

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1200M-DP800HF SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ
NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLMESİNDE HASAR MODUNUN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih KEKİK

Enstitü Anabilim Dalı : **METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ**

Nisan 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1200M-DP800HF SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ
NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLMESİNDE HASAR MODUNUN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih KEKİK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/04/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Salim
ASLANLAR

Jüri Başkanı

Doç. Dr. Uğur

ÖZSARAÇ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Volkan

ONAR

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde 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 bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Melih KEKİK

25.04.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca tecrübe, bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, tezimin boyunca beni her konuda en ince ayrıntısına kadar titiz bir şekilde bilgilendirip yönlendiren, değerli danışman hocam Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam, Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları için Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne ve ERMETAL A.Ő. Kalite Departmanı'na, Borçelik Ar-Ge Merkezi'ne teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyip motivasyonumu yukarıda tutmamı sağlayan, beni her konuda destekleyen anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2018-50-01-008) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ÇELİKLER	4
2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Türleri.....	5
2.1.1. Çift fazlı çelikler(DP)	6
2.1.2. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler.....	6
2.1.3. Kompleks çelikler (CP)	6
2.1.4. TRIP çelikler	6
2.1.5. Yüksek manganlı çelikler (TWIP).....	7
BÖLÜM 3.	
DP ÇELİKLERİ	8
BÖLÜM 4.	
MARTENZİTİK ÇELİKLER	11

BÖLÜM 5.	
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	13
BÖLÜM 6.	
DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	14
6.1. Genel	14
6.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	14
6.3. Kullanılan Malzemelerin Boyutları ve Deney Hazırlık Süreci	15
6.4. Birleştirmelerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Cihazı...	16
6.5. Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları.....	17
6.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	18
6.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması	18
6.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri.....	21
6.9. Çekirdek Boyut Ölçümleri Ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi	22
6.10. Optik Mikroskop Görüntülerinin Çekilmesi	23
6.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Yapılan Çalışmalar	24
6.12. Sertlik Değeri Ölçümleri	25
BÖLÜM 7.	
DENEYSSEL SONUÇLAR.....	26
7.1. Genel	26
7.2. DP800 HyperForm ve 1200M çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi.....	26
7.2.1. Kaynak akım şiddetinin DP 800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	27
7.2.2. Kaynak zamanının DP 800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	29
7.2.3. Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm-1200M bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi	36
7.2.4. Kaynak zamanının DP800 HyperForm-1200M bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi	38

7.3. DP800 HyperForm-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdeği Boyutlarına Etkisi.....	39
7.3.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek çapına etkisi.....	39
7.3.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek yüksekliğine etkisi	40
7.3.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde çekirdek boyut oranına etkisi	45
7.4. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliği ve Genişliğine Etkisi.....	49
7.4.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF-1200M bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi	49
7.5. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi.....	53
7.5.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi	53
7.5.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi	54
7.5.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi..	56
7.6. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Kuvvetine Etkisi.....	57
7.6.1. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek çapının çekme-makaslama kuvvetine etkisi.....	57
7.6.2. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi	59

7.6.3. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-makaslama kuvvetine etkisi	60
7.6.4. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek çapının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi	62
7.6.5. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi	63
7.6.6. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi	65
7.7. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Elektrot Dalma Derinliğinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Kuvvetine Etkisi	66
7.7.1. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi	66
7.7.2. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi....	68
7.8. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Kaynak Parametrelerinin Sertlik Değerine Etkisi	69
7.8.1. Kaynak parametrelerinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi	70
7.8.2. Kaynak parametrelerinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi	72
7.9. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi.....	74
7.10. DP800HF-1200M Çeliklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri	75
7.11. DP800HF-1200M Kaynaklı Birleştirmelerinin Makroyapı Görüntüleri	78

BÖLÜM 8.	
DP800HF-1200M BİRLEŞTİRMELERİNİN KAYNAK GRAFİĞİ (WELD LOBE).....	82
BÖLÜM 9.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	83
9.1. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler.....	83
9.2. Öneriler.....	85
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ	109

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)
s	: Malzeme Kalınlığı (mm)
SAE	: Society of Automotive Engineers
DP	: Çift Fazlı Sac (Dual Phase)
SEM	: Scanning Electron Microscopy
t	: Kaynak Süresi (s)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kullanılan malzemelere göre koruma oranları.	4
Şekil 3.1.	DP800 HyperForm'un gerilmesinin diğer çelikler ile karşılaştırması.	9
Şekil 3.2.	DP800 HyperForm'un otomobildeki ön-alt şasedeki kullanımı.....	10
Şekil 3.3.	DP800 HyperForm'un yan şase kolu olarak kullanımı.	10
Şekil 3.4.	DP800 HyperForm ile tek parça halinde üretilebilen yan şase kolu.	10
Şekil 4.1.	Temperlenmiş martenzit ve karbon içeriği-çekme mukavemeti ilişkisi.....	12
Şekil 6.1.	Çekme – makaslama deney numunesi.	15
Şekil 6.2.	Çekme – sıyırma deney numunesi.	15
Şekil 6.3.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	16
Şekil 6.4.	Dengensha marka akım ölçer.....	17
Şekil 6.5.	Elektrotların şematik gösterimi.....	17
Şekil 6.6.	Parametreleri belirlemek üzere elde edilmiş numuneler.....	18
Şekil 6.7.	Elektrot kuvveti ölçüm cihazı.	19
Şekil 6.8.	Elektrik direnç nokta kaynak parametreleri.....	19
Şekil 6.9.	Çekme makaslama deney numuneleri.	20
Şekil 6.10.	Çekme sıyırma deney numuneleri.	20
Şekil 6.11.	Deneylerde kullanılan 100 tonluk Instron çekme cihazı.	22
Şekil 6.12.	Çekirdek boyut ölçümlerinde kullanılan optik mikroskop.	23
Şekil 6.13.	Mikroyapı alınmasında kullanılan optik mikroskop.	24
Şekil 6.14.	SEM ölçümünde kullanılan Zeiss EVO 50.....	24
Şekil 6.15.	Seri Mikrosertlik ölçümlerde kullanılan EmcoTest Cihazı.	25
Şekil 7.1.	DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinin kaynak akım şiddetinin Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.	28

Şekil 7.2.	DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.....	37
Şekil 7.3.	DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.	37
Şekil 7.4.	DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.	38
Şekil 7.5.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.	39
Şekil 7.6.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.	40
Şekil 7.7.	Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.	41
Şekil 7.8.	Kaynak zamanının DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.	41
Şekil 7.9.	Kaynak akım şiddetinin 1200 Martenzitik çelikte oluşan çekirdek yüksekliğine etkisi.	42
Şekil 7.10.	Kaynak zamanının 1200Martenzitik çelikte oluşan çekirdek yüksekliğine etkisi.	43
Şekil 7.11.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi.	44
Şekil 7.12.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi.....	44
Şekil 7.13.	Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.....	45
Şekil 7.14.	Kaynak zamanının DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.....	46
Şekil 7.15.	Kaynak akım şiddetinin 1200 Martenzit çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.....	47
Şekil 7.16.	Kaynak zamanının 1200 Martenzit çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.....	47
Şekil 7.17.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.	48

Şekil 7.18.	DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.	48
Şekil 7.19.	Kaynak akım şiddetinin DP800HF çeliğinde elektrot dalma derinliğine etkisi.	50
Şekil 7.20.	Kaynak zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.	50
Şekil 7.21.	Kaynak akım şiddetinin 1200M çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.	51
Şekil 7.22.	Kaynak zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.....	51
Şekil 7.23.	Kaynak akım şiddetinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam dalma derinliğine etkisi.....	52
Şekil 7.24.	Kaynak zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam dalma derinliğine etkisi.....	52
Şekil 7.25.	Kaynak akım şiddetinin DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.	53
Şekil 7.26.	Kaynak zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.	54
Şekil 7.27.	Kaynak akım şiddetinin 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.	55
Şekil 7.28.	Kaynak zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.....	55
Şekil 7.29.	Kaynak akım şiddetinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi.	56
Şekil 7.30.	Kaynak zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi.	57
Şekil 7.31.	Kaynak çekirdek çapının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	58
Şekil 7.32.	Kaynak çekirdek çapının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı şiddeti sabit).	58

Şekil 7.33.	Toplam Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	59
Şekil 7.34.	Toplam Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	60
Şekil 7.35.	Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	61
Şekil 7.36.	Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	61
Şekil 7.37.	Kaynak çekirdek çapının D800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	62
Şekil 7.38.	Kaynak çekirdek çapının D800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	63
Şekil 7.39.	Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	64
Şekil 7.40.	Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	64
Şekil 7.41.	Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	65
Şekil 7.42.	Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	66
Şekil 7.43.	Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	67
Şekil 7.44.	Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	67
Şekil 7.45.	Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).....	68
Şekil 7.46.	Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).....	69
Şekil 7.47.	DP800HF-1200M birleştirmelerindeki ölçüm yönü.....	69

Şekil 7.48.	5 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	71
Şekil 7.49.	10 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	71
Şekil 7.50.	15 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	71
Şekil 7.51.	20 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	71
Şekil 7.52.	25 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	72
Şekil 7.53.	30 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	72
Şekil 7.54.	8,44 kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	72
Şekil 7.55.	9,6 kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	73
Şekil 7.56.	11,8kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	73
Şekil 7.57.	13,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	73

Şekil 7.58.	14,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	73
Şekil 7.59.	15,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.	74
Şekil 7.60.	DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin SEM görüntüsü.....	76
Şekil 7.61.	DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinde çekirdek bölgesinin 2000x büyütmedeki SEM görüntüsü.	76
Şekil 7.62.	DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinde ITAB bölgesinin 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü.	77
Şekil 7.63.	DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu.	78
Şekil 7.64.	DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz grafiği.....	78
Şekil 7.65.	DP800HF-1200M birleştirmelerinde 5 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.	79
Şekil 7.66.	DP800HF-1200M birleştirmelerinde 10 Periyot – 8,44 kA makroyapı görüntüsü.	79
Şekil 7.67.	DP800HF-1200M birleştirmelerinde 15 Periyot – 8,44 kA makroyapı görüntüsü.	80
Şekil 7.68.	DP800HF-1200M birleştirmelerinde 15 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.	80
Şekil 7.69.	DP800HF-1200M birleştirmelerinde 20 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.	80
Şekil 8.1.	DP800HF-1200M birleştirmeleri için Kaynak eğrisi (Weld Lobe).....	82

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1.	DP800 HyperForm sacının kimyasal bileşimi (%).	14
Tablo 6.2.	1200M sacının kimyasal bileşimi (%).	14
Tablo 6.3.	DP800 HyperForm sacının mekanik özellikleri.	15
Tablo 6.4.	1200M sacının mekanik özellikleri.....	15
Tablo 6.5.	Kullanılan elektotların kimyasal bileşimi ve özellikleri.	18
Tablo 6.6.	Oluşan hasar çeşidi örnekleri.	22
Tablo 7.1.	Kaynaklı birleştirmeler için hazırlanan numune sayıları.	27
Tablo 7.2.	Kaynak akım şiddeti ve zamanlarıyla numune resimlerinin incelenmesi.	30
Tablo 7.3.	Farklı büyütme ve bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri.	75
Tablo 7.4.	DP800HF-1200M fişkırmaların meydana geldiği numunelerin makroyapı görüntüleri.....	81

ÖZET

Anahtar Kelimeler: DP Çelikleri, Martenzit Çelikler, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe sıkça kullanılan çift-fazlı (DP) ve martenzit mikroyapısına sahip 1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleriyle elde edilen optimum mekanik özellikleri sağlayan kaynak parametrelerinin belirlenmesidir.

Elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerini üretmek amacı ile 120 kVA gücünde akım sağlayan ve elektrik akım kontrollü pnömatik sisteme sahip olan kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanı olarak 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot=0,02 sn) belirlenmiştir. Kaynak akım şiddetleri ise 8440 A'den 15500 A'e kadar yaklaşık 1000 A artırılarak ayarlanmıştır. Elektrot baskı kuvveti sabit biçimde 4 kN olarak belirlenmiştir.

Yapılan birleştirmeler sonrasında numunelere çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testleri uygulanmıştır. Optik mikroskop kullanarak makro boyutta çekirdek boyutları tespit edilmiştir. Bütün bunlara ek olarak mikroyapı görüntüleri, EDS analizi ve SEM görüntüleri incelenerek mikro vickers sertlik ölçümleriyle deneyler tamamlanmıştır.

Sonuç olarak kaynak zamanı, kaynak akım şiddetinin ve kaynak çekirdeği geometrisinin çekme-makaslama ve çekme – sıyırma kuvvetine etkisi belirlenmiş olup, optimum değerleri belirleyen kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak kaynak eğrisi grafiğine ulaşılmıştır.

FAILURE MODE DETERMINATION OF ELECTRICAL RESISTANCE SPOT WELDED 1200M-DP800HF STEEL SHEETS

SUMMARY

Keywords: DP Steels, Martensitic Steels, Electrical Resistance Spot Weld

The aim of this study is to determine the welding parameters to obtain the optimum mechanical properties in resistance spot welding of dual phase (DP) steel and martensitic type 1200M steel used in automotive industry.

A pneumatic, current controlled electrical resistance spot welding machine having 120 kVA capacities was used in order to prepare the joined specimens. The weld times were selected as 5, 10, 15, 20, 25 and 30 periods (1 period=0,02 second). The weld currents were increased from 8440 Amperes to 15500 A by 1000 A increments. The constant electrode compression force was determined as 4 kN.

The welded specimens were exposed to Tensile-Shear and Tensile-Peel tests. Weld nugget sizes were measured by stereo-microscope. In addition, the microstructure appearances were gained with optical microscope and SEM-EDS analysis, and the micro-hardness were measured.

In the light of these findings, proper weld cycles, weld current intensities and weld nugget geometry were determined at the end of tensile tests. The Weld Lobe showing the optimum weld time (cycle) vs. weld current intensity (kA) was drawn at the end of this study.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Her gün öneminin daha çok farkına vardığımız araçlardaki sürücü ve yolcu güvenliğini sağlamak için kalınlığının artması beklenen çelik saçlarının sürekli gelişen teknoloji ile birlikte bu kalınlığın giderek azaldığını görmek mümkündür. Yeni nesil teknolojiler ile birlikte artan mukavemetle daha ince çelik saçların araçların gövde yani karoser denilen bölümünde kullanılmasıyla araçlar hafiflemiş ve bu sayede günümüz firmalarının en çok önemseydiği konulardan biri olan yakıt tasarrufu sağlanmış olup karbon gazı emisyonu gibi çevresel faktörlerde de iyileşme sağlanmıştır [1].

Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı otomotiv endüstrisinde araç hafifletme çalışmaları kapsamında oldukça yaygınlaşmıştır. Ağırlık azalımı, mevcut durumdaki parçaların dayanım ve performansını koruyarak ve hatta arttırarak daha ince kesitli yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bunlarla birlikte yüksek mukavemet, iyi şekillenme kabiliyeti ve hafif olmaları sebebiyle Dual Phase (DP) çeliklerinin kullanım alanı giderek yaygınlaşmaktadır [2,3].

Otomobil üretiminde yaklaşık 700 adet preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 adet talaşlı imal edilmiş parça; cıvata, lehimleme, perçin, yapıştırma, kıvrırma ve en yoğun olarak da kaynak yöntemiyle birbirlerine birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar; yaklaşık olarak 5000 adet elektrik nokta direnç kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışın kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır [4,5].

Otomotiv endüstrisinde çok fazla kullanımıyla birlikte sanayide de çelik saçların birbirlerine birleştirilmesinde basit bir teknik olması ve ekonomikliğı sebebiyle en yaygın olarak kullanılan yöntem elektrik direnç nokta kaynağı yöntemidir [6].

