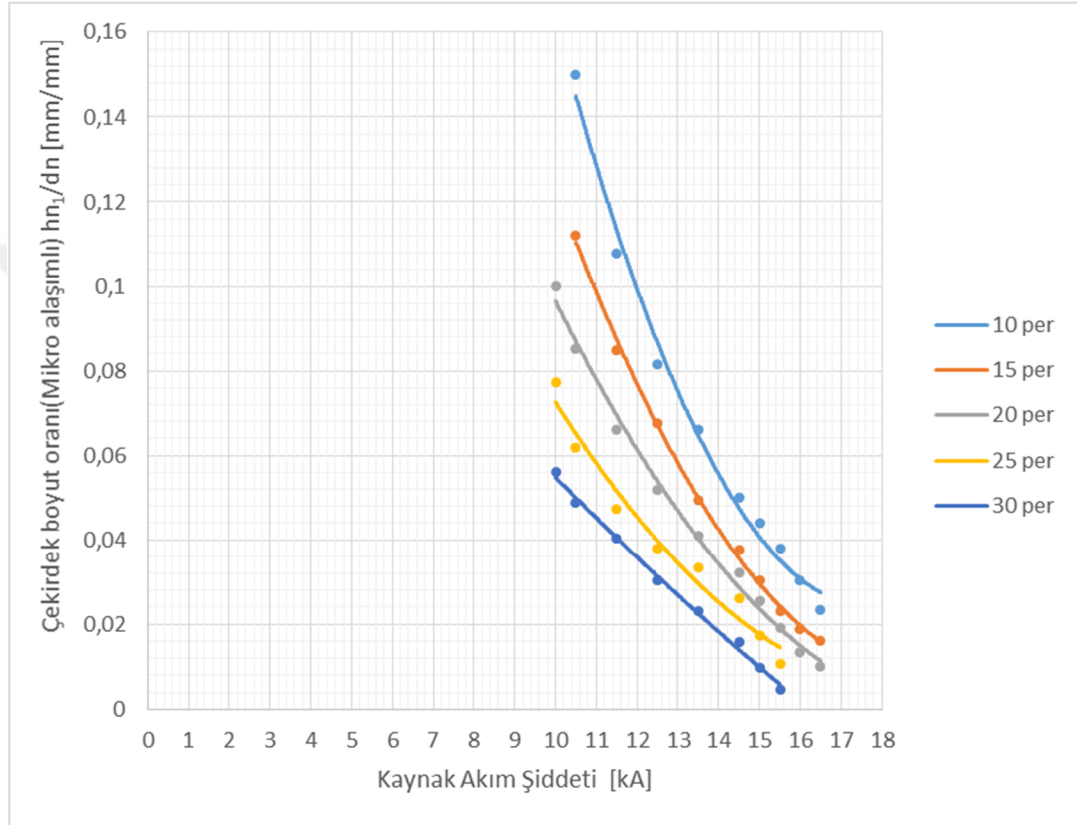
8.3.3.2. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

Kaynak süresinin artmasıyla mikroalaşımli çelikte kaynak çekirdeği boyut oranının düştüğü Şekil 8.17.' de görülmektedir. Tüm akım şiddetlerinde 10 periyot kaynak süresinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mikroalaşımli çelikte oluşan çekirdek yüksekliği 0,02 mm – 0,15 mm aralığında iken kaynak süresinin artmasıyla örneğin 30 periyot kaynak süresinde 0,01 mm – 0,055 mm aralığına düşmektedir



Şekil 8.17. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla mikroalaşımli çelikte kaynak çekirdeği boyut oranının düştüğü Şekil 8.18.' de görülmektedir. 11500 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdeği boyut oranı 0,04 mm – 0,104 mm arasındayken akımın artmasıyla birlikte 16500 A kaynak akım şiddetinde kaynak çekirdeği boyut oranı 0,01mm – 0,025 mm aralığına düşmektedir.

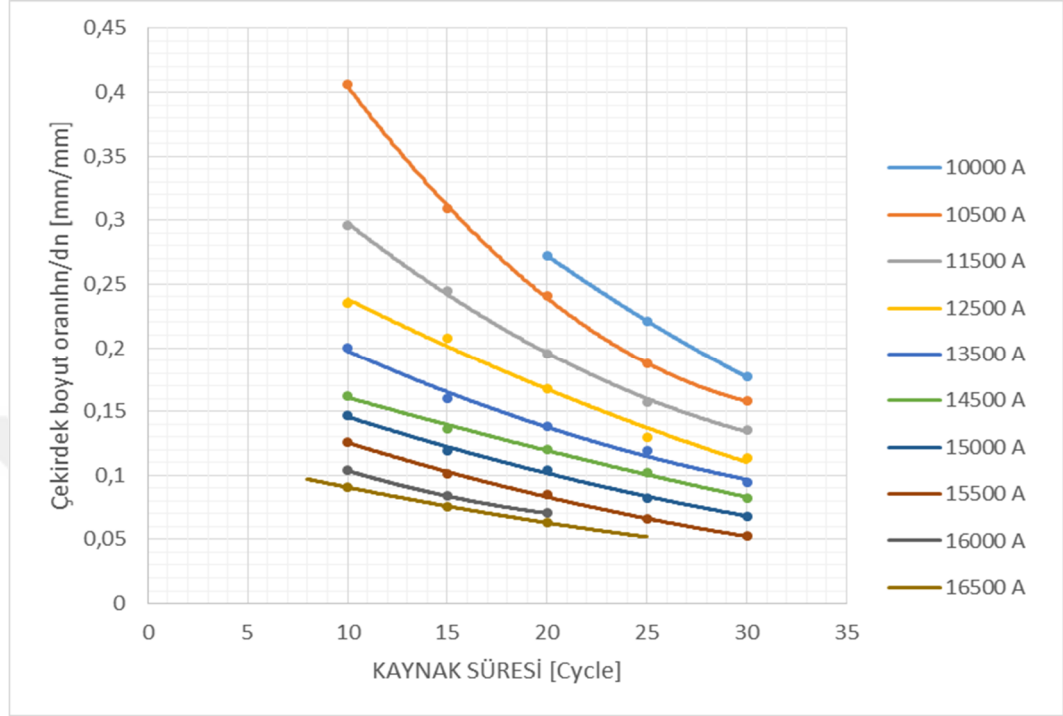


Şekil 8.18. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

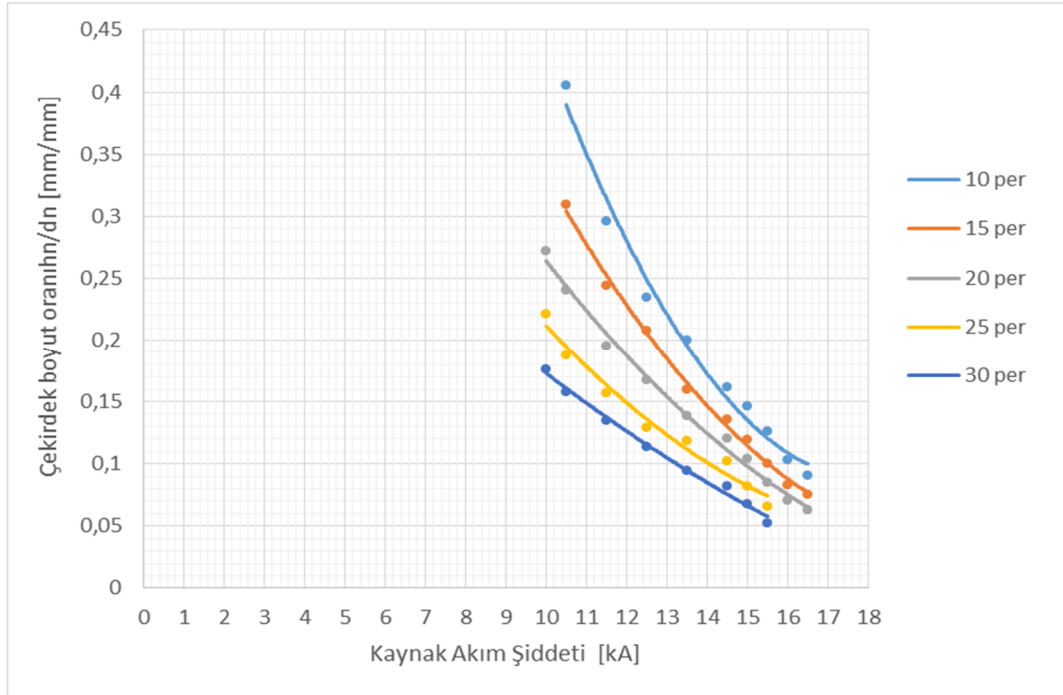
8.3.3.3. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetininTRIP – mikroalaşımli kaynaklı birleştirmede oluşan toplam kaynak çekirdeği boyut oranına etkisi

Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin artışı kaynak çekirdeği boyut oranında düşüşe sebep olduğu Şekil 8.19 ve Şekil 8.20'de görülmektedir. Elektrot dalma derinliğinin artmasıyla çekirdek yüksekliğindeki azalma ve buna bağlı olarak da

kaynak çapın artması bu düşüşü açıklamaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [107-118].



Şekil 8.19. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresini kaynak çekirdek boyut oranına etkisi



Şekil 8.20. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyut oranına etkisi

8.4. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliğine Etkisi

8.4.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi

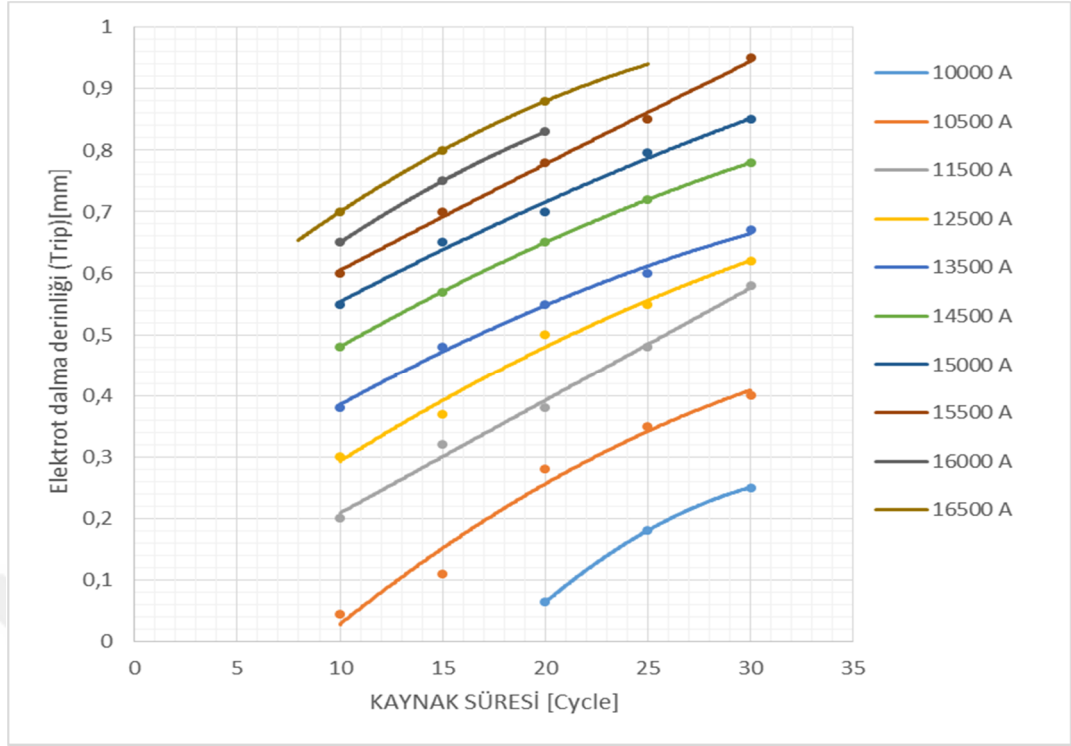
TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerinin elektrot dalma derinliğine etkisi üç farklı şekilde ele alınmıştır.

1. TRIP 800 çeliğinde oluşan dalma derinliği
2. Mikro alaşımli çelikte oluşan dalma derinliği
3. Birleştirmelerdek toplam dalma derinliği

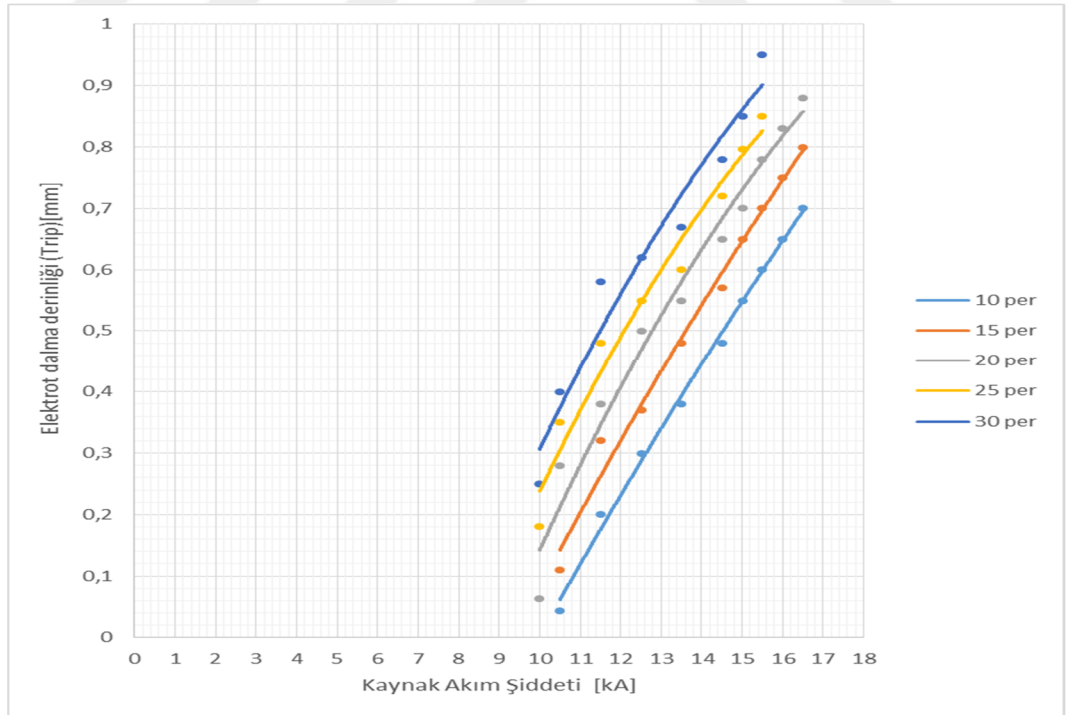
8.4.1.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi

Kaynak süresinin artmasıyla birlikte TRIP 800 çeliğindeki elektrot dalma derinliğinin de arttığı Şekil 8.21’ de görülmektedir. Örneğin 15 Periyot kaynak süresinde tüm akım şiddetlerinde elektrot dalma derinliği 0,1 mm – 0,8 mm aralığında olmasına rağmen kaynak süresinin 25 Periyot olduğu noktada yine tüm akım şiddetlerinde elektrot dalma derinliği 0,18 mm – 0,86 mm aralığına yükselmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [107-118].

Şekil 8.22.’de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte TRIP 800 çeliğindeki elektrot dalma derinliği de artmaktadır. Örneğin 10000 A kaynak akım şiddetinde tüm kaynak sürelerinde elektrot dalma derinliği 0,08 mm – 0,3 mm aralığında olmasına rağmen 15000 A kaynak akımında 0,55 mm – 0,85 mm aralığına yükselmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [107-118].



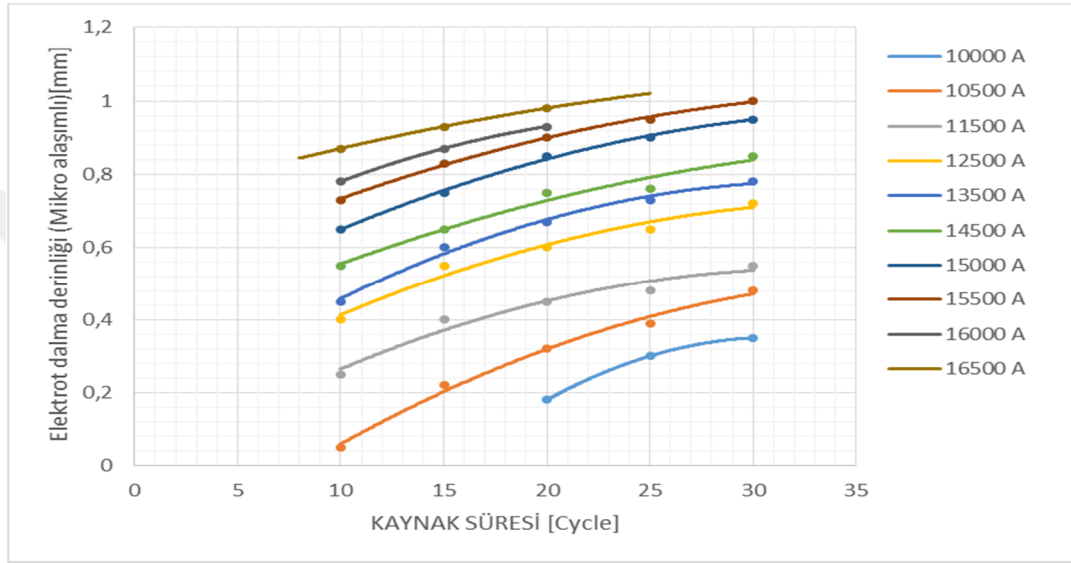
Şekil 8.21. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin TRIP 800 çeliğinde oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi



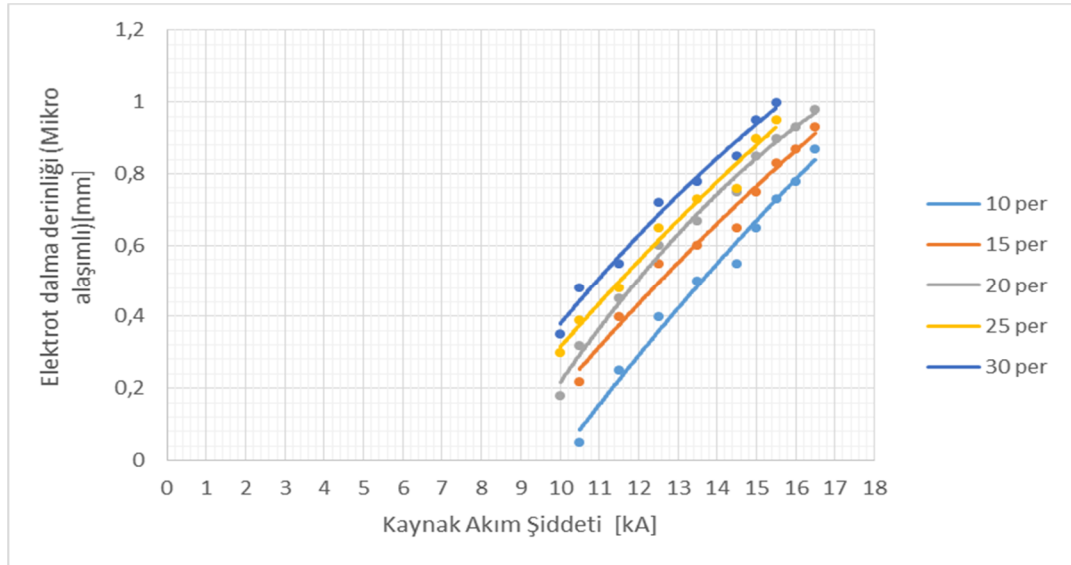
Şekil 8.22. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP 800 çeliğinde oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi

8.4.1.2. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi

Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte mikroalaşımli çelikte elektrot dalma derinliğinin TRIP 800 çeliğinde de olduğu gibi arttığı Şekil 8.23 ve Şekil 8.24’ de görülmektedir.



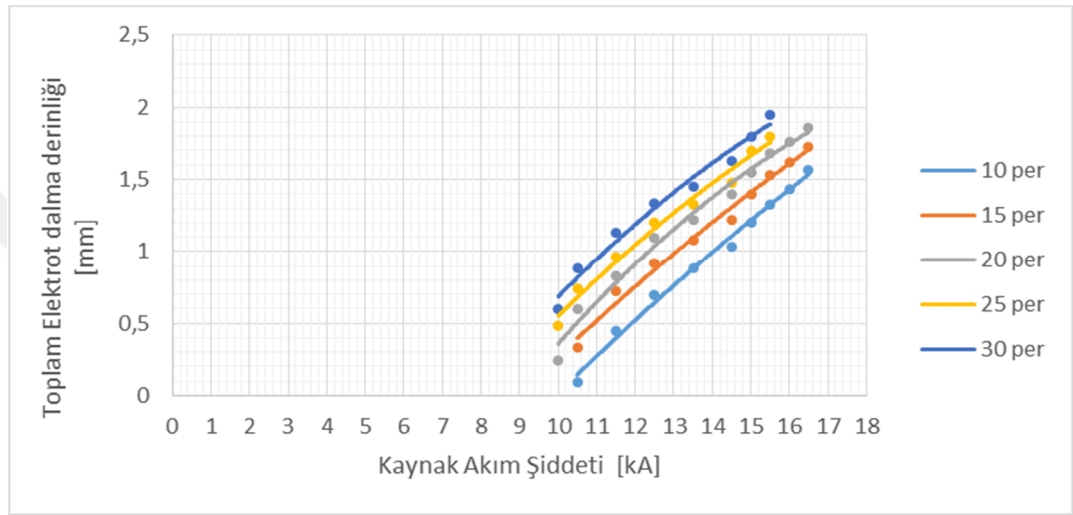
Şekil 8.23. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin mikroalaşımli çelikte oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi



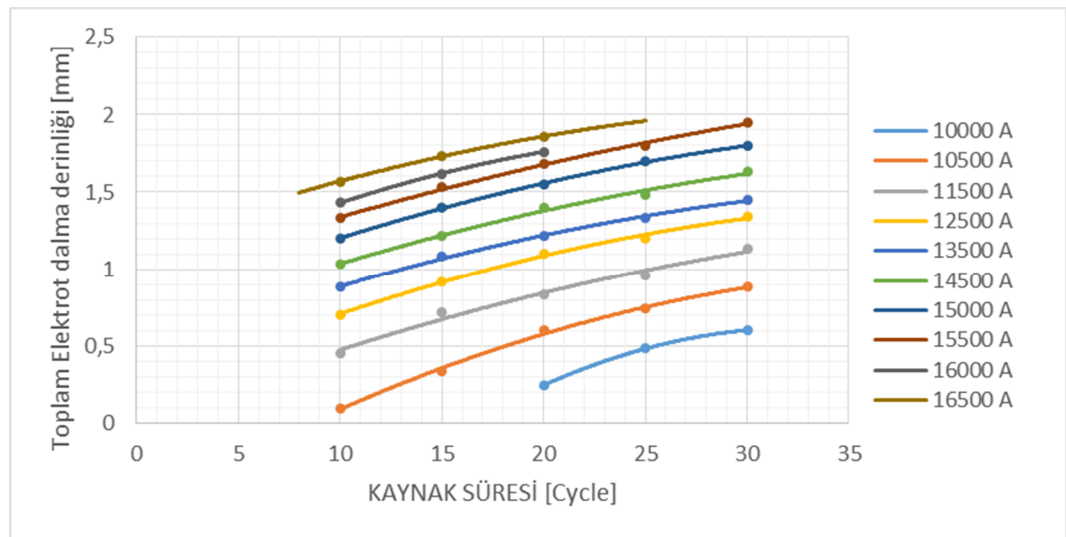
Şekil 8.24. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak şiddetinin mikroalaşımli çelikte oluşan elektrot dalma derinliğine etkisi

8.4.1.3. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP – mikroalaşımli kaynaklı birleştirmede oluşan toplam elektrot dalma derinliğine etkisi

Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin artması ısı girdisini arttırdığından dolayı elektrotların kaynaklı birleştirmelerin yüzeyindeki dalma derinliği de lineer olarak arttığı Şekil 8.25 ve Şekil 8.26’ da verilmiştir [107-118].



Şekil 8.25. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin toplam elektrot dalma derinliğine etkisi

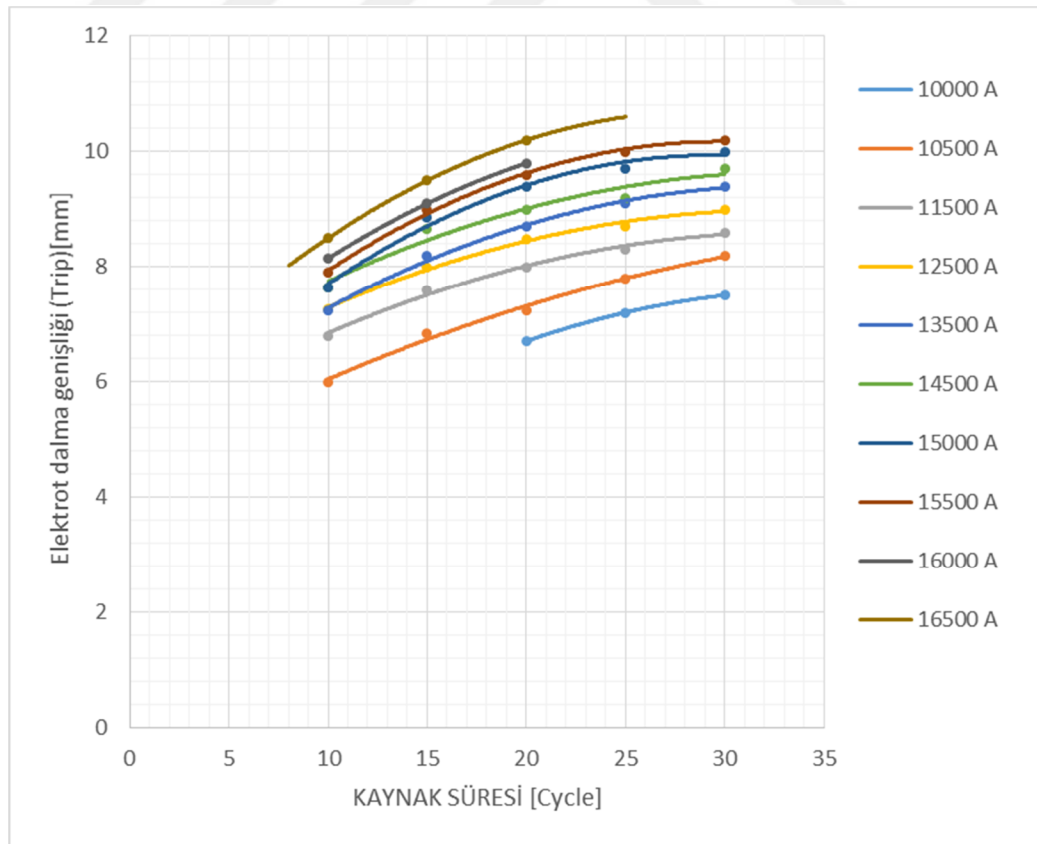


Şekil 8.26. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin toplam elektrot dalma derinliğine etkisi

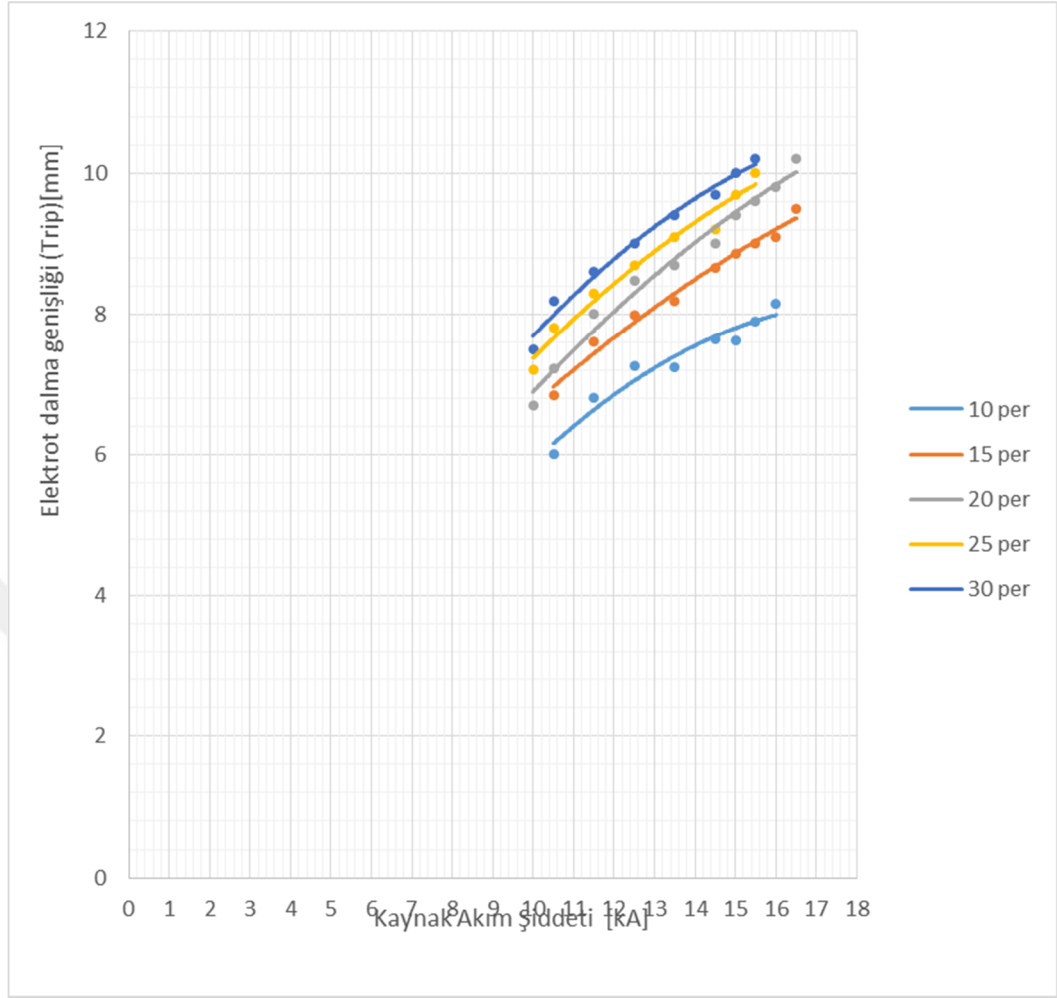
8.5. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi

8.5.1. Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin kaynaklı bağlantılarında elektrot dalma genişliğine etkisi

Şekil 8.27 ve Şekil 8.28’ de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak süresinin artmasıyla birlikte elektrot dalma derinliği kaynak esnasında kullanılan elektrot çapından (6mm) daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bunun iki ana sebebi vardır. Bunlardan birincisi kaynak akımının ve kaynak süresinin artması kaynak sırasında ısı girdisini artırır. Bu ergimeyi çoğaltır ve elektrot baskı kuvveti nedeniyle de ergimiş metal dışarı fışkırır. Bu da hem elektrot dalma derinliğinin arttırırken hem de elektrot dalma genişliğinin de arttırır. İkinci sebep ise tekrarlanan kaynak çevrimleri sırasında elektrot yüzeyinde oluşan bozulmalardır.



Şekil 8.27. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak süresinin 'TRIP' deki elektrot dalma genişliğine etkisi



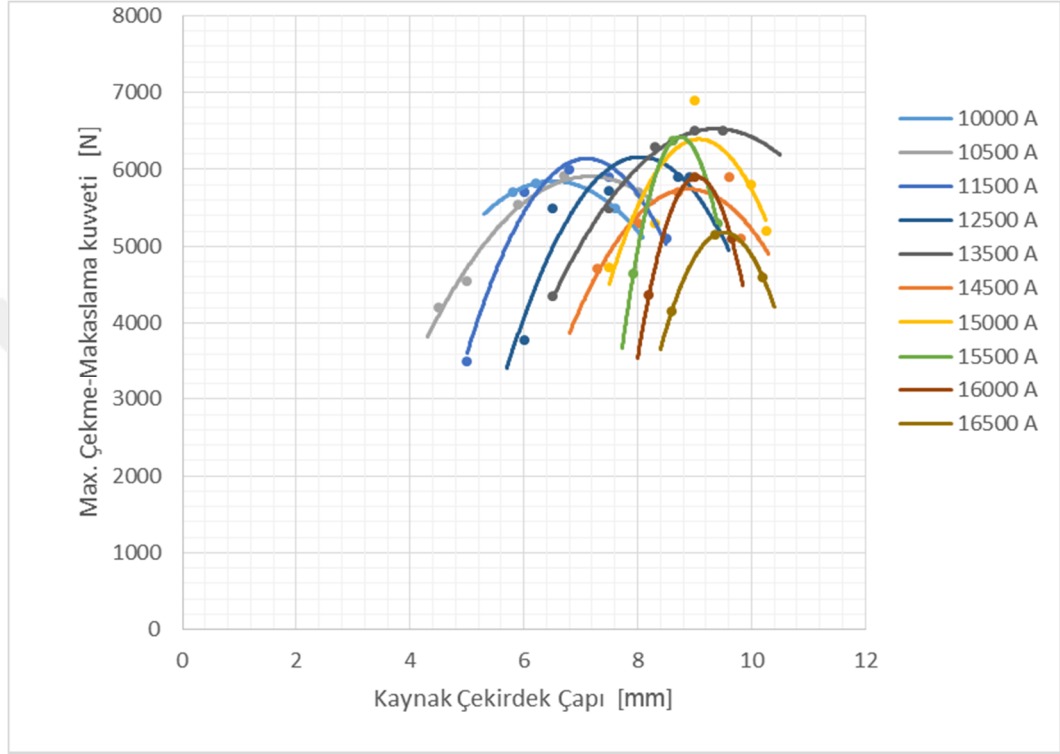
Şekil 8.28. TRIP 800 – Mikroalaşımli bağlantılarda kaynak akım şiddetinin TRIP’ deki elektrot dalma genişliğine etkisi

8.6. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme – Sıyırma, Çekme – Makaslama ve Çapraz Çekme Dayanımına etkisi

8.6.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek çapının çekme – makaslama dayanımına etkisi

Çekirdek çapının artmasıyla çekme – makaslama kuvvetinin de arttığı ancak belirli bir çaptan sonra çekme – makaslama kuvvetinin düştüğü Şekil 8.29’ da

görülmektedir. En düşük 10000 A değerinde 6,5 mm çekirdek çapına kadar çekme – makaslama dayanımı artarken, çekirdek çapının daha büyük olduğu aynı amper değerinde kaynak süresinin de artmasıyla çekme – makaslama kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 8.29. Kaynak süresine bağlı olarak çekirdek çapı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

10500 A akım değerinde 7,5 mm çekirdek çapına kadar çekme – makaslama dayanımı artarken bu değer üzerinde çekirdek çapına sahip olan kaynaklı birleştirmelerde kaynak süresi ile birlikte ısı girdisinin artmasından dolayı çekme – makaslama kuvvetinin düştüğü izlenmiştir.

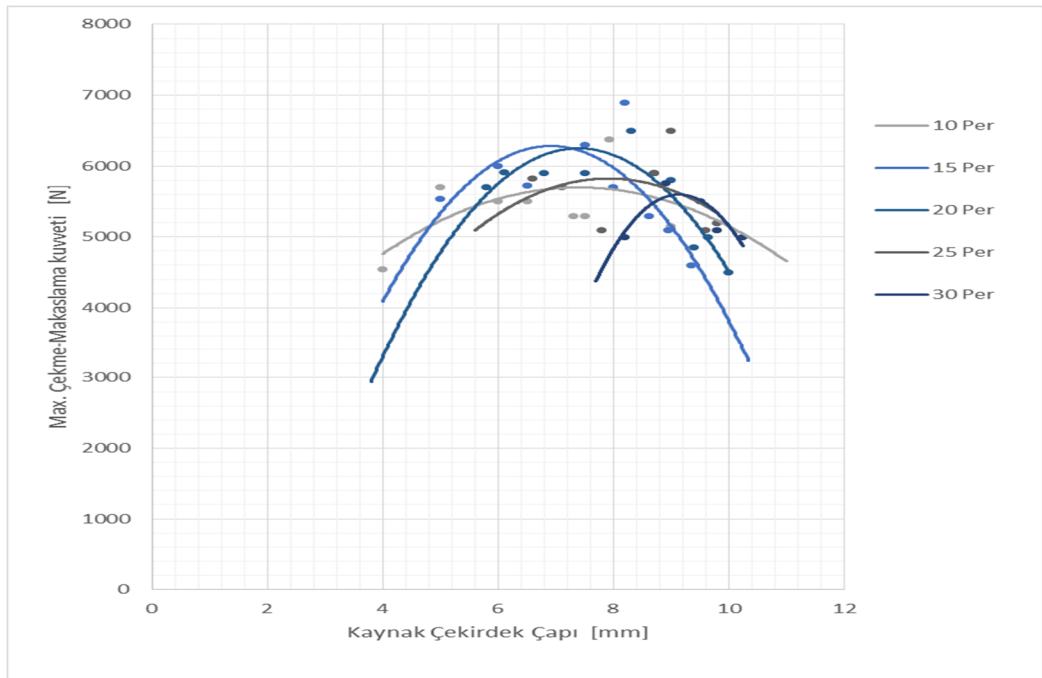
11500 A akımda yapılan birleştirmelerin kaynak çekirdek çapı incelendiğinde 7 mm çekirdek çapına kadar çekme – makaslama kuvveti artarken bu değerden sonra düştüğü, yine 12500 A değerinde 8 mm çekirdek çapından sonra çekme – makaslama kuvveti düşmektedir.