Geliştirilen yüksek mukavemetli çeliklerden, otomotiv endüstrisinde sıkça tercih edilen martenzitik çelikler, yüksek çekme kuvveti ve yüksek kaynak kabiliyeti sergilediklerinden dolayı tercih edilirler. Deneysel çalışmalarda 1200-1400 MPa aralığında yüksek çekme dayanımı gösteren DOCOL 1200M martenzit çeliği ile birleştirilen yüksek şekillenebilirlik özelliğiyle geliştirilmiş DP800 HyperForm çeliği kullanılmıştır. Bu çalışmada çelikler elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş olup, araçların darbelere karşı dayanımı arttırmak ve araç ağırlığını azaltmak amacıyla otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir. Literatürde otomotiv sektörüyle ilgili birçok konuda yapılmış çalışma olmakla birlikte bazıları şunlardır:

Marya ve Gayden yaptıkları çalışmalarda DP600 çeliğinin elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerinin geliştirilmesini incelemişler ve 1.2 ve 1.8mm kalınlıklardaki galvanizli DP600 çelik saclarının elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmişler ve kaynak numunelerini incelemek için otomotiv sektöründe kullanılan testler yapmış ve sonuçlarını incelemişlerdir. Kaynak zamanı, kaynak akımı ve elektrot basma kuvveti gibi birden çok parametrenin sac yüzeyindeki çinko azalması üzerindeki etkisini incelemişlerdir ve elektrik direnç nokta kaynağındaki kaynak numunelerinin mikroyapısı ve mekanik özellikler ile arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. DP600 çelik saclarının kimyasal bileşimindeki farklılıklar ve galvaniz kaplamasının mikroyapısı üzerinde olan etkileri göz ardı edilmiş ve kaynak numuneleri için ölçülebilir sonuçlar elde etmişlerdir. Bunun tersine kaynak çaplarındaki %10'luk farkların, farklı sac kalınlıklarından meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu kaynaklı birleştirmelerin düşük kesme makaslama kuvvetlerine sahip olduğu, büyük büzülme boşluklarına sebep olduğu ve daha kalın DP600 çelik sacları ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin ara yüzeylerinde kırıkların olduğunu gözlemlemişlerdir. İki çelik çifti için daha uzun kaynak süreleri kullanarak (>20 çevrim), düşük akım (< 9 kA) ve yüksek güçlerde (>900 lb veya 4,0 kN) ara yüzeydeki kırıkları ortadan kaldırmayı başarmışlardır. Bu süreçlerin artması ergime bölgesinde çinko kayıplarını engellerken kaynak çekirdek çaplarında artma gözlemlenmiştir. Çinkonun kaynağa etkisi hızlı yapılan kaynaklarda (yaklaşık 5 çevrim) en belirgin şekilde görülmüştür. Katılama çatlakları ve kaynak kırıklarındaki değişimin düşük ergimedenden kaynaklandığını bulmuşlardır [7].

Gül yüksek lisans tezinde 1mm kalınlıktaki 1200M saclarını CMT-Lehimleme yöntemiyle birleştirmiş ve numuneleri beş farklı parametrede, akım şiddeti, lehim ilerleme hızı, gaz akış debisi, lehim aralığı ve torç açısı olarak incelenmiştir. Bulduğu sonuçlarda farklı lehim ilerleme hızlarında lehimlenen bölgenin mikroyapı görüntülerinde yoğun dendritler görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise optimum akım şiddeti değerinin 65A olduğunu bulmuştur [8].

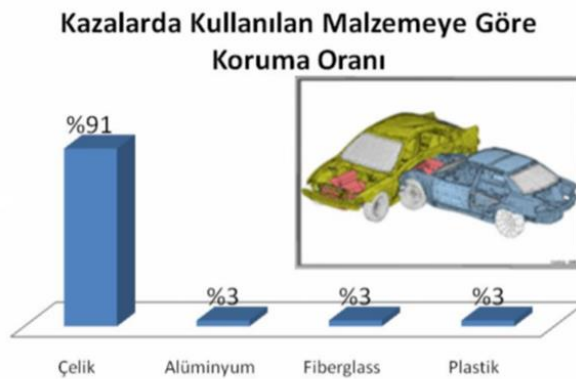
Onar doktora tezinde otomobil üretiminde şase bağlantılarında kullanılan farklı kalınlıklardaki mikroalaşımli çelik ve trip çeliğini elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirmiştir. Farklı kaynak süreleri ve akım şiddetleriyle deneylerinde sonuç olarak yüzeyin iyi olması istenen uygun kaynaklı birleştirmelerde 10 periyotta geniş akım seçenekleri varken periyot yükseldikçe akım şiddetinin düştüğünü gözlemlemiş ve fişkıma, yüzey kirliliği istenmeyen yerlerde yüksek periyot kullanılmaması gerektiğini göstermiştir ve Aslanlar ile olan diğer makalelerinde de benzer çalışmalara ulaşılmıştır [9-12].

Bu çalışmanın örneği literatürde yer almamakta olup martenzit çelikleri ile dp çeliklerinin birleştirilmesinin incelenmesi açısından alanında tek çalışmadır. En yakın benzer örnekleri hyperform özelliği taşımayan DP800 ve 1200M çeliklerinin yukarıda belirttiğim üzere kendi aralarında birleştirilmesiyle yapılmıştır ve bu çalışmadaki gibi iki farklı ürünün kombinasyonu olarak literatürde bulunmamaktadır.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ÇELİKLER

Otomobil üreticilerinin son zamanlarda kullandıkları malzemeler incelendiğinde demir esaslı malzemelerin dışında magnezyum ve alüminyum gibi hafif metallerin ve plastik esaslı malzemelerin kullanımının arttığı gözlemlenmiştir. Otomobil kullanıcılarının daha ekonomik taşıtlar talep etmeleri üzerine otomobil üreticilerinin neredeyse hepsi araçlardaki hafifliğe önem vermişlerdir. Araçlardaki hafifliğin ön plana çıkmasıyla önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanmıştır [13].

Araçlardaki en önemli unsurlardan biri olan güvenliğin geliştirilmesi isteği çelik gibi yüksek dayanımlı malzemelerin daha fazla kullanılmasına yol açmaktadır. Kazalardan korunmanın kullanılan malzeme türüne göre değişim oranları Şekil 2.1’de verilmiştir. Şekil 2.1. incelendiğinde, yapılan kazalarda çelik yapılar ile dizayn edilmiş araçlarda can kaybının %91 oranında azaltılması mümkün olmaktadır. Alüminyum, fiberglas ve plastik malzemelerinkini ise %3’tür. Çeliğin sağladığı bu büyük avantaj, kullanımını daha da cazip hale getirmiştir [14].



Şekil 2.1. Kullanılan malzemelere göre koruma oranları.

Ayrıca, araçlardaki yakıt tüketiminin düşürülmesi ile birlikte araştırmalar sonucunda çevreye bırakılan CO oranında 5 kişilik bir binek araç için % 6'lık bir azalma sağlamış olduğu görülmüştür. Yeni nesil çelikler kullanılarak yapılan araçlardaki çelik kullanımını %25'den %45'lere kadar çıkabileceği hesaplanmıştır. Yeni nesil çeliklerle elde edilen ağırlık kaybı sayesinde eski nesil çeliklerle yapılan araçların ömrünü tamamlayana kadar harcadığı yakıttan 3 tona yakın bir yakıt tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir [15-16].

2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Türleri

Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerde mukavemetlerine göre sınıflandırma yapılır. Bu sınıflandırmaya göre Yumuşak Çelikler (IF); kolay şekillendirilebilen ve yüksek uzama kabiliyetine sahip olan ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan darbe sönümlenme özellikleri iyi ve 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 iř 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 tanımlanarak sınıflandırılmışlardır. Bunlardan bazıları;

- Çift Fazlı Çelikler (DP)
- Martenzitik Çelikler (MART)
- Kompleks Çelikler (CP)
- TRIP Çelikler (TRIP)
- Yüksek Manganlı Çelikler (TWIP) [17].

2.1.1. Çift fazlı çelikler(DP)

Çift fazlı çeliklerin özellikleri yumuşak bir ferrit matristeki daha küçük ve sert martenzit parçacıklarının dağılımıyla oluşan bir mikroyapı ile karakterize edilmiştir.

2.1.2. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler

Martenzitik çelikler, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler sınıfında tamamen martenzitik yapıya sahip tek fazlı çeliklerdir.

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 (18).

2.1.4. TRIP çelikler

Dönüşümle plastikliği artırılmış (TRIP) çelikleri adından da anlaşıldığı gibi en büyük avantajı şekillendirme sırasında yapısında oluşan değişimle kazanılan özelliktir. Mikroyapısında yumuşak ferrit matris içinde, kalıntı östenit ve beynit olduğundan üç fazın da belli oranlarda sağladığı yüksek mekanik özellikleri malzeme gelişimine

önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bazen de kalıntı östenit ile birlikte sert olan martenzit fazı da görülmektedir.

Yüksek dayanım-uzama kombinasyonu sağlayan, 800-1000 MPa değerleri arasında %30'dan fazla uzama özelliğine sahip olan TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi uygulamayı için büyük avantaj sağlamaktadır[19].

2.1.5. Yüksek manganlı çelikler (TWIP)

TWIP çelikleri, oldukça yüksek Mangan içermesi ile şekillendirilebilirliği üstün kabul edilir ve yüksek mekanik özelliklere sahip bir çelik grubudur. Yüksek manganlı TWIP çeliğinin endüstriyel olarak üretilmesi de son zamanlarda giderek artmıştır. Mikroyapısında kütlice % 15-30 Mangan içermektedir. Bu Mangan oranına ilave olarak deformasyon ikizlemesi ile içerisine ilave edilen C, Si ve Al alaşım elementleri ile bunun sayesinde yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik elde edilir [20].

BÖLÜM 3. DP ÇELİKLERİ

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].

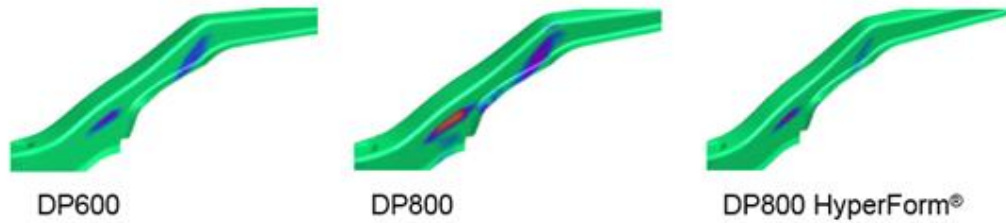
Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi incelendiğinde sade karbonlu çeliklerle hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Ancak içinde bulunan çift fazdan oluşan mikroyapısının elde edilmesi ısıl işlemlere bağlıdır. Dual Phase (DP) olarak da adlandırılan bu çelik grubunun mikroyapısında sünek ferrit (α) 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. Çift fazlı çelik yapısı esas olarak, bu çeliklerin Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 sıcaklıkları aralığında ($\alpha+\gamma$ bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup östenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla elde edilir [22-23].

Bu çelikleri yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyetlerinden dolayı tamamen otomobil gövde, panel ve kaporta parçaları için üretilmektedir. Geliştirilen DP çeliklerin yerine geleneksel yüksek mukavemetli ve ya yumuşak çeliklerin herhangi bir kalitesi kullanıldığında ortaya çıkan en büyük problem mukavemet ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin uyuşmamasıdır. Aşırı mukavemetli ve aşırı sünek malzemeler üretim sırasındaki önemli sorunlar yaratır. Bu sebeplerden dolayı DP çelikleri

kullanarak azalan ağırlığa karşın, artmakta olan mekanik özellikleri ile son derece önemli bir malzeme haline gelmiştir [24].

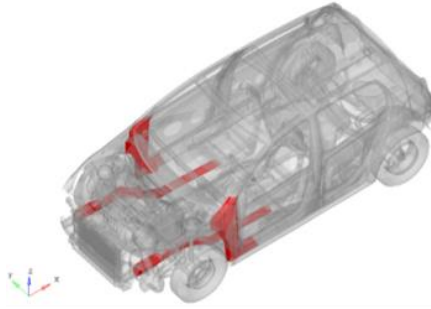
Hyperform özelliği temel olarak DP çeliğine yardımcı olarak TRİP ilave ederek oluşturuluyor diyebiliriz. DP800 HyperForm şekillenebilirlik olarak TRİP800'e benzerken kaynaklanabilirlik ve mukavemet dayanımı olarak da DP800 çeliğine benzer özellik göstermektedir. Şekillenebilirlikteki üstün performansını TRİP'ten alan Hyperform özelliği DP çeliğinin mukavemet değerleriyle bir arada olduğundan otomotiv sektöründe gözde bir konumdadır. Sadece TATA Çelik bünyesinde üretilen HyperForm tescilli ürününü sağlamlığıyla tanınmış üst sınıf otomobil üreticileri tercih etmektedir.

Hyperform özelliği DP çeliğini neredeyse TRİP çeliği kadar şekillenebilir hale getirirken DP çeliğinin karakteristik yapısını ve özelliklerinde aksi bir durum meydana getirmez. Üretimdeki üstün performansının üzerinde HyperForm özelliğiyle birlikte TRİP çeliği kadar şekillenebilir hale gelen DP çeliğinin kaynaklanabilirliğinde bir azalma meydana gelmemiştir.



Şekil 3.1. DP800 HyperForm'un gerilmesinin diğer çelikler ile karşılaştırması.

Ön şase bağlantısı üzerinde yapılan çalışmada geliştirilmiş DP800 HyperForm eşit gerilme dağılımı ile kendini ispatlamıştır. Yerine diğer çeliklerin tercih edilemeyeceğini açık bir şekilde göstermiştir.



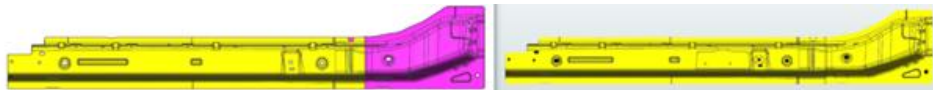
Şekil 3.2. DP800 HyperForm'un otomobildeki ön-alt şasedeki kullanımı.

Şekil 3.1.'de DP800 HyperForm çeliği araçların kaza anında darbeyi en çok aldıkları ön şase ve alt şaşelerde kullanılmaktadır. TRİP çeliği kadar uzamasının avantajını darbe anında yüksek enerji absorpsiyonu ile gösteren DP800 Hyperform kullanıldığında da daha önce bu bölgede tercih edilen çeliklerden ağırlığı %23'e kadar daha hafifletmiştir.



Şekil 3.3. DP800 HyperForm'un yan şase kolu olarak kullanımı.

Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi yan şase kolu sadece tek parça halinde geliştirilmiş DP800 HyperForm ile üretilmesiyle %10'a varan bir ağırlık tasarrufu sağlanmıştır. Yan şase kolunun eski DP800 ile üretilmesindeki başka bir sorun da ürünün Şekil 3.4. alanamasından dolayı iki parça halinde üretilmeye mecbur kalınmasıydı, geliştirilmiş DP800 HyperForm'un yüksek şekillenebilirliğiyle ile tek parça halinde üretilen yan şase kolu darbelerde hem daha iyi mukavemet hem de üretim kolaylığı sağlıyor bkz. Şekil 3.4.



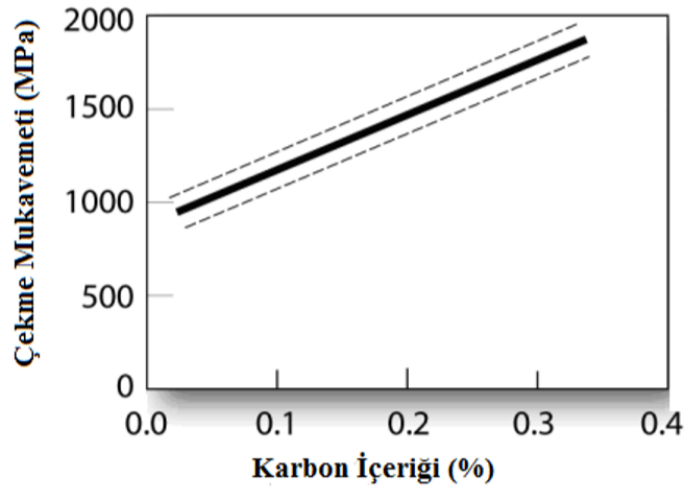
Şekil 3.4. DP800 HyperForm ile tek parça halinde üretilen yan şase kolu.

BÖLÜM 4. MARTENZİTİK ÇELİKLER

Martenzitik çelikler, yüksek çekme dayanımına ve çok yüksek YS/TS (akma mukavemeti/çekme mukavemeti) oranına sahip çeliklerdir. Bu özellikleri, çarpma sırasında sürücü ve yolcuları müdahalelerden korumak için tasarlanan araçların emniyet parçaları için çok önemlidir. Bu önemden dolayı, martenzitik çelik sac üretimi 80'li yılların başlarından ABD'de başlamıştır [25].

Martenzitik yapı, malzemenin yapısının tamamen östenitleştirmek için gerekli olan sıcaklığa kadar ısıtılıp, ardından martenzit başlama sıcaklığının (M_s) altına hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir. Yapılan hızlı soğuma işlemiyle, beynit ve perlit gibi difüzyon kontrollü faz dönüşümleri engellenir. Hızlı soğuma sırasında, difüzyon için yeterli zaman bulamayan karbon atomlarının çözelti içerisinde hapsedilmeleri nedeniyle kafes yapısı HMK yapıya dönüşemez ve farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya martenzit adı verilir [26].

Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında oluşan östenit yapı, su verme işlemi esnasında martenzite dönüştürülür. Martenzitik çeliklerin çekme dayanımları 1700 MPa'a kadar çıkabilir. Martenzitik çelikler genellikle sünekliğin artırılması için su verme işleminden sonra temperleme işlemine tabi tutulurlar ve son derece yüksek mukavemetlerde bile önemli Şekil verilebilirlik sağlanabilir. Sertleşebilirliğin ve martenzitin dayanımının artırılması için martenzitik çeliklere karbon ilavesi yapılabilir. Şekil 4.1.'de, temperlenmiş martenzitteki karbon içeriği ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki gösterilmektedir [27].



Şekil 4.1. Temperlenmiş martenzit ve karbon içeriği-çekme mukavemeti ilişkisi..

Martenzitik çeliklerin dayanımı, basit olarak karbon içeriğine bağlıdır. Martenzitik çelikler, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında mevcut olan östenit yapının hızlı soğutulması ile büyük oranda martenzite dönüşmesi ile ortaya çıkar. Martenzitik çeliklerin sünekliklerini ve tokluklarını arttırmak için su verme işleminden sonra temperleme işlemine tabi tutulurlar [24]. Sertleşebilirliğin daha çok artırılması ve martenzitin dayanımının da artırılması için karbon ilavesi yapılabilir. Sertleştirilebilirliği daha çok arttırmak için, Mn, Si, Cr, Mo, B ve Ni gibi elementler ilave edilir.

Çalışmada kullanılan DOCOL 1200M martenzitik çeliğinin çekme mukavemet değerleri 1200-1400 MPa aralığında olup geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler sınıfındadır. Martenzitik çeliğin mukavemeti DP çeliğinden yüksek olduğu için araçlarda darbeyi karşılayacak olan yüzeye martenzitik çelik yerleştirmekle birlikte diğer enerjiyi absorblayacak olan kısımlarda yüksek şekillenebilirlik özelliği gösteren DP800 HyperForm kullanılması hedeflendiği için iki üst sınıf malzeme tercih edilmiştir.

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. 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 ergitmeye 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 katılarak 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 [28].

Kaynak bağlantısının oluşabilmesi için, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesi şartının sağlanması gereklidir. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur [29].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Genel

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan farklı iki kalınlıktaki 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 zamanı değiştirilmiştir. Kullanılan her parametre için mikro ve makroyapı incelemesi, mikro sertlik ölçümü ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme – makaslama, çekme – sıyırma testleri uygulanmıştır.

6.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Otomotiv endüstrisinde şaselerde ve yan direklerde, tek parça olarak üretilmek istenen ve mukavemet ihtiyacı duyulan yerlerde kullanılan galvanizli 1,1mm kalınlığında DP800 HyperForm ile darbelere karşı oldukça yüksek mukavemet gösteren ön şase, motor traversi gibi yerlerde kullanılan 1mm kalınlığında 1200M martenzitik çelik sacları kullanılmıştır. Kullanılan sacların kimyasal içerikleri ve mekanik özellikleri sırasıyla gösterilmiştir.

Tablo 6.1. DP800 HyperForm sacının kimyasal bileşimi (%).

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr
0.16	0.5	2.2	0.015	0.005	0.7	0.45

Tablo 6.2. 1200M sacının kimyasal bileşimi (%).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Co
0,0791	0.201	1.6	0.00037	0.00022	0.0175	0.0373	0.0363	0.0133

Tablo 6.3. DP800 HyperForm sacının mekanik özellikleri.

Akma Mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Uzama [%]
532.9	920.7	16.7

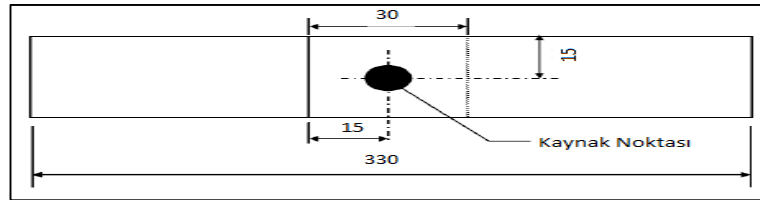
Tablo 6.4. 1200M sacının mekanik özellikleri.

Akma Mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Uzama [%]
950	1282	3

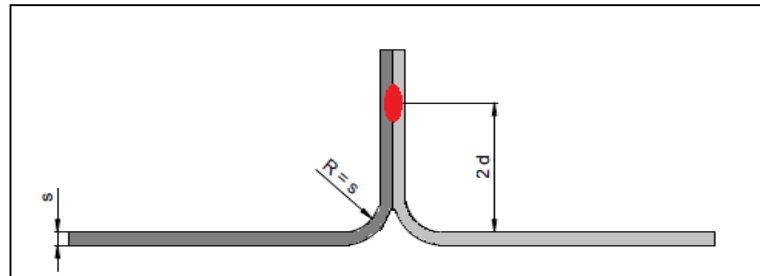
6.3. Kullanılan Malzemelerin Boyutları ve Deney Hazırlık Süreci

Kaynaklı birleştirmeler için seçilmiş olan saclar giyotin makas ile istenilen boyutlarda (100x30mm) kesildikten sonra % 99,5 saflıktaki aseton banyosunda yıkılarak 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 6.1' de verilmiştir (30). Çekme - Sıyırma deneyinde kullanılacak numuneler EN ISO 14273 standartına göre hazırlanmış ve deney numunelerinin boyutları Şekil 6.2.' de verilmiştir (31).



Şekil 6.1. Çekme – makaslama deney numunesi.



Şekil 6.2. Çekme – sıyırma deney numunesi.

6.4. Birleştirmelerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Cihazı

Yapılan 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 6.3.'te gōsterilmiřtir.



Şekil 6.3. Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.

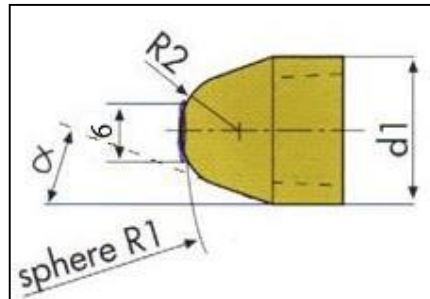
Birleştirmelerde kullanılan akım değerleri makinenin alt ve ũst çenelerine bağlanan akım Őler aracılığı ile Őllmřtır. Kullanılan akım Őlme cihazı Şekil 6.4.'de gōsterilmiřtir.



Şekil 6.4. Dengensha marka akım ölçer.

6.5. Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları

Deneilerin hepsinde aynı tip konik uçlu küresel sıkı geçmeli direnç nokta kaynak elektrotları kullanılmıştır. Sıkı geçme olan elektrotlar su soğutması sayesinde sürekli olarak soğutulmuştur. Elektrot temas yüzey çapı 6 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 6.5.'de elektrotlar şematik olarak verilmiştir. Deneilerde kullanılan elektrotlar Cu-Cr-Zr alaşımı olmakla beraber Tablo 6.5.'de kimyasal bileşimi gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Elektrotların şematik gösterimi.

Tablo 6.5. Kullanılan elektotların kimyasal bileşimi ve özellikleri.

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

6.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Önceden hazırlanmış sac çiftlerini üst üste bindirmekle birlikte kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.6.'da yapılan ön deneylere ait örnek numuneler gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Parametreleri belirlemek üzere elde edilmiş numuneler.

6.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması

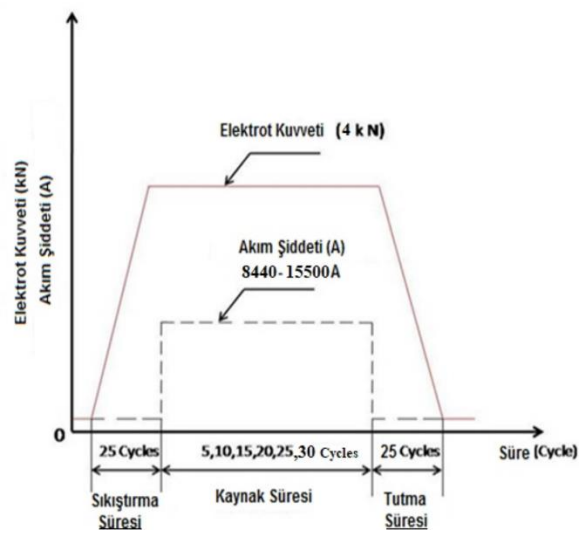
Deney numuneleri Şekil 6.1., Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.'de örnek olarak gösterilen boyutlarda hazırlandıktan sonra gerekli yüzey temizlikleri yapılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmeler yapılmıştır. Deney numunelerinin hepsinde 4 kN olarak belirlenen elektrot kuvveti sabit bırakılmış ve birleştirmeler esnasında sürekli olarak Şekil 6.7'de gösterilen cihaz ile 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 (8440A - 15500A aralığında) değiştirilerek kaynak işlemi tamamlanmıştır. Bu değerler makine ayarlanırken

gösterilen ekipmanlar ile birlikte yapıldıktan sonra o değerin karşılığı ölçümlerle tespit edilmiştir.



Şekil 6.7. Elektrot kuvveti ölçüm cihazı.

Bunlarla birlikte olarak sıkıştırma zamanı ve tutma zamanı 25 periyot olarak sabit bırakılmıştır. Kullanılan kaynak parametreleri Şekil 6.8.'de şematik olarak gösterilmektedir. Tüm kaynaklı birleştirmelerde elde edilen numuneler EN ISO 14373 standartına uygundur (32).



Şekil 6.8. Elektrik direnç nokta kaynak parametreleri.

Çekme deneylerinde kullanılan numuneler haricinde mikrosertlik, mikroyapı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri için aynı kaynak parametrelerinde yapılacak teste göre farklı boyutlarda deney numuneleri kullanılmıştır.

Uygun parametrelerde elde edilen elektrik direnç nokta kaynağı birleştirmelerine ait bazı resimler Şekil 6.9. ve Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Çekme makaslama deney numuneleri.



Şekil 6.10. Çekme sıyırma deney numuneleri.

Her bir deney parametresi için beş adet elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiş numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerden iki tanesi çekme-makaslama, iki tanesi çekme – sıyırma testlerine tabi tutulmuştur. Bunlara ek olarak beşinci numune ise sertlik ölçümleri (mikro vickers), makroyapı (çekirdek boyutunun ölçülmesi), mikroyapı ve SEM görüntüleri elde etmek için kullanılmıştır.

6.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri

Her bir deney parametresinde Şekil 6.9. ve Şekil 6.10.'a göre üçer tane elde edilen numuneler ERMETAL Giriş Kalite Laboratuvarında bulunan Şekil 6.11.'de gösterilen Instron marka 100 ton kapasiteye sahip çekme deney cihazında çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sırasında çekme hızı 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Çekme parametreleri kontrol panelindeki kuvvet-zaman grafiklerinden alınmış ve çekme esnasında maksimum kuvvet elde edilmiştir. Çekme-sıyırma testi sonrasında istenmeyen ayrılma tipi kopma gerçekleştiği için çekme-makaslama deneyinde o parametre değerlendirmeye alınmamıştır.



Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde üç tip hasar çeşidine rastlanmıştır. Bunlar;

- Yırtılma
- Ayrılma
- Düğmelenme

şeklinde olmuştur.

Oluşan hasar çeşitleri Tablo 6.6.'da gösterilip detaylı şekilde incelenmiştir.

Tablo 6.6. Oluşan hasar çeşidi örnekleri.

<p>Çekme – Makaslama Deneyi sonucunda oluşan hasar tipleri</p> <p>Düğmelenme</p> <p>Yırtılma</p>	
<p>Çekme – Sıyırma Deneyi sonucunda oluşan hasar tipleri</p> <p>Ayrılma</p> <p>Düğmelenme</p> <p>Yırtılma</p>	



Şekil 6.11. Deneyleerde kullanılan 100 tonluk Instron çekme cihazı.

6.9. Çekirdek Boyut Ölçümleri Ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi

Oluşturulan kaynaklı birleştirmelerin hepsinde farklı parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerden en önemlileri kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetidir. Bu yüzden kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının birleştirmelerde oluşan çekirdeğin

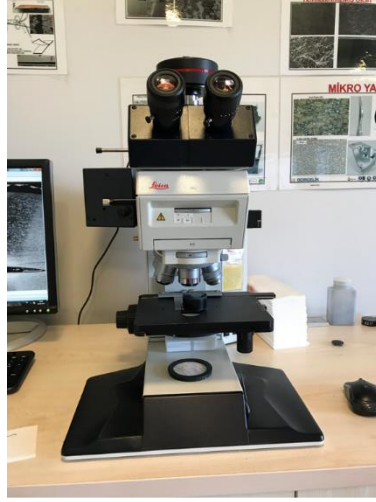
boyutu üzerindeki etkisini incelemek için, bakalite alınıp metalografik süreçler sonrasında elde edilmiş numunelerin makro boyutta resimleri çekilip gözlemlenerek çekirdek boyutları ölçülmüştür. Makro ölçüm işlemi BORÇELİK Ar-Ge merkezinde Şekil 6.12.'de verilmiş olan Nikon SMZ 745T marka optik mikroskopla bulunan EN ISO 14329 standartına göre gerçekleştirilmiştir (33).



Şekil 6.12. Çekirdek boyut ölçümlerinde kullanılan optik mikroskop.

6.10. Optik Mikroskop Görüntülerinin Çekilmesi

Kaynaklı birleştirmelerin her birinden alınan deney numuneleri, kaynak çekirdeğinin tam ortasından kesilmiş ve bakalite alınmıştır. Bakalite alınan her numune metalografik inceleme işlemi için sulu şekilde seramik zımpara ile zımparalanmış ve 1 mikrona kadar özel keçe ile parlatma işlemlerinden geçirilmiştir. Daha sonra bu numuneler %2'lik nital çözeltisi ile dağlanarak mikroyapı incelemesine geçilmiştir. Bu işlemde ana metal, çekirdek ve ısı tesiri altındaki bölge'nin (ITAB-HAZ) optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri alınmış ve kaynak sonrasında birleşmede oluşan mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemesi için BORÇELİK Ar-Ge merkezinde bulunan Şekil 6.13.'de gösterilen Leica HC marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 6.13. Mikroyapı alınmasında kullanılan optik mikroskop.

6.11. Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ile Yapılan Çalışmalar

Mikroyapı görüntülerinde alınan her numune için SEM incelemesi gerçekleştirilmiştir. SEM incelemesi için BORÇELİK Ar-Ge merkezinde bulunan Şekil 6.14.'deki Zeiss Evo 50 marka Taramalı Elektron Mikroskop ve Bruker marka EDS Analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.14. SEM ölçümünde kullanılan Zeiss EVO 50.

6.12. Sertlik Değeri Ölçümleri

Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının sertlik üzerindeki etkisini incelemek üzere elde edilmiş olan her numunenin sertlik değerleri BORÇELİK Ar-Ge merkezindeki EmcoTest DuraScan marka seri mikro sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Mikro sertlik ölçümleri HV 0,2 ile 200gr yük uygulanarak, 10sn süre zarfında konik uçlu batıcı ucun numune üzerine batmasıyla ölçülmüş olup değerler Vickers cinsinden bulunmuştur. Kaynak bölgesinde iki farklı malzeme bulunduğu için çekirdek bölgesinin sol üst kısmından başlamak üzere sağ alt kısmına doğru çapraz bir yol izlenerek 0,4 mikron aralıklarla alınmıştır. Ölçümlerin hepsinde EN ISO 14271 standartına uygun Şekil 6.15.'de gösterilen EmcoTest DuraScan marka cihaz ile laboratuvar ortamında yapılmıştır (34).