13500 ve 16500 amper değerlerinde kaynak çekirdek çapı 9,5 mm olana kadar çekme – makaslama kuvvetinde artışın olduğu ve bu çaptan daha yüksek çaplara çıkıldığında çekme – makaslama kuvvetinin düştüğü grafik sonuçlarından elde edilmiştir.

14500 A, 15000 A ve 16000 A akım değerlerinde kaynak çekirdek çapı 9 mm olana kadar çekme – makaslama dayanımının arttığı ve bu çekirdek çapının yükseldiği aynı akım değerlerinde kaynak süresi ve ısı girdisine bağlı olarak elektrot kuvvetinin de etkisiyle kaynak kesitinde yaşanan daralmadan dolayı çekme – makaslama kuvvetinin düştüğü saptanmıştır.

Kaynak süresindeki artış her bir deneysel sonuç için çekme – makaslama kuvvetini artırırken belirli bir noktadan sonra da tam tersi etki yaptığı Şekil 8.30’da görülmektedir.

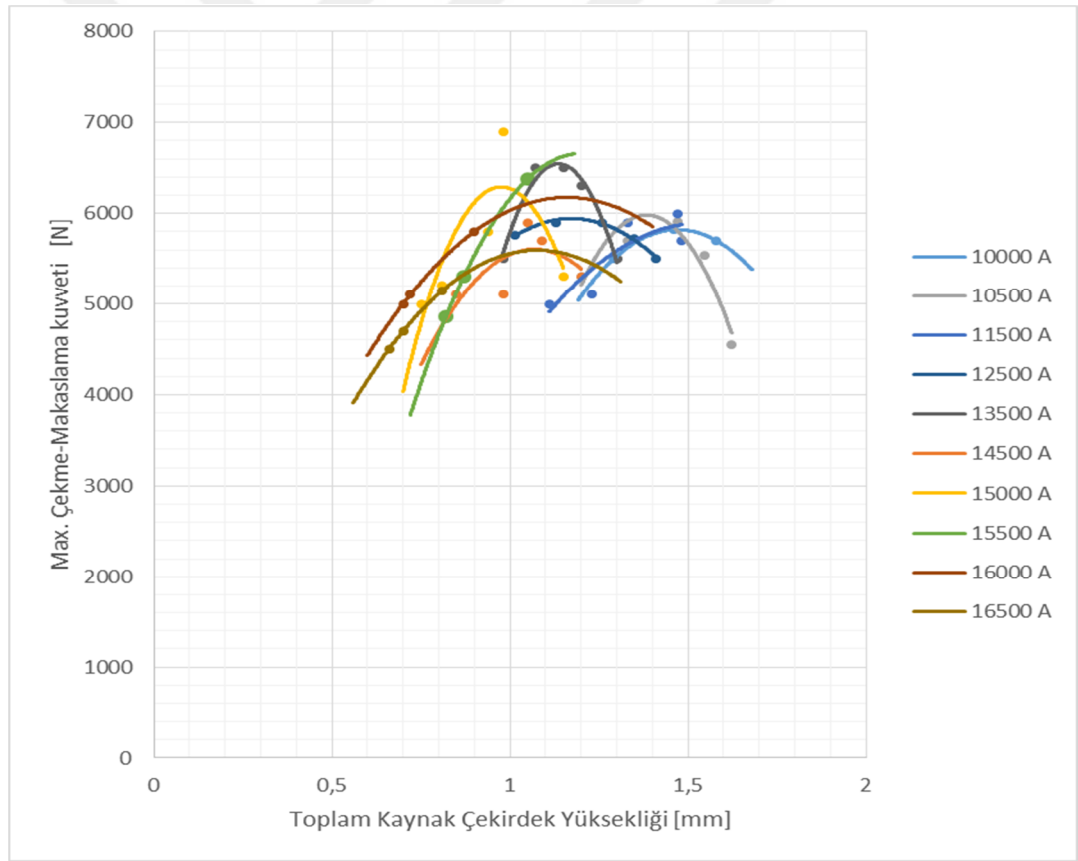
Isı girdisinin arttığı yüksek çekirdek çaplarında dayanımın azaldığı yapılan literatür araştırmalarında elde edilen sonuçlarla ve deneysel çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir [107-112].



Şekil 8.30. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak çekirdek çapı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

8.6.2. TRIP 800-mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

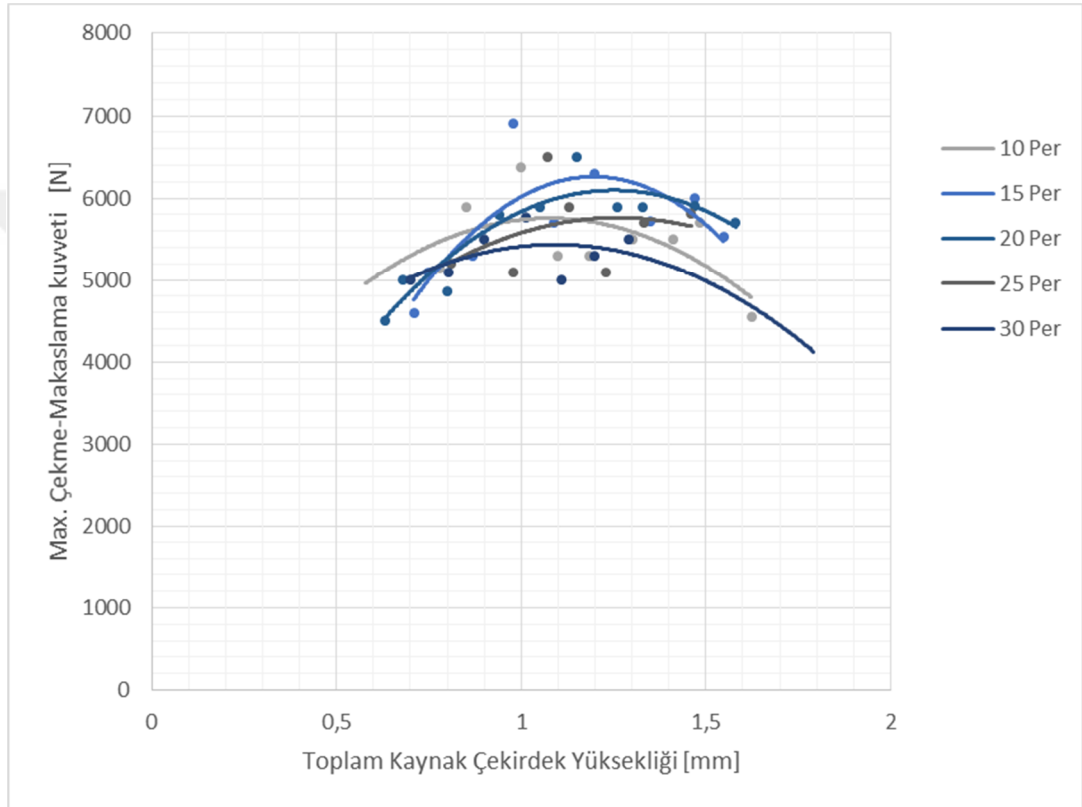
Şekil 8.31. ve Şekil 8.32.' de görüldüğü üzere çekirdek yüksekliğindeki artış belirli bir noktadan sonra çekme – makaslama kuvvetini olumsuz etkilemektedir. Bunun sebebi ısı girdisinin artması ile kaynak noktasındaki fişkırmının artması ve kaynak çekirdek yüksekliğindeki azalmadır. Bununla birlikte daha düşük kaynak süreleri ve akım değerlerinde de ısı girdisine bağlı olarak çekirdek boyutunda küçülme olacağından çekme – makaslama kuvveti de düşmektedir.



Şekil 8.31. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çekme- makaslama kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak akım şiddetine bağlı olarak en yüksek çekme –makaslama kuvveti 10000 A' de 1,5 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 5800 N, 10500 A' de 1,4 mm kaynak

çekirdek yüksekliğinde 5940 N, 11500 A'de 1,5 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 5800 N, 12500 A' de 1,2 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 5850 N, 13500 A'de 1,15 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 6594 N, 14500 A' de 1,1mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 5597 N, 15500 A' de 1,25 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 6285 N, 16000 A' de 1,2 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 6190 N ve 16500 A' de 1,1 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 6600 N olarak elde edilmiştir.

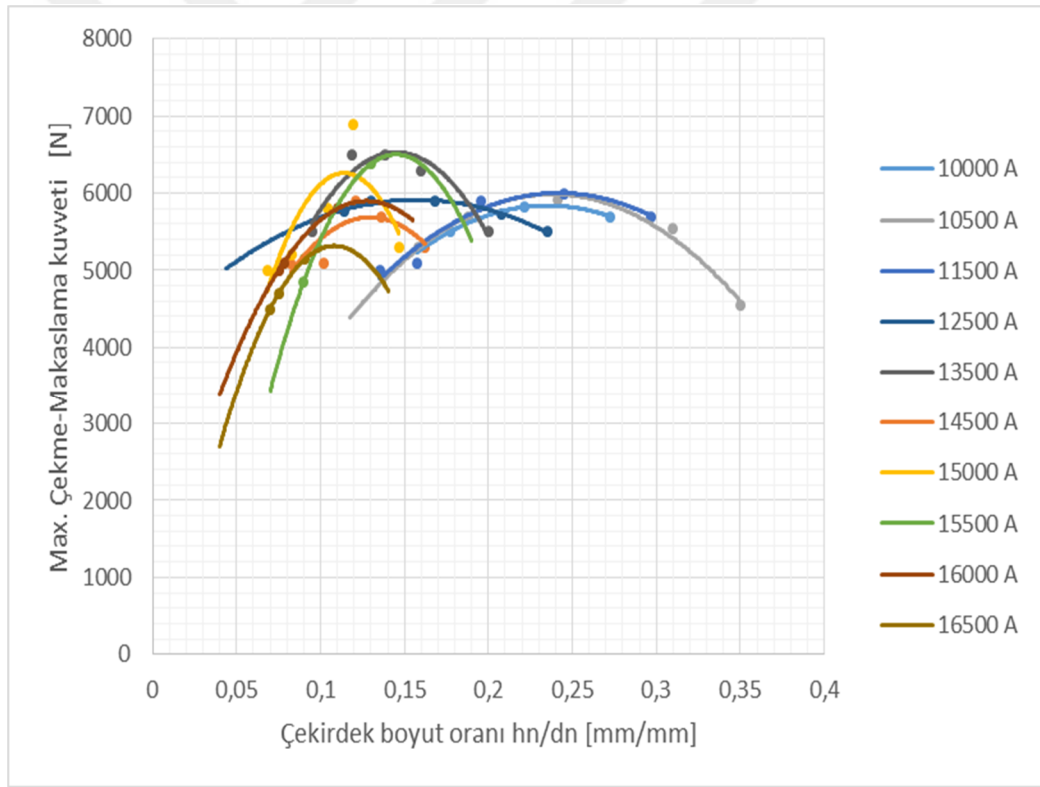


Şekil 8.32. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak süresine bağlı olarak en yüksek çekme – makaslama kuvveti; 10 Periyot kaynak süresinde 1 mm 5600 N, 15 Periyot kaynak süresinde 1,2 mm 6285 N, 20 Periyot kaynak süresinde 1,3 mm 6190 N, 25 Periyot kaynak süresinde 1,25 mm 5850 N ve 30 Periyot kaynak süresinde 1,1 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde 5200 N olarak elde edilmiştir.

8.6.3. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çekme – makaslama dayanımına etkisi

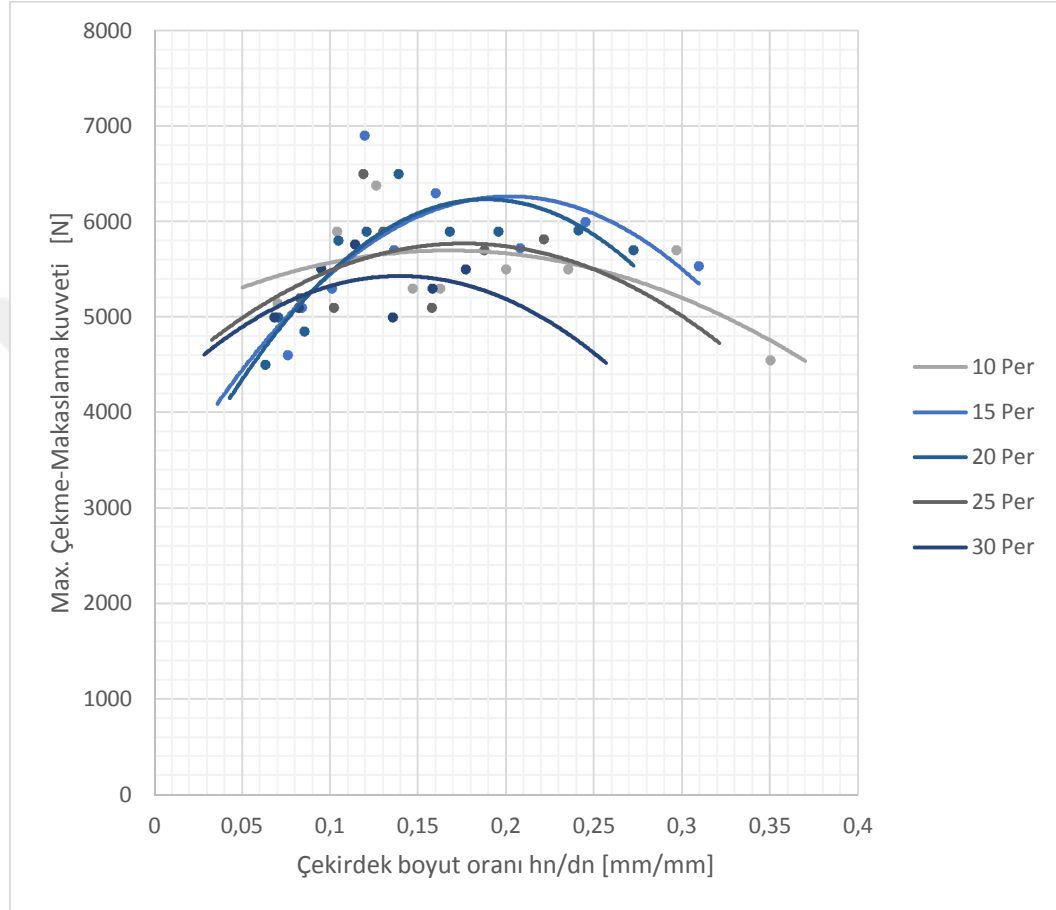
Şekil 8.33. ve Şekil 8.34.' de görüldüğü gibi kaynak süresi ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme – makaslama dayanımı da artmaktadır. Ancak bu artış belirli bir noktaya kadar olmaktadır. Bu noktadan sonra çekme – makaslama kuvvetindeki artış durup, çekme –makaslama kuvveti azalmaya başlamaktadır. Aynı zamanda kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin artmasıyla kaynak çekirdeği boyut oranındaki artış şekli de aynıdır. Belirli bir noktadan sonra kaynak çekirdek boyut oranı da çekme – makaslama kuvveti ile birlikte düşüş göstermektedir.



Şekil 8.33. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak akım şiddetine bağlı olarak en yüksek çekme – makaslama kuvveti; 10000 A' de 0,23 çekirdek boyut oranında 5800 N, 10500 A ve 11500 A' de 0,25 çekirdek boyut oranında sırasıyla 6000 N ve 6050 N, 12500 A' de 0,17 çekirdek boyut

oranında 5900 N, 13500 ve 15500 A' de 0,15 çekirdek boyut oranında sırasıyla 6580 N ve 6560 N, 14500 A ve 16000 A' de 0,13 çekirdek boyut oranında sırasıyla 5670 N ve 5850 N, 15000 A' de 0,12 çekirdek boyut oranında 6300 N ve 16500 A' de 0,11 çekirdek boyut oranında 5300 N olarak elde edilmiştir.

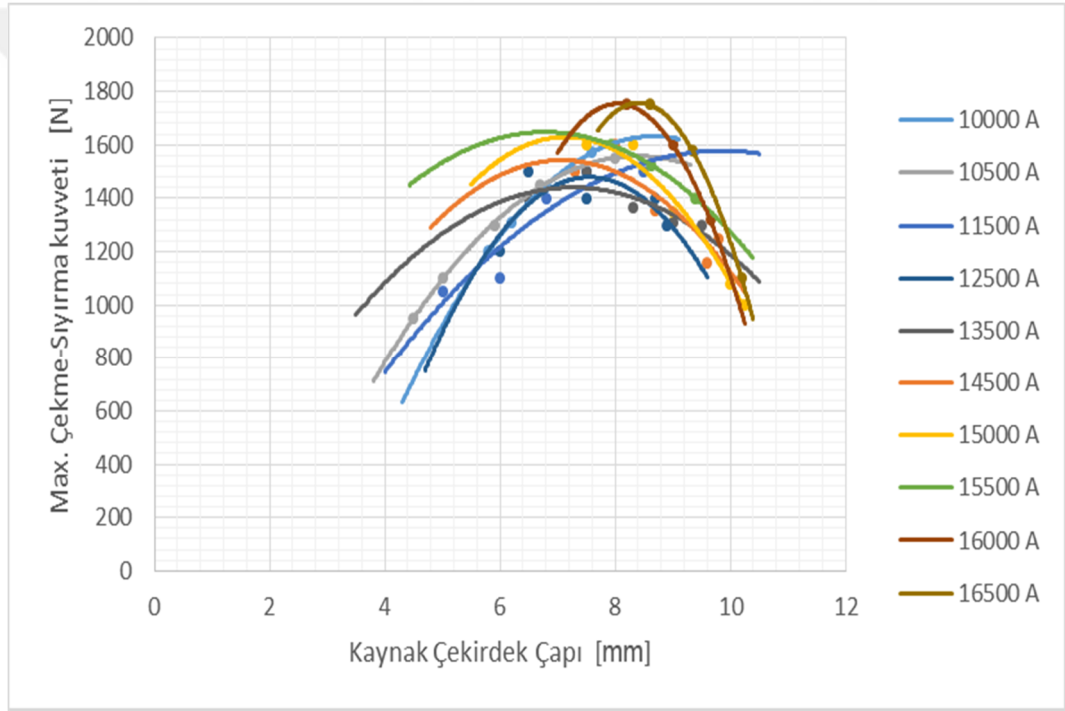


Şekil 8.34. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak süresine bağlı olarak en yüksek çekme – makaslama kuvveti; 10 Periyot kaynak süresinde 0,18 çekirdek boyut oranında 5600 N, 15 Periyot kaynak süresinde 0,2 çekirdek boyut oranında 6300 N, 20 Periyot kaynak süresinde 0,2 çekirdek boyut oranında 6180 N, 25 periyot kaynak süresinde 0,19 çekirdek boyut oranında 5790 N ve 30 periyot kaynak süresinde 0,15 çekirdek boyut oranında 5400 N olarak elde edilmiştir.

8.6.4. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek çapının çekme – sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 8.35. ve 8.36.'da görüldüğü gibi kaynak çekirdek çapı arttıkça kaynaklı birleştirmelerin çekme – sıyırma kuvveti de artmaktadır. Fakat bu artış belirli bir noktaya kadar olup daha sonra azalmaktadır. Bunun sebebi de kaynak çekirdek çapının aşırı attığı değerlerde elektrot dalma derinliğinin artması ve buna bağlı olarak da fişkırmaların artıp kaynak çekirdek kesitinde azalmanın artmasıdır.



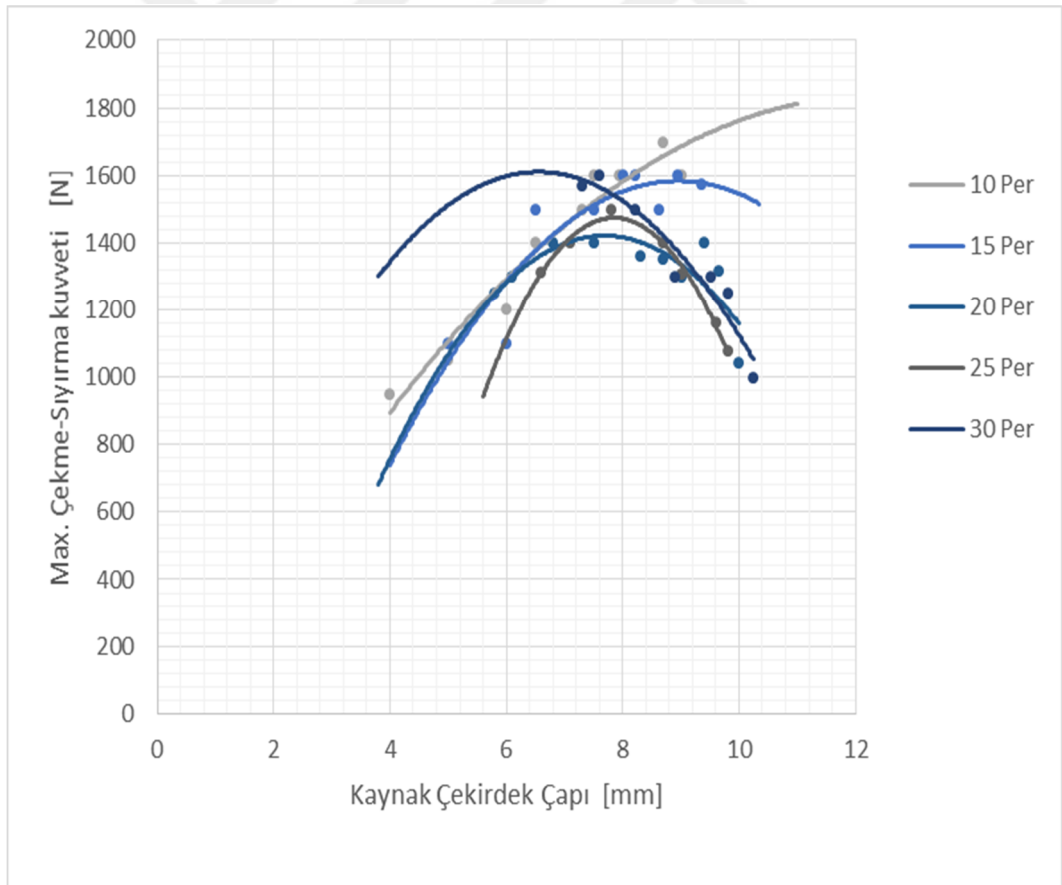
Şekil 8.35. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek çapı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak akım şiddetine bağlı olarak en yüksek çekme – sıyırma kuvveti; 10000 A' de 8,2 mm kaynak çekirdeği çapında 1760 N, 10500 A' de 8,4 mm kaynak çekirdeği çapında 1560 N, 11500 A' de 8,4 mm kaynak çekirdeği çapında 1560 N, 12500 A' de 7,4 mm kaynak çekirdeği çapında 1560 N, 13500 A' de 7,2 mm kaynak çekirdeği çapında 1440 N, 14500 A' de 7 mm kaynak çekirdeği çapında 1540 N, 15000 A' de 7,2 mm kaynak çekirdeği çapında 1630 N, 15500 A' de 6,8 mm kaynak çekirdeği

çapında 1660 N, 16000 A' de 8 mm kaynak çekirdeği çapında 1760 N ve 16500 A' de 8,4 mm kaynak çekirdeği çapında 1760 N olarak elde edilmiştir.

Kaynak süresine bağlı olarak en yüksek çekme sıyırma dayanımı 10 Periyot kaynak süresinde 10 mm kaynak çekirdeği çapında 1760 N, 15 Periyot kaynak süresinde 9 mm kaynak çekirdeği çapında 1580 N, 20 Periyot kaynak süresinde 7,6 mm kaynak çekirdeği çapında 1560 N, 25 Periyot kaynak süresinde 7,6 mm kaynak çekirdeği çapında 1480 N ve 30 Periyot 6,8 mm kaynak çekirdeği çapında 1410 N olarak elde edilmiştir.

Bu kaynak çekirdeği çaplarının üzerine çıkıldığında çekme – sıyırma kuvveti düşmektedir. Yapılan literatür araştırması ışığında benzer sonuçlar elde edilmiştir [71,73,117,119].

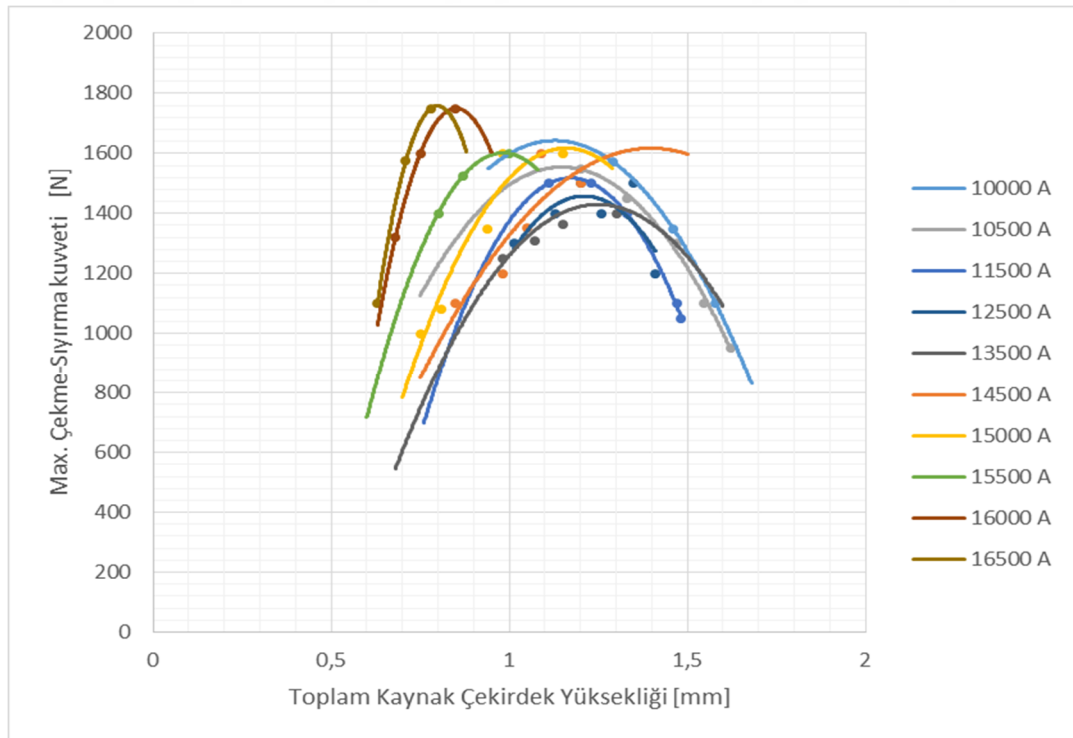


Şekil 8.36. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek çapı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

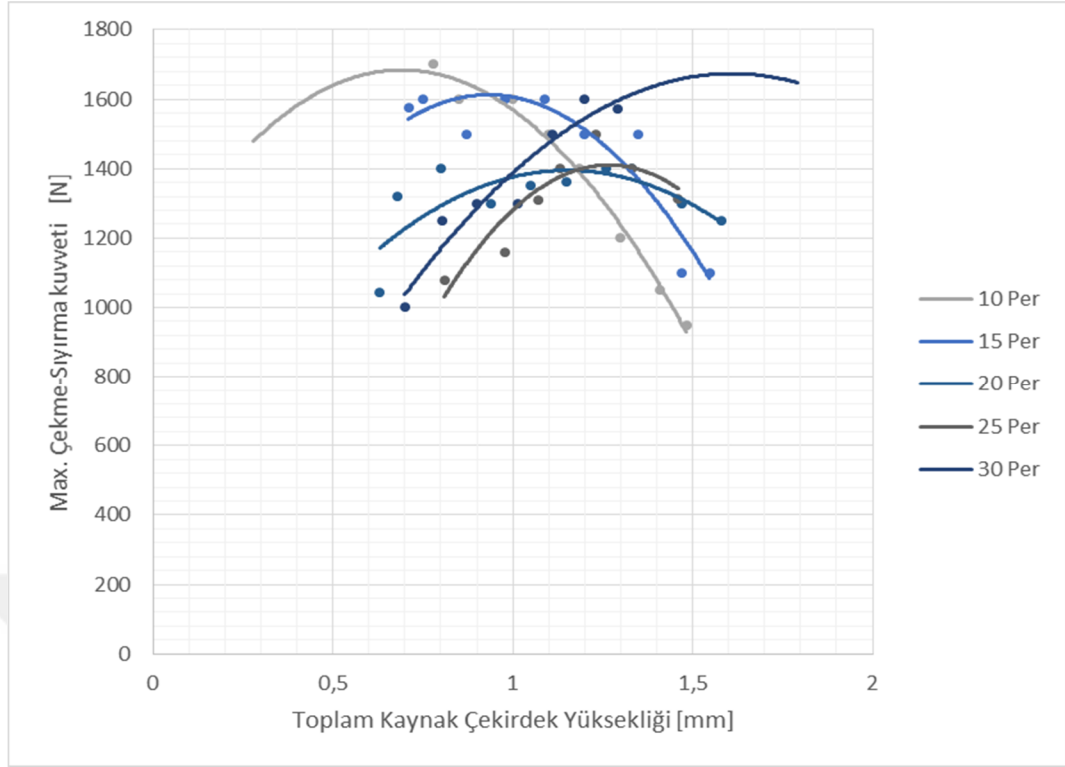
8.6.5. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme – sıyrma dayanımına etkisi

Çekirdek yüksekliğindeki artış ile kaynaklı birleştirmenin çekme – sıyrma dayanımı da artarken belirli bir noktadan sonra düştüğü kaynak çekirdek yüksekliğinin Şekil 8.37. ve Şekil 8.38.' de görülmektedir.

Kaynak akım şiddetine bağlı olarak en yüksek çekme – sıyrma kuvveti; 16000 ve 16500 A kaynak akım şiddetlerinde ve 0,8 mm çekirdek yüksekliğinde 1760 N, 15500 A kaynak akım şiddetinde 1 mm çekirdek yüksekliğinde 1620 N, 10000 A, 10500 A'de 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde 1650 N, 11500 A' de 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde 1520 N, 12500 A'de 1,2 mm çekirdek yüksekliğinde 1460 N, 13500 A' de 1,25 mm çekirdek yüksekliğinde 1440 N, 14500 A' de 1,4 mm çekirdek yüksekliğinde 1620 N, 15000 A' de 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde 1620 N olarak elde edilmiştir.



Şekil 8.37. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği yüksekliği ve çekme – sıyrma kuvveti arasındaki ilişki

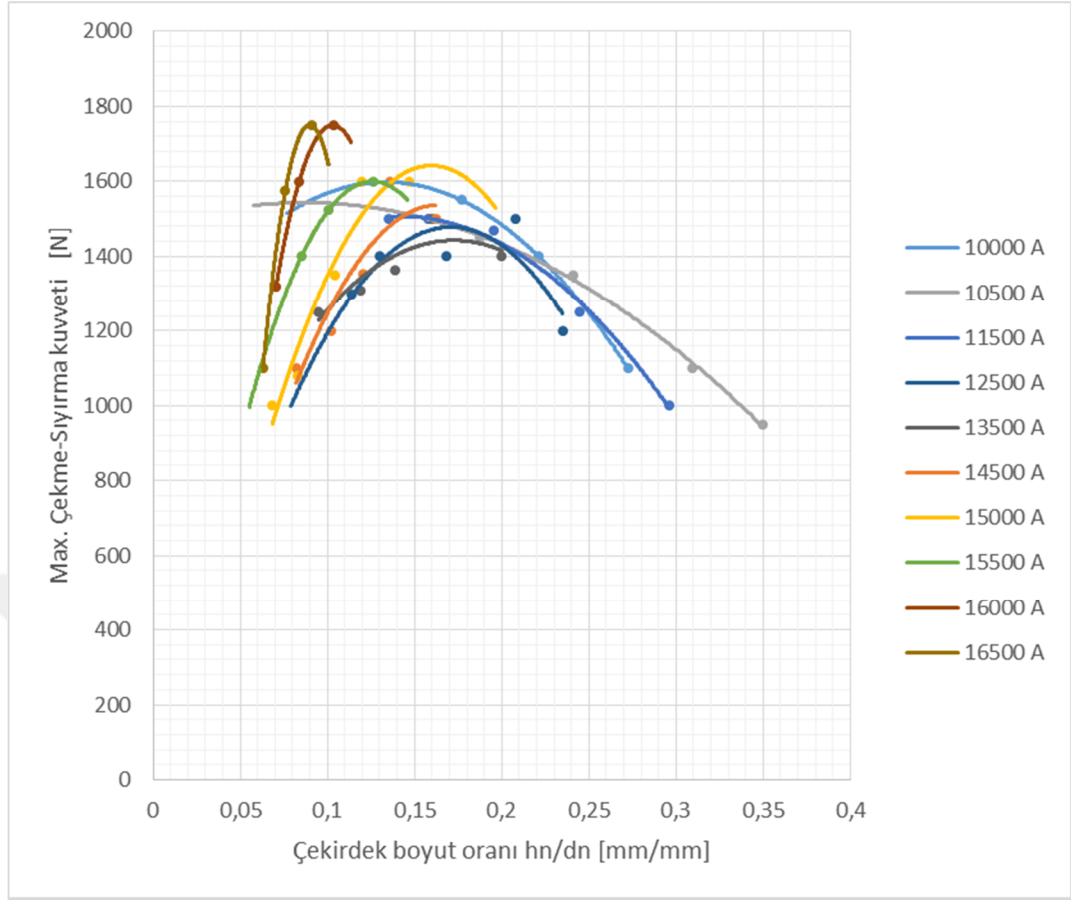


Şekil 8.38. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği yüksekliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

En yüksek çekme – sıyırma kuvvetinin elde edildiği kaynak süreleri şöyledir. 10 Periyot kaynak süresinde 0,7 mm, 15 Periyot kaynak süresinde 1 mm, 20 Periyot kaynak süresinde 1,2 mm, 25 Periyot kaynak süresinde 1,3 mm ve 30 Periyot kaynak süresinde 1,6 mm çekirdek yüksekliğinde elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra çekme-sıyırma kuvveti çekirdek yüksekliğinin artmasına rağmen düşmüştür. Benzer sonuçlar literatürde mevcuttur [71,73,117,119].

8.6.6. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çekme – sıyırma dayanımına etkisi

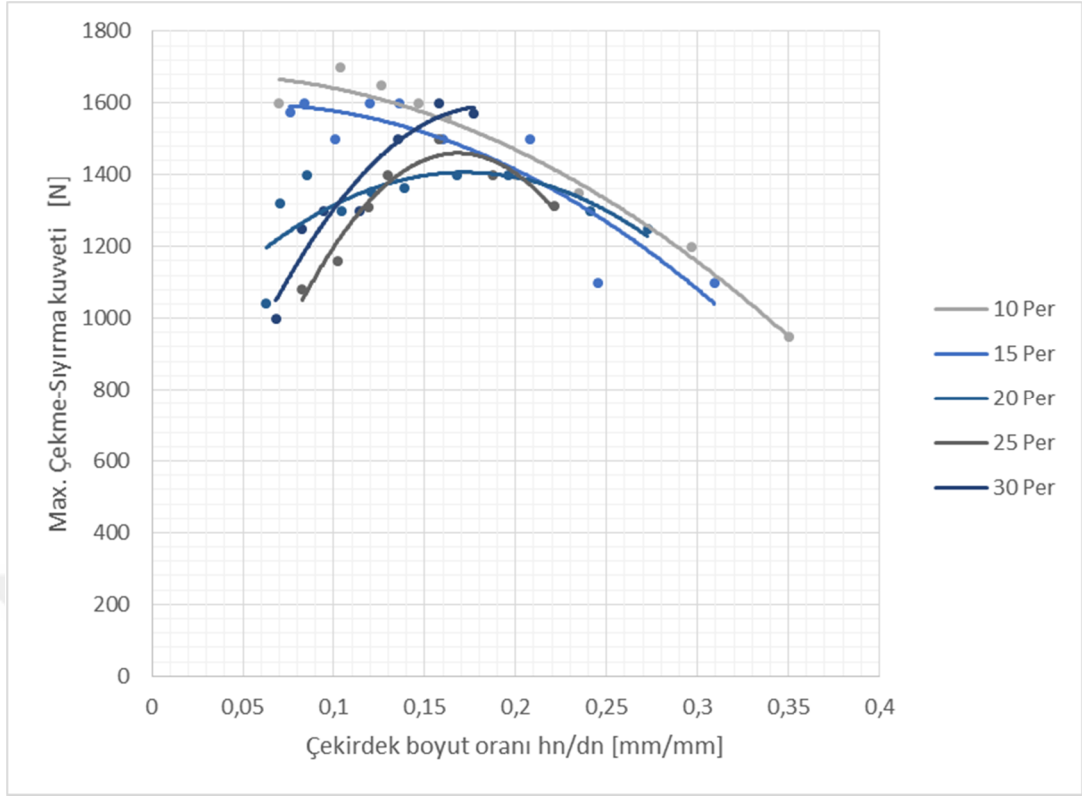
Şekil 8.39. ve Şekil 8.40.’ da görüldüğü gibi çekirdek boyut oranındaki artış ile birlikte kaynaklı birleştirmenin çekme sıyırma kuvveti belirli bir noktaya kadar artarken daha sonra azalmaktadır. Yüksek akım şiddetlerinde çekirdek boyut oranı minimum olmasına rağmen çekme – sıyırma kuvveti en üst düzeye ulaşmıştır.