Şekil 6.15. Seri Mikrosertlik ölçümlerde kullanılan EmcoTest Cihazı.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde oldukça fazla kullanılan 1,1 mm kalınlığında DP 800 HyperForm ve 1 mm kalınlığında 1200M martenzitik çelik saclar birbirleri arasında eşleştirilerek elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynaklanmışlardır. Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değişken parametreler olarak seçilerek bunlara bağlı olarak da bu parametreler ile oluşan çekirdek geometrisin mikroyapı ve mekanik özelliklerine olan etkileri gözlemlenmiştir. Bütün deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

7.2. DP800 HyperForm ve 1200M Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

Çalışmamdaki değişken kaynak parametreleri olan kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının birleştirmelerdeki çekme dayanımına etkisini incelemek amacıyla numuneler EN ISO 14273 standartına uygun olarak çekme-makaslama ve EN ISO 14270 standartına uygun şekilde çekme-sıyırma testleri uygulanmıştır (35-36). Her kaynak parametresi için iki adet kaynaklı bağlantı hazırlanmış ve iki testin ortalaması alınarak kaynaklı bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde maksimum çekebileceği kuvvet değerleri tespit edilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların hepsinde çekme – makaslama ve çekme – sıyırma kuvvetlerini belirlemek için 5,10,15,20,25, ve 30 periyot kaynak sürelerinde 8440 A, 9600 A, 11800 A, 13500 A, 14500 A ve 15500 A kaynak akım şiddetlerinde kaynaklı

birleştirmeler elde edilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler için parametreler ve numune adetleri Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Kaynaklı birleştirmeler için hazırlanan numune sayıları.

ÇEKME - MAKASLAMA VE ÇEKME - SIYIRMA DENEYLERİ İÇİN HAZIRLANAN TOPLAM NUMUNE SAYILARI						
AKIM ŐİDDEĐİ (A)	KAYNAK SÜRESİ (Cycles)					
	5 Periyot	10 Periyot	15 Periyot	20 Periyot	25 Periyot	30 Periyot
8440	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
9600	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
11800	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
13500	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
14500	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
15500	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
Toplam Numune:	24 Adet	24 Adet	24 Adet	24 Adet	24 Adet	24 Adet

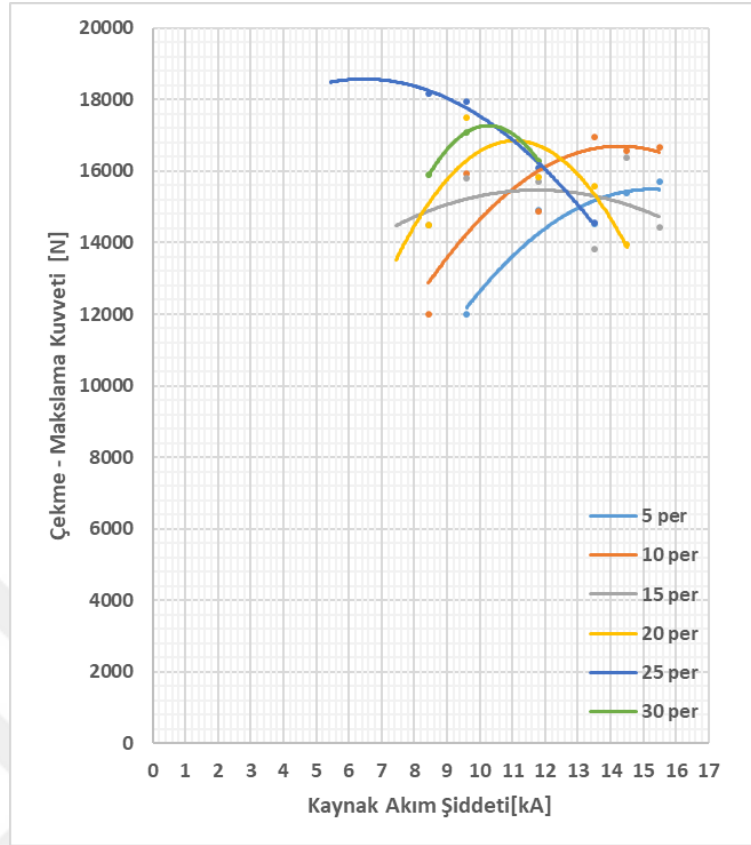
7.2.1. Kaynak akım Şiddetinin DP 800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 7.1.'de DP 800 HyperForm-1200M saclarından oluşan bağlantıların kaynak akım Şiddetinin etkisiyle ortaya çıkan kuvvet değerleri verilmiştir. En yüksek çekme-makaslama kuvveti 25 Periyot kaynak zamanı ve 8440 A akım Şiddetinde elde edilmiştir.

5 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 15500 A'de 15300N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım Şiddeti aralığı ise 11800-15500A'dir.

10 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 13500 A'de 16900N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım Şiddeti aralığı ise 9600-15500A'dir.

15 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 14500 A'de 16300N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım Şiddeti aralığı ise 9600-13500A'dir.



Şekil 7.1. DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinin kaynak akım şiddetinin Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.

20 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 9600 A'de 17500N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 9600-13500A'dir.

25 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 8440 A'de 18000N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8440-11800A'dir.

30 Periyot kaynak zamanında yapılan deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 9600 A'de 17000N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8440-9600A'dir.





Bu değerler elde edildikten sonra numuneler incelendiğinde yüksek ısı girdisinin uzun kaynak periyotlarında dalma derinliğinin DP çeliğine kadar ulaştığı görülmüş bunun

etkisi olarak da sac yüzeyinde fişkirmalar çoğalmıştır. Bu yüzden çekme-makaslama kuvvetinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Böylelikle artan ergime miktarının etkisiyle kesitte daralma gözlemlenmiş olup, elektrotun temas yüzeyine yapışması hatta delmesiyle yüzeyde farklı renklerin de oluşmasına sebep olmuş ve bunlar Tablo 7.2.'de gösterilmiştir.




7.2.2. Kaynak zamanının DP 800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi

DP800 HyperForm ve 1200M kaynaklı birleştirmesinde Şekil 7.2.'de görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla birleştirmenin çekme-makaslama kuvvetinde de artış meydana gelmiştir. Artan ısı girdisinin etkisiyle uzun kaynak zamanlarında bir noktaya kadar artan kuvvetin artan dalma derinliğinin de etkisiyle düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Böylelikle uzayan kaynak zamanıyla kabul edilebilir aralığın daraldığı gözlemlenmiştir. Birleştirmede maksimum kuvvet değerleri ve kabul edilebilir aralıklar sırasıyla şöyledir: 5 Periyot için maksimum 15500N, 9600-15500A'dir. 10 Periyot için maksimum 16500N, 9600-15500A'dir. 15 Periyot için maksimum 16500N, 8440-14500A'dir. 20 Periyot için maksimum 17500N, 8440-13500A'dir. 25 Periyot için maksimum 18000N, 8440-11800A'dir. 30 Periyot için maksimum 17000N, 8440-9600A'dir.





Tablo 7.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanlarıyla numune resimlerinin incelenmesi.

Kaynak Zamanı (Cycle)	Kaynak Akımı (A)	Durum	Kaynaklı Numune
5 P	9600	-Yüzeyde bozunmaya rastlanmamıştır	
5 P	11800	-Yüzeyde bozunmaya rastlanmamıştır	
5 P	13500	-Yapışma başlangıcı -Fışkırma	
5 P	14500	-Yapışma Artışı -Fışkırma Artışı -Renk değişimi	





Tablo 7.2. (Devamı)

5 P	15500	-Yapışma çok yüksek -Fıçkırma Artışı -Renk değişimi	
10 P	8440	-Renk değişimi -Fıçkırma az	
10 P	9600	-Renk değişimi -Fıçkırma artışı	
10 P	11800	-Renk değişimi -Fıçkırma yüksek -Elektrot dalma derinliği fazla	
10 P	13500	-Fıçkırma yüksek -Renk değişimi -Elektrot dalma derinliği fazla	

Tablo 7.2. (Devamı)

10 P	14500	<ul style="list-style-type: none"> - Temas yüzeyinde elektrot kalıntısı - Fıskırma yüksek - Yapışma başladı 	
10 P	15500	<ul style="list-style-type: none"> - Çok derin elektrot dalması - Çok fazla fıskırma 	
15 P	8440	<ul style="list-style-type: none"> - Renk değişimi - Fıskırma az 	
15 P	9600	<ul style="list-style-type: none"> - Renk değişimi - Fıskırma yüksek 	



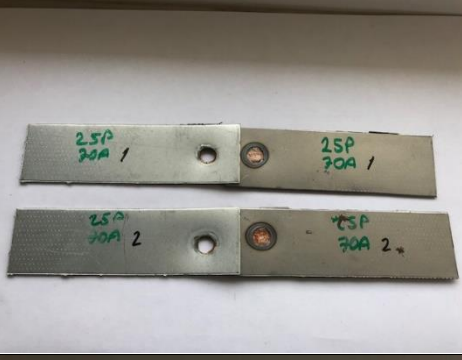

Tablo 7.2. (Devamı)

15 P	11800	-Elektrot dalma derinliği artışı -Fıskırma yüksek	
15 P	13500	-Elektrot dalma derinliği arttı -Renk değişimi çok -Fıskırma yüksek -Yapışma başladı	
15 P	14500	-Elektrot kalıntısı temas yüzeyinde kaldı -Yapışma mevcut -Renk değişimi çok	
20 P	8400	-Fıskırma başlangıcı	

Tablo 7.2. (Devamı)

20 P	9600	-Fıskırma yüksek -Renk değişimi	
20 P	11800	-Elektrot dalma derinliği artışı -Renk değişimi çok -Fıskırma çok yüksek	
20 P	13500	-Elektrot dalma derinliği artışı -Renk değişimi çok -Fıskırma çok yüksek -Yapışma başlangıcı	
20 P	14500	-Fıskırma çok yüksek -Yapışma var -Çok derin elektrot izi -Temas yüzeyinde elektrot kalıntısı	

Tablo 7.2. (Devamı)

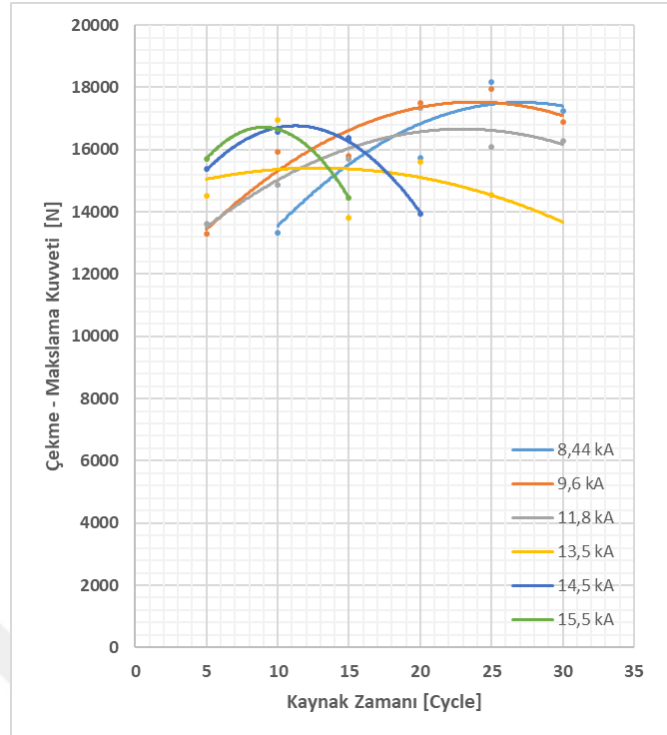
25 P	8440	-Fıskırma başlangıcı -Renk değişimi	
25 P	9600	-Fıskırma çok fazla -Renk değişimi çok	
25 P	11800	-Yapışma mevcut -Renklenme arttı -Fıskırma yüksek -Elektrot dalma derinliği arttı	
25 P	13500	-Elektrot dalma derinliği çok fazla -Yapışma mevcut -Fıskırma çok fazla -Temas yüzeyinde elektrot kalıntısı	

Tablo 7.2. (Devamı)

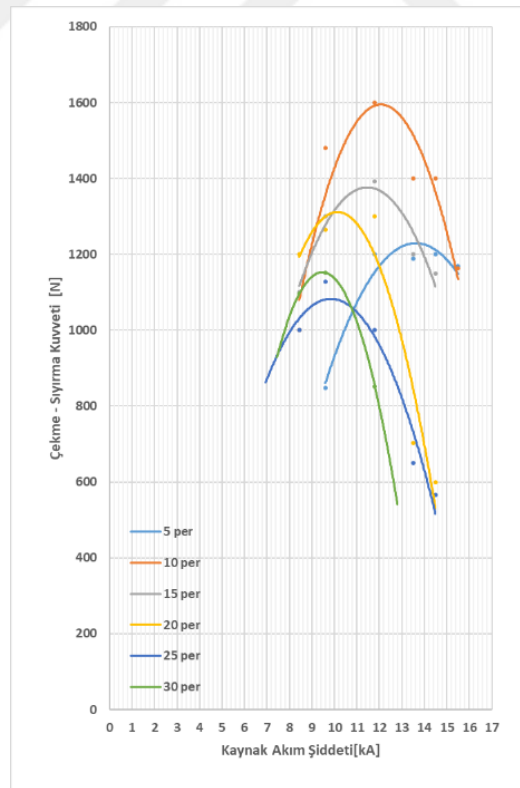
30 P	8440	-Fıskırma başlangıcı -Renk değişimi	
30 P	9600	-Fıskırma çok fazla -Renk değişimi çok fazla -Yapışma başlangıcı - Elektrot dalma derinliği arttı	
30 P	11800	-Fıskırma had safhada -Çok derin elektrot dalma izi -Renk değişimi çok fazla -Temas yüzeyinde elektrot kalıntısı	

7.2.3. Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm-1200M bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Kaynak akım şiddetinin yükselmesiyle birlikte çekme-sıyırma kuvvetindeki artış Şekil 7.3.'de görülmektedir. Yüksek akım şiddeti ile çok yüksek miktardaki fıskırmalar ve elektrot dalma derinliği olan numuneler ile neredeyse düşük miktardaki birleşme gerçekleşen düşük akım şiddetindeki numuneler kadar az çekme-sıyırma kuvveti göstermektedir.



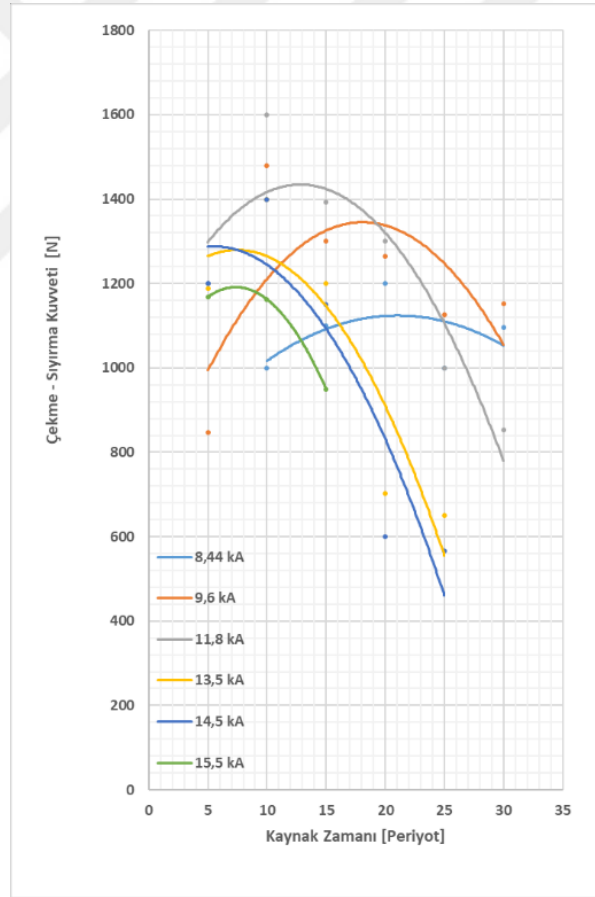
Şekil 7.2. DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.



Şekil 7.3. DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme sıyrma kuvvetine etkisi.