Şekil 8.39. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak süresini artması çekirdek boyut oranında yine düşüşe sebep olurken çekme – sıyırma kuvvetini de olumsuz yönde etkilemektedir.

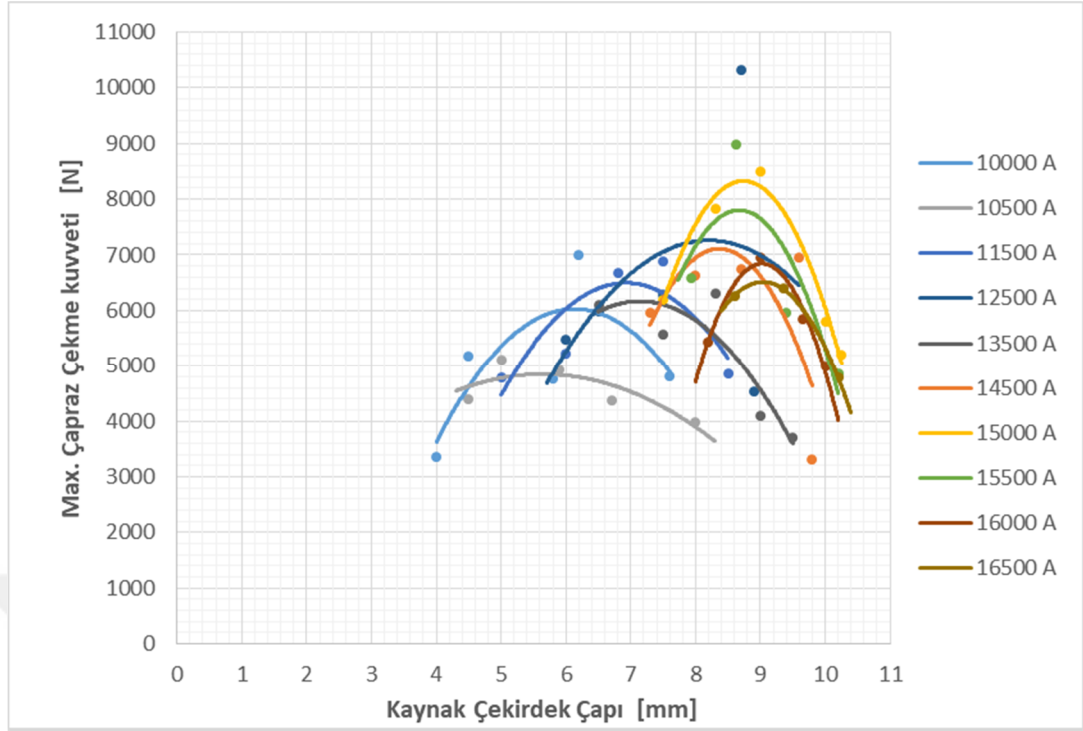
En yüksek çekme sıyırma kuvveti 10 Periyot ve 15 Periyot kaynak sürelerinde 0,07 mm kaynak çekirdeği boyut oranında, 20 ve 25 Periyot kaynak süresinde 0,18 mm kaynak çekirdeği boyut oranında ve 30 Periyot kaynak süresinde 0,17 mm kaynak çekirdeği boyut oranında elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra ısı girdisinin artması ile kaynak çekirdek boyut oranı artarken çekme sıyırma kuvveti de düşmektedir. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde bulunan sonuçlar örtüşmektedir [71,73,117,119].



Şekil 8.40. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

8.6.7. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapının çapraz çekme dayanımına etkisi

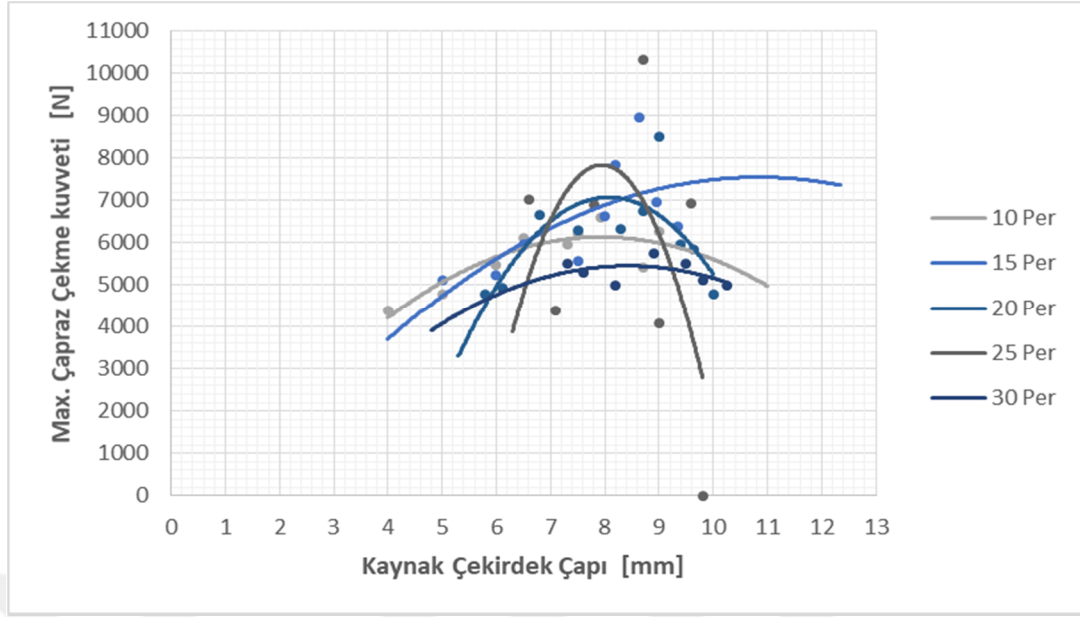
Şekil 8.41. ve Şekil 8.42.'de görüldüğü gibi kaynak çekirdek çapındaki artış çapraz çekme kuvvetini de belirli bir noktaya kadar arttırmıştır. Kaynak çekirdek çapının daha da artmasıyla çapraz çekme kuvveti de bu artışla düşmüştür. Bunun sebebi ise yüksek kaynak süresi ve kaynak akım şiddetinin etkisiyle kaynak noktasına verilen ısı girdisinin artması sonucudur. Bununla birlikte ısı girdisinin arttığı bu bölgelerde ergimenin fazla olduğu, elektrot baskı kuvvetinin ise halen aynı olduğundan dolayı ergiyen metalin fişkirarak dışarı çıkması, kaynak çekirdek boyunun kısılması ve kaynak kesitindeki daralma çapraz çekme kuvvetinde düşmeye neden olmaktadır.



Şekil 8.41. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapını ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

En yüksek çapraz çekme kuvveti, 10000 A' de 6,4 mm kaynak çekirdek çapında 6000 N, 10500 A' de 5,8 mm kaynak çekirdek çapında 4600 N, 11500 A' de 7 mm kaynak çekirdek çapında 6460 N, 12500 A' de 8,2 mm kaynak çekirdek çapında 7230 N, 13500 A' de 7,2 mm kaynak çekirdek çapında 6210 N, 14500 A' de 8,5 mm kaynak çekirdeği çapında 7200 N, 15000 A ve 15500 A' de 8,8 mm kaynak çekirdek çapında sırasıyla 8360 N ve 7800 N, 16000 A ve 16500 A' de 9,2 mm kaynak çekirdeği çapında sırasıyla 6800 N ve 6520 N olarak elde edilmiştir.

En yüksek çapraz çekme kuvveti, 10 Periyot kaynak süresinde 8,3 mm kaynak çekirdek çapında 6190 N, 15 Periyot kaynak süresinde 11 mm kaynak çekirdek çapında 7590 N, 20 Periyot kaynak süresinde 8 mm kaynak çekirdeği çapında 7180 N, 25 Periyot kaynak süresinde 8 mm kaynak çekirdeği çapında 7820 N ve 30 Periyot kaynak süresinde 8,5 mm kaynak çekirdek çapında 5400 N olarak elde edilmiştir.

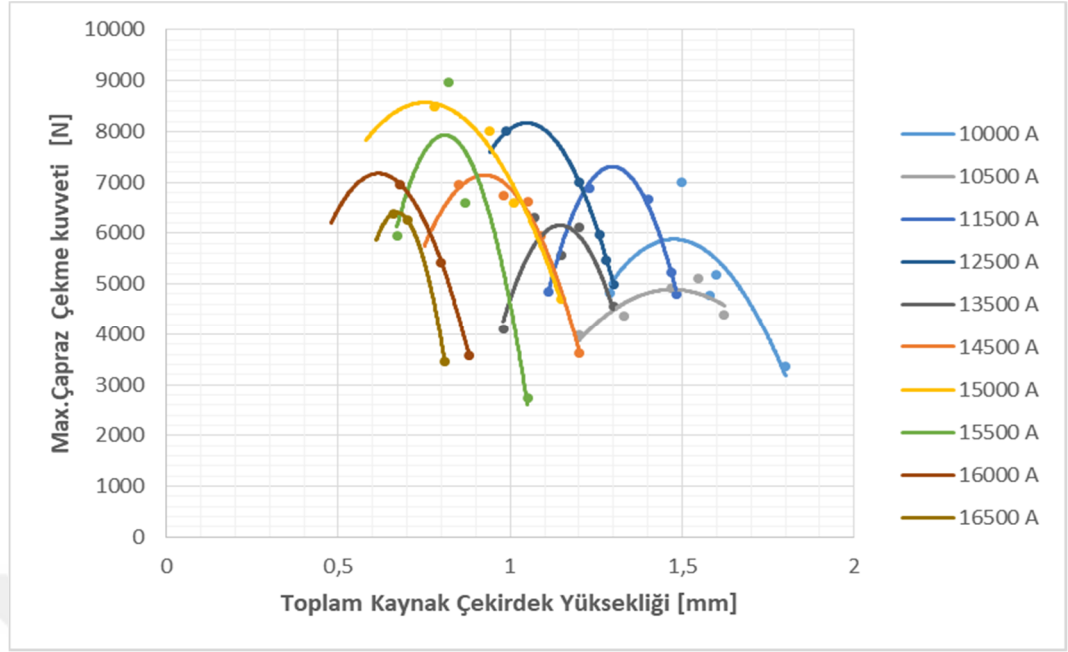


Şekil 8.42. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği çapını ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

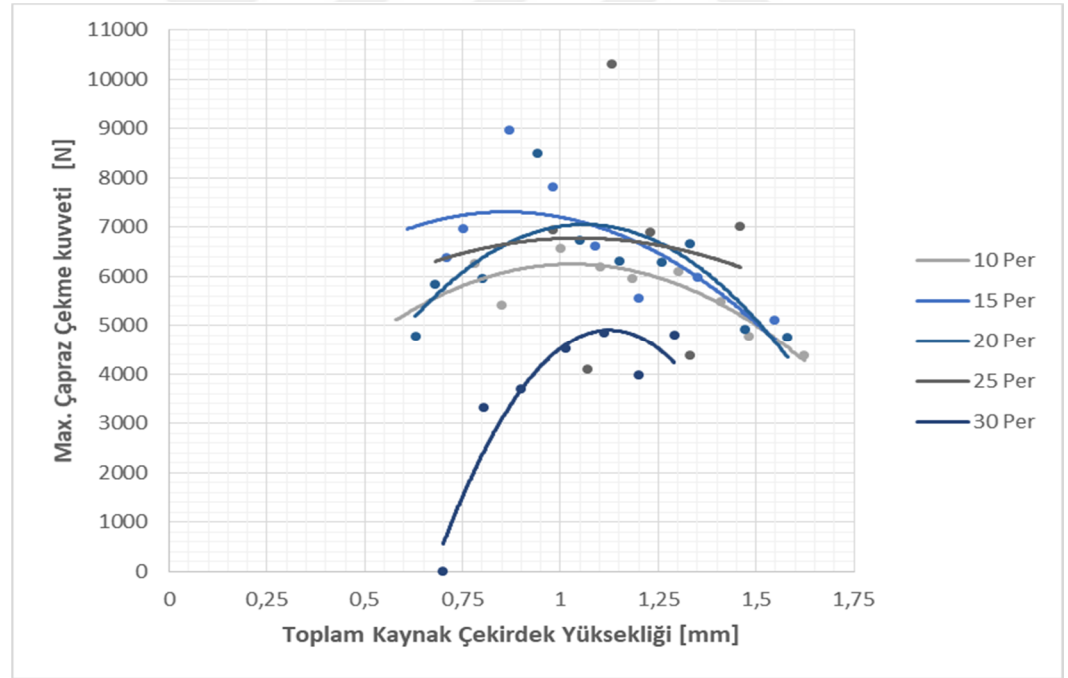
8.6.8. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğinin çapraz çekme dayanımına etkisi

Çekirdek yüksekliğinde olan yükselme ile kaynaklı birleştirmenin çapraz çekme dayanımı da belirli bir noktaya kadar artarken daha sonra hızla düştüğü Şekil 8.43. ve Şekil 8.44.' de görülmektedir. Bunun sebepleri arasında artan ısı girdisi ile birlikte kaynak noktasında ergimenin fazla olduğu ve bu ergiyen metalin fişkırlarak dışarı atılması ile dalma derinliğinin artması sayılabilir.

Maksimum çapraz çekme dayanımı 10, 20 ve 25 periyot kaynak sürelerinde kaynak çekirdek yüksekliğinin 1,1 mm olduğu, 15 periyot kaynak süresinde 0,9 mm kaynak çekirdeği yüksekliğinde ve 30 periyot kaynak süresinde 1,2 mm kaynak çekirdeği yüksekliğinde elde edilmiştir. Literatürde de buna benzer sonuçlar vardır [71,73,117,119].



Şekil 8.43. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

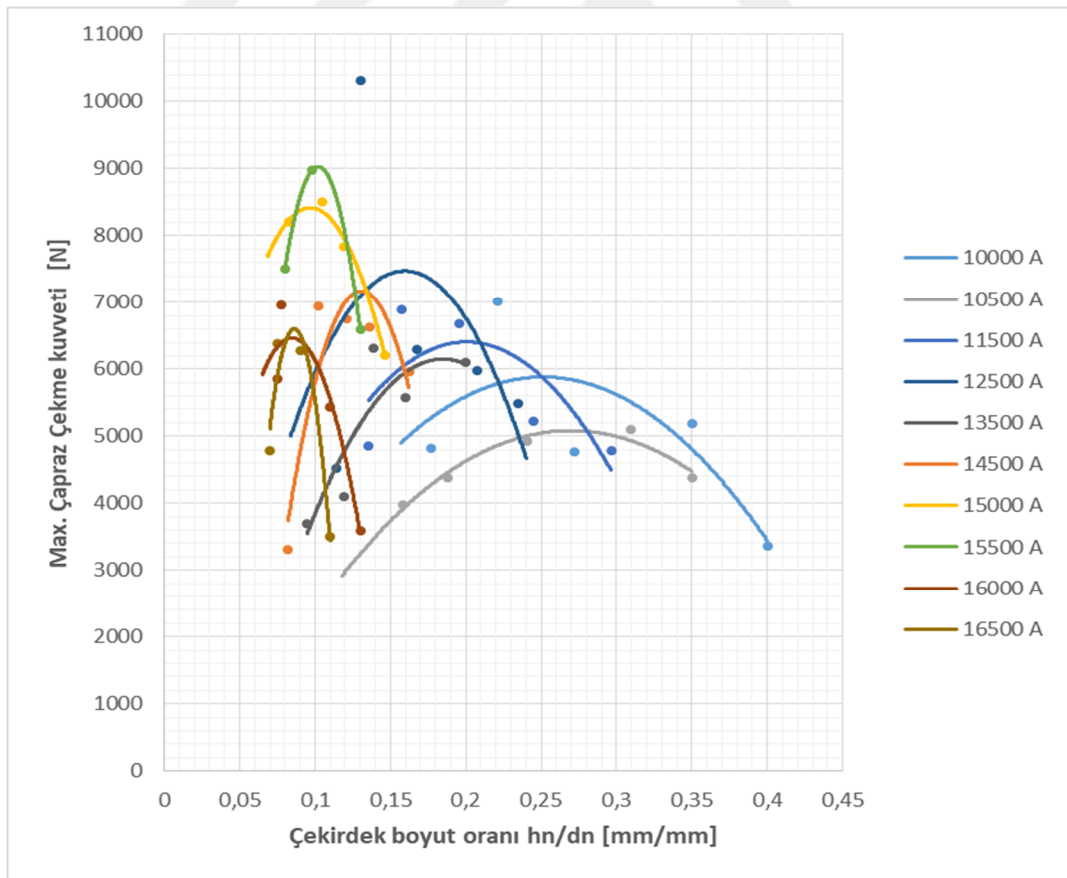


Şekil 8.44. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

Maksimum çapraz çekme dayanımı 8550 N, 15 Periyot kaynak süresi ve 15000 A' de elde edilirken, minimum çapraz çekme dayanımı 2600 N, 30 periyot kaynak akım süresi ve 15500 A' de elde edilmiştir.

8.6.9. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak süresi ve akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranının çapraz çekme dayanımına etkisi

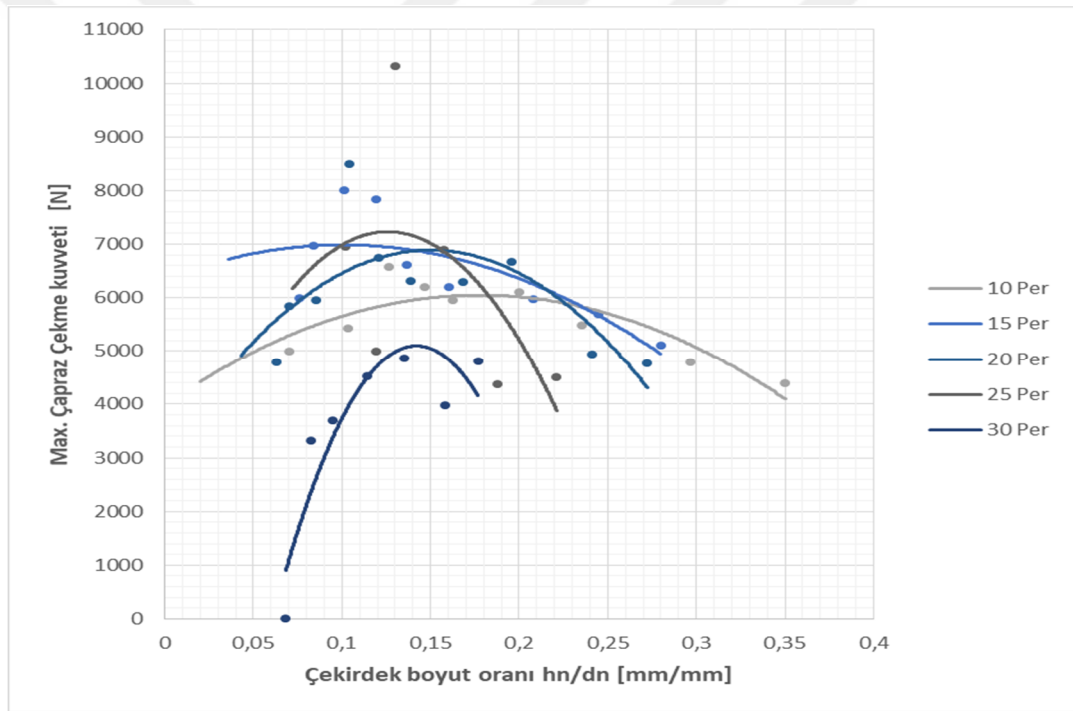
Şekil 8.45. ve şekil 8.46.'da görüldüğü gibi çekirdek boyut oranındaki artış ile birlikte kaynaklı birleştirmenin çekme sıyırma kuvveti belirli bir noktaya kadar artarken daha sonra çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Yüksek akım şiddetlerinde çekirdek boyut oranı minimum olmasına rağmen çekme – sıyırma kuvveti en üst düzeye ulaşmıştır.



Şekil 8.45. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

Düşük kaynak akım şiddetlerinde çekirdek boyut oranı ısı girdisinin azlığı ile artarken çapraz çekme dayanımı minimum seviyelere inmiştir. Kaynak çekirdek çapının çok düşmesi buna paralel olarak da çekirdek boyut oranının artması çapraz çekme dayanımını olumsuz etkilemektedir.

Kaynak akım şiddeti göz önüne alınırsa maksimum çapraz çekme dayanımı 10000 A' de 0,26 mm, 10500 A' de 0,28 mm, 11500 A' de 0,21 mm, 12500 A' de 0,16 mm, 13500 A' de 0,19 mm, 14500 A' de 0,13 mm, 15000 A' de 0,1 mm, 15500 A' de 0,11 mm, 16000 A ve 16500 A akım değerlerinde 0,09 mm kaynak çekirdeği boyut oranlarında elde edilmiştir.



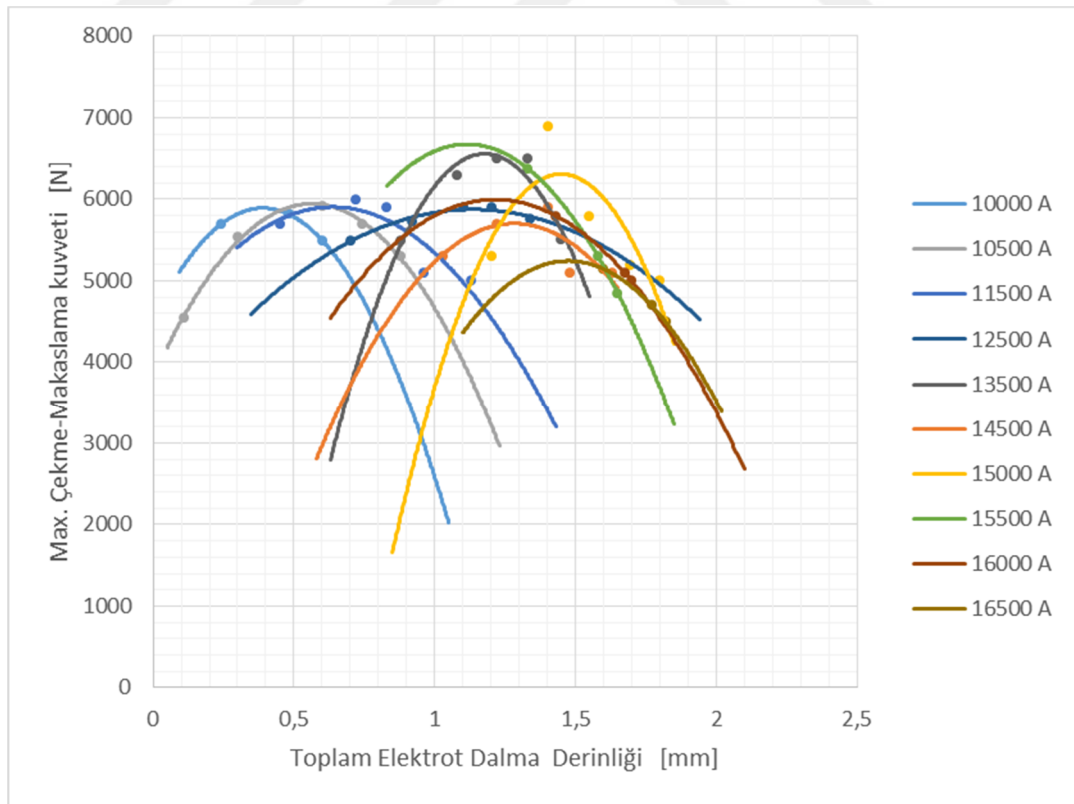
Şekil 8.46. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdeği boyut oranı ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

En yüksek çapraz çekme dayanımı, 10 Periyot kaynak süresinde 0,19 mm çekirdek boyut oranında 6000 N, 15 Periyot kaynak süresinde 0,08 mm çekirdek boyut oranında 7000 N, 20, Periyot kaynak sürelerinde 0,15 mm kaynak çekirdeği boyut oranında 6810 N, 25 Periyot kaynak süresinde 0,13 mm çekirdek boyut oranında 7220 N, 30 Periyot kaynak süresinde 0,14 mm çekirdek boyut oranında 5160 N olarak elde edilmiştir.

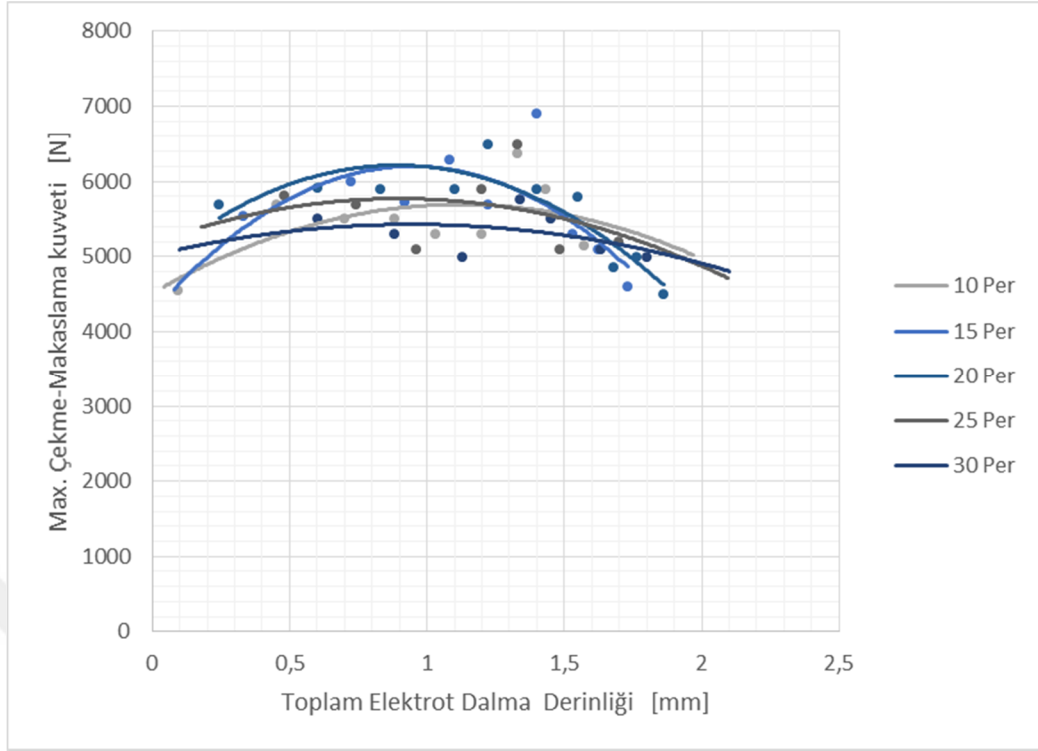
8.7. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Elektrot Dalma Derinliğinin Çekme – Makaslama, Çekme – Sıyırma ve Çapraz Çekme Dayanımına Etkisi

8.7.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme – makaslama dayanımına etkisi

Elektrot dalma derinliğindeki artış ile birlikte kaynaklı birleştirmenin çekme - makaslama kuvveti de artmaktadır. Ancak, bu artış belirli bir noktaya kadar olurken daha sonra hızla düştüğü Şekil 8.47. ve Şekil 8.48.' de gösterilmiştir. Yüksek akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak sürelerinde ısı girdisinin artmasıyla kaynak noktasında ergimenin fazla olması ve elektrot kuvvetinin sabit olmasından kaynaklı ergiyen metalin fışkırması ile oluşan kaynak kesitindeki daralmadan dolayı çekme – makaslama kuvveti düşüş göstermektedir.



Şekil 8.47. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

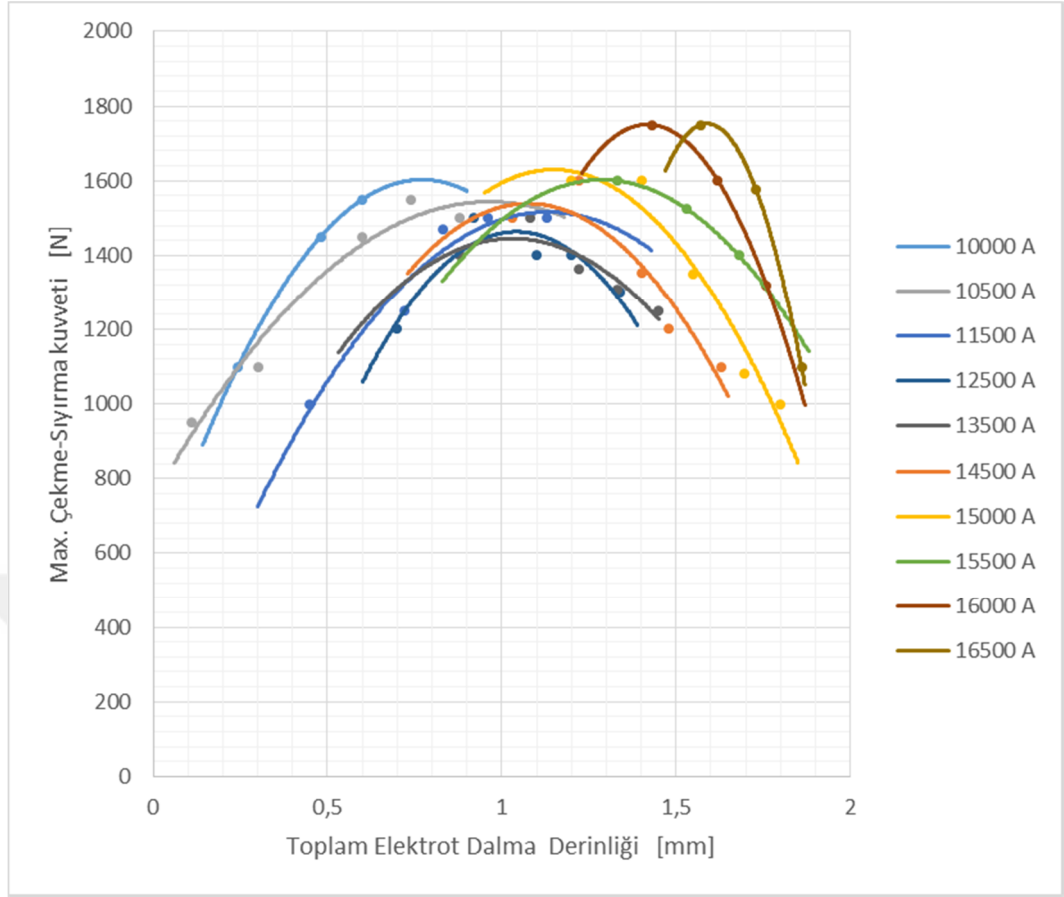


Şekil 8.48. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – makaslama kuvveti arasındaki ilişki

Maksimum çekme – makaslama kuvveti, 10 Periyot kaynak süresinde 1,2 mm elektrot dalma derinliğinde 5600 N, 15 periyot ve 20 periyot kaynak süresinde 0,9 mm elektrot batma derinliğinde 6200 N, 25 ve 30 periyot kaynak süresinde 1 mm elektrot batma derinliğinde 5900 N ve 5400 N olarak elde edilmiştir.

8.7.2. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme – sıyrma dayanımına etkisi

Şekil 8.49. ve Şekil 8.50.'de görüldüğü gibi elektrot dalma derinliğinin artmasıyla birlikte belirli bir noktaya kadar çekme – sıyrma dayanımı da artmaktadır. Ancak bu noktadan sonra da hızlı bir şekilde düşüş görülmektedir. Bunun sebepleri arasında yüksek ısı girdisinden kaynaklı fişkırmalar ve bununla birlikte kaynak noktasında oluşan kesit daralmasıdır.

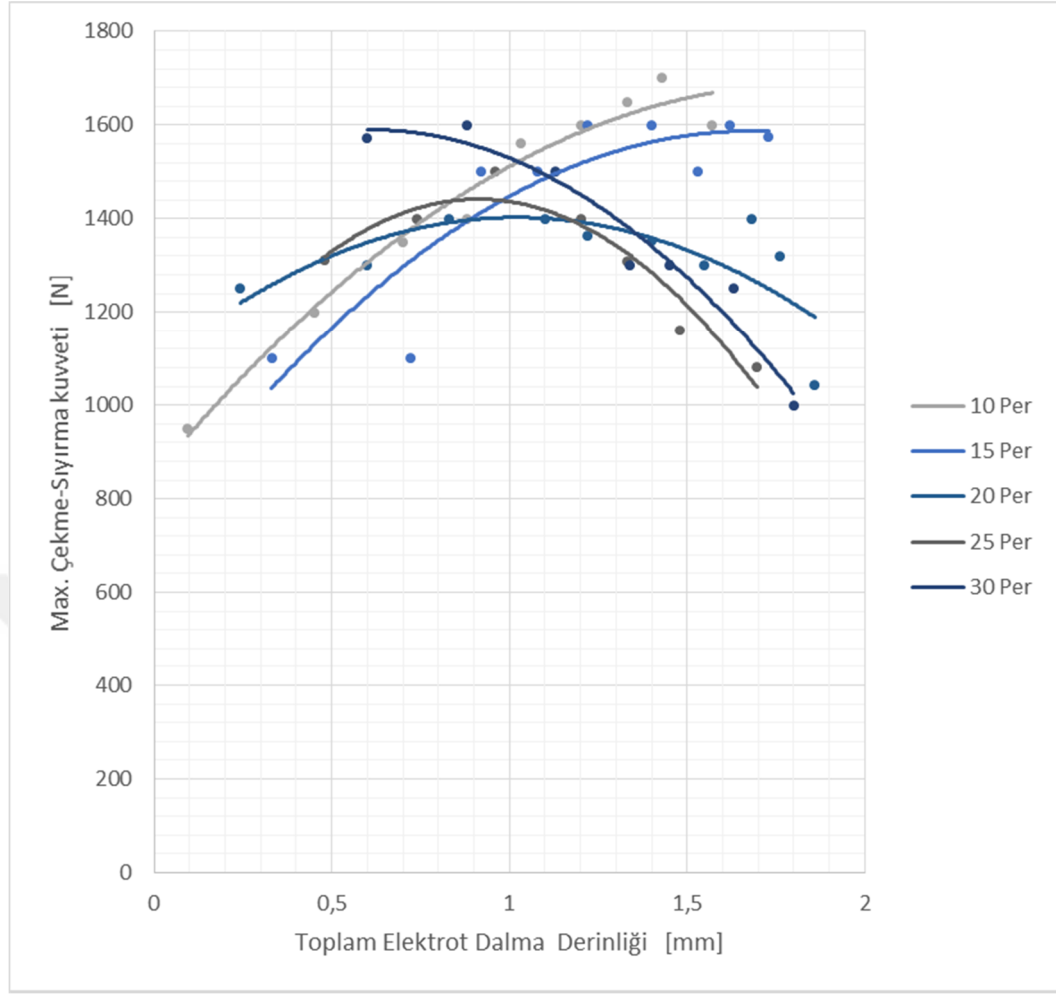


Şekil 8.49. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

Kaynak akım şiddetleri göz önüne alındığında maksimum çekme – sıyırma dayanımının elde edildiği akım değerlerini şöyle sıralayabiliriz. 10000 A kaynak akım şiddetinde 0,8 mm elektrot dalma derinliğinde 1600 N çekme – sıyırma kuvveti, 10500 A kaynak akım şiddetinde 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde 1550 N çekme – sıyırma kuvveti, 11500 A kaynak akım şiddetinde 1,2 mm elektrot dalma derinliğinde 1500 N çekme – sıyırma kuvveti, 12500 A kaynak akım şiddetinde 1,2 mm elektrot dalma derinliğinin 1440 N çekme – sıyırma kuvveti elde edilmiştir.

Burada da görüldüğü gibi elektrot dalma derinliğinin artması çekme – sıyırma kuvvetini düşürmektedir.

Bu değerlerin üzerindeki dalma derinliklerinde çekme – sıyırma kuvveti hızlı bir düşüş göstermektedir.