7.2.4. Kaynak zamanının DP800 HyperForm-1200M bağlantılarında çekme-sıyrma dayanımına etkisi

Kaynak zamanındaki artışla çekme-sıyrma kuvvetinin 8440, 9600 ve 11800A değerleri için arttığı Şekil 7.4.'de görülmektedir. Bu grafik için yüksek kuvvet değeri 11800A ve 10 periyot kaynak zamanı için 1600N olmuştur. 10 Periyot kaynak zamanı için ise en yüksek kuvvet değeri 1479N ile 9600A'de olmuştur. Kaynak zamanındaki artış uzun kaynak zamanlarında artan ısı girdisinin etkisiyle ve elektrot dalma derinliğiyle beraber fişkırımların artmasıyla kaliteli bir kaynaklı bağlantı meydana getirememektedir. Bu sebepler ile birlikte çekme-sıyrma dayanımında düşüş meydana gelmiştir.

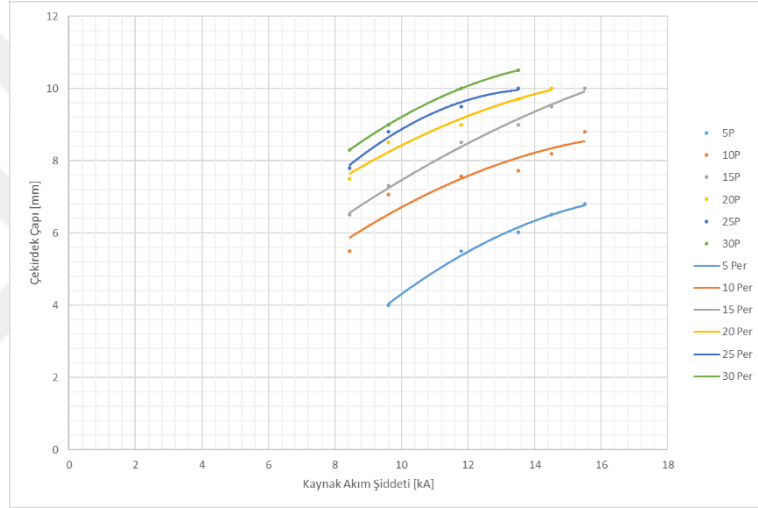


Şekil 7.4. DP800 HyperForm-1200M kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme sıyrma kuvvetine etkisi.

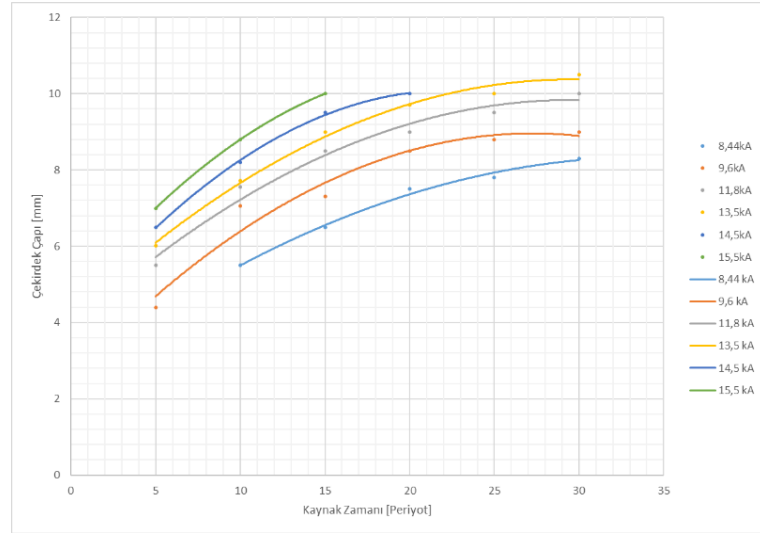
7.3. DP800 HyperForm-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdeği Boyutlarına Etkisi

7.3.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek çapına etkisi

Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekirdek çapının da arttığı sırasıyla Şekil 7.5. ve Şekil 7.6.'da görülmektedir. Literatürde daha önce yapılmış çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [9-12].



Şekil 7.5. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.



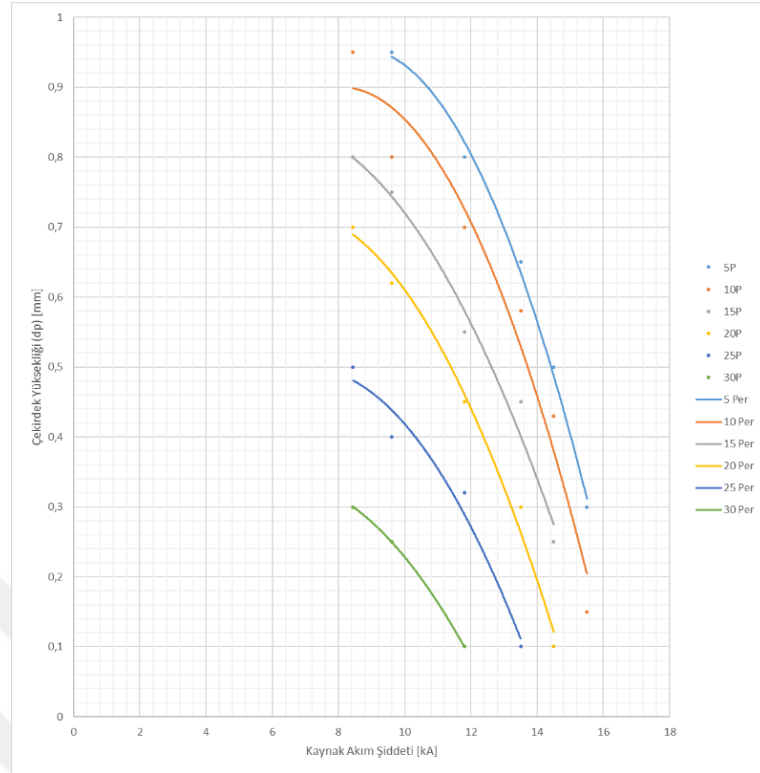
Şekil 7.6. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.

7.3.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek yüksekliğine etkisi

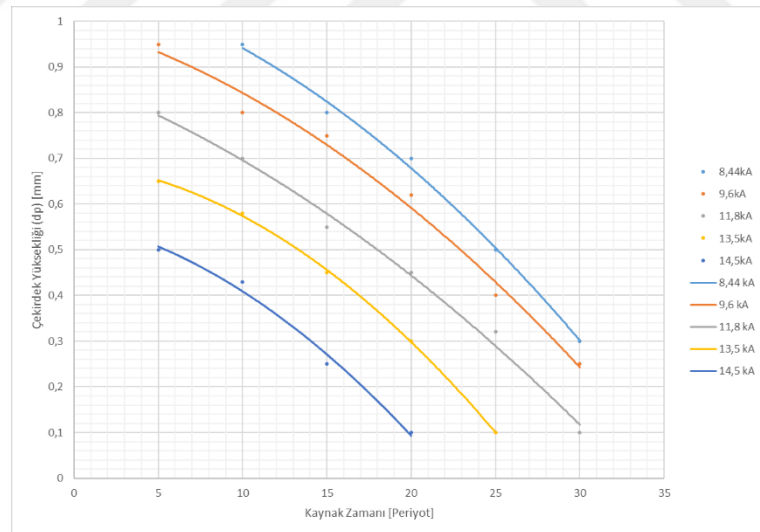
7.3.2.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğine etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla DP800 HyperForm çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğinin azalması Şekil 7.7.'de gösterilmektedir. Tüm parametreler için akım şiddetinin en yüksek olduğu numunelerde çekirdek yüksekliği 0,1-0,3mm aralığında kalmıştır.

Kaynak zamanının uzamasıyla birlikte DP800 HyperForm çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğindeki azalma Şekil 7.8'de gösterilmektedir. Kaynak zamanıyla yükselen ısı ortamdaki ergimeyi de arttırdığından çekirdek kaliteli bir şekilde oluşamaz böylece çekirdek yüksekliğinde düşüş meydana gelmektedir.



Şekil 7.7. Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.

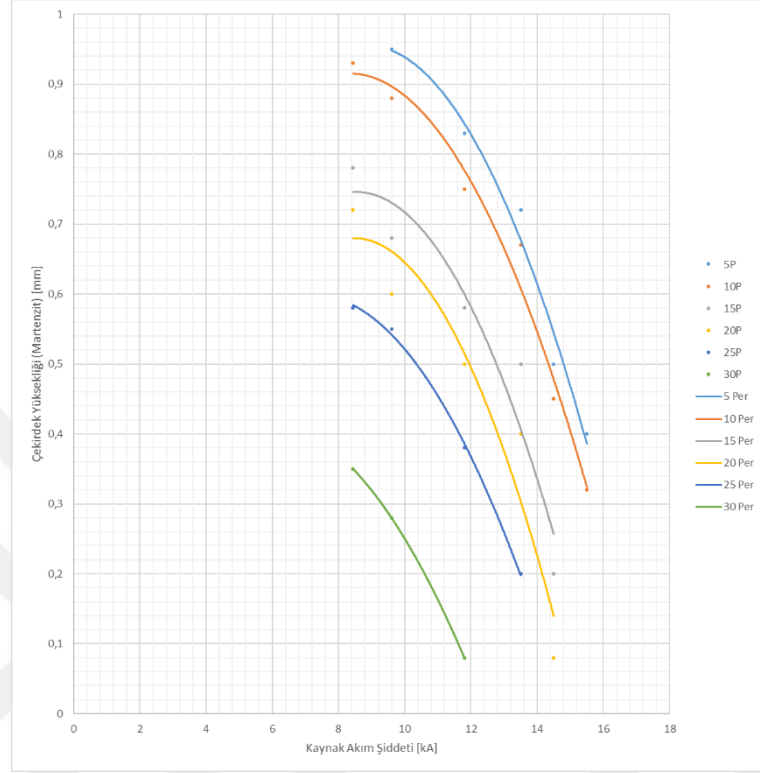


Şekil 7.8. Kaynak zamanının DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.

7.3.2.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının 1200 Martenzitik çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi

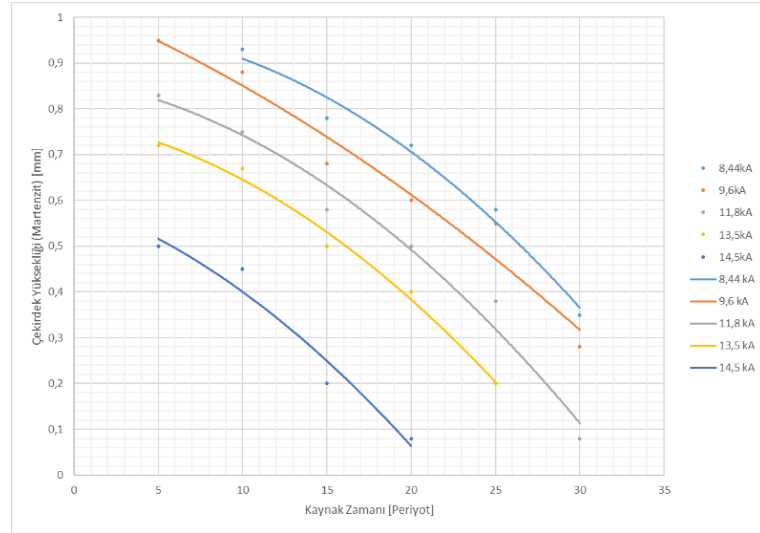
Kaynak akım şiddetinin artışıyla martenzitik çelikte oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğinde olan düşüş Şekil 7.9.'da görülmektedir. Kaynak akım şiddetinin

artmasıyla her parametrenin son değerindeki çekirdek yüksekliğinin 0,09-0,4mm aralığına kadar düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 7.9. Kaynak akım şiddetinin 1200 Martenzitik çelikte oluşan çekirdek yüksekliğine etkisi.

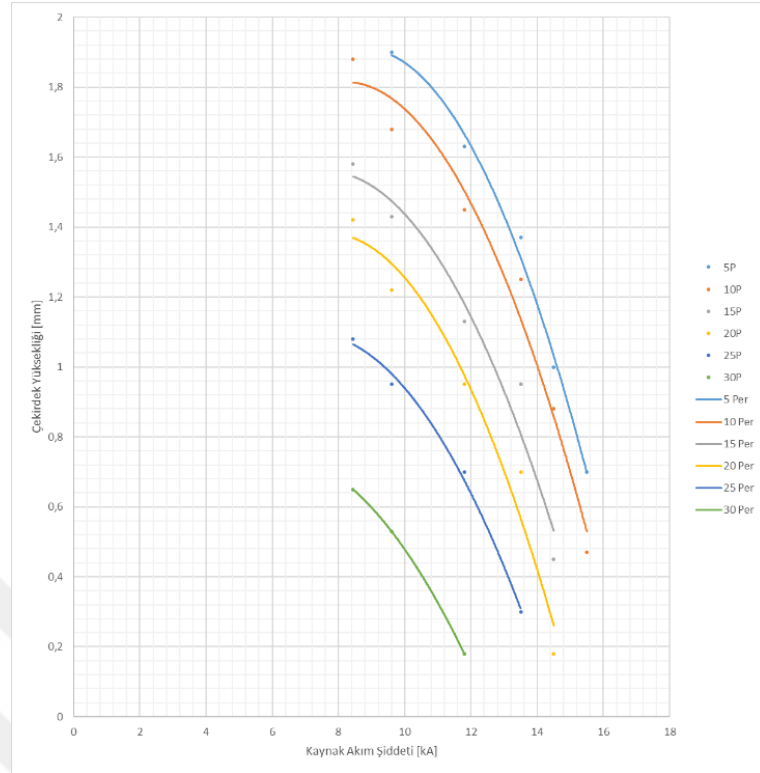
Kaynak zamanının artmasıyla birlikte martenzitik çelikte oluşan kaynak çekirdek yüksekliğindeki düşüş Şekil 7.10.'da görülmektedir. Kaynak zamanındaki artış ile birlikte artan ısı girdisi ergimeyi de arttırmış ve böylece çekirdek yüksekliğini düşürmüştür.



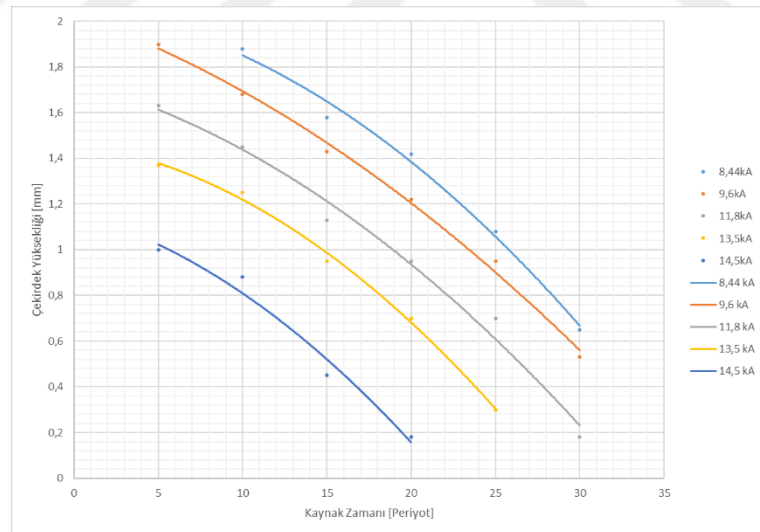
Şekil 7.10. Kaynak zamanının 1200Martenzitik çelikte oluşan çekirdek yüksekliğine etkisi.

7.3.2.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm–1200M kaynaklı birleştirmelerde oluşan toplam kaynak çekirdeği yüksekliğine etkisi

Kaynak akım şiddetinin artması da aynı kaynak zamanının artması gibi kaynak çekirdek yüksekliğini düşürdüğü sırasıyla Şekil 7.11. ve Şekil 7.12.'de görülmektedir. Bunun nedeni ise kaynak akım şiddeti ve zamanındaki artışın yüksek ısı girdisiyle kaynak bölgesinde ergimenin artmasıdır.



Şekil 7.11. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi.