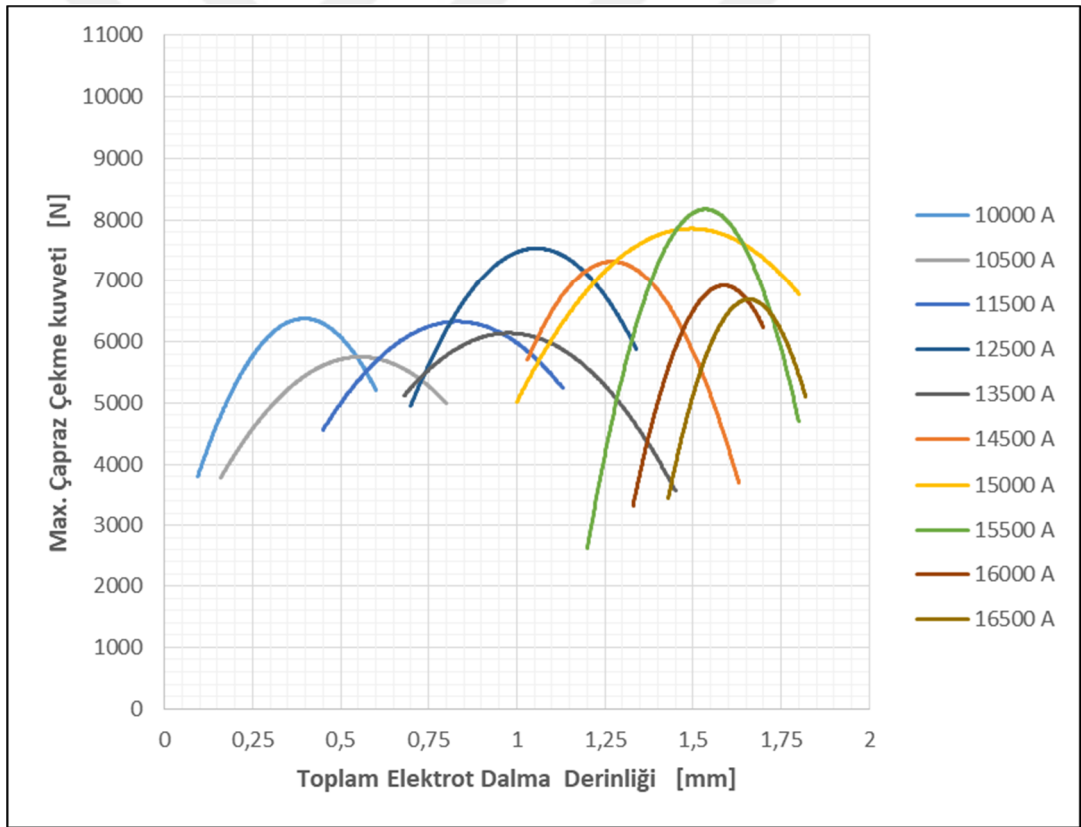


Şekil 8.50. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çekme – sıyırma kuvveti arasındaki ilişki

En yüksek çekme – sıyırma kuvveti, 10 periyot kaynak süresinde 1,43 mm elektrot dalma derinliğinde 1700 N, 15 periyot kaynak süresinde 1,62 mm elektrot batma derinliğinde 1576 N, 20 periyot kaynak süresinde 1,1 mm elektrot batma derinliğinde 1400 N, 25 periyot kaynak süresinde 0,9 mm elektrot batma derinliğinde 1400 N ve 30 periyot kaynak süresinde 0,6 mm elektrot dalma derinliğinde 1600 N olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin üzerinde olan elektrot dalma derinliklerinde çekme – sıyırma dayanımı hızlı bir düşüş göstermektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde literatürdeki diğer çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir [71,78,80,83,93,112,117].

8.7.3. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çapraz çekme dayanımına etkisi

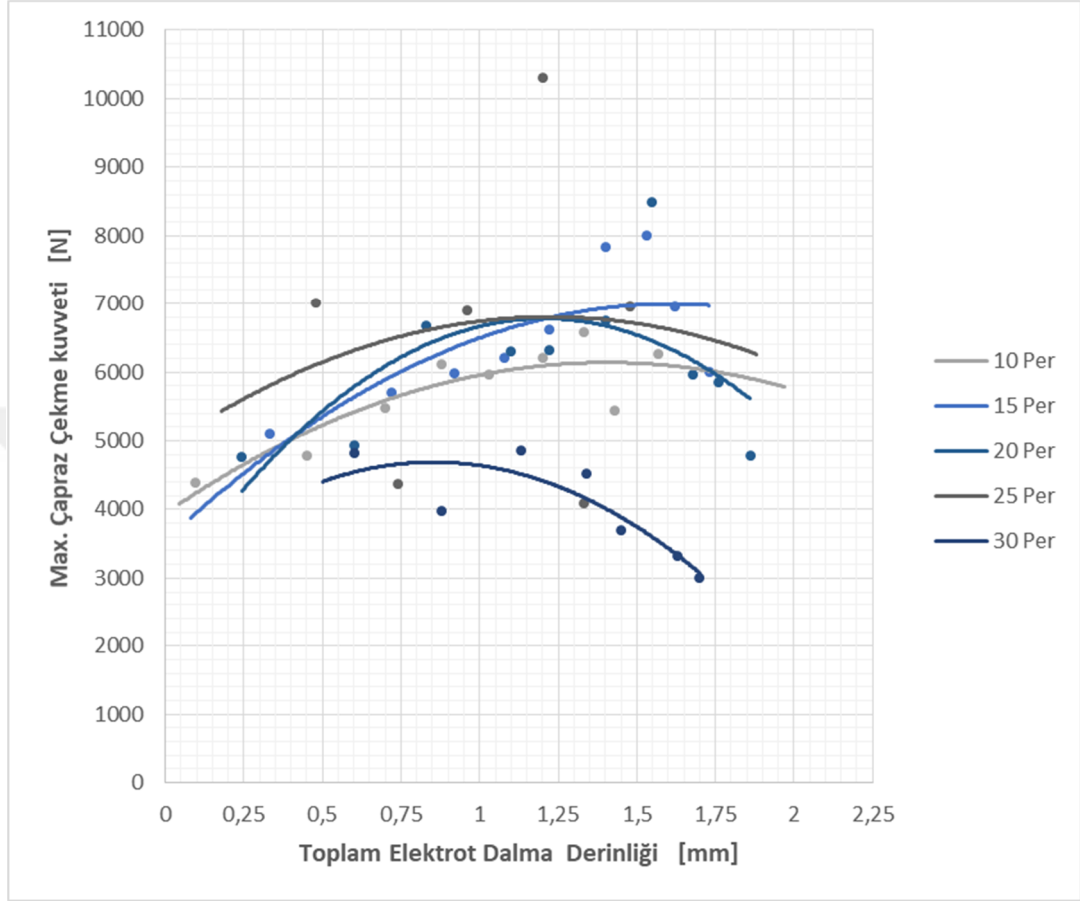
Elektrot dalma derinliğinin artması kaynaklı birleştirmelerde çekme - makaslama kuvvetini de arttırmaktadır. Ancak, belirli bir noktaya kadar olan bu artışın Şekil 8.51. ve Şekil 8.52.'de gösterildiği gibi hızla düştüğü saptanmıştır. Kaynak süresinin artması ve yüksek akım şiddetlerine çıkılması ile birlikte ısı girdisinin artması kaynak noktasında ergimenin fazla olmasına neden olur. Ergiyen metalin fışkırması ile oluşan kaynak kesitindeki daralma da çapraz çekme kuvvetini olumsuz olarak etkilemektedir. Bunun aksine düşük kaynak akımlarında çapraz çekme kuvvetinin doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8.51. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

Maksimum çekme – makaslama kuvveti, 10 periyot kaynak süresinde 1,45 mm elektrot dalma derinliğinde 6190 N, 15 periyot kaynak süresinde 1,70 mm elektrot dalma derinliğinde 7000 N, 20 periyot ve 25 periyot kaynak sürelerinde 1,25 mm

elektrot batma derinliğinde 6800 N ve 30 periyot kaynak süresinde 0,9 mm elektrot batma derinliğinde 4700 N olarak elde edilmiştir.

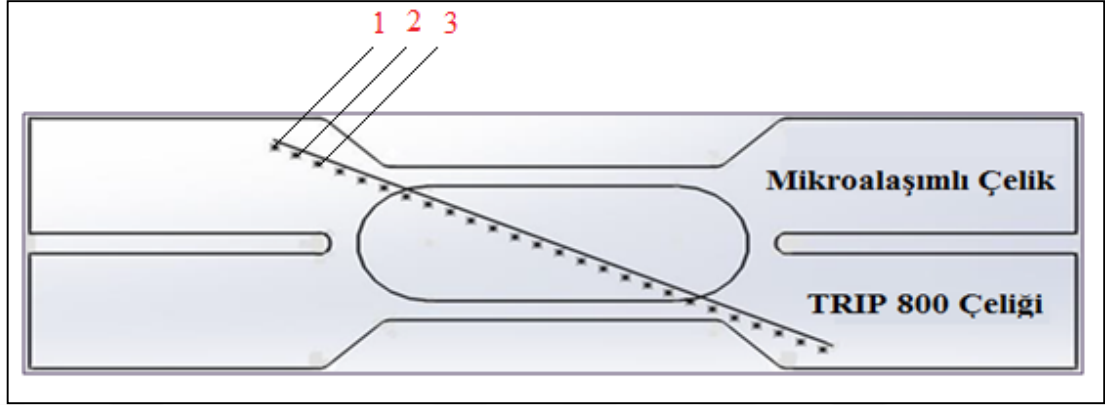


Şekil 8.52. Kaynak süresine bağlı olarak elektrot dalma derinliği ve çapraz çekme kuvveti arasındaki ilişki

8.8. TRIP 800 – Mikroalaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmelerin Sertlik Değerine Etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağı yapılmış TRIP 800 – Mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelerin Şekil 8.53.'de şematize edildiği biçimde mikroalaşımlı çeliğin kaynaktan etkilenmemiş bölgesinden başlayarak ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeğinin tam ortasından geçecek şekilde çapraz doğrultuda TRIP 800 çeliğinin kaynaktan etkilenmemiş bölgesine kadar 0,2 mm aralıklarla mikro Vickers sertlik

değerleri 0,2 kg yük uygulanarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri EN ISO 14271 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 8.53. Kaynaklı birleştirmelerin sertlik ölçüm doğrultuları

8.8.1. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerinin sertlik değerine etkisi

TRIP 800 – mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelere ait sertlik değerlerinin alındığı noktalar dört farklı bölgeden alınmıştır. Bu bölgeler;

1. Mikroalaşımli çeliğinin ısıdan etkilenmeyen bölgesi
2. ITAB
3. Kaynak Çekirdeği
4. ITAB
5. TRIP 800 çeliğinin ısıdan etkilenmeyen bölgesi

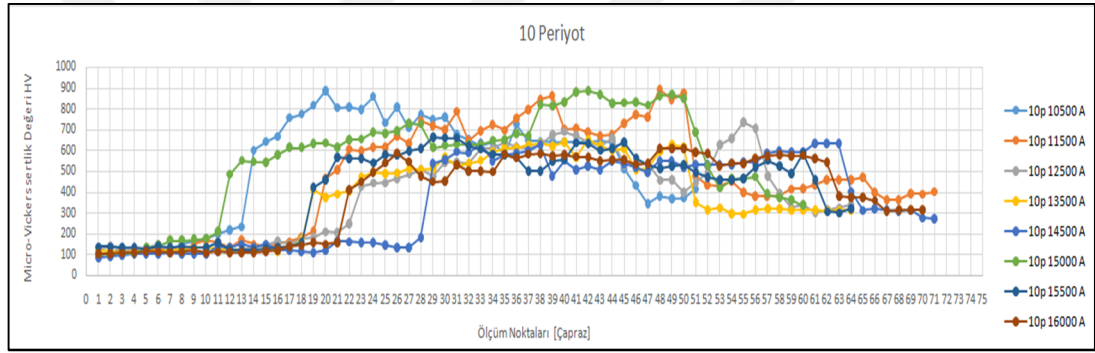
Kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğinden mikroalaşımli çeliğinin bulunduğu ITAB bölgesine doğru ve TRIP 800 çeliğinin bulunduğu ITAB bölgesine doğru gidildiğinde sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin ilk noktasından (Mikroalaşımli çelikten) alınan sertlik değeri ortalama 105 HV, son noktalarından alınan (TRIP 800 çeliğinden) sertlik değeri ortalama 270 HV iken iki taraftan da kaynak çekirdeğine gidildikçe sertlik

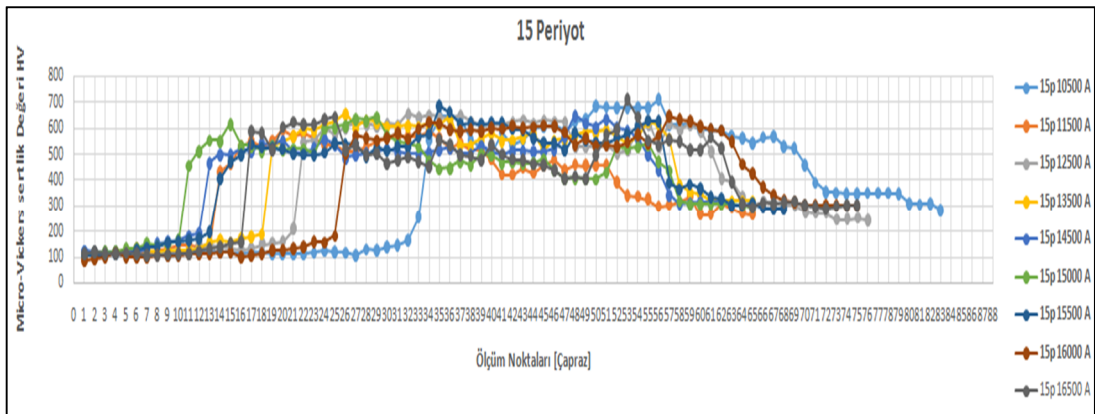
değerleri artmıştır. Ortalama olarak çekirdek merkezinde 750 HV' e ulaşmıştır. Sertlik değeri TRIP' den yaklaşık üç kat, mikroalaşımlıdan yedi kat artmıştır.

Bunun sebebi TRIP 800 çeliğinin mikroyapısında hali hazırda bulunan martenzit yapı, kaynak sırasında yapıda bulunan kalıntı östenitin ve ferrit fazının ısınıp hızla soğumasından oluşan martenzitik yapının etkisinden dolayıdır [71,78,80,83,93,112,117].

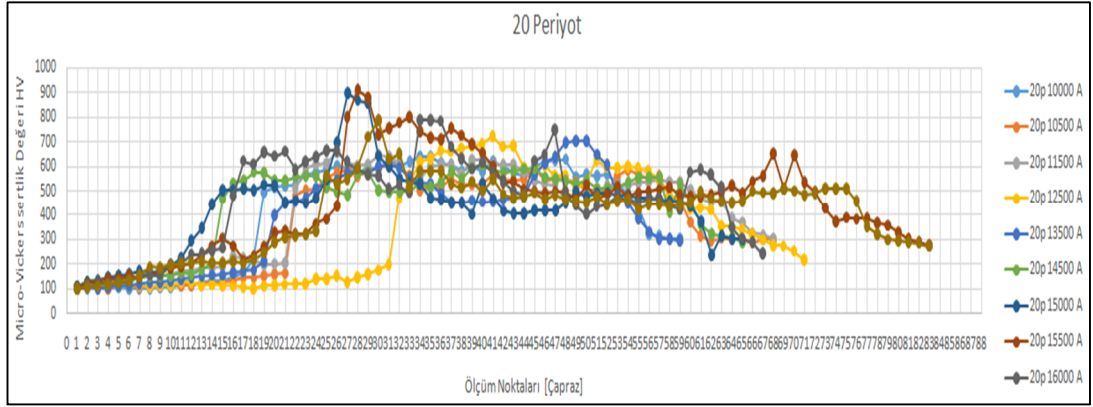
Şekil 8.54., Şekil 8.55., Şekil 8.56., Şekil 8.57 ve Şekil 8.58' de kaynak sürelerinin farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynaklı birleştirmelerin sertliğine etkisi görülmektedir.



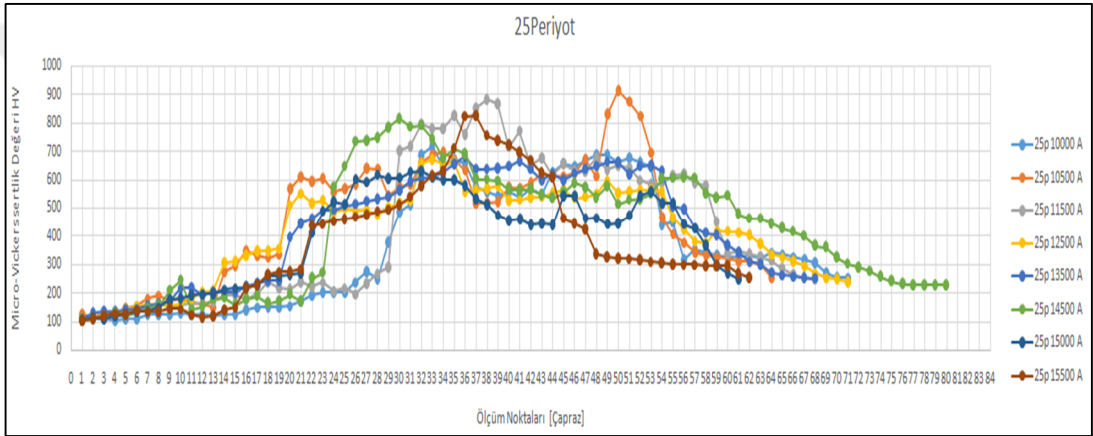
Şekil 8.54. 10 Periyot kaynak süresinde mikroalaşımlı çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



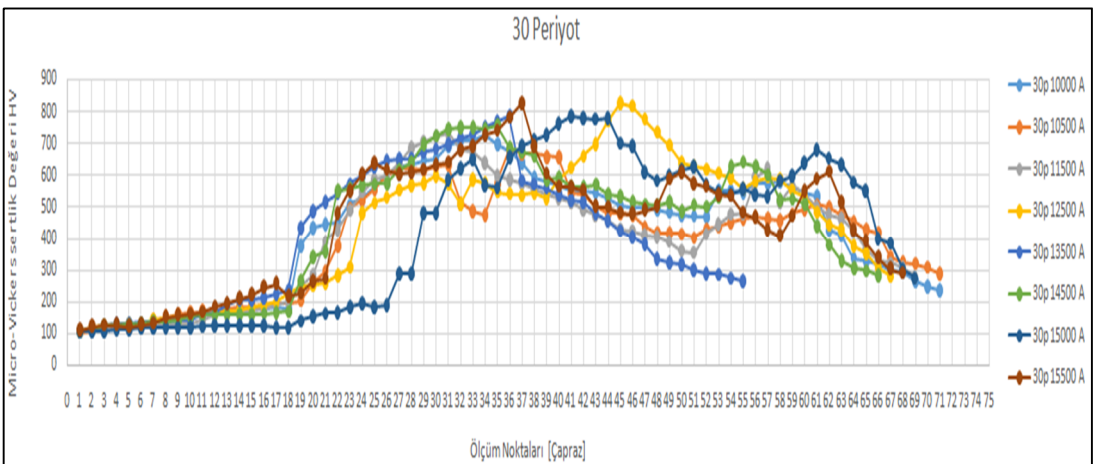
Şekil 8.55. 15 Periyot kaynak süresinde mikroalaşımlı çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



Şekil 8.56. 20 Periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



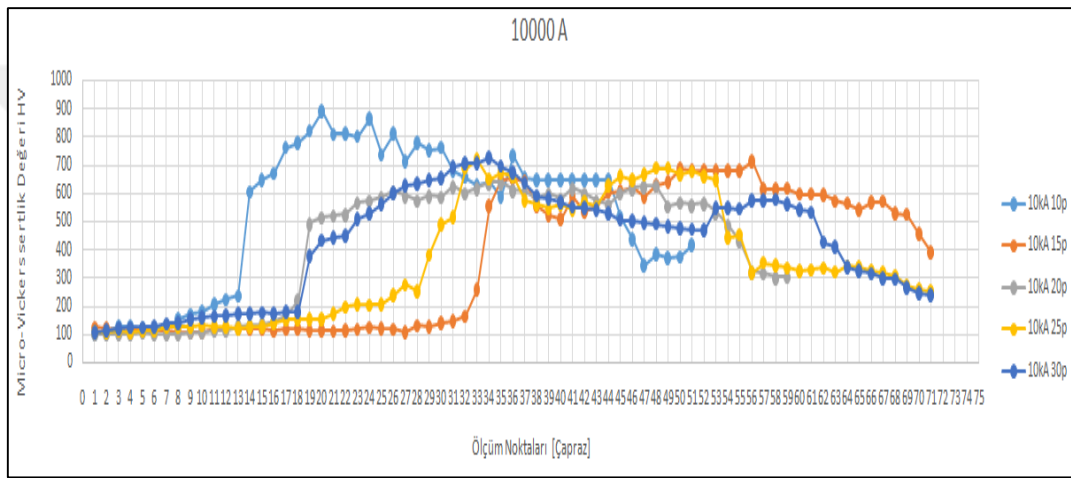
Şekil 8.57. 25 Periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



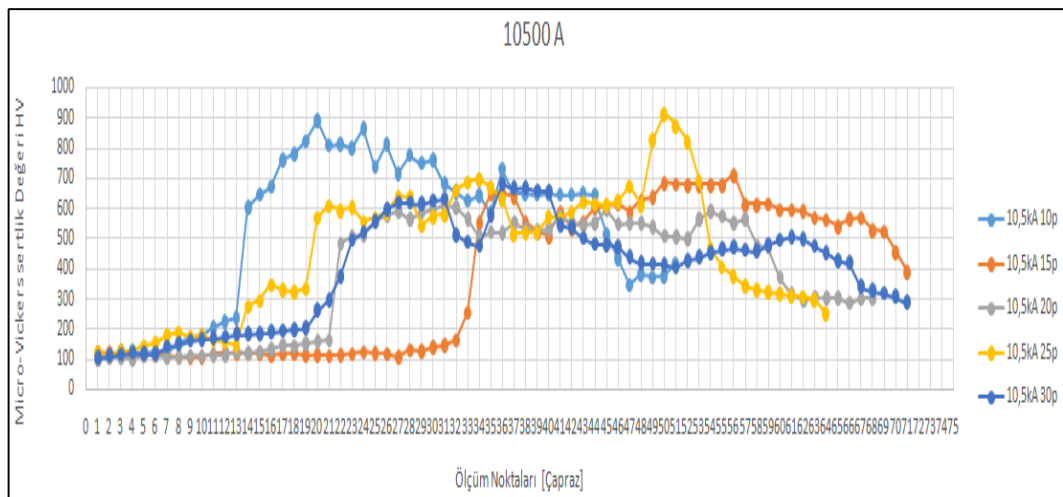
Şekil 8.58. 30 Periyot kaynak süresinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi

8.8.2. TRIP 800 – mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetlerinin sertlik değerine etkisi

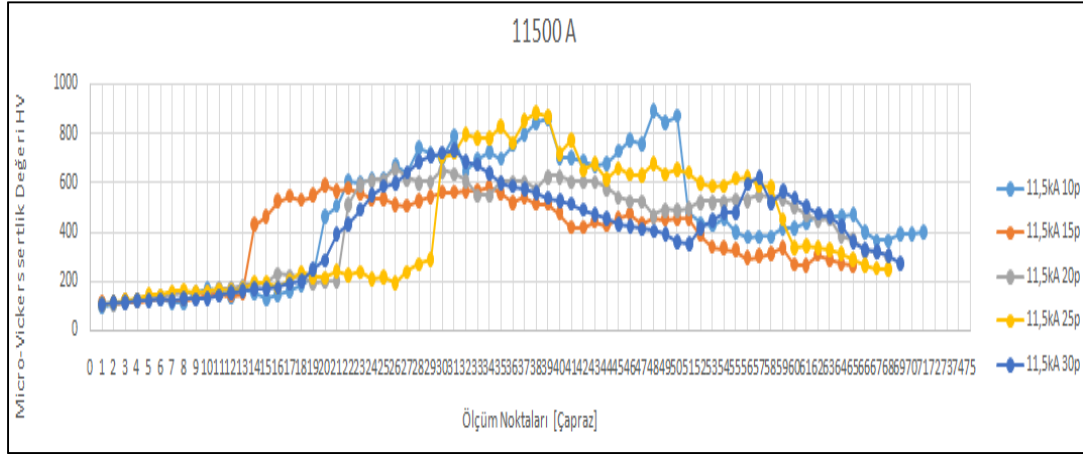
Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetine göre değişen sertlik değerleri Şekil 8.59. ile Şekil 8.67. aralığındaki şekillerde verilmiştir. Her bir kaynak süresinde 10000 A değerinde elde edilen değerler en yüksek sertlik değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen en yüksek sertlik değeri 900 micro Vickers civarındadır. Kaynak akım şiddetinin artmasıyla sertlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir.



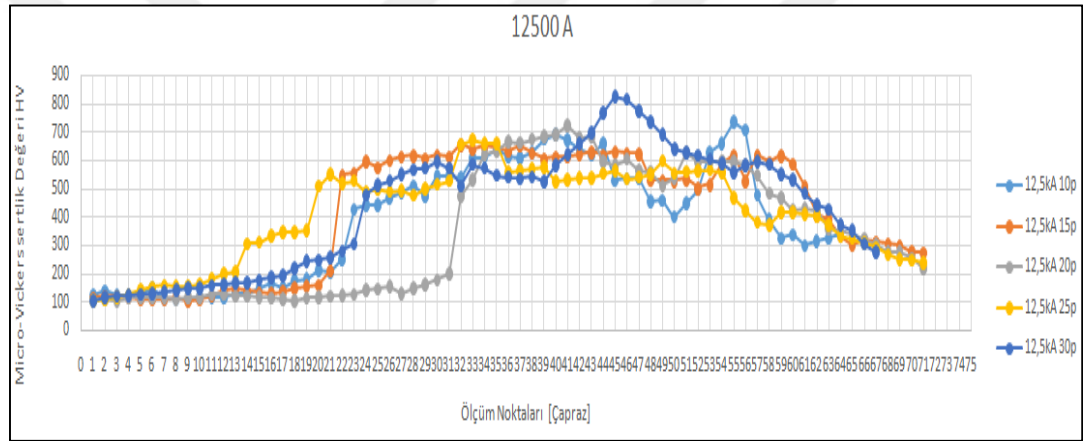
Şekil 8.59. 10000 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



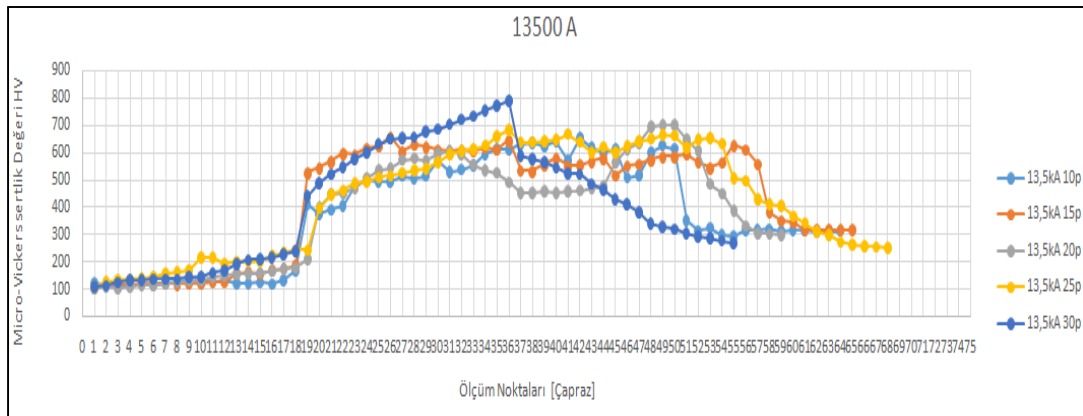
Şekil 8.60. 10500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



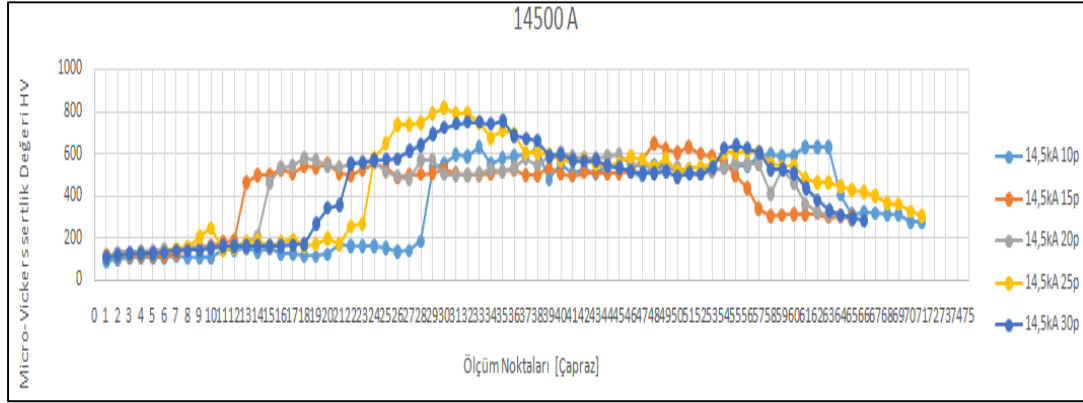
Şekil 8.61. 11500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



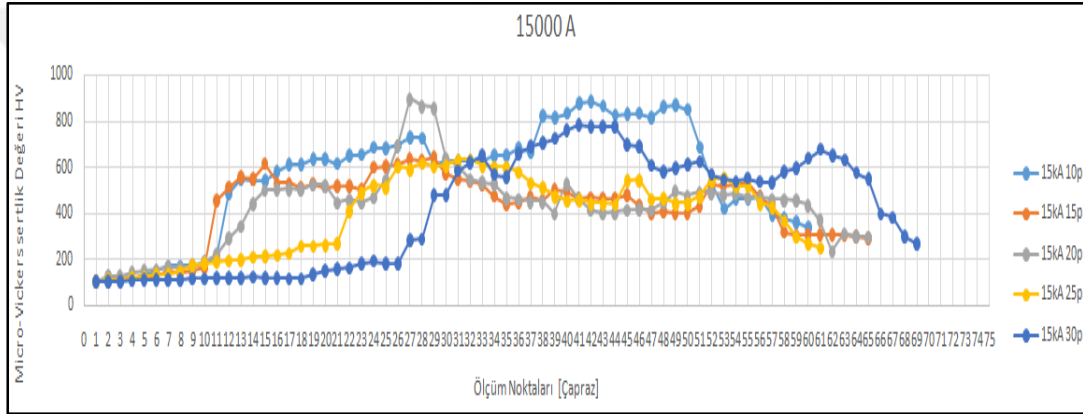
Şekil 8.62. 12500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



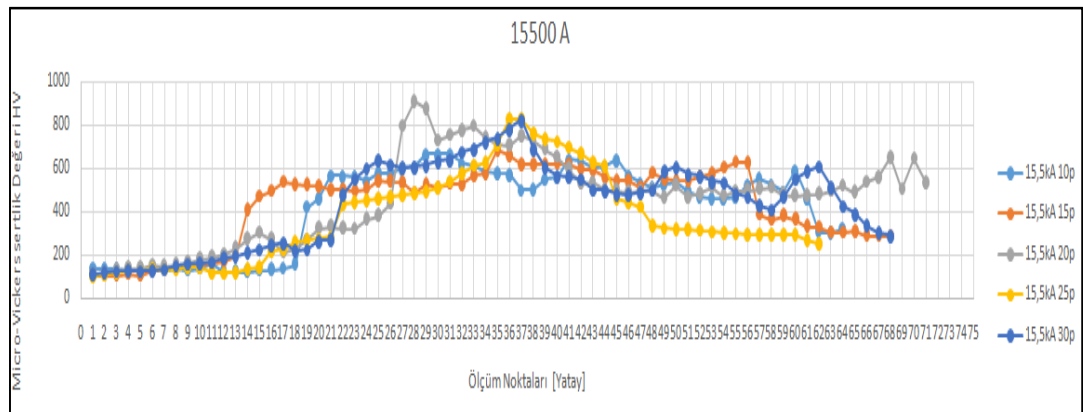
Şekil 8.63. 13500 A kaynak akım şiddetinde mikroalaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



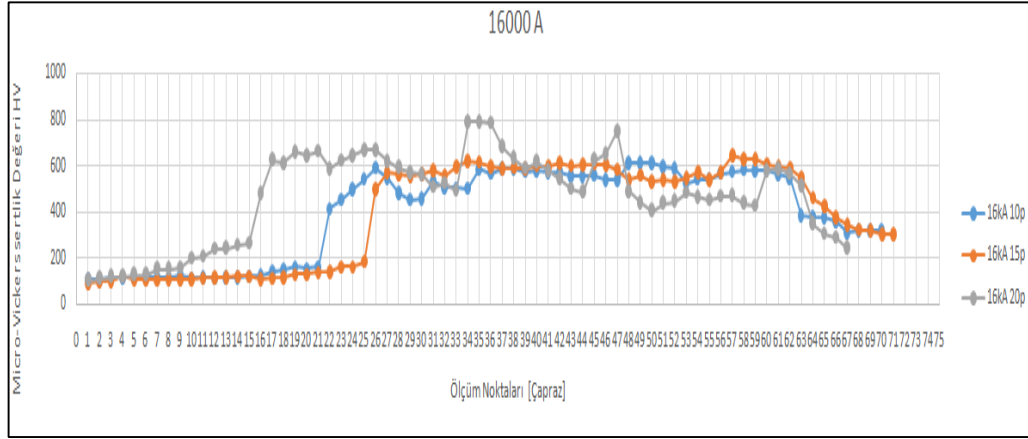
Şekil 8.64. 14500 A kaynak akım şiddetinde mikroyaşımlı çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



Şekil 8.65. 15000 A kaynak akım şiddetinde mikroyaşımlı çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



Şekil 8.66. 15500 A kaynak akım şiddetinde mikroyaşımlı çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi



Şekil 8.67. 16000 A kaynak akım şiddetinde mikrolaşımli çelikten, kaynak çekirdeğine, kaynak çekirdeğinden TRIP 800 çeliğine doğru sertlik geçişi

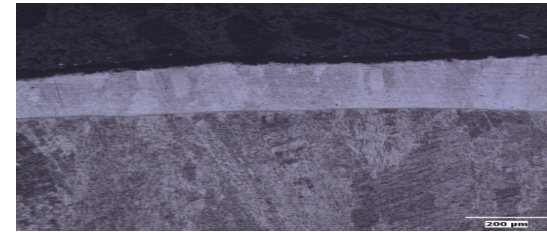
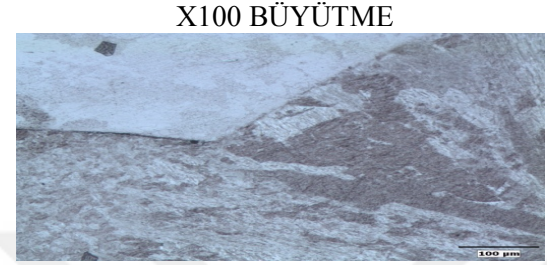
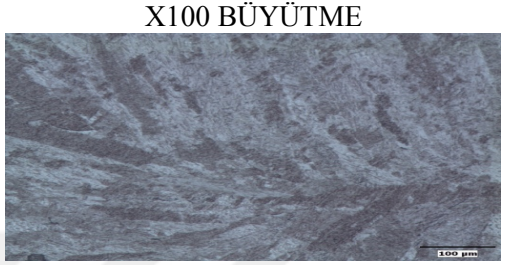
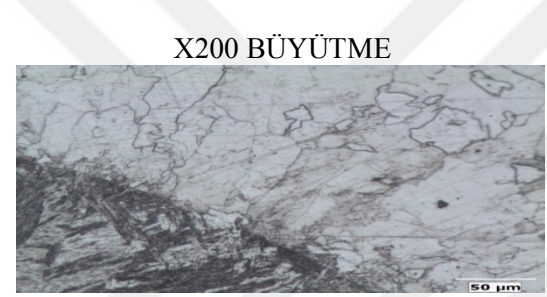
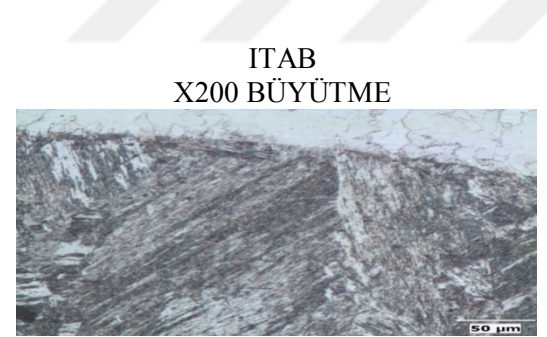
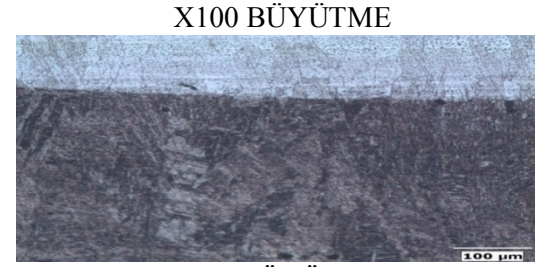
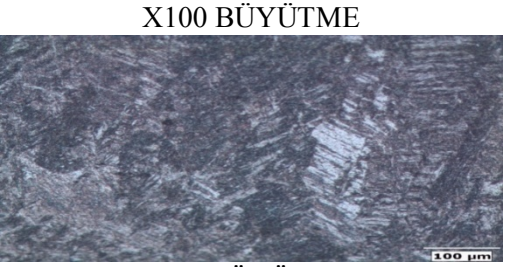
8.9. TRIP 800 – Mikrolaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi

Kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin değiştirilmesiyle TRIP 800 – Mikrolaşımli kaynaklı birleştirmelerin esas metal, ITAB ve kaynak çekirdeklerine ait x50, x100 ve x200 büyütmelede çekilen mikroyapılarının bazıları Tablo 8.2.’de gösterilmiştir. x50 ve x100 büyütmelede çekilen diğer mikroyapı görüntüleri Ek – 1’de verilmiştir.