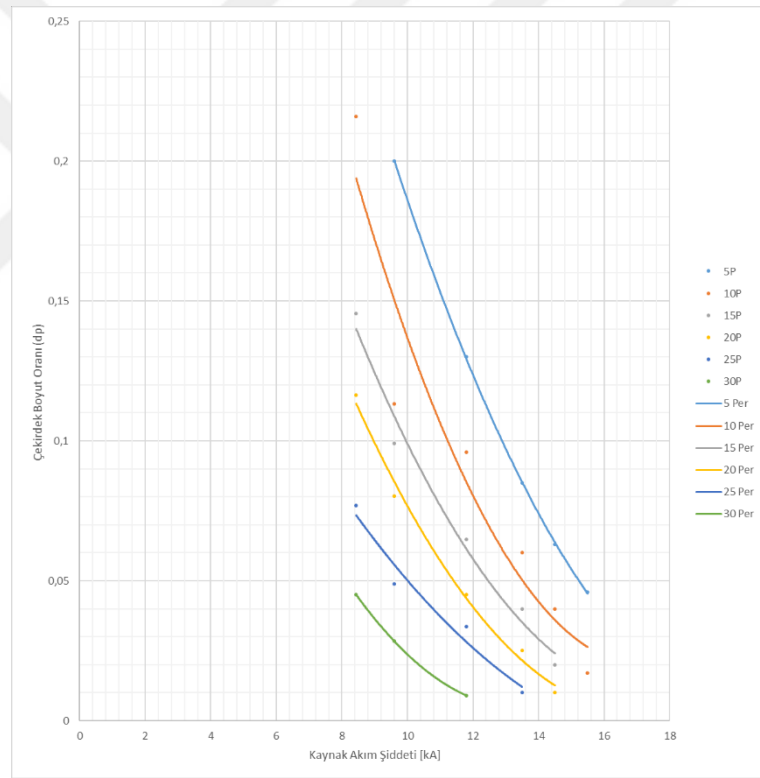


Şekil 7.12. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi.

7.3.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde çekirdek boyut oranına etkisi

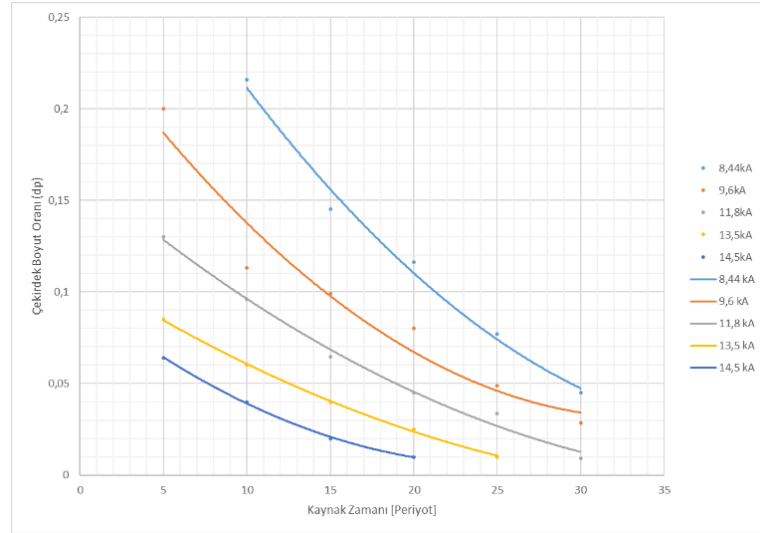
7.3.3.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla DP800 HyperForm çeliğinde çekirdek boyut oranının düştüğü Şekil 7.13.'de görülmektedir. 8440A kaynak akım şiddetinde çekirdek boyut oranı 0,05-0,22 arasında iken akım artışı ile beraber 15500A'de 0,01-0,04 arasında oldukça düşük oranda kalmıştır.



Şekil 7.13. Kaynak akım şiddetinin DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

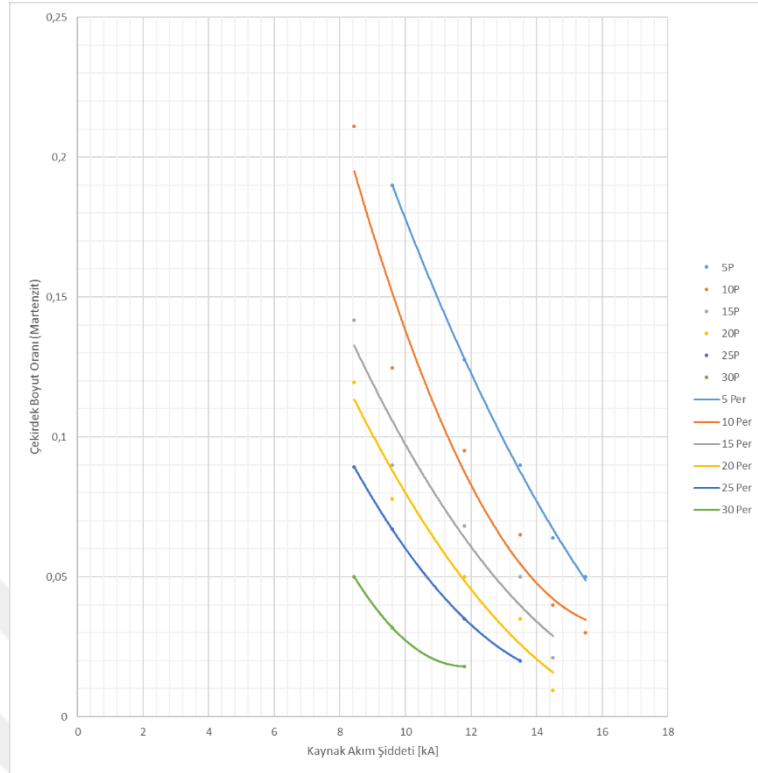
Kaynak zamanındaki artışla birlikte çekirdek boyut oranında düşmenin meydana geldiği Şekil 7.14.'te görülmektedir. 5 Periyot kaynak zamanı için çekirdek boyut oranı aralığı 0,06-0,2 iken bu değerler 30 periyot kaynak zamanı için 0,01-0,04 aralığında kalmaktadır.



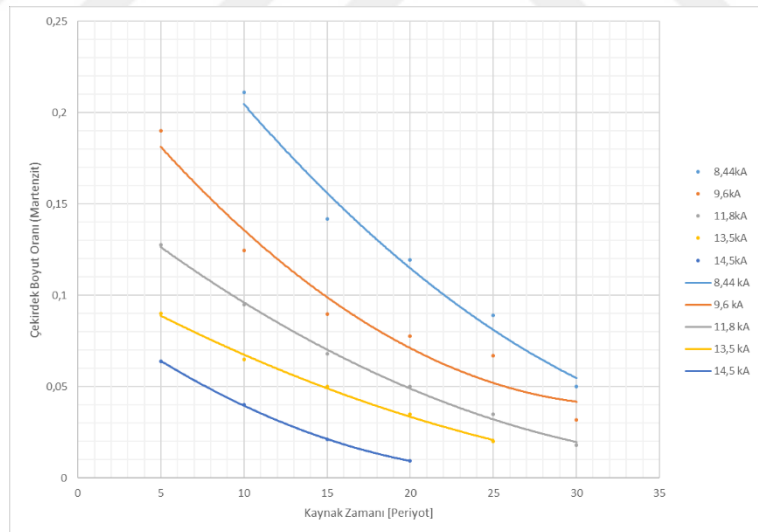
Şekil 7.14. Kaynak zamanının DP800 HyperForm çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

7.3.3.2. Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının 1200 Martenzitik çelikteki çekirdek boyut oranına etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanındaki artışın çekirdek boyut oranlarında meydana getirdiği düşüş sırasıyla Şekil 7.15. ve 7.16.'da görülmektedir. Düşük akım şiddeti ve düşük kaynak zamanlarında çekirdek boyut oranları kabul edilebilir değerler içerirken yüksek akım şiddeti ve yüksek kaynak zamanlarındaki çekirdek boyut oranları yakın ve dar bir aralıkta bulunmaktadır.



Şekil 7.15. Kaynak akım şiddetinin 1200 Martenzit çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

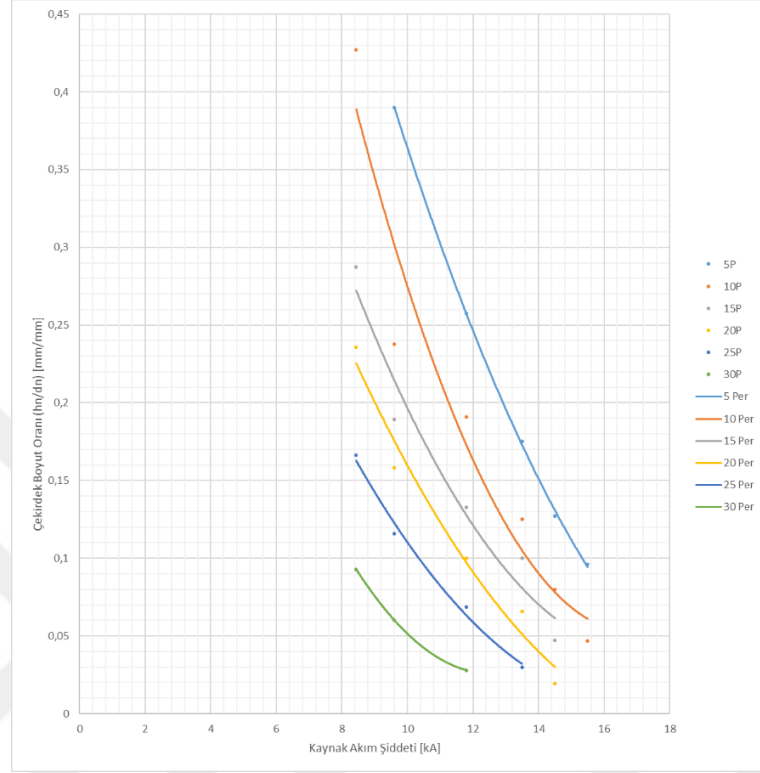


Şekil 7.16. Kaynak zamanının 1200 Martenzit çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

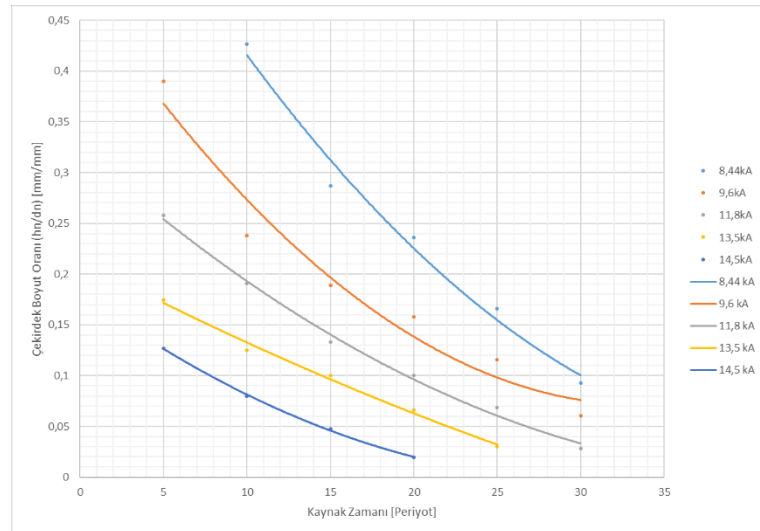
7.3.3.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerindeki toplam çekirdek boyut oranına etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanındaki artışın toplam çekirdek boyut oranında düşüş meydana getirdiği sırasıyla Şekil 7.17. ve Şekil 7.18.'de görülmektedir. Bunun nedeni

ise yüksek akım şiddeti ve kaynak zamanında elektrotun dalma derinliğinin artmasıyla çekirdek yüksekliğindeki azalmayla birlikte kaynak genişliğinin artmasıdır.



Şekil 7.17. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.



Şekil 7.18. DP800 HyperForm-1200M birleştirmelerinde kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi.

7.4. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliği ve Genişliğine Etkisi

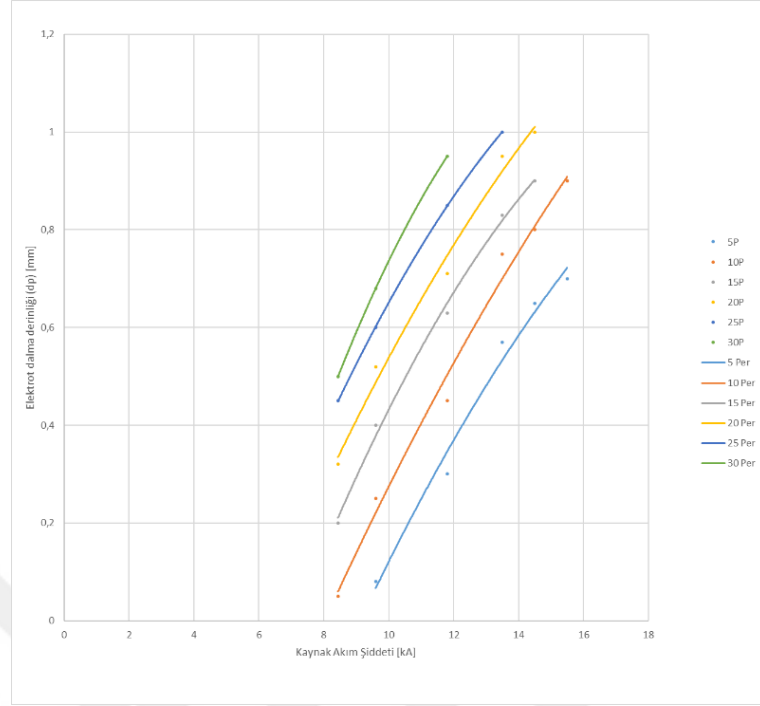
7.4.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF-1200M bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi

DP800HF-1200M birleşmelerindeki kaynak değişkenlerinin elektrot dalma derinliğine olan etkisi üç farklı biçimde değerlendirilmiştir:

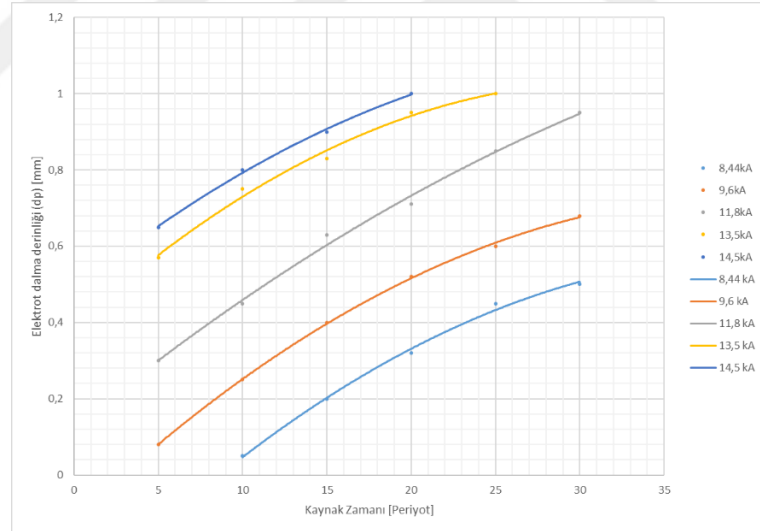
- DP800HF çeliğinde oluşan dalma derinliği
- 1200M çeliğinde oluşan dalma derinliği
- Birleşmedeki toplam dalma derinliği.

7.4.1.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF çeliğinde oluşan dalma derinliğine etkisi

Sırasıyla Şekil 7.19. ve Şekil 7.20.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve zamanının artmasıyla DP800HF çeliğindeki elektrot dalma derinliğinin de artmıştır. Her iki değişken için de dar ve düşük aralıklar yüksek akım şiddeti ve zamanlarda meydana gelmiştir böylelikle istenen kuvvet sağlanamamıştır.



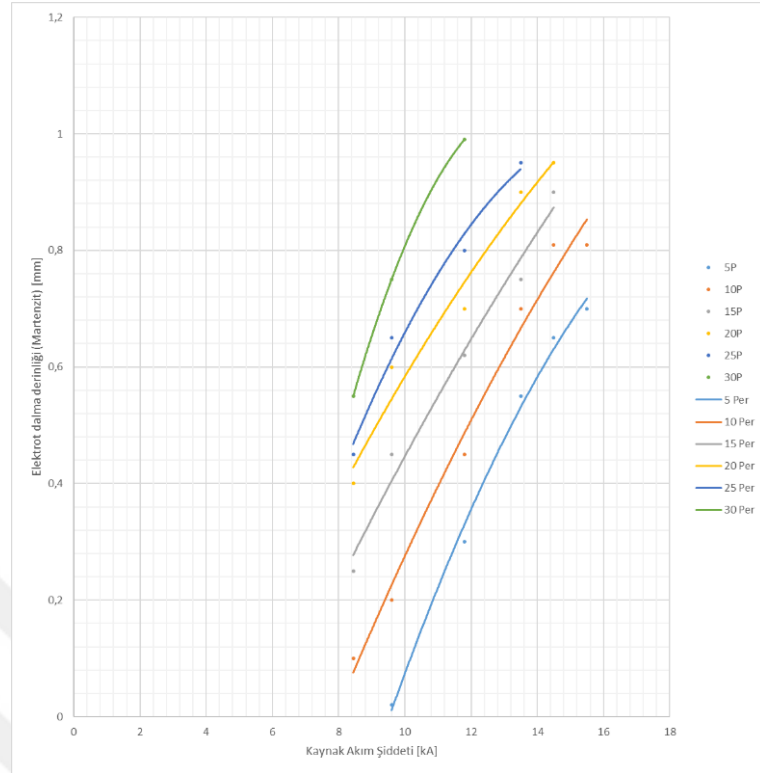
Şekil 7.19. Kaynak akım şiddetinin DP800HF çeliğinde elektrot dalma derinliğine etkisi.



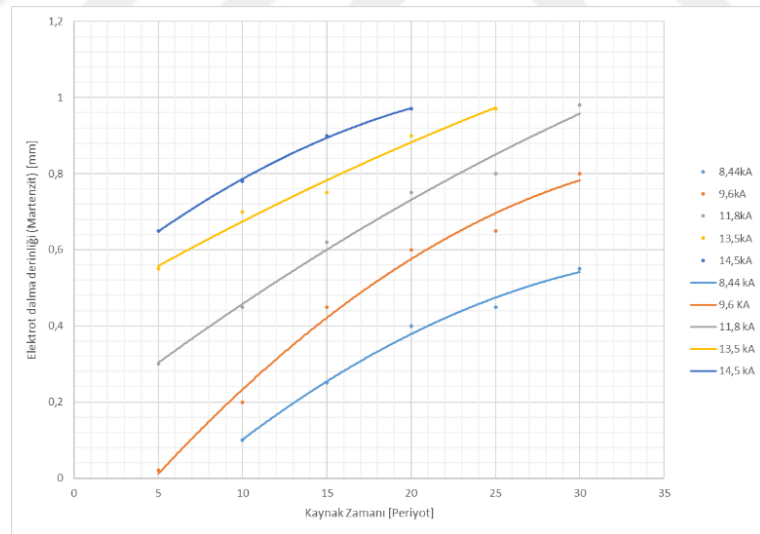
Şekil 7.20. Kaynak zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.

7.4.1.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının 1200M çeliğinde oluşan dalma derinliğine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanının artışıyla beraber 1200M çeliğinde elektrotun dalma derinliğinin DP800HF çeliğine benzer şekilde arttığı sırasıyla Şekil 7.21. ve 7.22.'de görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [9-12].



Şekil 7.21. Kaynak akım şiddetinin 1200M çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.

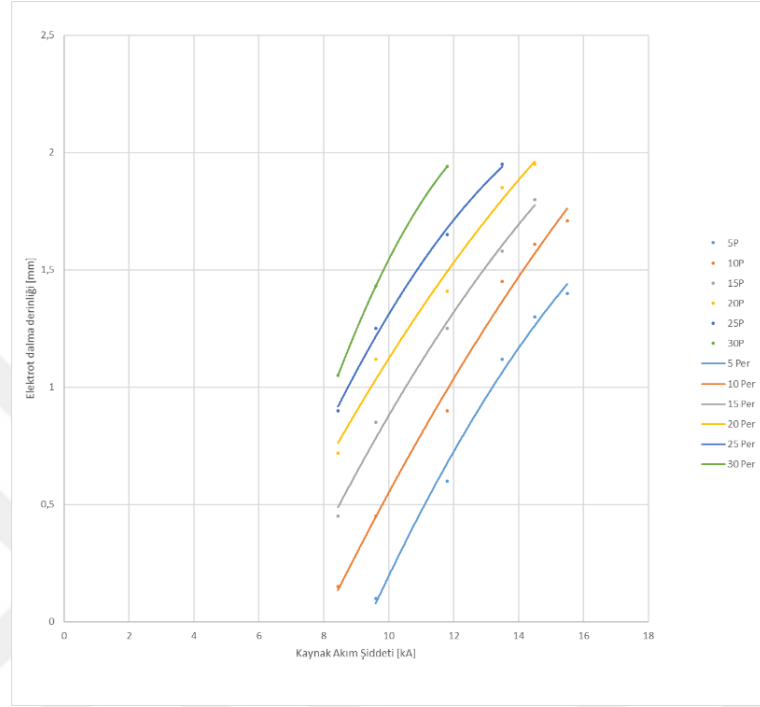


Şekil 7.22. Kaynak zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma derinliğine etkisi.

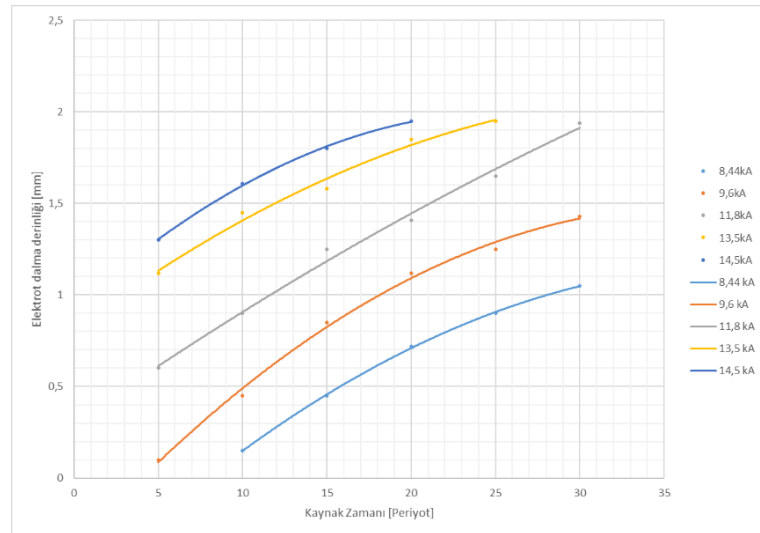
7.4.1.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerinde oluşan toplam dalma derinliğine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanının artışı ısı girdisini de arttırdığından dolayı elektrotların kaynaklı birleştirmelerin yüzeyindeki elektrot dalma derinliğini de

doğrusal olarak arttığı sırasıyla Şekil 7.23. ve Şekil 7.24.'de görülmektedir. Literatürde yapılmış diğer çalışmaların sonuçlarında da benzer veriler elde edildiği görülmektedir [9-12].



Şekil 7.23. Kaynak akım şiddetinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam dalma derinliğine etkisi.

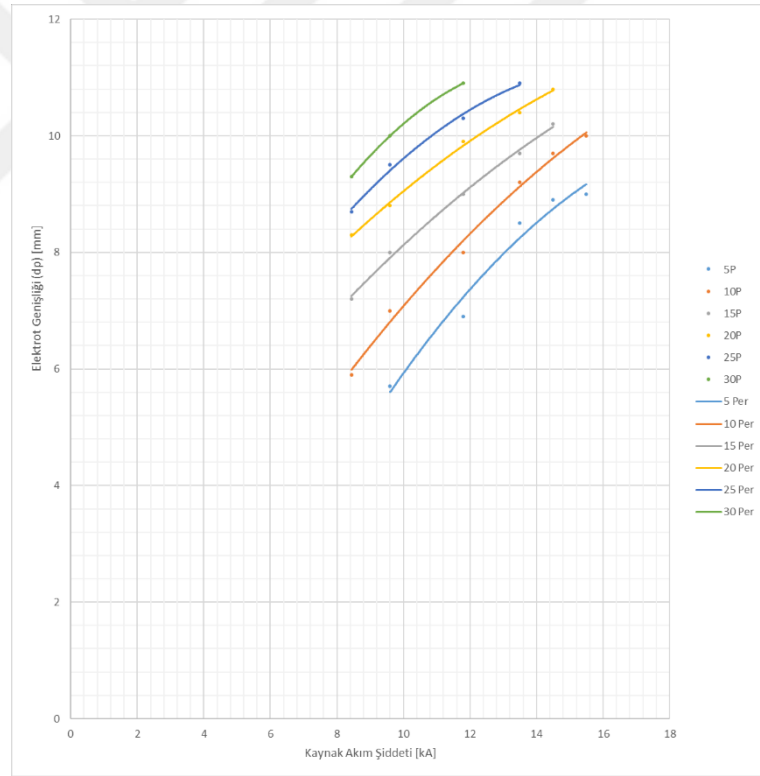


Şekil 7.24. Kaynak zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam dalma derinliğine etkisi.

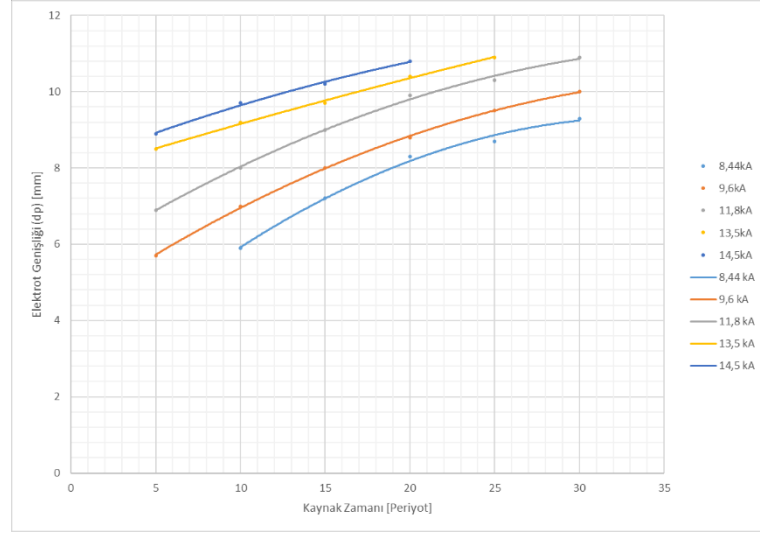
7.5. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi

7.5.1. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanının artmasıyla beraber elektrot dalma derinliği kaynak sırasında kullanılan elektrotun çapından (6mm) daha yüksek değerlere ulaşabildiği sırasıyla Şekil 7.25. ve 7.26.'da görülmektedir. Elektrot dalma genişliklerindeki doğrusal artışın nedeni ısı girdisinin de artan kaynak zamanı ve akım şiddetiyle doğrusal olarak artmasıdır.



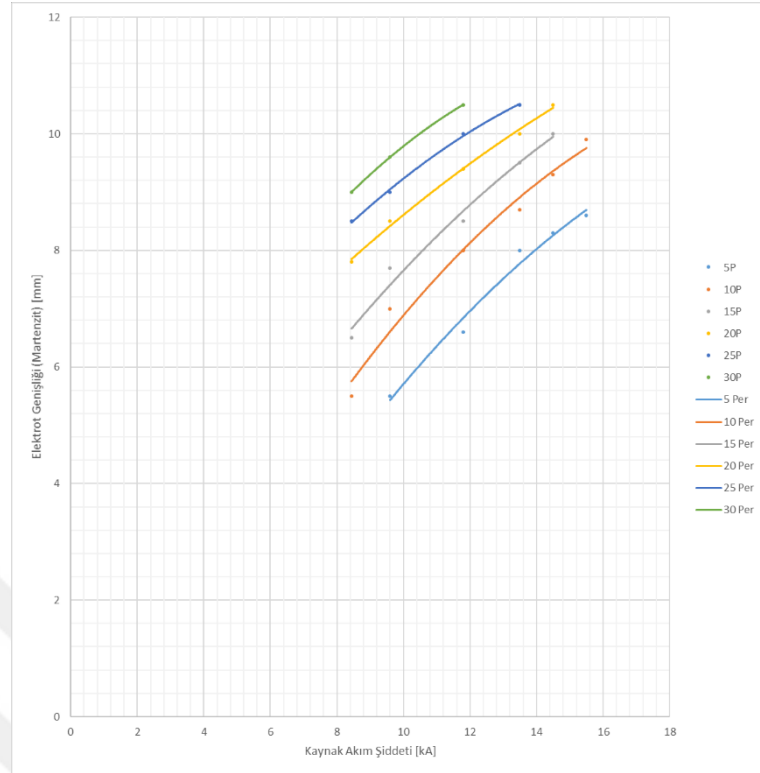
Şekil 7.25. Kaynak akım şiddetinin DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.



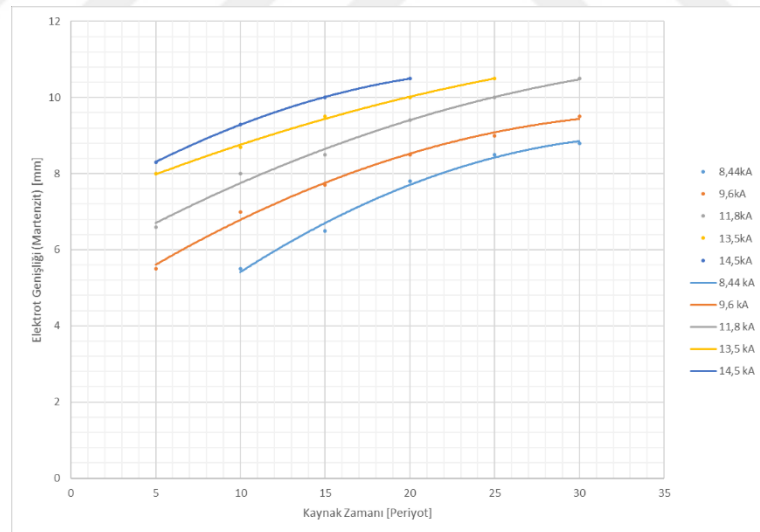
Şekil 7.26. Kaynak zamanının DP800HF çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.

7.5.2. Kaynak akım şiddeti ve zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı arttıkça ısı girdisinin artması elektrot genişliğini de doğrusal olarak arttırdığı sırasıyla Şekil 7.27. ve Şekil 7.28.'de görülmektedir. Düşük kaynak zamanlarında en düşük, yüksek kaynak zamanlarında ise en yüksek elektrot dalma genişlikleri meydana gelmiştir.



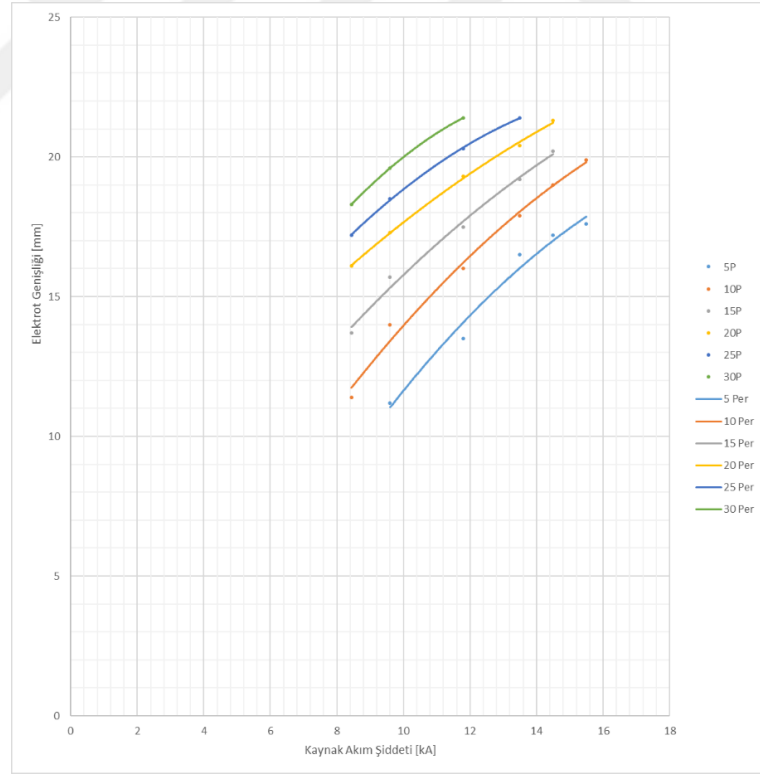
Şekil 7.27. Kaynak akım şiddetinin 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.