TRIP 800 çeliğinin yapısında bulunan açık renkli alanların ferrit, koyu renkli alanlar kalıntı östenit, geri kalan alanda da az miktar beynit tanelerinden oluştuğu mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde görülmektedir. Kaynak esnasında ısı girdisinin etkisiyle koyu renkli kalıntı östenit tanelerinin büyüyerek tane sınırlarının ortadan kalktığı tanelerin kaynak çekirdeğine göre yönlendiği ve uzadığı ve şekillerinin değiştiği görülmektedir. Kaynak çekirdeğinde ise hızlı soğumadan dolayı iğnemsî kalın martenzit yapısının oluştuğu görülmektedir.

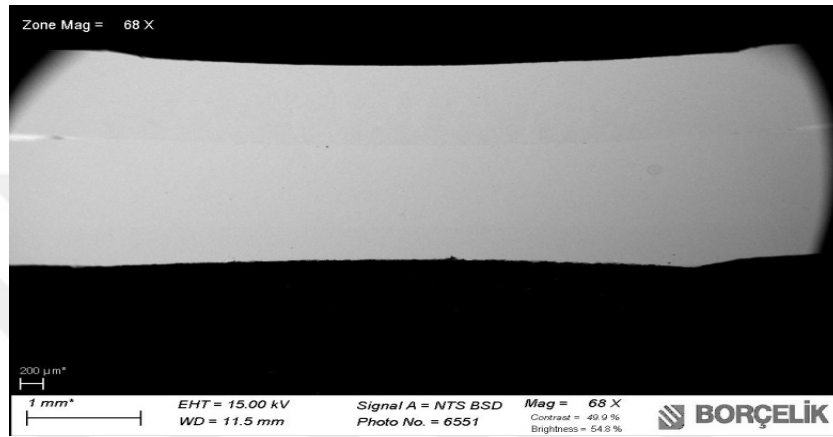
Mikrolaşımli çeliğin mikroyapısı ise açık renkli ferrit ve perlit yapısından oluşmaktadır. Kaynak esnasında ısı girdisinin etkisiyle ITAB bölgesinden kaynak merkezine doğru tanelerin birbirinin yutarak büyüdüğü ve büyüyen tanelerin de kaynak çekirdeğine yönlendiği görülmektedir [71,78,80,83,93,112,117].

Tablo 8.3. Farklı büyütmelerde çekilen kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı görüntüleri

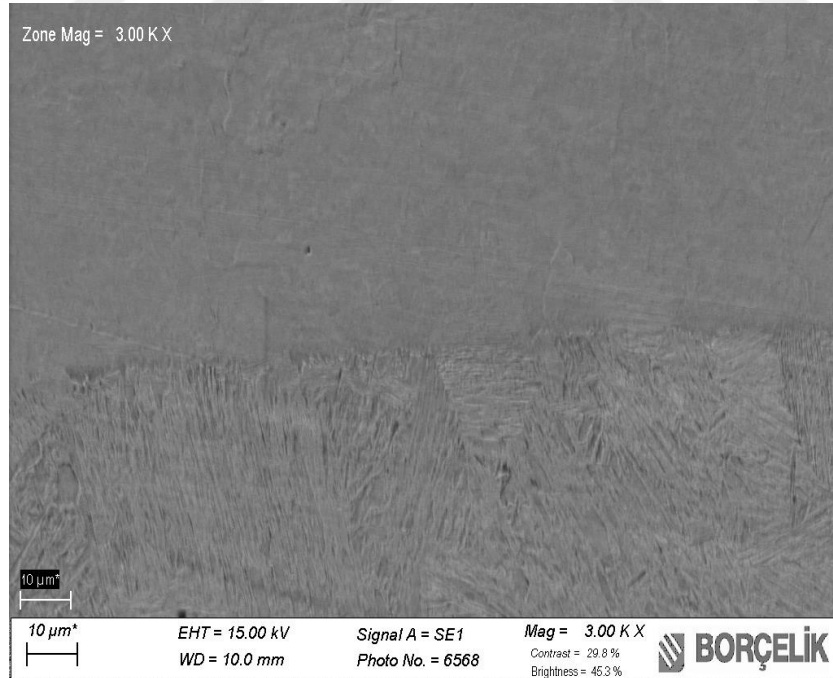
ITAB X50 BÜYÜTME	ÇEKİRDEK X50 BÜYÜTME
	
	
	
	
	
	

8.10. TRIP 800 – Mikroalaşımli Çeliklerin Kaynaklı Birleştirmelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri

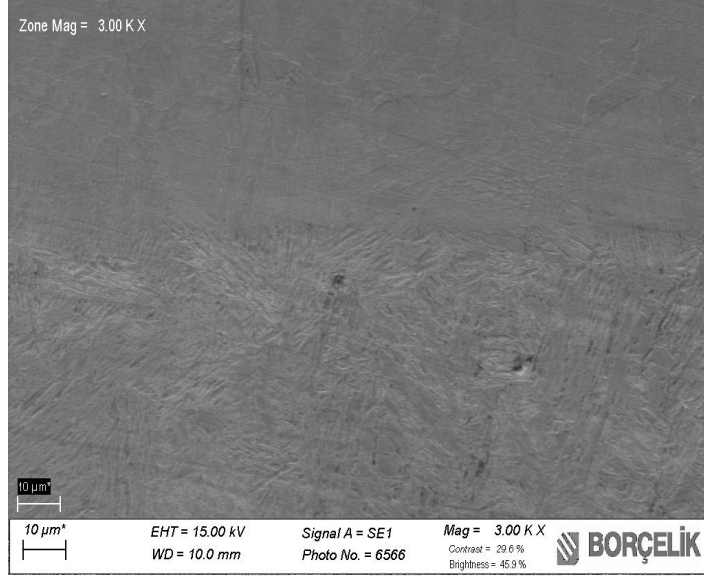
TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin ITAB ve kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 8.68., Şekil 8.69., 8.70. ve Şekil 8.71.'de gösterilmiştir.



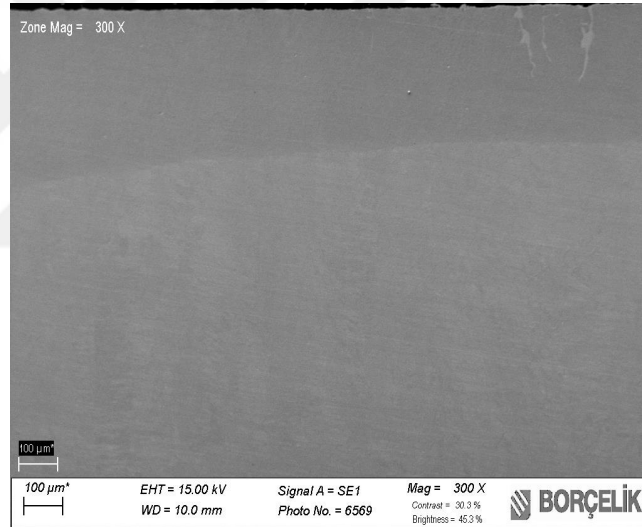
Şekil 8.68. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin SEM görüntüsü



Şekil 8.69. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelerin ITAB bölgesine ait SEM görüntüsü

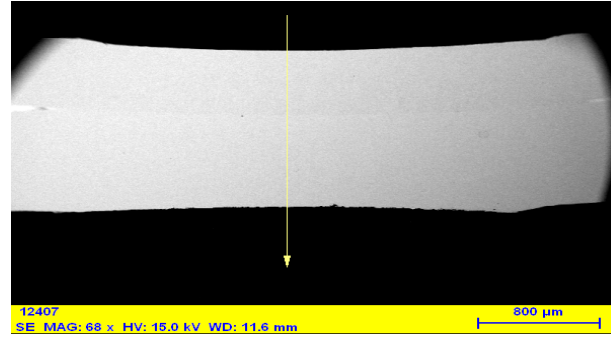


Şekil 8.70. TRIP 800 – Mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü

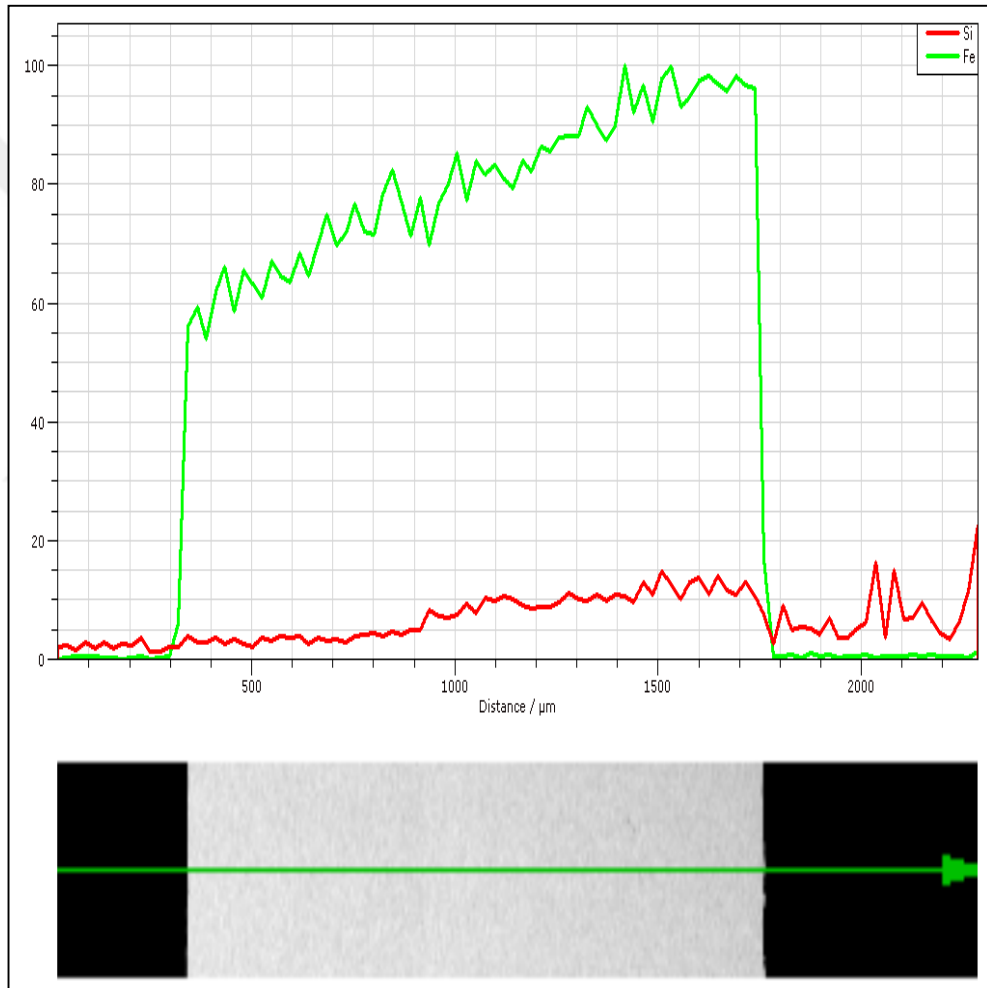


Şekil 8.71. TRIP 800 – Mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüsü

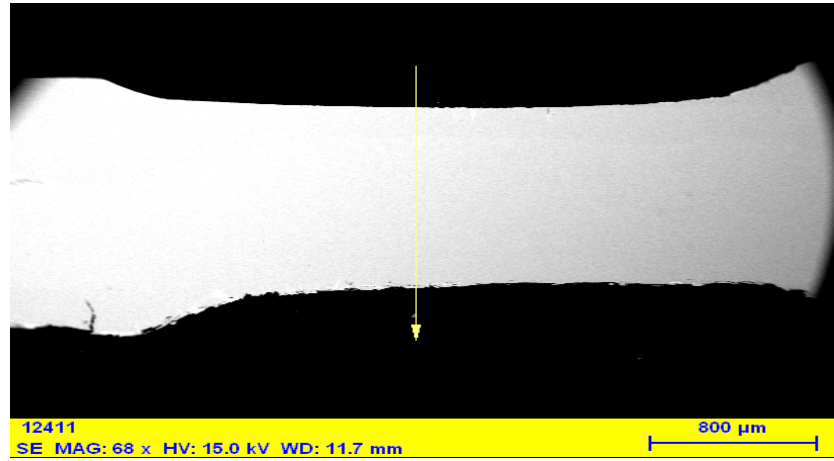
Kaynaklı birleştirmelerden alınan numuneler enine ve boyuna olarak çizgisel EDS analizine yapılan numuneler Şekil 8.72. ile Şekil 8.77. aralığındaki şekillerde verilmiştir. EDS analizleri sonucunda elektrik direnç nokta kaynağı yapılan TRIP 800 – Mikroalaşımlı çelik çiftinde ara yüzeyinde çekirdeğin ve ITAB bölgesinde kaynak yüzeylerinde bulunan ve çekirdek içerisinde kırılganlığa yol açan Çinko ve Kalay birleşimine rastlanmamıştır. Ergime dereceleri çelikten küçük olan bu elementlerin kaynak sırasında kaynak bölgesinden buharlaştığı tespit edilmiştir.



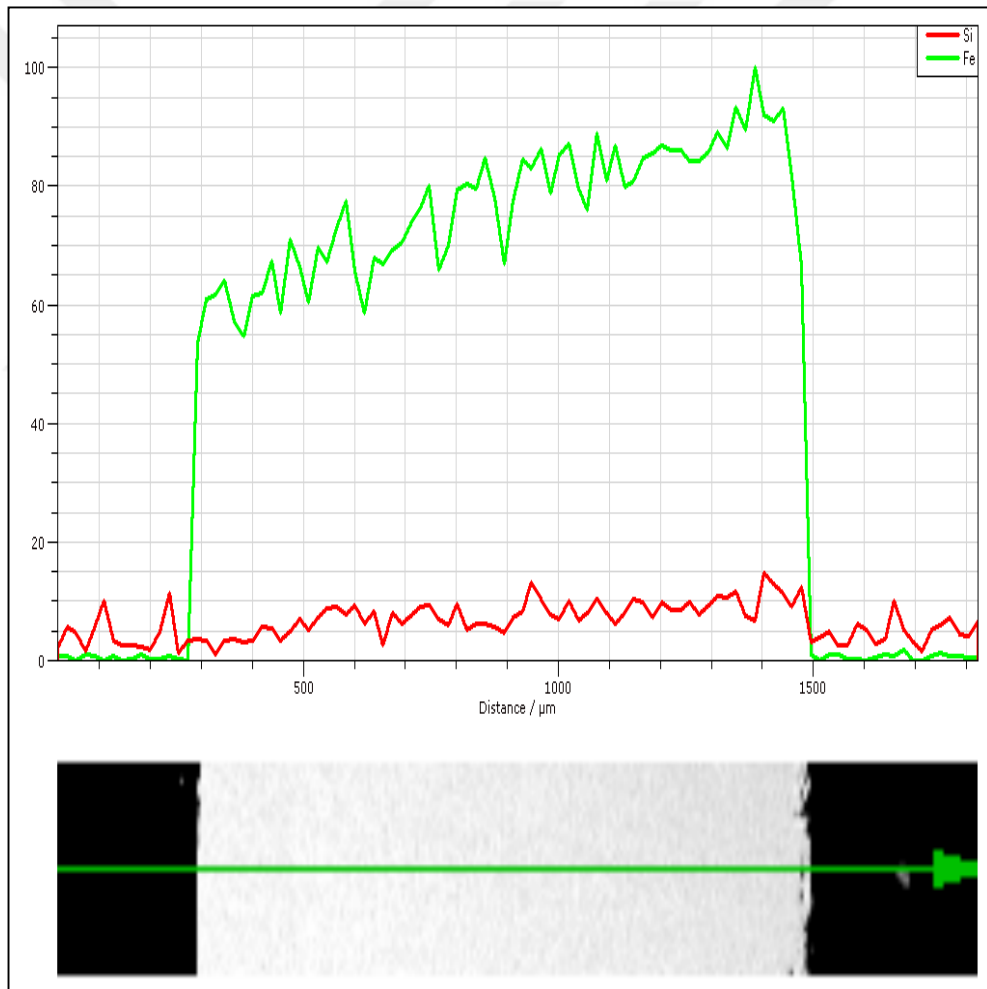
Şekil 8.72. Numunelerin çizgisel EDS analizleri



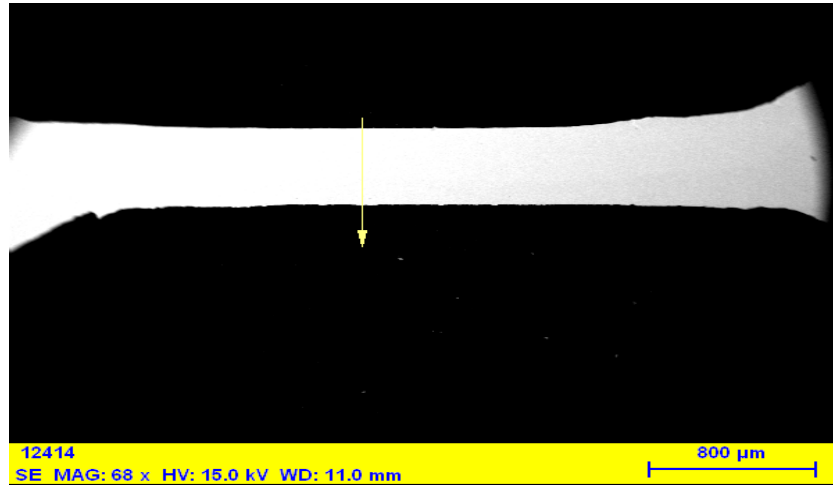
Şekil 8.73. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri



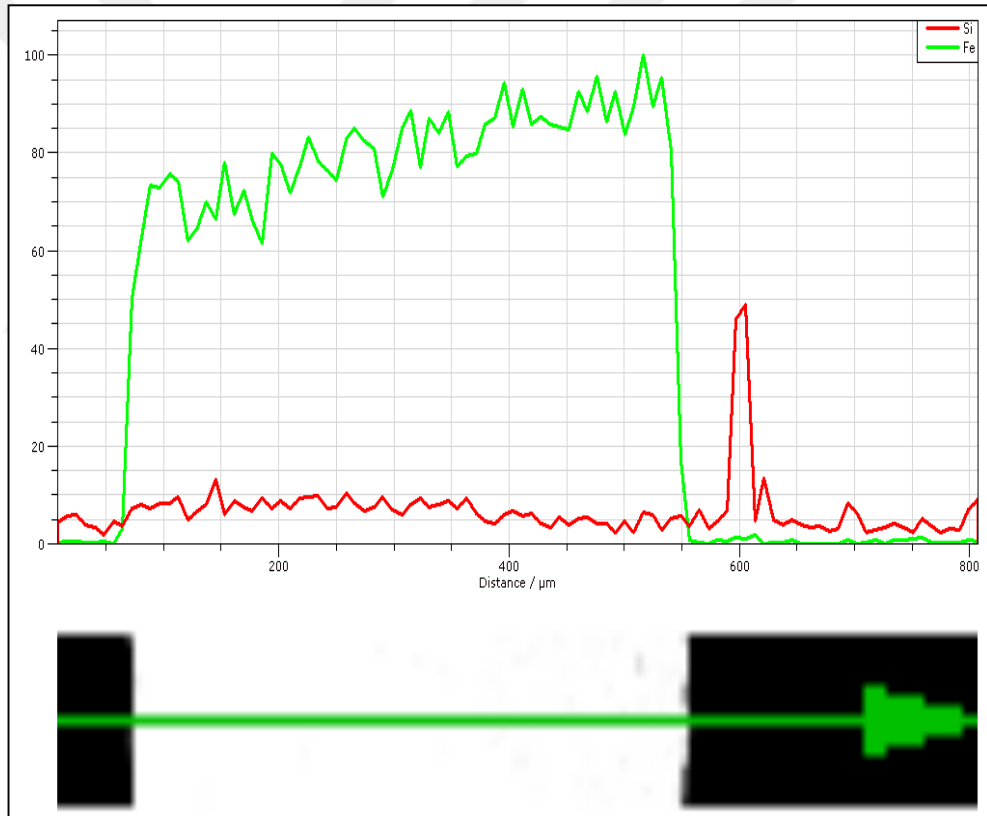
Şekil 8.74. Numunelerin çizgisel EDS analizleri



Şekil 8.75. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri



Şekil 8.76. Numunelerin çizgisel EDS analizleri

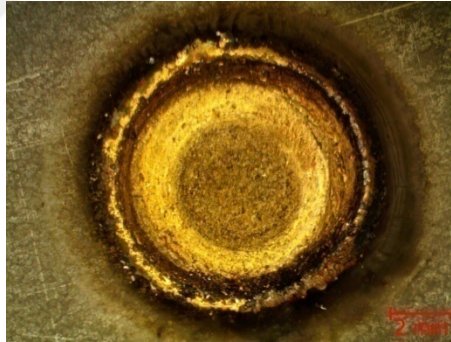


Şekil 8.77. Kaynaklı numunelerin çizgisel EDS grafikleri

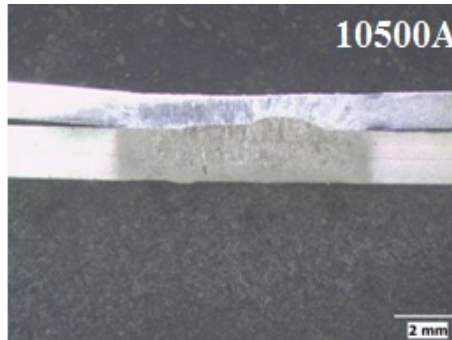
8.11. TRIP 800 – Mikroalaşımlı Çeliklerin Kaynağında Kaynaklı Birleştirmelerin Makroyapı Görüntüleri

TRIP 800 – Mikroalaşımlı çeliksac çiftlerine ait makroyapı incelendiğinde kaynak çekirdeği oluşumunun 10 Periyot kaynak süresinde başladığı saptanmıştır (Şekil 8.77.).Kaynak süresinin ve akım şiddetinin artmasıyla da çekirdek boyutunda olan büyümeler Şekil 8.78., Şekil 8.79., Şekil 8.80', Şekil 8.81.'de görülmektedir. 10 Periyot kaynak süresinde 14000 kA'den sonra, 15 Periyot kaynak süresinde 12500 A'den sonra, 20 Periyotta 14500 A'den sonra, 25 Periyotta 11500 A'den sonra, 30 Periyotta 12500 A'den sonra aşırı dalma derinliği ve fişkırmadan dolayı istenmeyen kaynak çekirdekleri oluşmuştur.

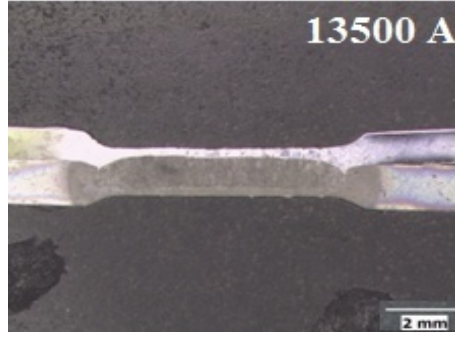
TRIP 800 – Mikroalaşımlı kaynaklı birleştirmelere ait çok fazla dalma derinliğine sahip ve fişkırımların olduğu Makroyapı görüntüleri Tablo 8.3.' de verilmiştir.



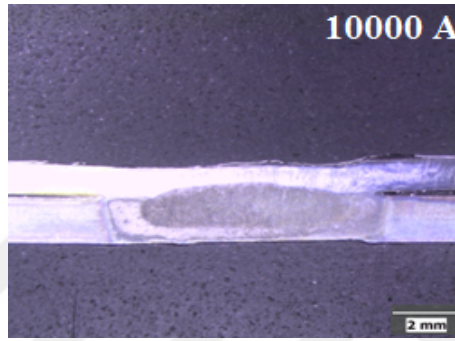
Şekil 8.78. 20 Periyot kaynak süresine ait çekirdek makroyapı fotoğrafı



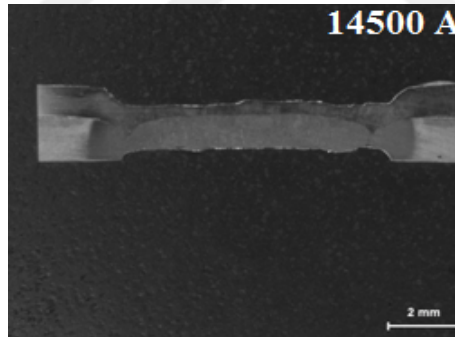
Şekil 8.79. 10 Periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı



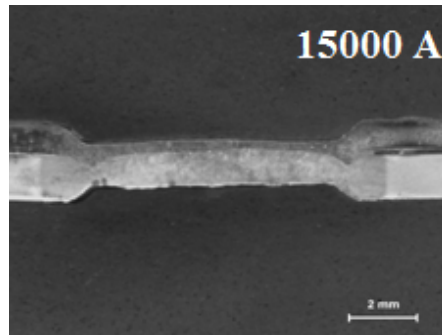
Şekil 8.80. 15 Periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 8.81. 20 Periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı

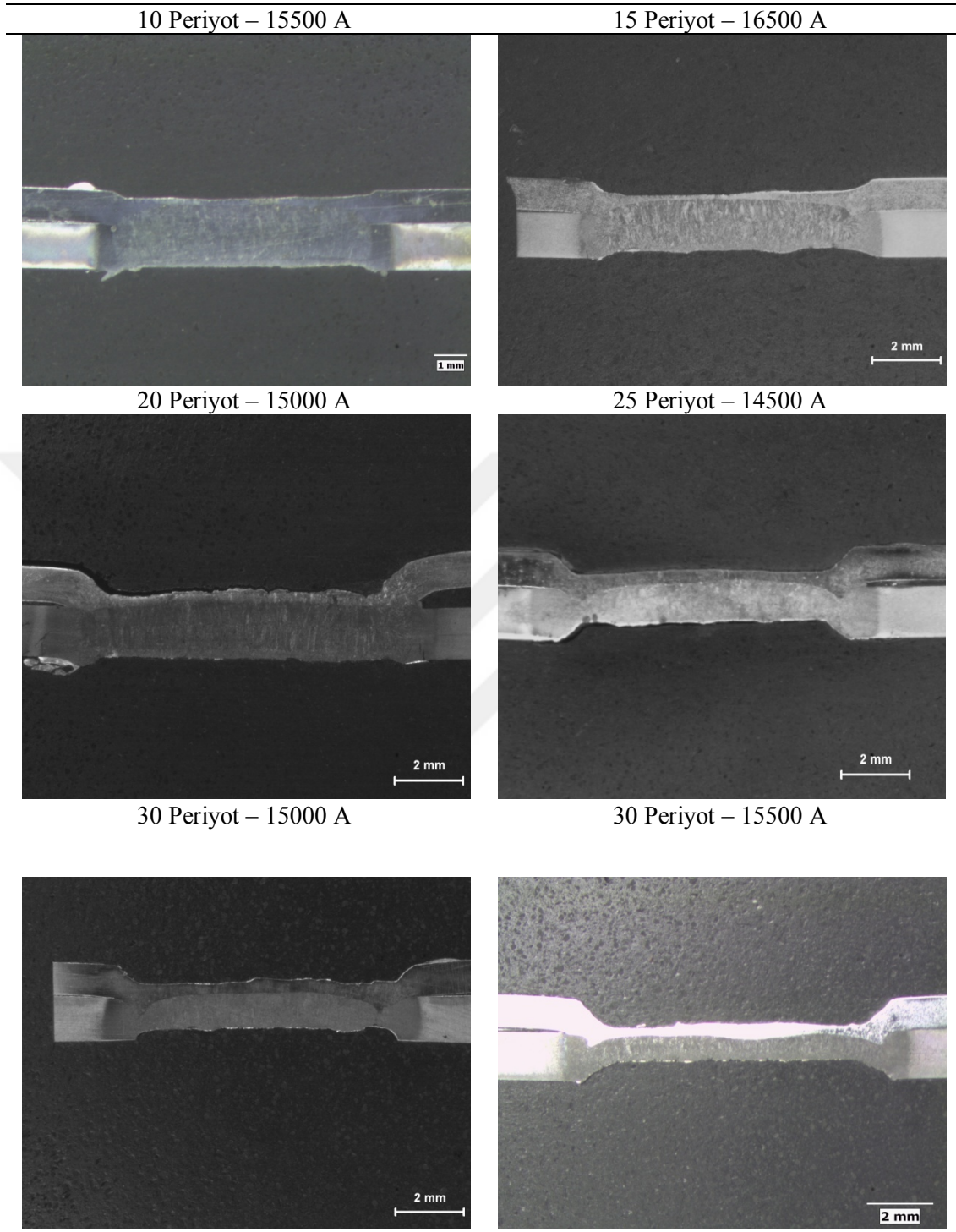


Şekil 8.82. 25 Periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 8.83. 30 Periyot kaynak süresine ait makroyapı fotoğrafı

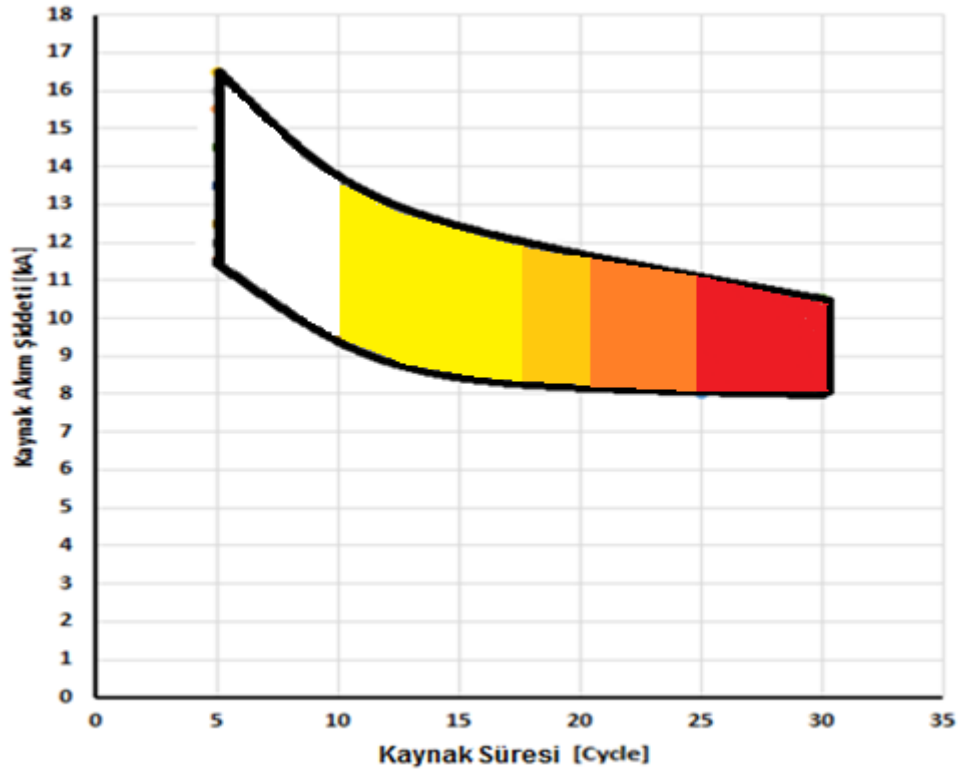
Tablo 8.4. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelere ait bazı makroyapı görüntüleri



BÖLÜM 9. KAYNAK GRAFİĞİ (WELD LOBE)

Kaynak çekirdeği geometrisi elektrik direnç kaynağının kalitesini tanımlamada kullanılan en önemli özelliklerdendir. Kaynak geometrisini direkt olarak etkileyen en önemli parametreler ise kaynak süresi ve kaynak akım şiddetidir. Bu parametreler kendi aralarında kombinasyon şeklinde değiştirilerek ve diğer parametreler sabit tutularak elde edilen kabul edilebilir kaynak kalitesine sahip kaynaklı birleştirmelerin oluşturduğu alana kaynak eğrisi (Weld Lobe) denir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz kaynak eğrisi (Weld Lobe) Şekil 9.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 9.1. TRIP 800 – Mikroalaşımli kaynaklı birleştirmelere ait kaynak eğrisi (weld lobe)

BÖLÜM 10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Doktora tezi kapsamında yaptığımız çalışmada, otomotiv sektöründe şasi (TRIP 800) ve kaporta sacı (Mikroalaşımlı DX56D+ Z) olarak kullanılan yüksek mukavemetli yeni nesil çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilerek kaynaklı numune serileri oluşturulmuştur. Yapılan birleştirmelerde elektrot baskı kuvveti, sıkıştırma süresi ve tutma süresi sabit tutulurken kaynak süresi ve kaynak akım şiddeti değiştirilmiştir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak süresinin en düşük değerlerinden deney parçalarının delindiği en büyük değerlere kadar değiştirilerek ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler değerlendirildikten sonra her bir kaynak süresi (10, 15, 20, 25 ve 30 periyot) için on farklı akım şiddetinde (10000A, 10500 A, 11500A, 12500A, 13500A, 14500A, 15000A, 15500A, 16000A ve 16500A) üçer adet kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Farklı parametrelerde elde edilen kaynaklı numuneler çekme – makaslama, çekme – sıyırma, çapraz çekme, mikro vickers sertlik ölçümü, SEM, EDS analizi, mikroyapı ve makroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. TRIP 800 – Mikroalaşımlı (DX56D +Z) çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekme – makaslama numunelerinden en yüksek dayanımı 20 periyot kaynak süresinde 13500 A kaynak akım şiddetinde elde edilmiştir. En yüksek çekme –sıyırma dayanımı, 15 periyot kaynak süresinde 16500 A kaynak akım şiddetinde elde edilmiştir. Bu değer çekme – makaslama dayanımının yaklaşık 0,25 katı kadardır. Maksimum çapraz çekme dayanımına ise 15 periyot kaynak süresinde 15500 A kaynak akım şiddetinde ulaşılmıştır

En büyük çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme dayanımlarına sırasıyla 7,5 mm, 8,2 mm ve 8,2 mm çekirdek çaplarında, 1,2 mm, 1,2 mm, 0,98 mm çekirdek yüksekliklerinde ve 0,2 mm, 0,2 mm, 0,11 mm çekirdek boyut oranlarında elde edilmiştir.

Kaynak yüzeyinin iyi olması gereken yerler için uygun kaynaklı birleştirmeler 10 periyot kaynak süresinde 11500 A'den, 15, 20 ve 25 periyot kaynak süresinde 10500 A' den, 30 periyot kaynak süresinde 10000 A' den sonraki kaynaklı birleştirmeler tercih edilmemelidir. Çünkü bu değerlerin üzerindeki değerlerde yapılan kaynaklı birleştirmelerde fişkırmalar, yüzey kirlilikleri ve elektrot yapışmaları meydana gelmektedir.

2. Düşük kaynak sürelerinde ve kaynak akım şiddetlerinde yapılan kaynaklı birleştirmelerde düşük ısı girdisinden dolayı kaynak çekirdeği boyu ve çapı küçük olduğundan çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme dayanımları da düşüktür. Deneyler sonucu oluşan kopma tipleri de bu sebepten dolayı ayrılma tipindedir.

Yüksek kaynak süreleri ve akım şiddetlerinde çekirdek boyut oranı küçüldüğü için kaynaklı birleştirmelerin çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme dayanımları da yükselmiştir. Bu değerlerde oluşan hasar tipleri ise yırtılma şeklinde olmuştur.

Her iki parametrenin de yüksek olduğu kaynaklı birleştirmelerde ise ısı girdisinin aşırı derecede artmasından kaynaklı kaynak noktasında ergimenin artması ve uygulanan elektrot basıncı ile ergiyen metalin dışarı doğru fişkırması ile kaynak noktasında kesit daralması meydana gelmiştir. Yani elektrot dalma derinliği artmıştır. Bütün bunların hepsinin birlikte olmasından dolayı da çekme – makaslama, çekme – sıyırma ve çapraz çekme dayanımında hızlı bir düşüş göstermiştir ve yüzeyde fişkırmadan kaynaklı kirlilikler, derin elektrot izleri, renk değişimi oluşmuştur. Yapışmanın artmasından dolayı da elektrot geometrisinin bozulmuş ve maliyet yükselmiştir.

3. Kaynaklı birleştirmelerin hemen hemen hepsinden alınan sertlik değerlerinde ITAB bölgesinin dışında ana malzeme sertliğinde düşüş yaşanmış, kaynak çekirdek merkezine doğru sertlik artmıştır. Bu sertlik artışı yaklaşık olarak ana malzemelerden mikroalaşımlı (DX56D +Z) çeliğinin sertliğinden 7 kat, TRIP 800 çeliğinden ise de 3 kat büyüktür. Sertliğin artış sebebi ise kaynak noktasının ısı girdisi ile birden çok fazla ısınıp daha sonra su soğutmalı elektrot ile birden soğumasından oluşan martenzit fazından kaynaklanmaktadır.
4. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak çekirdeğinin kalın olan TRIP 800 çeliği kesitinde daha büyük olduğu, yüksek akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak süresinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerde ise oluşan kaynak çekirdeğinin 1mm kesitli mikroalaşımlı (DX56D +Z) çeliğinin kesitini kapsadığı gözlemlenmiştir.
5. Farklı iki kalınlığa sahip iki çeliğin birleştirilmesinde kaynak bölgesi ve çekirdeklerinin incelendiği SEM ve EDS analizleri sonucunda kaynak çekirdeği ve ITAB bölgelerinin içersinde yabancı ve zararlı birleşiklere rastlanmamış ve yüksek akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak sürelerinde elde edilen birleştirmelerde malzeme yüzeyinde oluşan çatlakların ergiyen metalle dolduğu bazılarında ise sac yüzeylerindeki galvaniz kaplamanın o çatlaklara dolduğu, ancak mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir.
6. Kaynaklı birleştirmelerin hepsinde ITAB bölgelerinde tane büyümelerinin olduğu, bu büyümenin ise tane sınırlarının yok olarak birbirlerinin yutarak gerçekteştiği gözlemlenmiştir. Çekirdek bölgelerinde ise birbiri içine geçmiş iğnemsiz martenzit plakaların olduğu görölmüştür.
7. TRIP 800 çeliği ile DX56D +Z mikro alaşımlı çeliğinin elektrik direnç kaynağı ile elde edilen bağlantının optimum özellikleri sağlayacak kaynak grafiği (Weld Lobe) otomotiv üreticilerine sunulmuştur

10.2. Öneriler

1. Kullanılan malzemelerin kalınlığı aynı olacak şekilde kaynaklı birleştirmeler elde edilerek tüm deneyler tekrarlanabilir.
2. Elektrot baskı kuvvetleri aynı malzemeler için değiştirilip daha düşük bir elektrot baskı kuvveti kullanılarak deneylerin hepsi tekrarlanabilir.
3. İnce olan mikroalaşımli(DX56D +Z) çeliğine temas eden elektrot çapı artırılarak kaynak akımına karşı direnç arttırılarak, kalın kesitli TRIP 800 çeliğine temas eden elektrot çapı aynı bırakılarak ısıl denge sağlanabilir. Böylece kaynak çekirdeğinin simetrikliği arttırılabilir. Yine aynı şekilde ince kesitli mikroalaşımli çeliğe temas eden elektrot çapı sabit bırakılıp kalın kesitli olan TRIP 800 çeliğine temas eden elektrot çapı düşürülerek ısıl denge sağlanabilir.
4. Elde edilen kaynaklı bağlantıların yağmur suyunda korozyon dayanımları incelenebilir.
5. Aynı şartlarda yapılan kaynaklı birleştirmelere yorulma deneyi uygulanabilir.
6. Kaynaklı bağlantı şekilleri değiştirilerek burulma dayanımları incelenebilir.
7. Kaynaklı bağlantıların hepsine çentik darbe testi uygulanabilir.
8. Kaynaklı birleştirmeler ile birlikte yapıştırma işlemi aynı anda kombineli olarak yapılp mekanik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Carlsson, B., ‘Choice of Tool Materials for Punching and Forming of Extra- and Ultra High Strength Steel Sheet’, 3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, Bursa-Turkey, 2004.
- [2] Hamada, A. S., ‘Manufacturing, Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of High-Mn TWIP Steels’, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, University of Oulu, FI-90014 Oulu, Finland C 281, 2007.
- [3] Kwon, O., Lee, K., Kim, G., Chind, K-G., ‘New Trends in Advanced High Strength Steel Developments For Automotive Application’, Materials Science Forum Vols. 638-642:136-141, Technical Research Laboratories POSCO Pohang, Korea, 2010/Jan, 2010.
- [4] Zeytin, H.K., Aydın, H., Kubilay C., ‘Otomotiv endüstrisi ve çelik: İleri Teknoloji Ürünü Yüksek Mukavemetli Çelikler’, TMMOB Makine Mühendisleri Odası X. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, (27-28 Mayıs 2007), Bursa.
- [5] Aslanlar S., Öz Saraç U., Ferik E., Varol F., Ekici M. ‘MIG-Lehimleme İle Birleştirilmiş Trip 800 Çelik Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’, 14th International Materials Symposium (IMSP’2012), s. 833-839, 2012, Denizli
- [6] International Iron & Steel Institute, Committee on Automotive Applications: Advanced High Strength Steel (AHSS), 2006.
- [7] Pal, T.K., Chattopadhyay, K., ‘Resistance spot weldability and high cycle fatigue behaviour of martensitic (M190) steel sheet’, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 34: 46-52, 2010.
- [8] International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines, March 2005.
- [9] Hayat, F., ‘TRIP Çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi’, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 25(4): 701-712, 2010.
- [10] Ertay, A.H., ‘Fatigue Behaviour Of Spot Welds’, Graduate Program in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, Doktora Tezi, 120 s., 2004.

- [11] Ding, H. Song, D. Tang, Z. and Yang P., Strain hardening behavior of a TRIP/TWIP steel with 18.8% Mn, *Material Science and Engineering A*, 528: 868- 873, 2011.
- [12] Satoh, T. Abe, H. Nakaoka, T. and Hayata, Y. The fatigue life of the spot welded joint under a repeated load of $R=-1$, *Welding in The World*, 12, 1996.
- [13] Taş Z., Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları, 28(2): 97-101, Kayseri, 2011.
- [14] Varis, J.P. The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 242-249, 2006.
- [15] Kneissl, A.C., Garcia, C.I., DeArdo, A.J., in: G. Tither, Z. Shouhua (Eds.), *HSLA Steels, Processing, Properties and Applications*, The Minerals, Metals & Materials Society, pp. 99–105, 1992.
- [16] Erdem, V.E., Arısoy, C.F. Otomotiv Endüstrisinde Çelikten Vazgeçilebilir Mi? *Metal Dünyası*, Sayı.125, sy.72-81, 2003
- [17] Arıkan, M. ve Başman, G. Otomotiv Endüstrisi için Yeni Çelik Ürünler ve Özellikleri, I. Demir Çelik Sempozyumu Bildiriler, Cilt I, s. 350 - 356, 2001.
- [18] Montemarano TW, Sack BP, Gudas JP, Vassilaros MG, Vanderveldt HH. High strength low alloy steels in naval construction. *J Ship Prod* 3:145, 1986.
- [19] Toros S., Öztürk, F., Otomobillerde Alüminyum ve Magnezyum Alaşımlarının Yeri ve Şekillendirilebilme Kapiliyetlerinin İncelenmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa, 2007.
- [20] Hulka, K., Microalloyed Structural Steel Grades Background and Application, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, Ankara, 1109-1116, 1993.
- [21] Speich, G.R., Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels, R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, s.3-45., 1981.
- [22] Bilir, Y., Çift Fazlı Çeliklerde Mikro yapıнын Mekanik Özelliklere Etkisi, 18th Uluslararası Metalurji & Malzemeler Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 1, İstanbul, 942 – 947, 2016.
- [23] 50 years as a Steel Supplier to Volvo, Cours Research, No. 1, February 2007., [http:// www.productrange.nl/uploadz/m20171026115451.pdf](http://www.productrange.nl/uploadz/m20171026115451.pdf), Erişim Tarihi: 23.07.2017.
- [24] Basuki, A., Aernoudt, E., Influence of Rolling of TRIP Steel in the Intercritical Region on the Stability of Retained Austenite, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 89, No. 1, 37 – 43 1999.

- [25] Hutchinson, B., Texture in Hot Rolled Austenite and Resulting Transformation Products, *Materials Science and Engineering A*, Vol 257, No 1, 9 – 17, 1998.
- [26] Hoon, H., Kim, S.B., Song, J.H., and Lim, J.H., Dynamic Tensile Characteristic of TRIP – type and DP – type Steel Sheets for an Auto – Body, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol 50, No 5, 918 – 931, 2008.
- [27] Dan, W.J., Li, S.H., Zhang, W.G., Lin, Z.Q., The Effect of Strain-Induced Martensitic Transformation on Mechanical Properties of TRIP Steel Materials and Design, *Vol29*, No 4, 604 – 612, 2008.
- [28] Yinghui Z., Yonli, M., Yonglin, K., Hao,Y., Mechanical Properties and Microstructure of TRIP Steels Produced Using TSCR Process, *Journal of University of Science and Technology, Beijing* Vol 13, No 5, 416 – 421, 2006.
- [29] Wu, D., Zhuang, L., Hui-sheng, L., Effect of Controlled Cooling After Hot Rolling on Mechanical Properties of Hot Rolled TRIP Steel, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol 15, No 2, 65 – 70, 2008.
- [30] Koh –Ichi, S., Toshiki, M., Shun – Ichi, H., Yoichi, M., Formability of Nb Bearing Ultra High Strenght TRIP – aided Sheet Steels, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 177, No 1, 390 – 395, 2006.
- [31] Wen, S., Lin, L., Cooman , B.C.D., Wollants, P., Yang, C., Thermal Stability of Retained Austenite in TRIP Steel After Different Treatments, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol 15, No 1, 61 – 64 , 2008.
- [32] Zhuang, L., Di, W., Rong, H., Austempering of hot Rolled Si – Mn TRIP Steels, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol 13, No 5, 41 – 46, 2006.
- [33] Basuki, A., Aernoudt E., Effect of Deformation in the Intercritical Area on the Grain Refinement of Retained Austenite of 0,4C TRIP Steel, *Scripta Materialia*, Vol 40, No 9, 1003 – 1008, 1999.
- [34] Cooman, B,C,D., Structure – Properties Relationship in TRIP Steels Containing Carbide – Free Bainite, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol 8, No 4, 285 – 304, 2004.
- [35] Van Slycken J., Verleysen P., Degrieck J., Bouquerel J., De Cooman B.C., Dynamic Response of Aluminium Containing TRIP Steel and Its Constituent Phases, *Materials Science and Engineering A*, 460–461, 516–524, 2007.
- [36] Kim Y.G., Kim T. W., Hong S. B., *Proceedings of the ISATA, Aachen, Germany*, 269, 1993.

- [37] Yong T., Zhuang L., Effects of warm deformation on mechanical properties of TRIP aided Fe-C-Mn-Si multiphase steel, Journal of Iron And Steel Research, International, 19(6), s.47-52, 2012.
- [38] The Evolving Use of Advanced High Strength Steels for Automotive Application, <http://www.autosteel.org/media/Files/Autosteel/Research/AHSS/AHSS.pdf>, Erişim Tarihi: 23.07.2017.
- [39] Yaylacı, E. Otomotiv Sanayiinde Kullanılanmikroalaşımlı eliklerin üretim yntemleri, <http://eyupyaylaci.com/otomotiv-sanayinde-kullanilanmikro-alasimli-celiklerin-uretim-yontemleri/>, Erişim Tarihi: 23.07.2017.
- [40] http://www.worldautosteel.org/download_files/AHSS%20Guidelines%20V5/AHSS_Guidelines_V5.0_20140514.pdf, March 2005, Erişim Tarihi: 23.07.2017.
- [41] <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 23.07.2017.
- [42] Bakkaloglu A., Die Auswirkung eneiner Ausscheidungs haertungauf Gefgeund mechanische Eigenschaftenvon HSLA-Staehlen, Prakt. Metallogr.32,: 616-624, 1995.
- [43] Tekin, A., eliklerin Metalurjik Dizaynı, s.122, İstanbul, 1981.
- [44] eviker, I.,Mikroalaşımlı Dövme eliklerde MikroyapısalKarakterizasyon ve Mikroyapı zellikler İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [45] Hulka, K.,MicroalloyedStructural Steel Grades Background and Application, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, 4-8 Mayıs 1993, Ankara,1109-1116, 1993.
- [46] Topateş T.,Mikroalaşımlı eliklerin TMI-Sırasında Değişen Proses Parametrelerinin Mikroyapı – Mekanik zellikler zerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
- [47] Toros, S., TRIP 800 eliğinin şekillendirme Kabiliyetinin İncelenmesi Ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Niğde niversitesi, s. 3, 2013.
- [48] Krizan D. , Structure-PropertiesRelationship in I GPa Micro-AlloyedTrip Steel, Universiteit GEN Metallurgie en Materiaalkunde, Doktora tezi, September 2005.
- [49] Parish, C.M., Fundamental Study of Phase Transformations in Si-Al TRIP Steels, Bs in Material Science and Engineering A, NCS University, 2000.
- [50] Chatterjee, S., Transformations in TRIP-assisted Steels:Microstructure and Properties, Darwin College, University of Cambridge, Ph.D, November, 2006.

- [51] Basuki, A., and Aernoudt, E., Effect of Deformation in the Intercritical Area on the Grain Refinement of Retained Austenite of 0.4C TRIP Steel, Scripta Materialia, Vol 40, No 99, 1003–1008, 1999.
- [52] Cooman, B.C., Speer, J.G., Pyshmintsev, I.Y., Yoshinaga, N., The Key to Modern steel Products, Materilas Desingn, 396 -404, 2007.
- [53] Bhadeshia, H.K.D.H., Honeycombe, R.W.K., Steels: Microstructure and Properties, Elsevier Ltd., 209 – 233, Oxford, UK. 2006.
- [54] Yoshitsugu, S., Takako, Y., Yoshiharu, S., Sakae, F., Shu, Y., Thermodynamic Analysis of Selective Oxidation Behavior of Si and Mn Added Steel During Recrystallization Annealing, ISIJ Internatioanal, Vol 49, 564 -573, 2009.
- [55] Chatterjee, S., Muruganath, M., Bhadeshia, H.K.D.H., Stabilisation of Ferrite in Hot Rolled δ – TRIP Steel, Materials Science and Technology, 27, 525-529, 2011.
- [56] Yi, H.L., Lee, K.Y., Bhadeshia, H. K. D. H., Extraordinary ductility in Al bearing δ -TRIP Steel, Proceedings of the Royal Society A, Vol 467A, 234-243, 2010.
- [57] Yi, H. L., Lee, K. Y., Lim, J. H., Bhadeshia, H. K. D. H., Spot weldability of δ -TRIP Steel containing % 0.4 C, Science and Techonology of Welding & Joining, 15: 619-624, 2010.
- [58] Yi, H.L., Ghosh, S. K., Liu, W. J., Lee, K. Y. Bhadeshia, H. K. D. H., Nonequilibrium Solidification and Ferrite in δ -TRIP Steel, Materials Science and Technology, 26: 817-823, 2010.
- [59] Hamed, M., . Pashazadeh, H., Numerical Study of Nugget Formation in Resistance Spot Welding, International Journal of Mechanics, 2: 11-15, 2008.
- [60] Khan, M.I., Spot welding of advanced high strength steels, Ph.D., University of Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
- [61] 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.
- [62] Aws Jefferson's Welding Encyclopedia, Eighteenth Edition, 1997.
- [63] 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.
- [64] Aws, Welding Handbook - Welding science and technology, Ninth Edition, Volume 1, 2003.

- [65] Marya, M., Gayden, X.Q., Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 2: Statistical Analyses and Process Maps, *Welding Journal*, 197-204, 2005.
- [66] Chuko, By W. L., Gould, J. E., Development of Appropriate Resistance Spot Welding Practice for Transformation-Hardened Steels, *Supplement To The Welding Journal*, 1-7, 2002.
- [67] Cho, H. S., Cho, Y. J. A Study of the Thermal Behavior in Resistance Spot Welds, *Welding Research Supplement*, 236 -244, 1989.
- [68] Aws, *Welding handbook*, Volume 3, *Welding Processes: Resistance Welding and Solid-State Welding and Other Joining Processes*, 7.Ed, Miami,1980.
- [69] Aslanlar, S., Otomotiv sektöründe kullanılan kaynak yöntemleri ders notları, Şubat 2014.
- [70] Anık,S., *Kaynak Tekniği El Kitabı*, Gedik Eğitim Vakfı, 1991.
- [71] Aslanlar, S., *Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [72] Al-Mukhtar, A. M., DOOS, Q., The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2013, 6 , 2013.
- [73] 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.
- [74] Zhang, H., Senkara, J., *Resistance welding - fundamentals and applications*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [75] Blondeau, R., *Metallurgy and mechanics of welding*, Lavoisier, Iste Ltd., John Wiley & Sons Inc, 2001.
- [76] Aws D8.9-97, *Recommended practices for test methods and evaluation the resistance spot welding behavior of automotive sheet steels*, 1997.
- [77] Aws D8.7M, *Recommended practices for automotive weld quality – resistance spot welding*, 2005.
- [78] Akkuş, A., *Galvanizli ve ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının yorulma dayanımlarının araştırılması*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [79] Anık, S., 1983. *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Ergör Matbaası, İstanbul.
- [80] 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, pp 175–180, 2008.

- [81] Harlin, N., Jones, T.B., Parker, J.D., Weld growth mechanism of resistance spot welds in zinc coated steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144, pp 448–453, 2003.
- [82] Dong, S.J., Kelkar, G.P., Zhou, Y., Electrode Sticking During Micro-Resistance Welding of Thin Metal Sheets, *Ieee Transactions On Electronics Packaging Manufacturing*, 25(4): 355- 361, 2002.
- [83] Hilditch, T.B., Speer, J.G., Matlock, D.K., Effect of susceptibility to interfacial fracture on fatigue properties of spot-welded high strength sheet steel, *Materials and Design* 28: 2566–2576, 2007.
- [84] Brauser, S., Pepke, L.A., Weber, G., Rethmeier, M. Deformation behaviour of spot-welded high strength steels for automotive applications, *Materials Science and Engineering A* 527: 7099–7108, 2010.
- [85] Mei, J Z., Lin L. , Ren-yul, F., J i-cheng, Z., Ziz W., Weldability of Low Carbon Transformation Induced Plasticity Steel, *Journal Of Iron And Steel Research, International.*, 15(5): 61-65, 87, 2008.
- [86] Dancette, S., Fabrègue D., Massardier V., Merlin J., Dupuy T., Bouzekri M., Experimental and modeling investigation of the failure resistance of Advanced High Strength Steels spot welds, *Engineering Fracture Mechanics* 78: 2259–2272, 2011.
- [87] Nayak, S.S., Baltazar Hernandez V.H., Okita Y., Zhou Y., Microstructure–hardness relationship in the fusion zone of TRIP steel welds, *Materials Science and Engineering A*, 551: 73– 81, 2012.
- [88] Sun, X., Stephens, E. V., Khaleel Mohammad, 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.
- [89] Cretteur, L., Koruk, A.I., Heat treatments to improve weldability of new multiphase high strength steels', *Materials science forum*, 426-432, 1225–1230, 2003.
- [90] Kim, S.J., Lee, C.G., Choi, I., Lee, S., Effects of heat treatment and alloying elements on the microstructures and mechanical properties of 0.15 wt. % C transformation induced plasticity aided cold rolled steel sheets', *Metallurgical and Material Transactions A*, 32A, 505–514, 2001.
- [91] Khan, M.I., Kuntz M.L., Biro E., Zhou Y., Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels, *Materials Transactions*, 49(7): 1629 – 1637, 2008.

- [92] Shi, G., Westgate S.A., Resistance spot welding of high strength steels, Eleventh International Conference on the Joining of Materials, :25-28, 2003, Helsingor, Denmark.
- [93] Anık, S., Oğur, A., Aslanlar, S., Galvaniz Kaplanmış Kromatlı Mikro Alaşımlı Çelik Saçların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Akım Şiddetinin Çekme-Makaslama Dayanımına Etkisi, Kaynak teknolojisi II. Ulusal Kongresi, pp. 117- 124.
- [94] Anık S., Eryürek İ., Effevt of contact Resistance in Resistance Spot Welding, IIW/IIS – Doc. III., Meeting of International Institue of welding, pp. 563- 577, 1977.
- [95] Mınarık, R., Lehka, N., Low Temoeretur Tests of Spotwelds of Dissimilar Stells in different Thickness, Zvaracske Spravy,3,1988.
- [96] Fidaner, O., Kurtulmuş, M., Yükler, A.İ., Galvanize Çeliklerin Nokta Kaynağında Elektrodların Deformasyonu, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, pp. 202- 210, 2010.
- [97] Defourny, J., Leroy, V., Compared Pssibilities and Limitationas of resistance Spot Welding and Adhesive Bonding for Structural Joints inCoated Steel Sheets, DVS 124, pp 26- 31, 1989.
- [98] Kimichi, M., Gould, J., Colombus, M., Helenius, A., Heppi, H., Nipperet, R. A., Evulation of Various Elektrode Materials for Resistance Spot Welding Thin Galvanized Steel Sheets, DVS 124, pp 54-60, 1989.
- [99] Lane, C. T., Lorensen, C. D., Hunter, G.B., Gedeon, S.A., Eagar, T.W., Cinematography of Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, Welding Research Supplement, pp 260-265, 1987.
- [100] Vural, M., Galvanizli Çelik Sacların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çelikler ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanıma Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, 1992.
- [101] Brown, B.M., Comparison of AC and DC Resistance Welding of Automotive Steels, Welding Journal, pp 18 -23, 1987.
- [102] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14273, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels, 2007.
- [103] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.
- [104] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14272, Resistance welding – Destructive testing of welds – Specimen dimensions and procedure for cross tension testing of resistance spot and embosed projection welds.

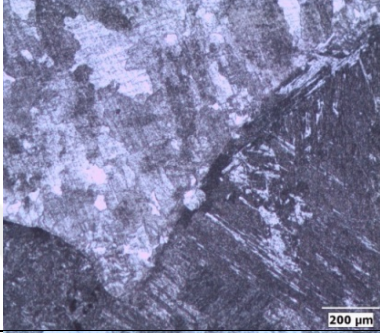
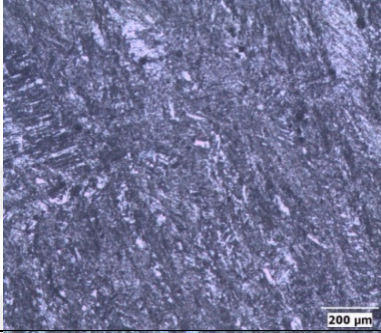
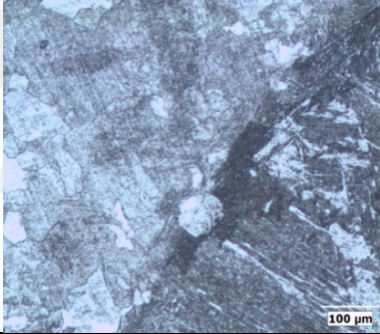
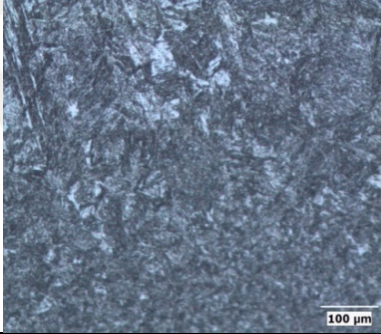
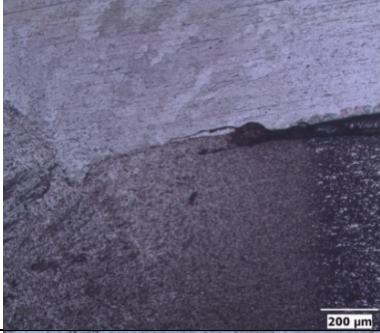
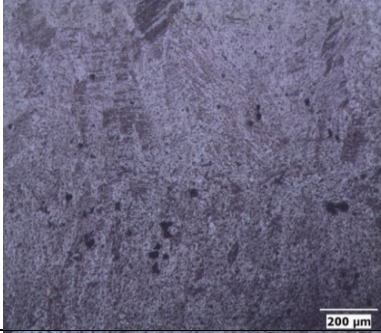
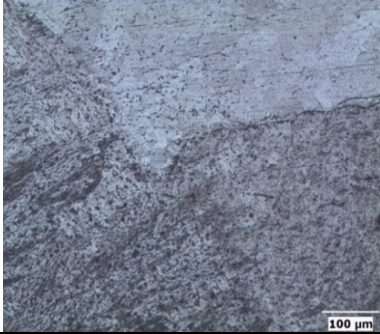
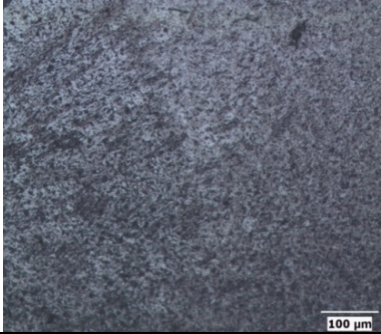
- [105] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14329, Resistance Welding – Destructive tests of welds - Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and projection welds, 2003.
- [106] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14271, Resistance – Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds, 2011.
- [107] Akkaş, N., Varol, F., Ferik, E., İlhan, E., Öz Saraç, 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.
- [108] 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.
- [109] 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.
- [110] Pollard, B., Spot Welding Characteristics of HSLA Steel for Automotive Applications, AWS Welding Research Supplement August 1974:343-350, 1974.
- [111] Aslanlar, S., Oğur, A., Öz Saraç, U., İlhan, E., Demir, 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.
- [112] Akkaş, N., Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelik Sacların Birleştirilme Kabiliyetinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 2014.
- [113] 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.
- [114] Onar, V., Aslanlar, S., Welding Time effect of Welding Joints in Micro Alloyed and TRIP 800 Steels in Resistance Spot Welding, Acta Physica Polonica A, Vol 131/3, 389-391, 2017.
- [115] 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.
- [116] 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.

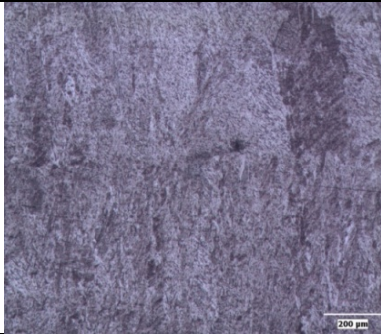
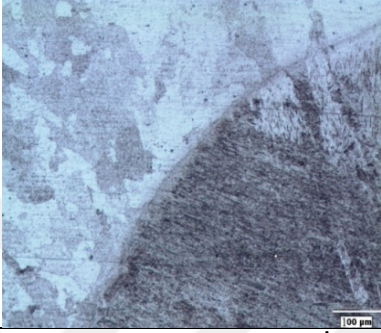
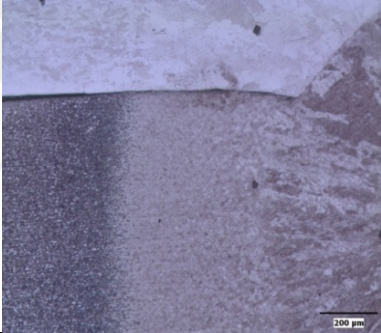
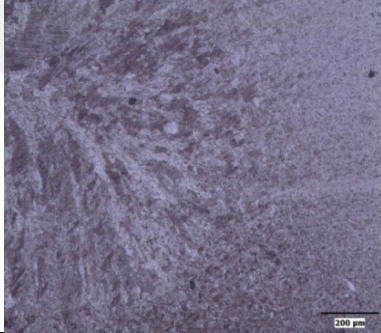
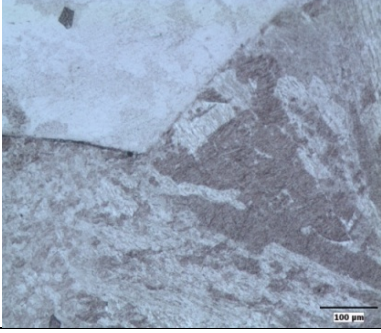
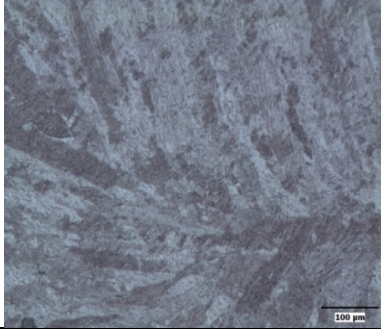
- [117] Akkaş, N., İlhan, E., Aslanlar, S., Varol, F., The Effect of Nugget Sizes on Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of SPA-C Steel Sheets Used in Rail Vehicles, *Materials Testing*, Volume 56, No 10: 879-883, 2014.
- [118] Nieto, J., Guerrero-Mata, M.P., Colas, R., Mani, A., Experimental investigation on resistance spot welding of galvanized HSLA steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 11, No 6: 717-722, 2006.

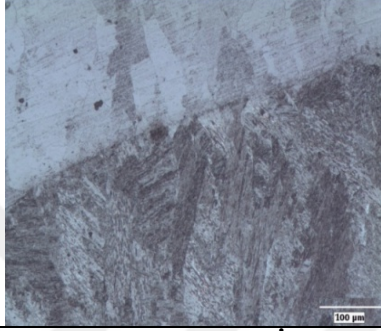
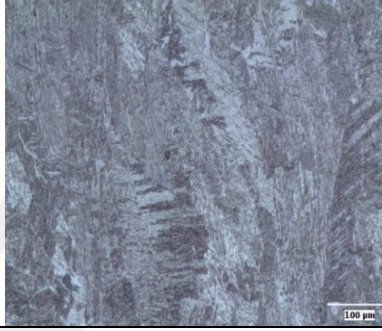
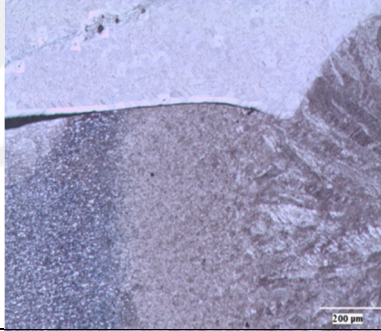
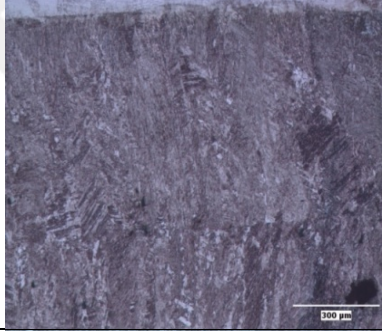
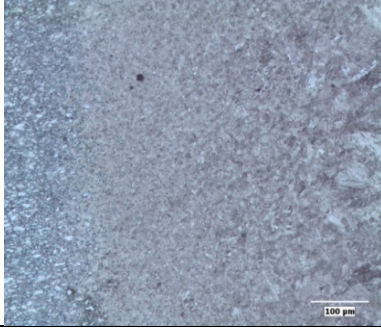
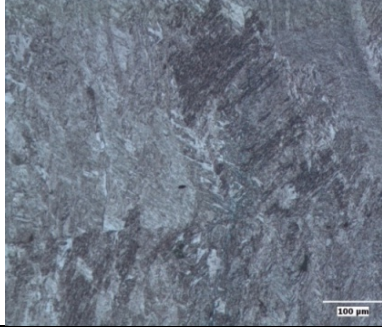


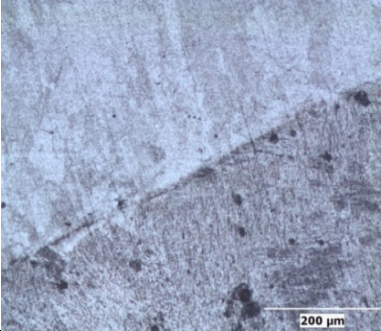
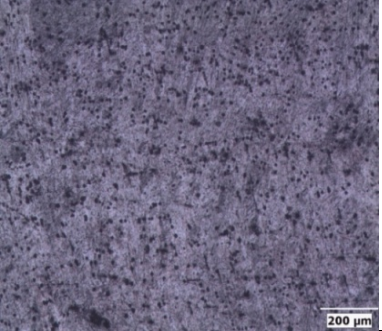
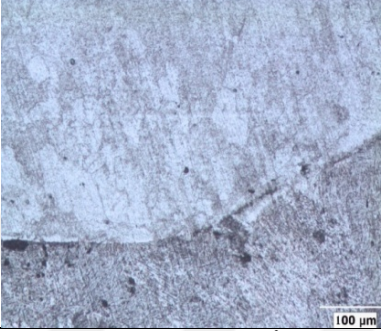
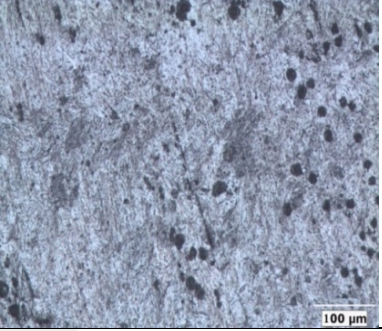
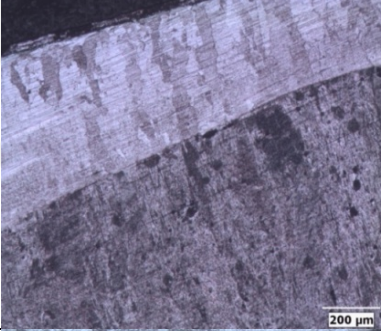
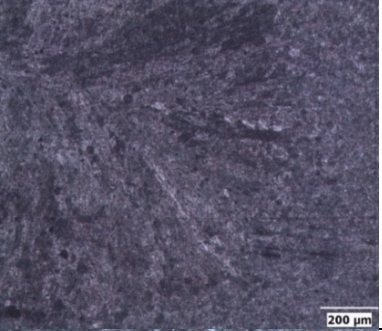
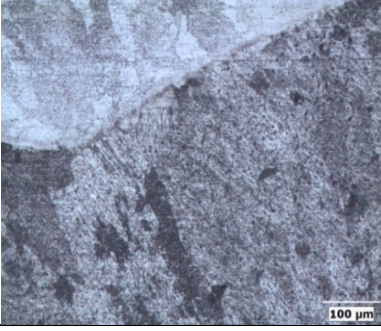
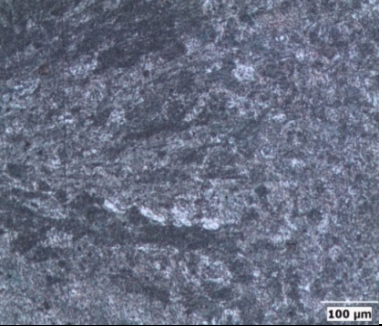
EKLER

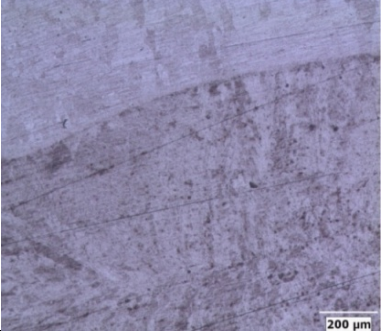
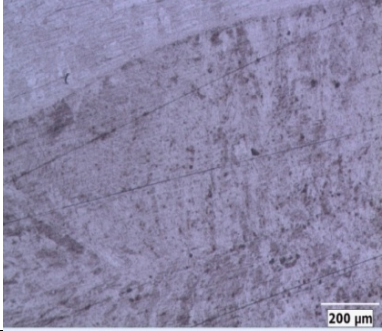
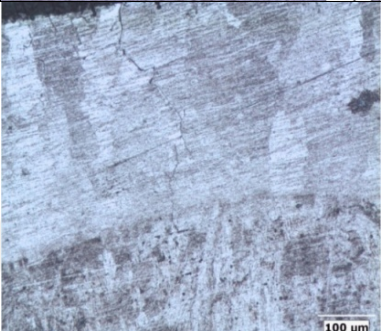
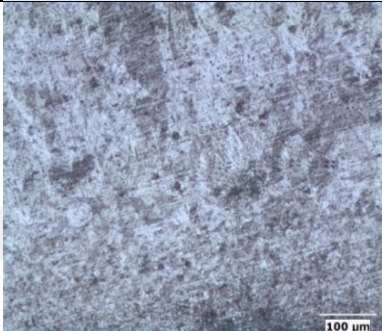
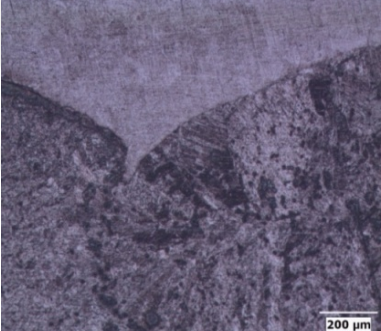
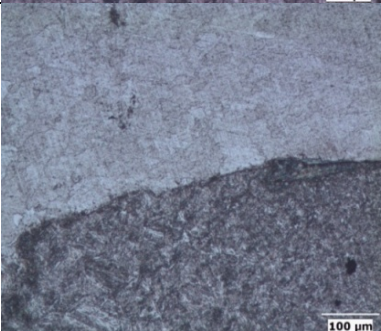
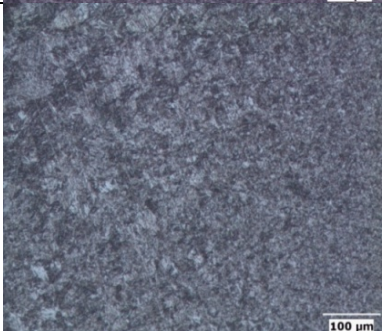
EK 1. TRIP 800 – Mikroalaşımli Bağlantılarını Ait Mikroyapı Görüntüleri

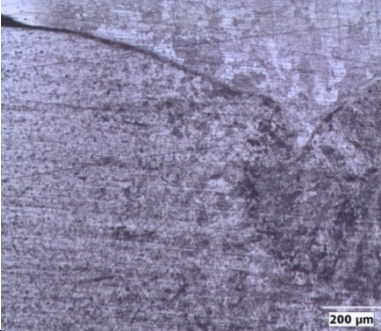
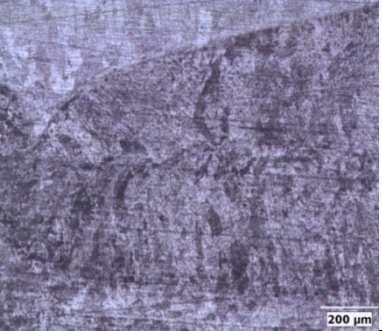
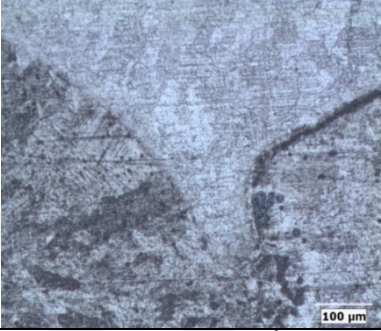
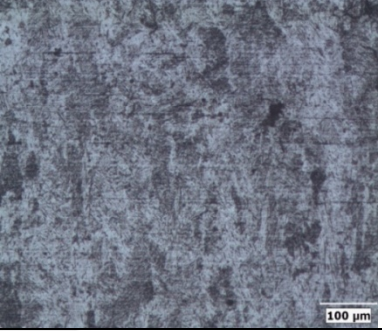
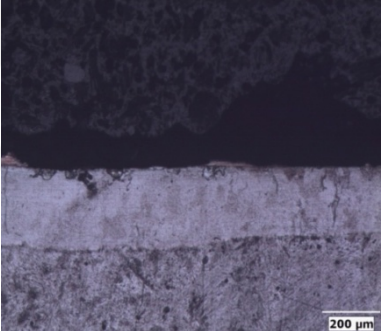
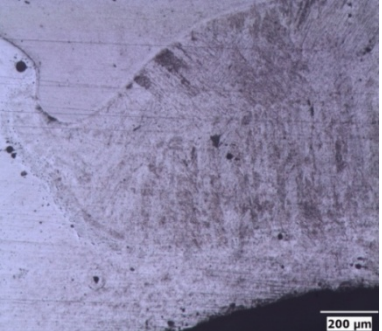
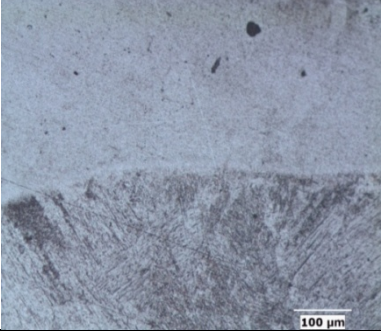
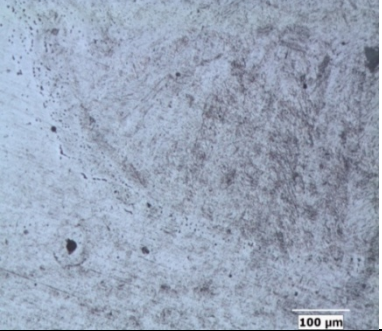
10 PERİYOT – 12500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			
10 PERİYOT – 13500 A			
50X			
100X			

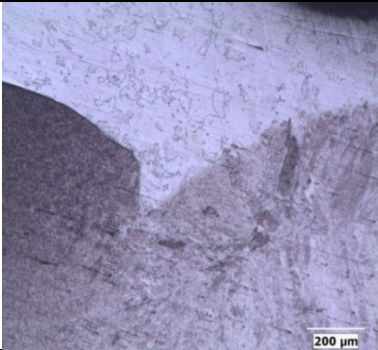
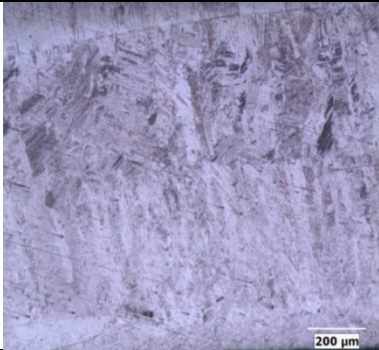
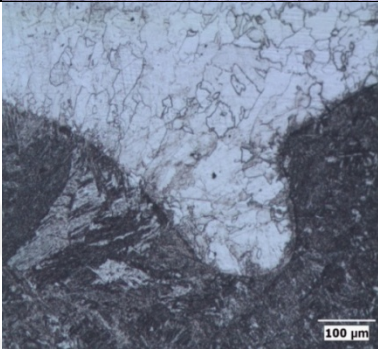
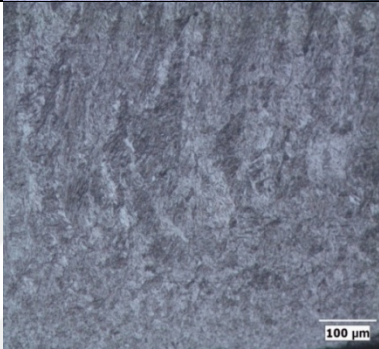
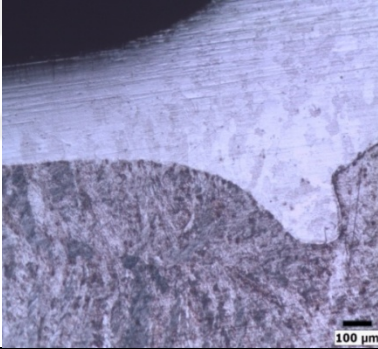
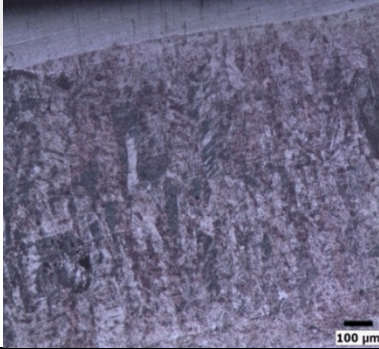
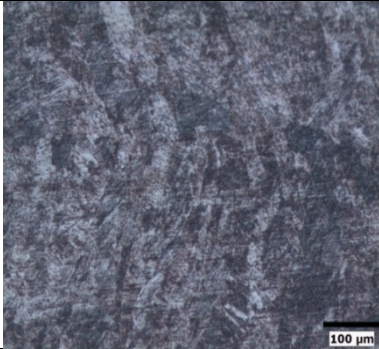
10 PERİYOT –14500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
10 PERİYOT – 85		
50X		
100X		

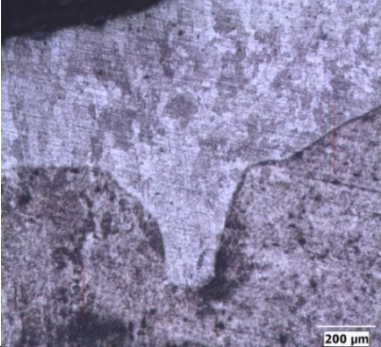
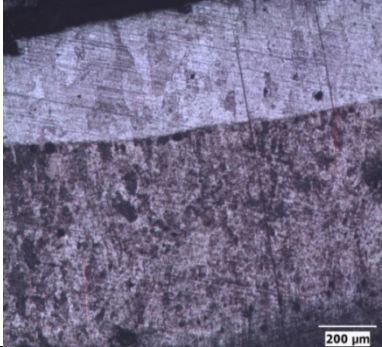
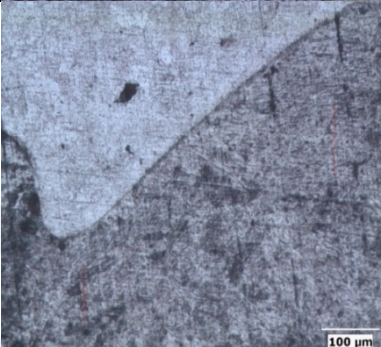
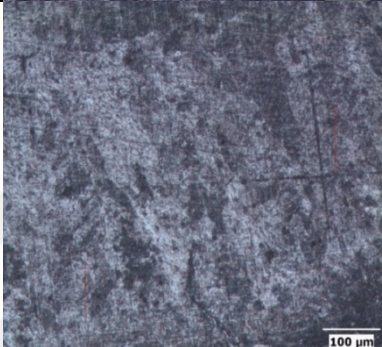
10 PERİYOT – 15500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
10 PERİYOT – 16000 A		
50X		
100X		

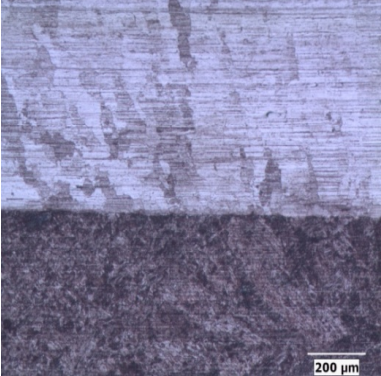
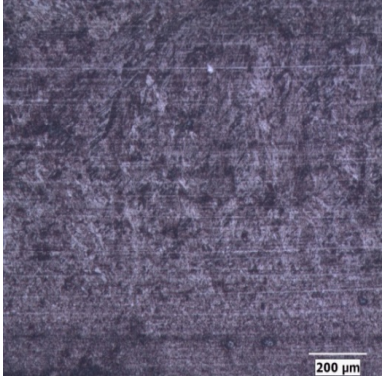
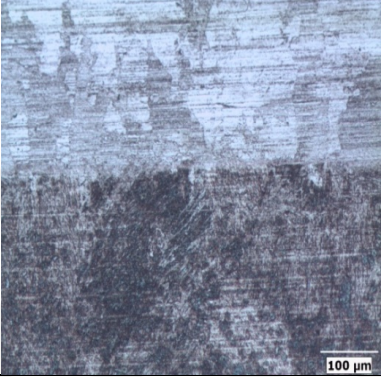
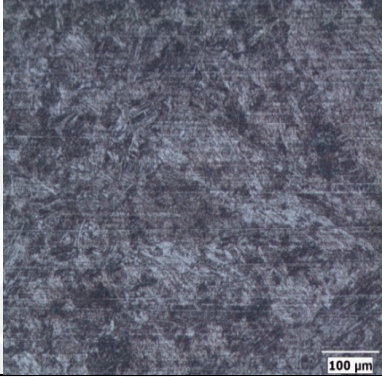
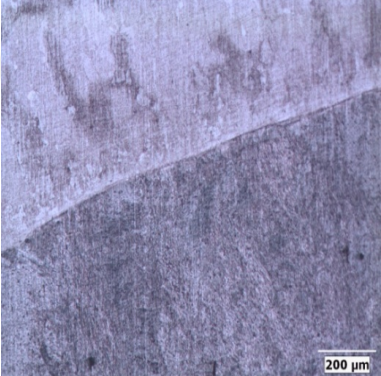
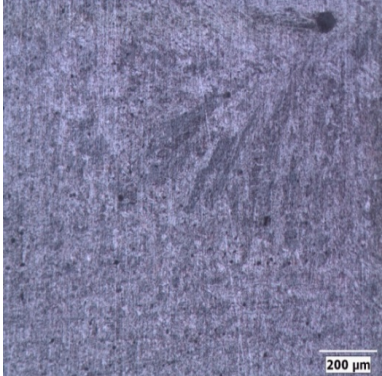
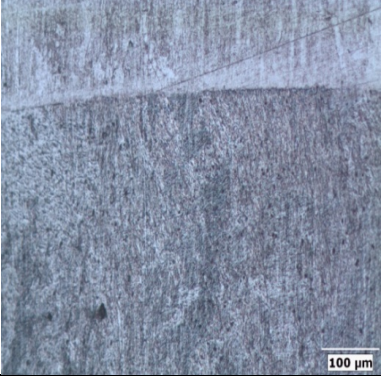
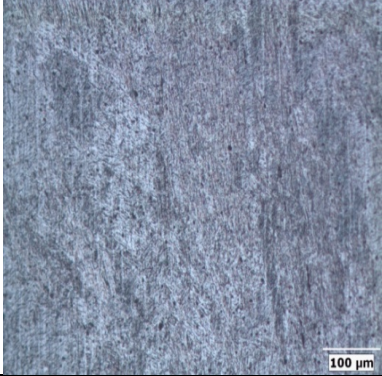
15 PERİYOT – 10500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
15 PERİYOT – 11500 A		
50X		
100X		

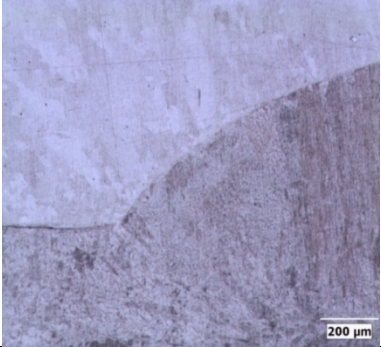
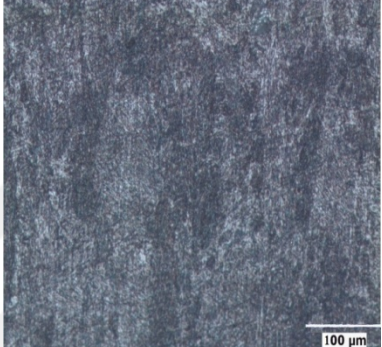
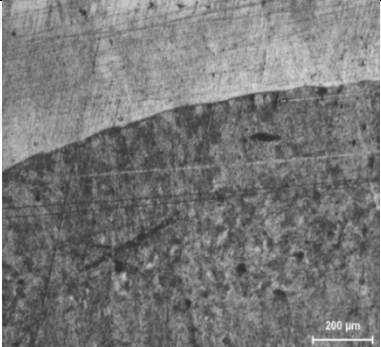
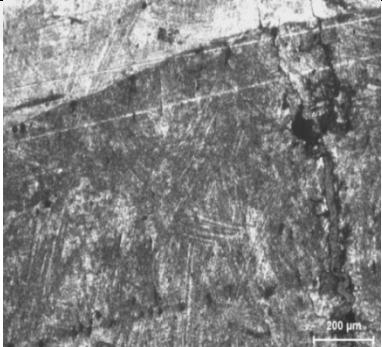
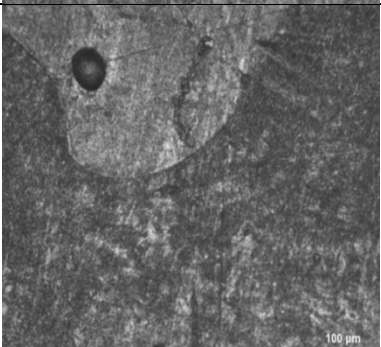
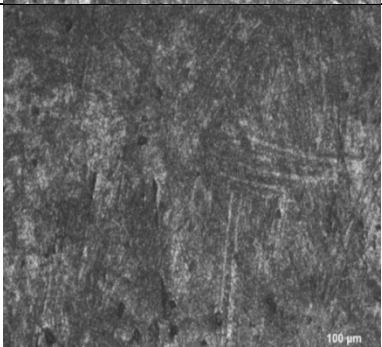
15 PERİYOT – 12500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
15 PERİYOT – 13500 A		
50X		
100X		

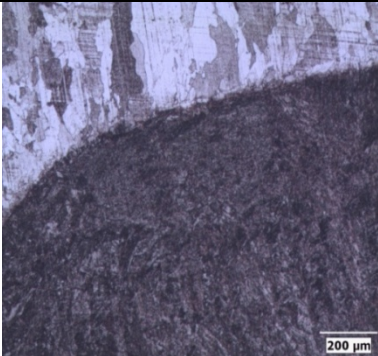
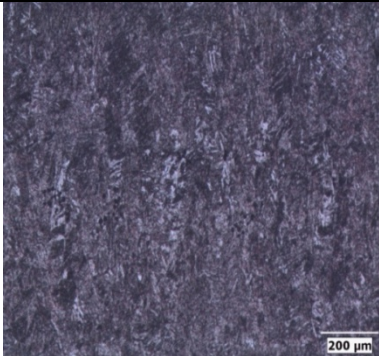
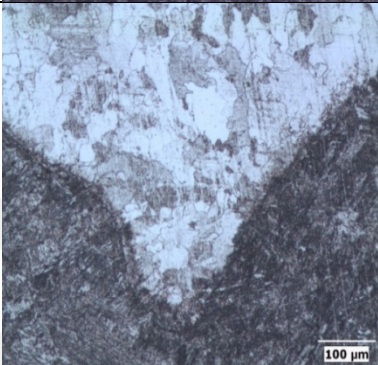
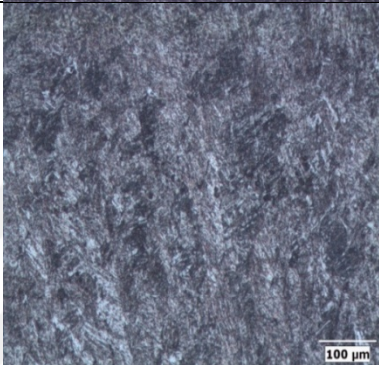
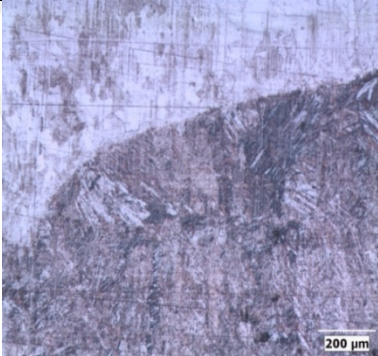
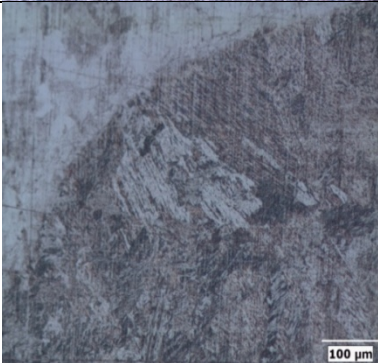
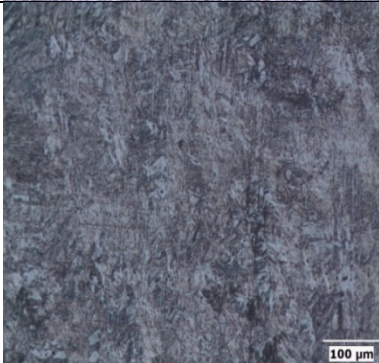
15 PERİYOT – 14500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
15 PERİYOT – 15000 A		
50X		
100X		

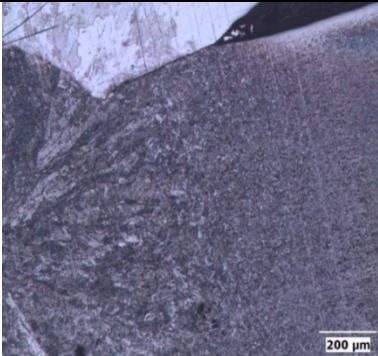
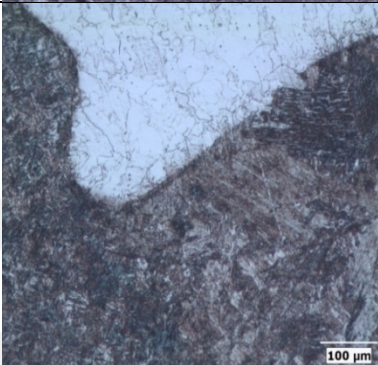
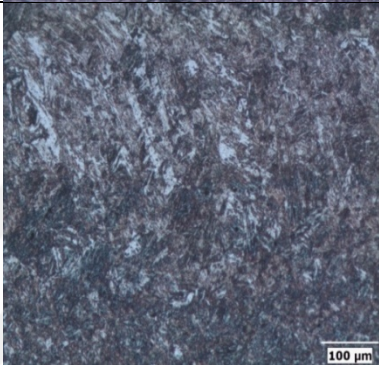
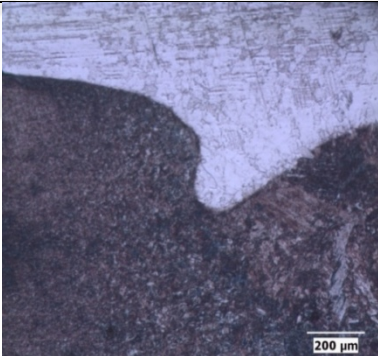
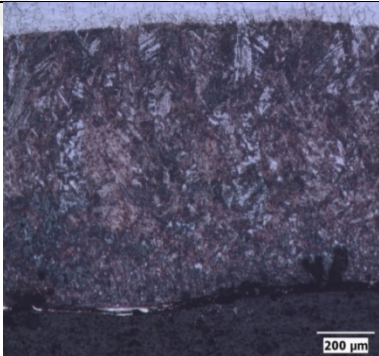
15 PERİYOT – 15500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			
15 PERİYOT – 16000 A			
50X			
100X			

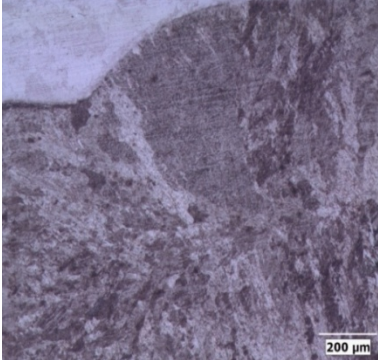
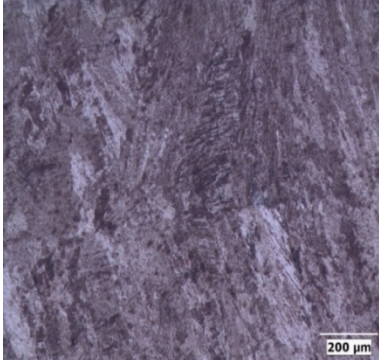
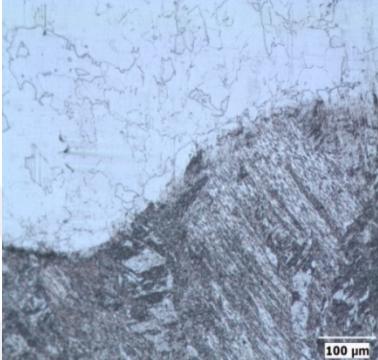
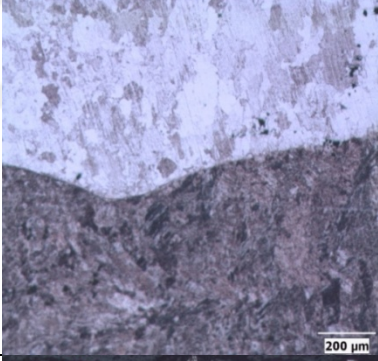
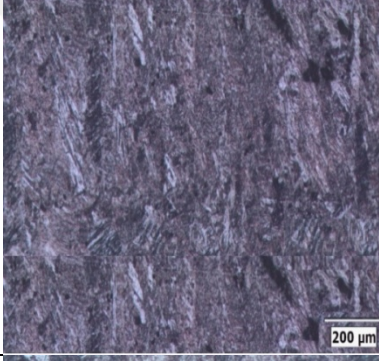
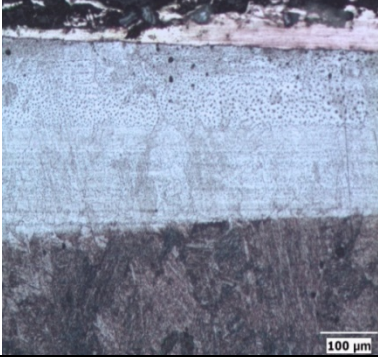
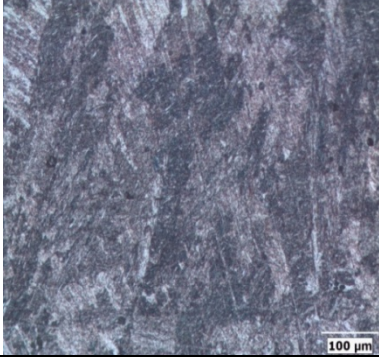
15 PERİYOT – 16500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			

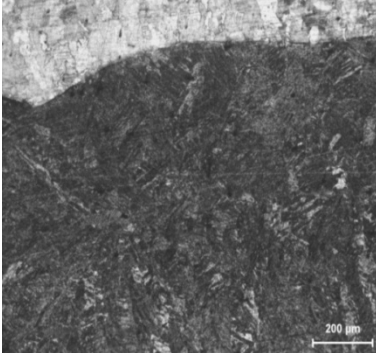
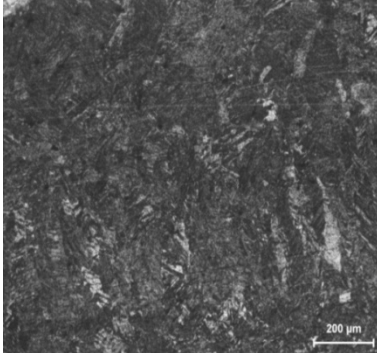
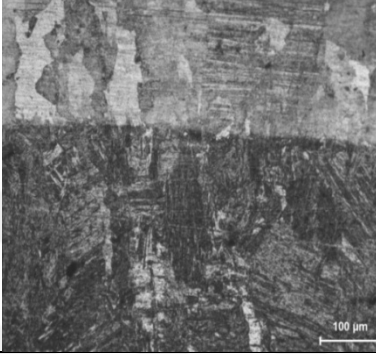
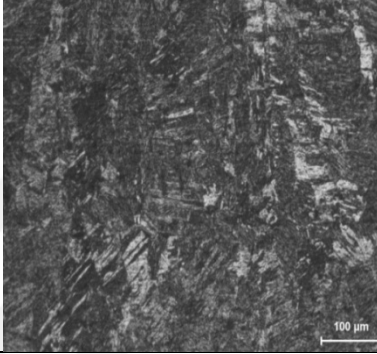
20 PERİYOT – 9500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			
20 PERİYOT – 10000 A			
50X			
100X			

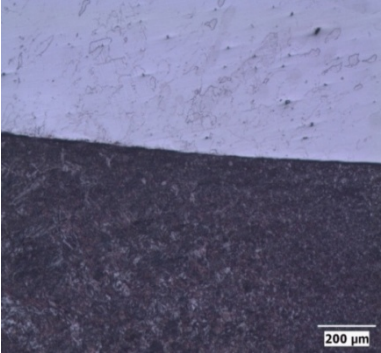
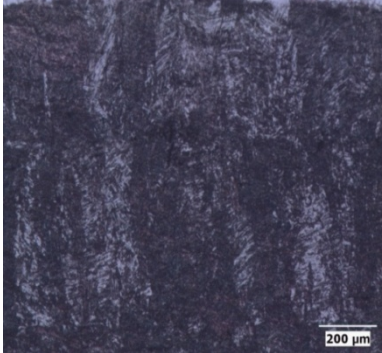
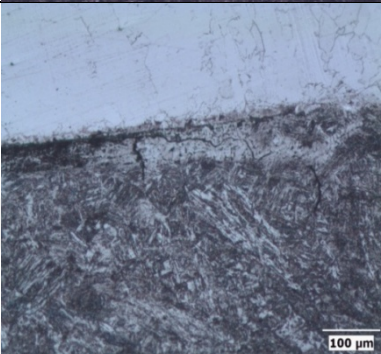
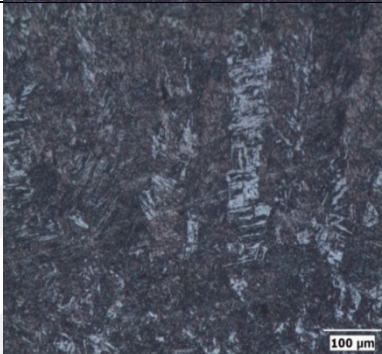
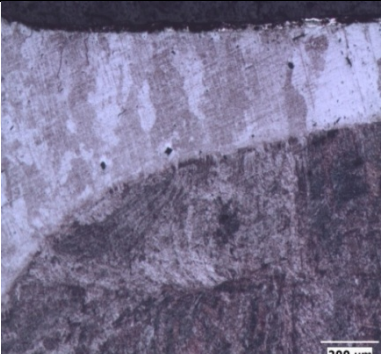
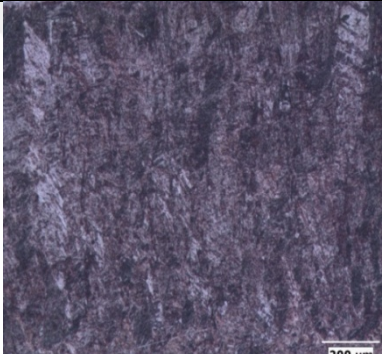
20 PERİYOT – 10500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
20 PERİYOT – 11500 A		
50X		
100X		

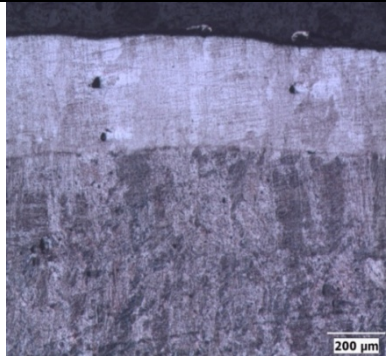
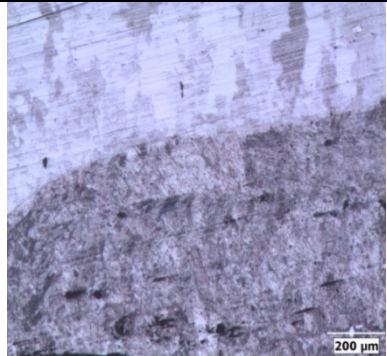
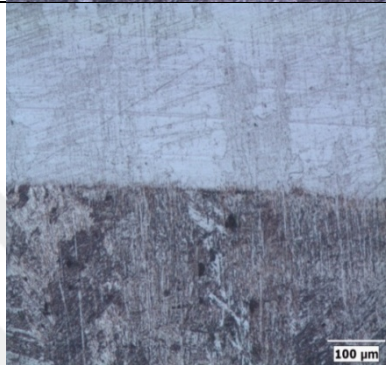
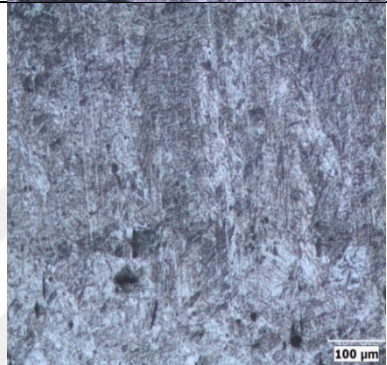
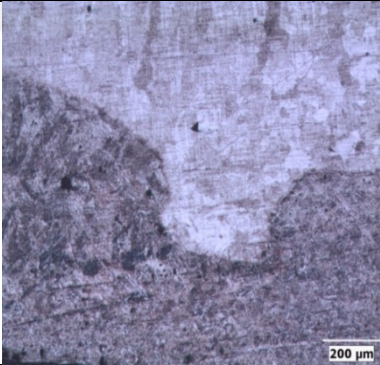
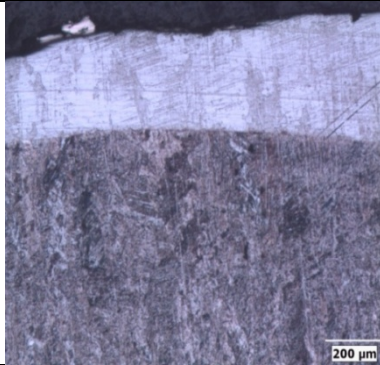
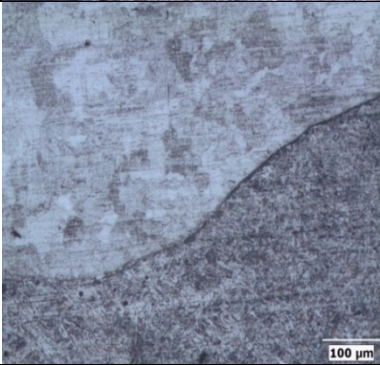
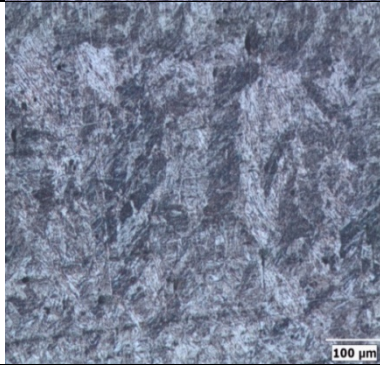
20 PERİYOT – 12500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
20 PERİYOT – 13500 A		
50X		
100X		

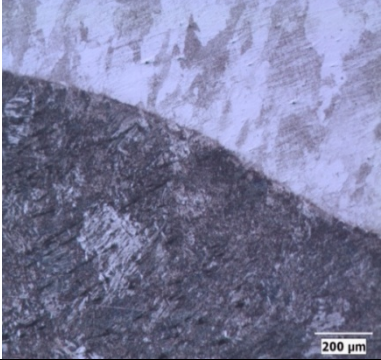
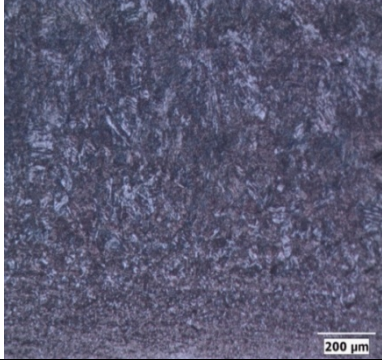
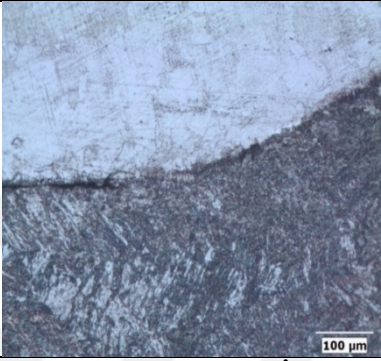
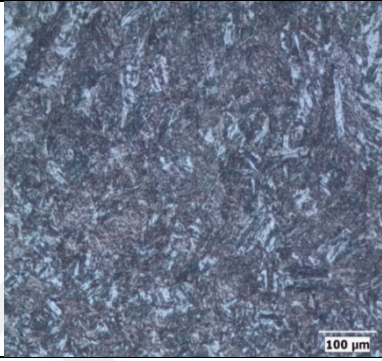
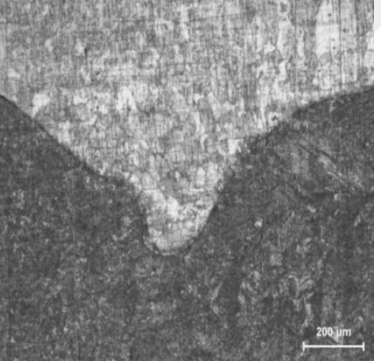
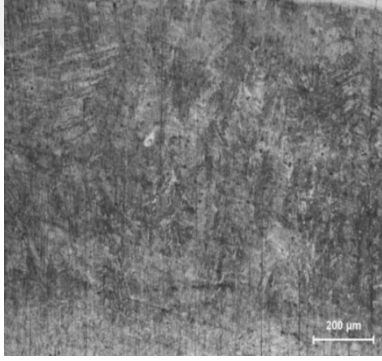
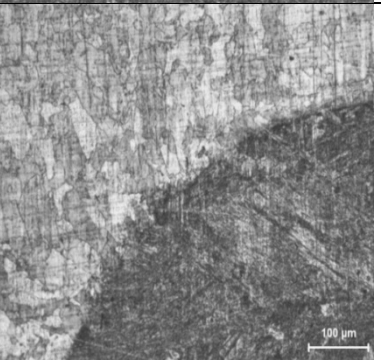
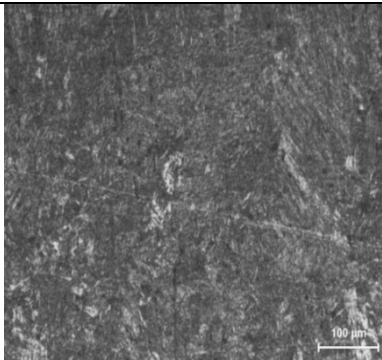
20 PERİYOT – 14500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
20 PERİYOT – 15000 A		
50X		
100X		

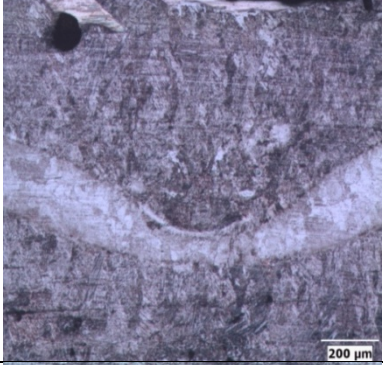
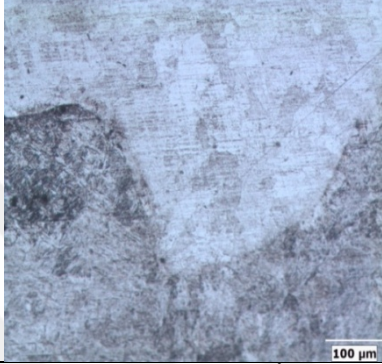
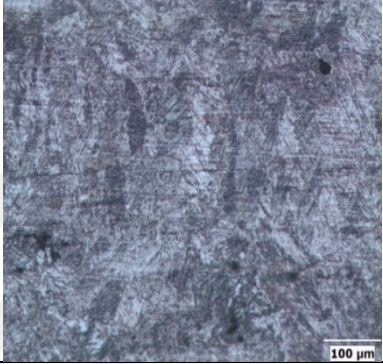
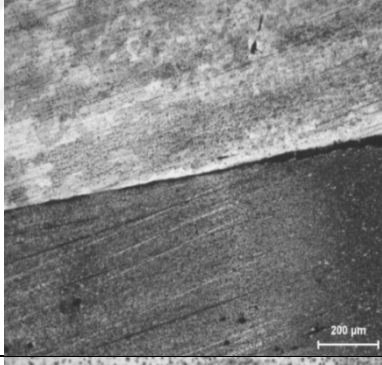
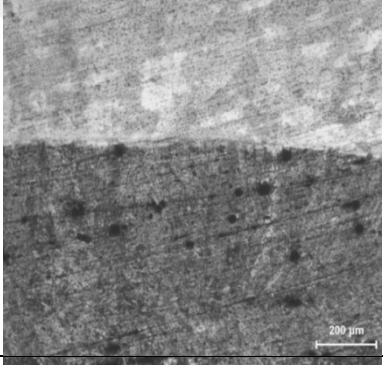
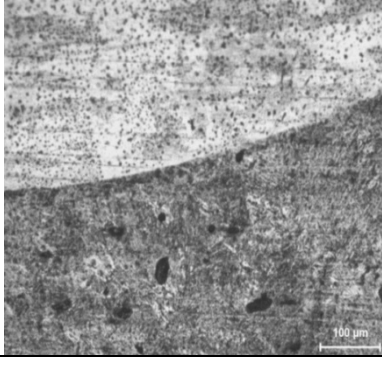
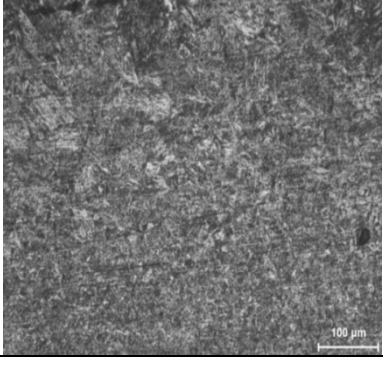
20 PERİYOT – 15500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			
20 PERİYOT – 16000 A			
50X			
100X			

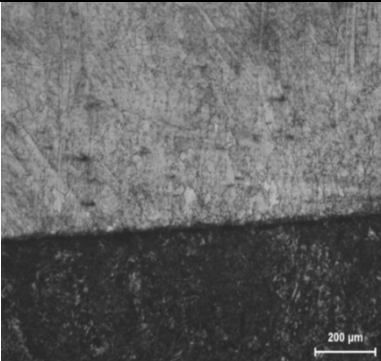
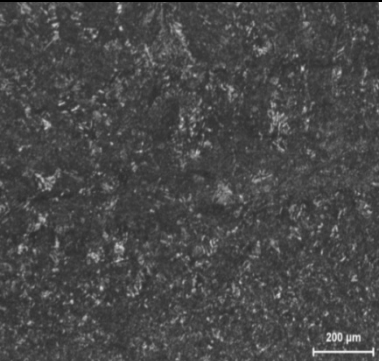
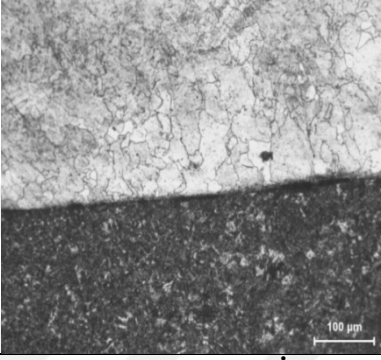
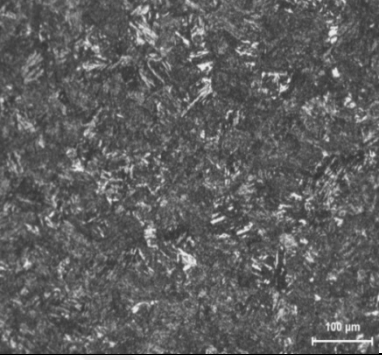
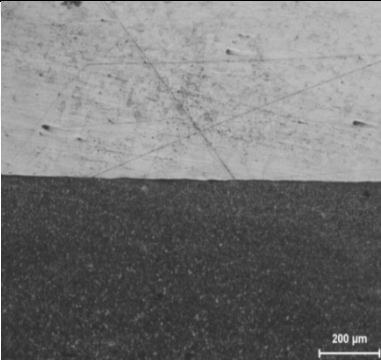
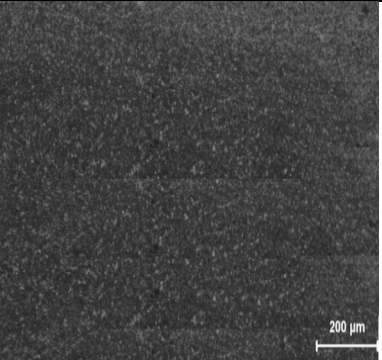
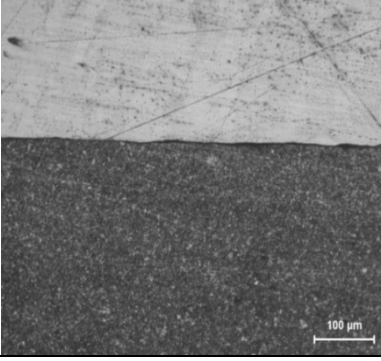
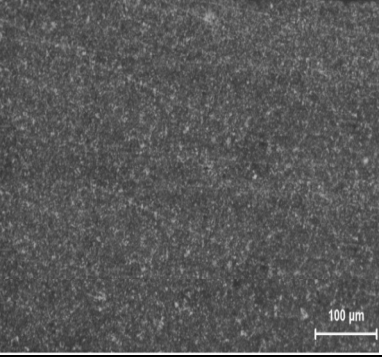
20 PERİYOT – 16500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		

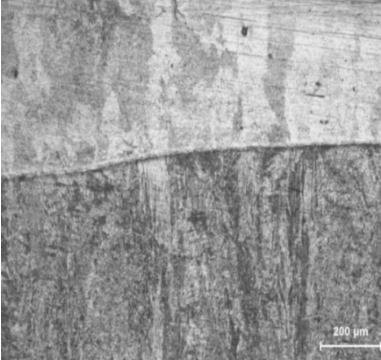
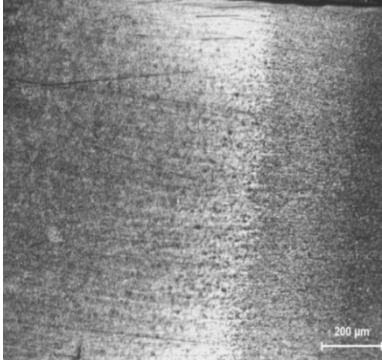
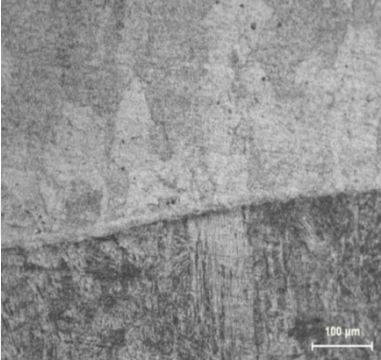
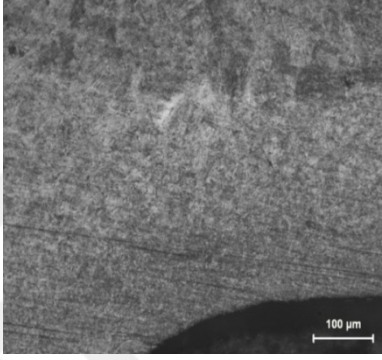
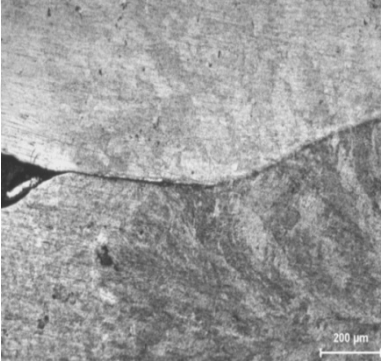
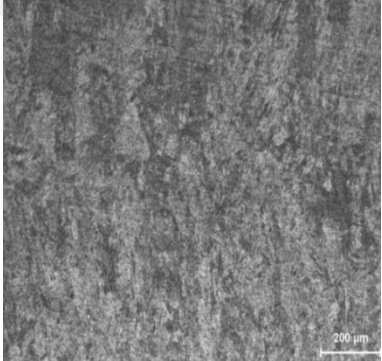
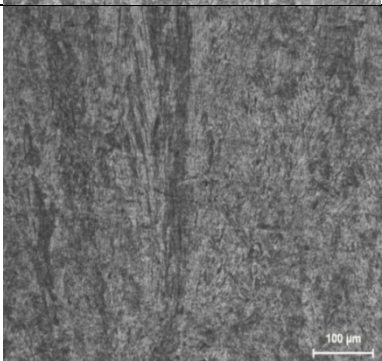
25 PERİYOT – 10000 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
25 PERİYOT – 10500 A		
50X		
100X		

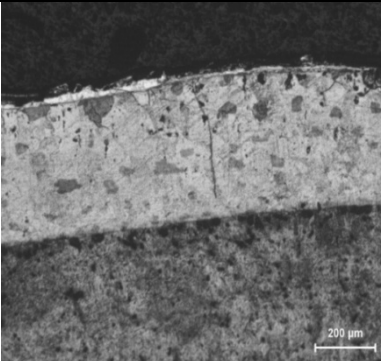
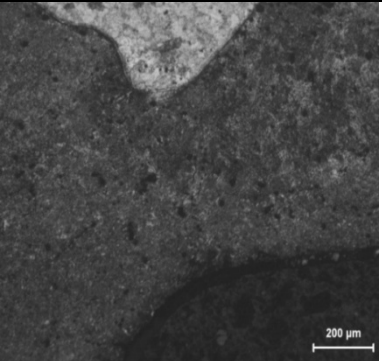
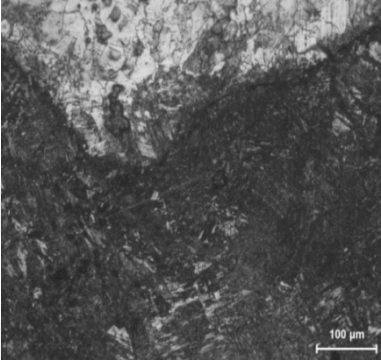
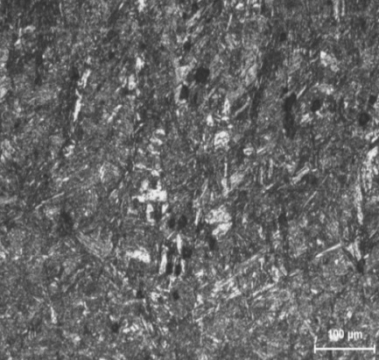
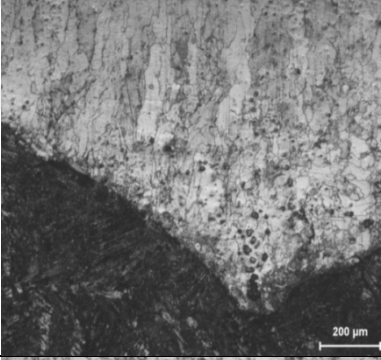
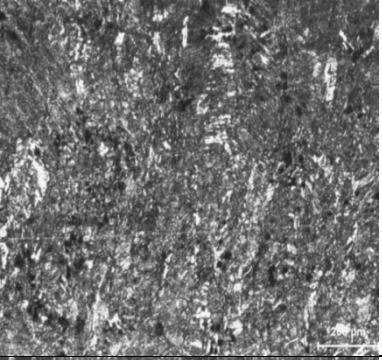
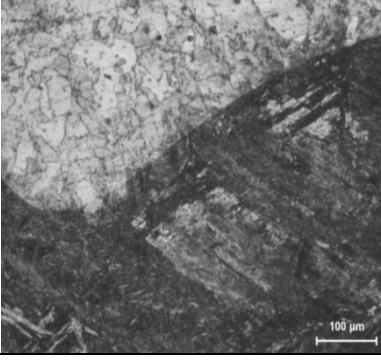
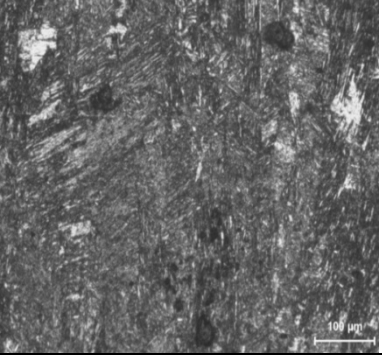
25 PERİYOT – 11500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
25 PERİYOT – 12500 A		
50X		
100X		

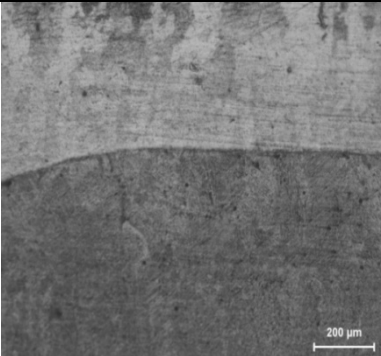
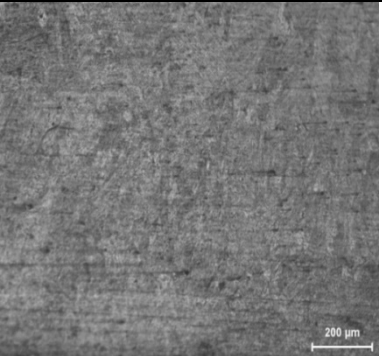
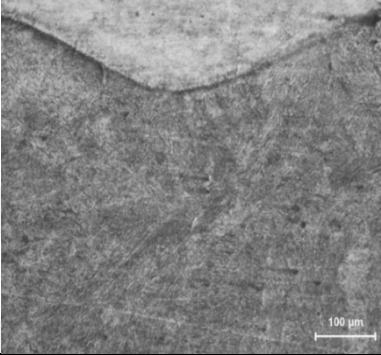
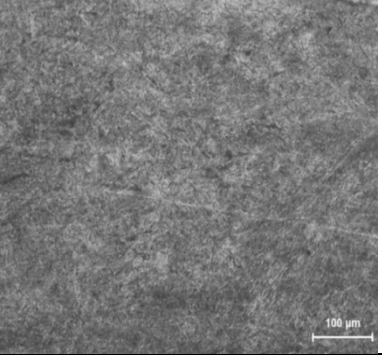
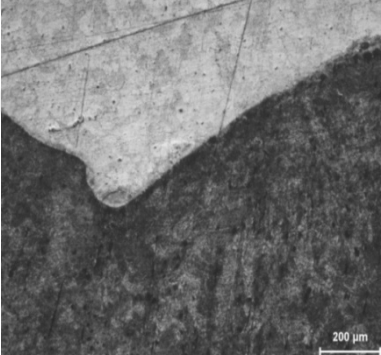
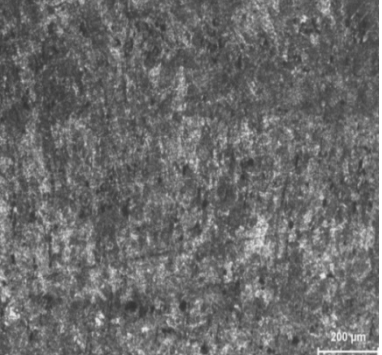
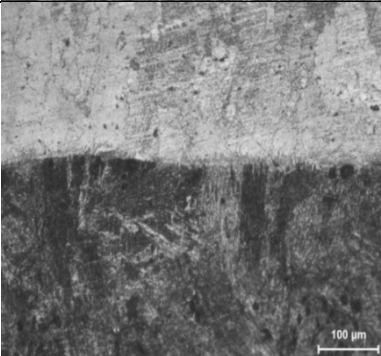
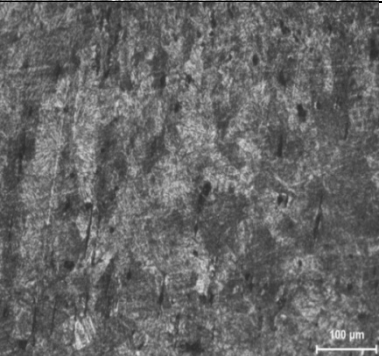
25 PERİYOT – 13500 A			
BÜYÜTME	ITAB		ÇEKİRDEK
50X			
100X			
25 PERİYOT – 14500 A			
50X			
100X			

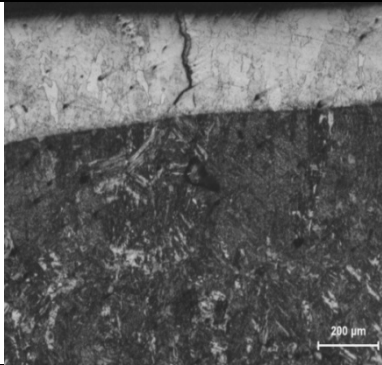
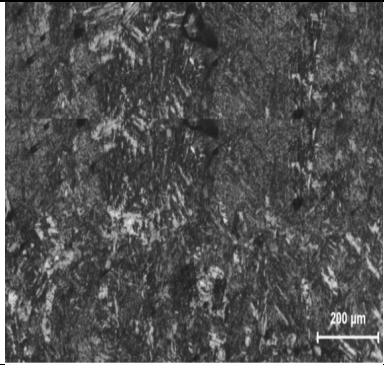
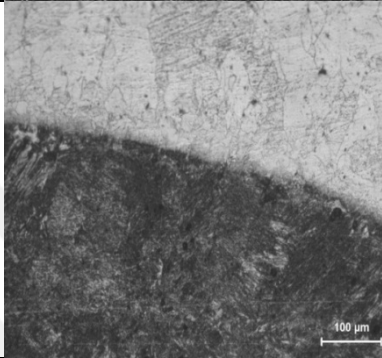
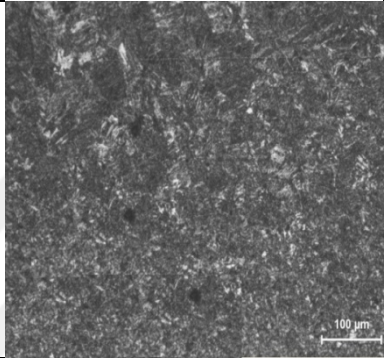
25 PERİYOT – 15000 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
25 PERİYOT – 15500 A		
50X		
100X		

30 PERİYOT – 9000 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
30 PERİYOT – 9500 A		
50X		
100X		

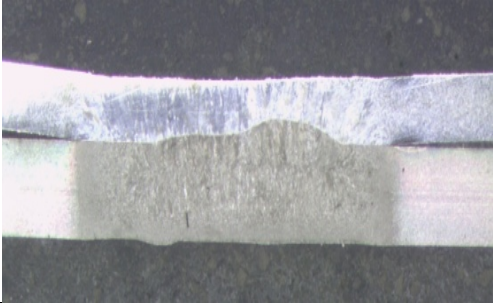
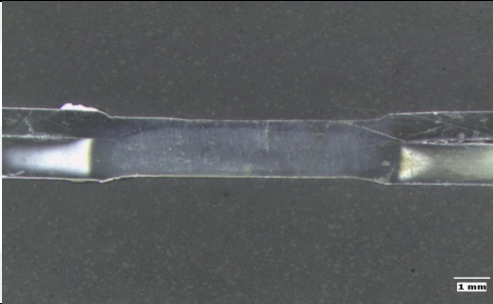
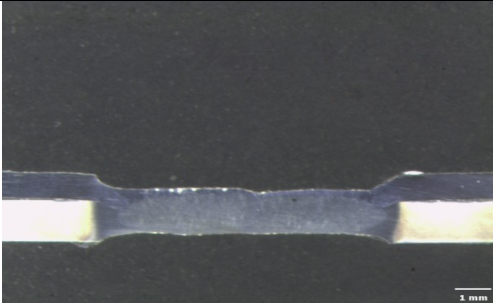
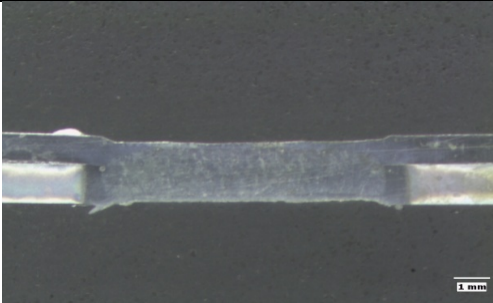
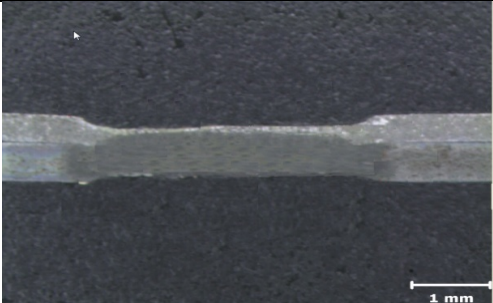
30 PERİYOT – 10000 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
30 PERİYOT –10500 A		
50X		
100X		

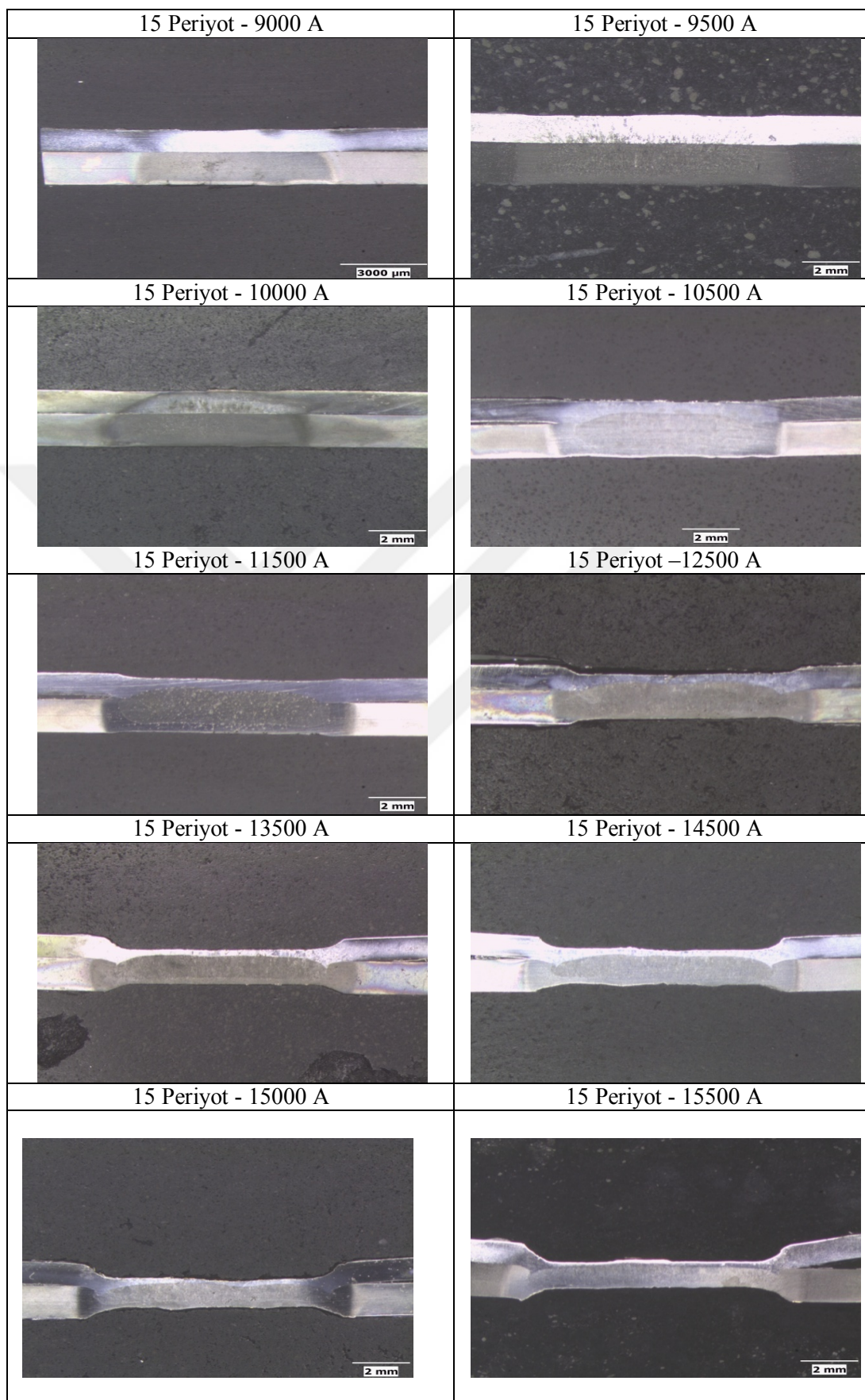
30 PERİYOT – 11500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
30 PERİYOT – 12500 A		
50X		
100X		

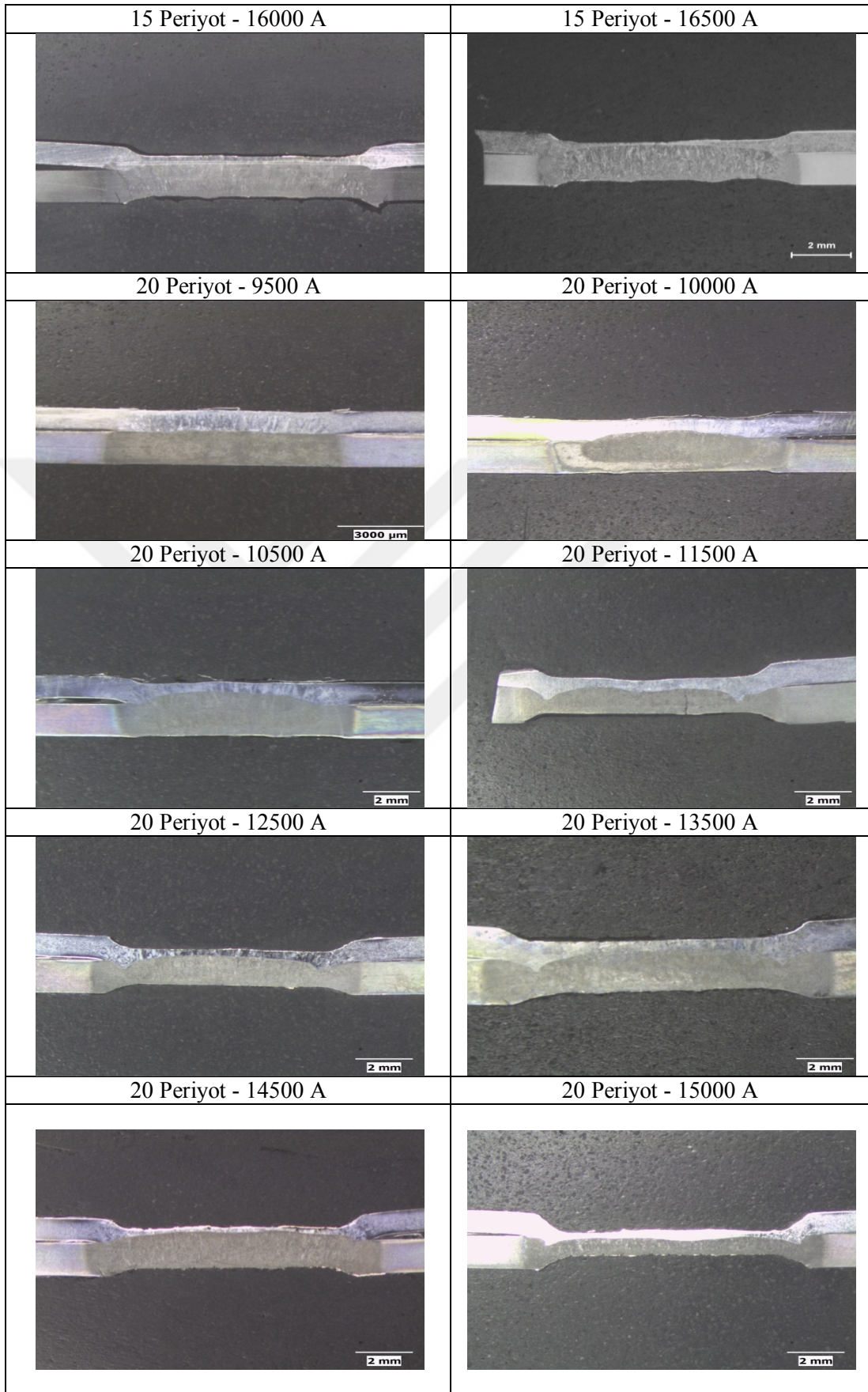
30 PERİYOT – 13500 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		
30 PERİYOT – 14500 A		
50X		
100X		

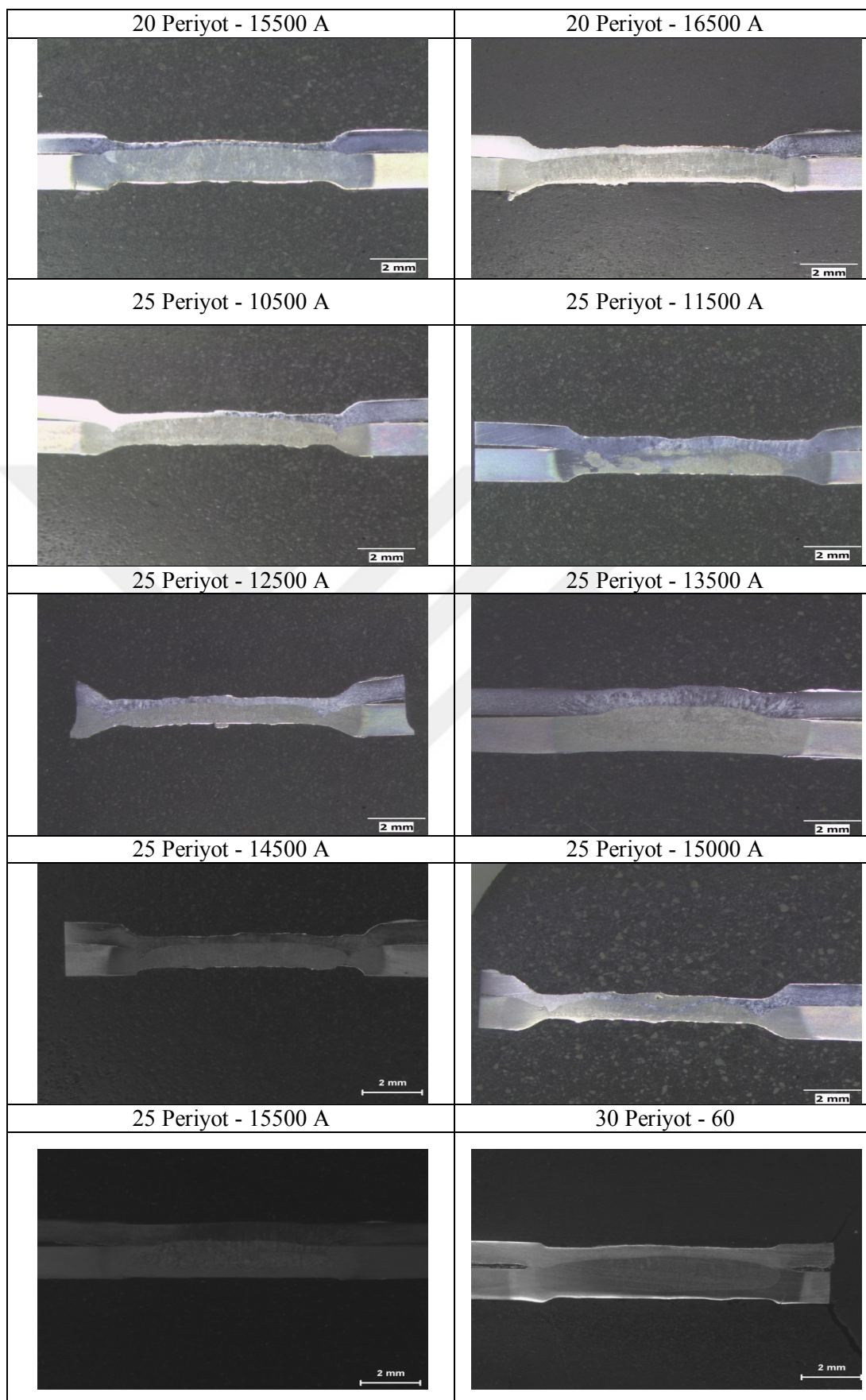
30 PERİYOT – 15000 A		
BÜYÜTME	ITAB	ÇEKİRDEK
50X		
100X		

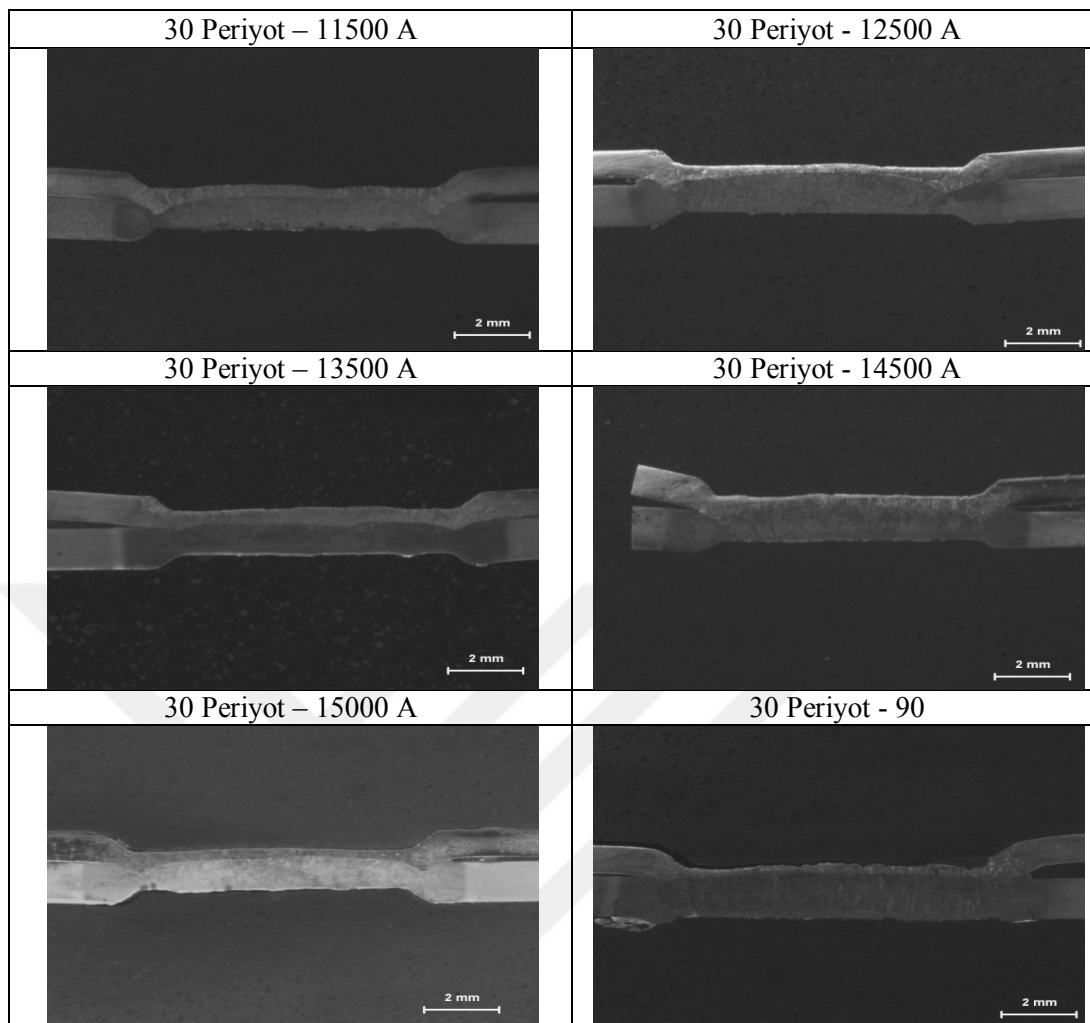
EK 2:TRIP 800 – Mikroalaşımli Bağlantılarını Ait Makroyapı Görüntüleri

10 Periyot - 10500 A	10 Periyot - 11500 A
	
10 Periyot - 12500 A	10 Periyot - 13500 A
	
10 Periyot - 14500 A	10 Periyot - 15000 A
	
10 Periyot - 15500 A	10 Periyot - 16000 A
	









ÖZGEÇMİŞ

Volkan ONAR, 05.02.1984'te İstanbul'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'nde tamamlamıştır. 2002 yılında Kocaeli Sabancı Anadolu Teknik Lisesi Bilgisayar Yazılım Bölümünden mezun olmuştur. 2003 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Metal Öğretmenliği bölümünü 2007 yılında bitirmiştir. 2007-2010 yılları arasında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2008 – 2011 yılları arasında Gazi Üniversitesi Atatürk Meslek Yüksekokulunda sözleşmeli olarak Öğretim Görevlisi olarak, yine aynı yıllarda Siteler Mesleki Eğitim Merkezi'nde Usta Öğretici olarak çalışmıştır. 2010 yılı içerisinde TÜV-TÜRK firmasında veri giriş uzmanı olarak çalışmış ve bu yılda Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine başlamıştır. 2012 yılında Araştırma Görevlisi olarak başladığı Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine İmalat Mühendisliğinde halen görevine devam etmektedir.