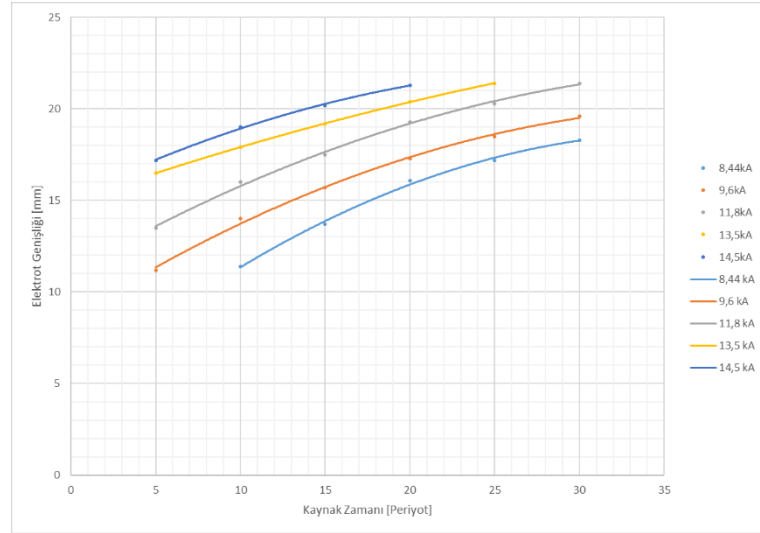
Şekil 7.28. Kaynak zamanının 1200M çeliğindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.

7.5.3. Kaynak akım şiddeti ve zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanının artmasıyla beraber elektrot dalma derinliği kaynak sırasında kullanılan elektrotun çapından (6mm) daha yüksek değerlere ulaşabildiği sırasıyla Şekil 7.29. ve 7.30.'da görülmektedir. Bu durum iki sebeple meydana gelmektedir, birincisi kaynak akım şiddeti ve zamanının artmasıyla ısı girdisinin yükselmesidir. Böylece ergimenin artması ve elektrot baskı kuvvetiyle de ergimiş metalin dışarı fıskırması meydana gelir. Bunlar da elektrot dalma derinliğini arttırırken aynı zamanda da elektrot dalma genişliğinin artmasına sebep olur. Diğer sebebi ise tekrarlanan kaynak çevrimleri esnasında elektrot yüzeyinde oluşan bozulmalar olarak açıklanır. Bozulmalar ise tekrarlanan kaynak çevrimlerinde elektrot baskı kuvvetiyle Şekil 6.5.'deki R1 ve R2 açılarındaki değişimlerle meydana gelmektedir.



Şekil 7.29. Kaynak akım şiddetinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi.

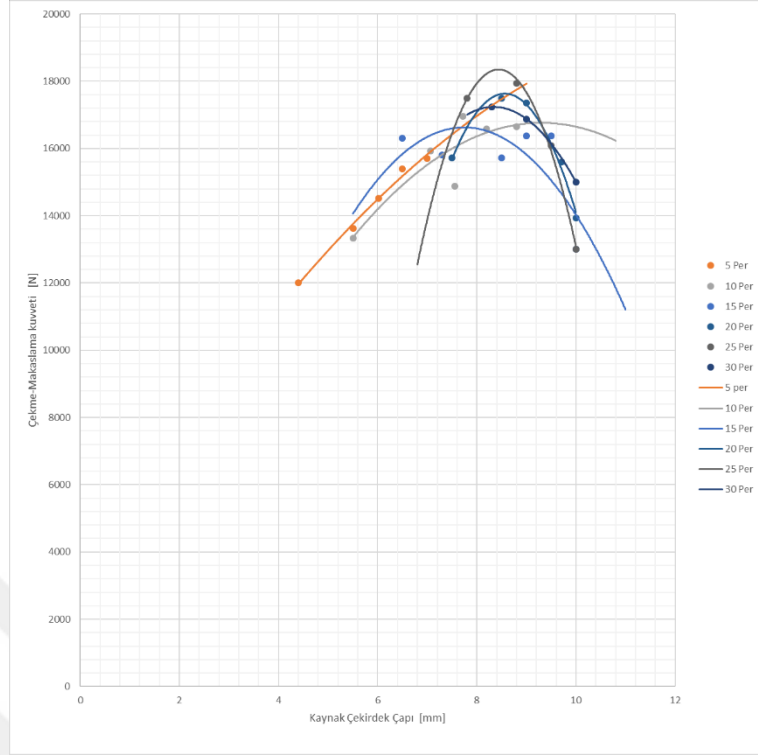


Şekil 7.30. Kaynak zamanının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki toplam elektrot dalma genişliğine etkisi.

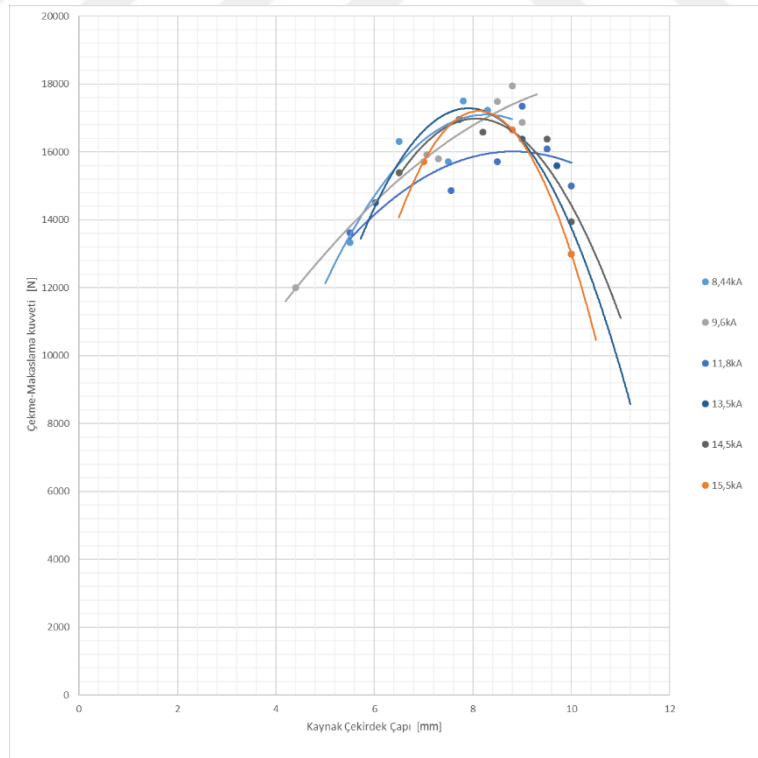
7.6. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Kuvvetine Etkisi

7.6.1. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek çapının çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Çekirdek çapındaki artışla çekme-makaslama kuvvetinin de arttığı fakat bir çaptan sonra çekme-makaslama kuvvetinin düştüğü Şekil 7.31.'de görülmektedir. Her değişken için maksimum kuvvete ulaşan çekirdek çapından sonra da çap artmaya devam etmiştir fakat çekme-makaslama kuvveti düşmeye başlamıştır. Bunun nedeni olarak kaynak çekirdeğinde oluşan ısının çok yükselmesiyle birlikte çevresine fişkırımların meydana gelmesi ve kaynak metalindeki eriyen metal kayıpların artmasıdır.



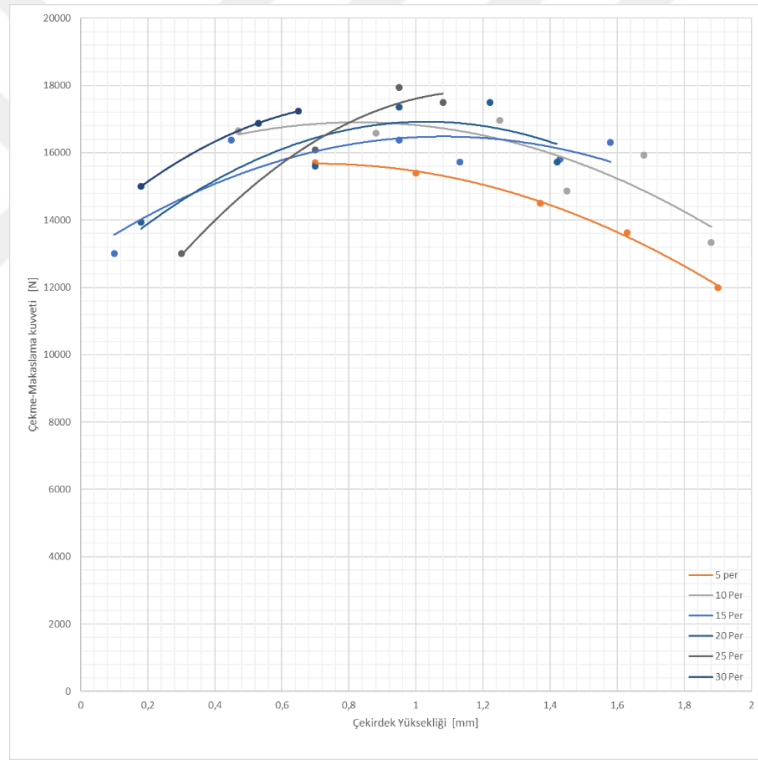
Şekil 7.31. Kaynak çekirdek çapının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



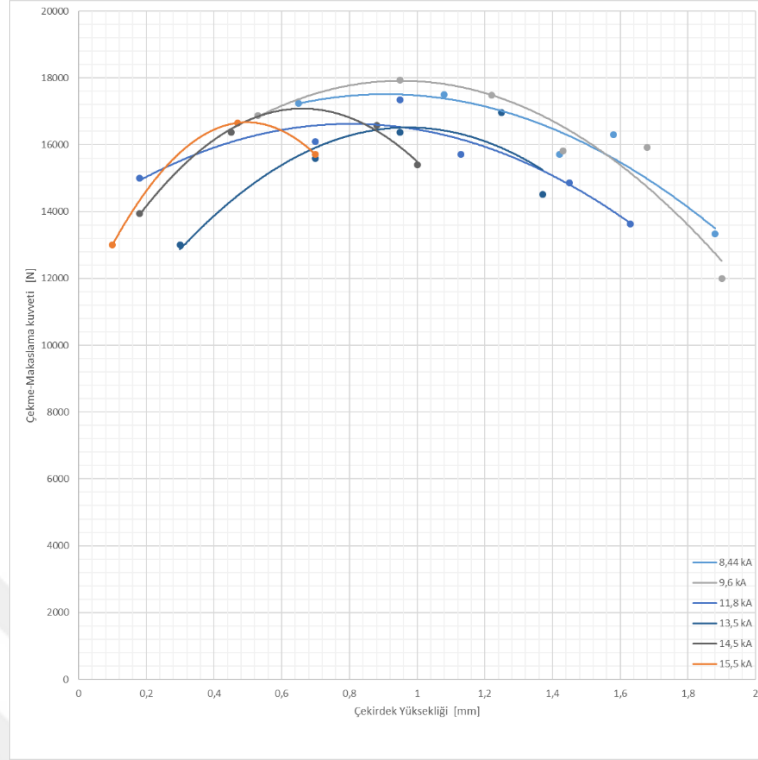
Şekil 7.32. Kaynak çekirdek çapının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı şiddeti sabit).

7.6.2. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Çekirdek yüksekliğinin artışı belirli bir noktadan sonra çekme-makaslama kuvvetini olumsuz yönde etkilemekte olduğu Şekil 7.33. ve Şekil 7.34.'de görülmektedir. Bunun nedeni ısı girdisinin artmasıyla beraber kaynak noktasında fişkırmaların çoğalmasıyla çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Daha düşük kaynak akım şiddetleri ve zamanlarında da daha az ısı girdisine bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin düşük olduğu görülmektedir.



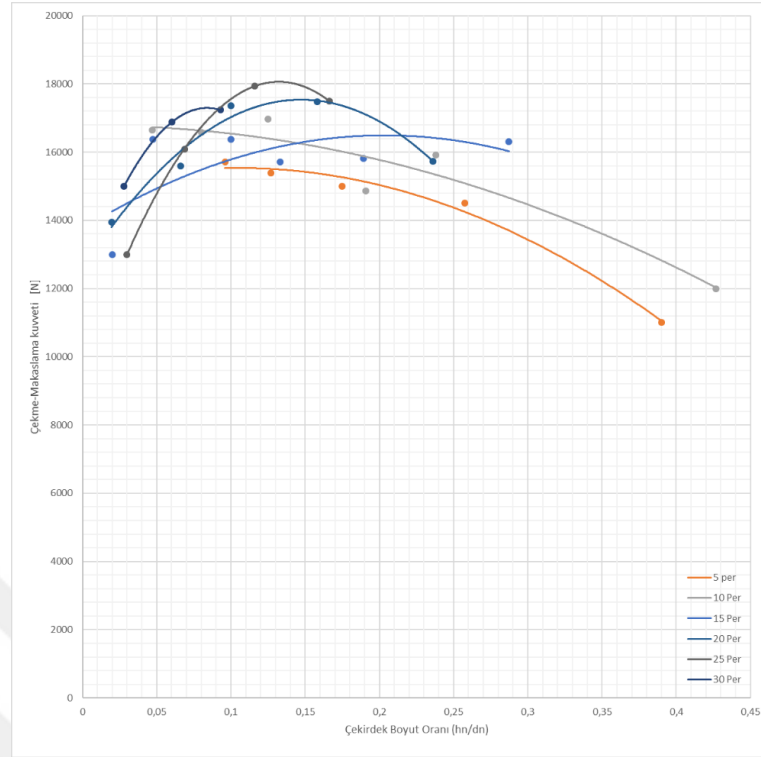
Şekil 7.33. Toplam Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



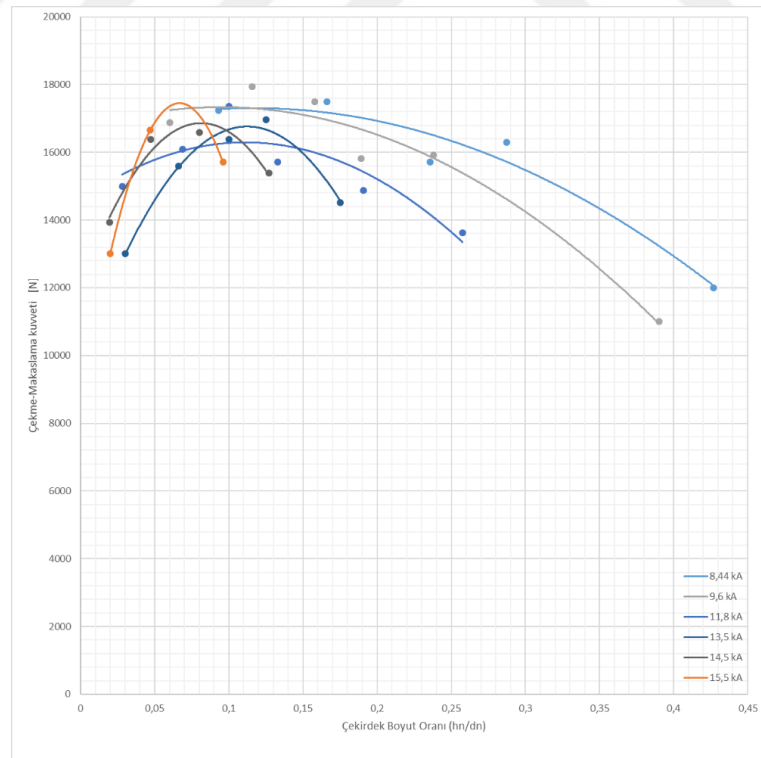
Şekil 7.34. Toplam Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.6.3. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanındaki artışla beraber çekme-makaslama kuvvetinde de artışın meydana geldiği Şekil 7.35. ve Şekil 7.36.'da görülmektedir. Fakat bu artışın belirli bir noktaya kadar olduğu da ve bu noktadan sonra çekme-makaslama kuvvetinde düşüş meydana geldiği görülmektedir. Çekme-makaslama kuvvetindeki artış ve düşüşün kaynak akım şiddeti ve zaman parametrelerinde özellik gösterdiğini görülmektedir.



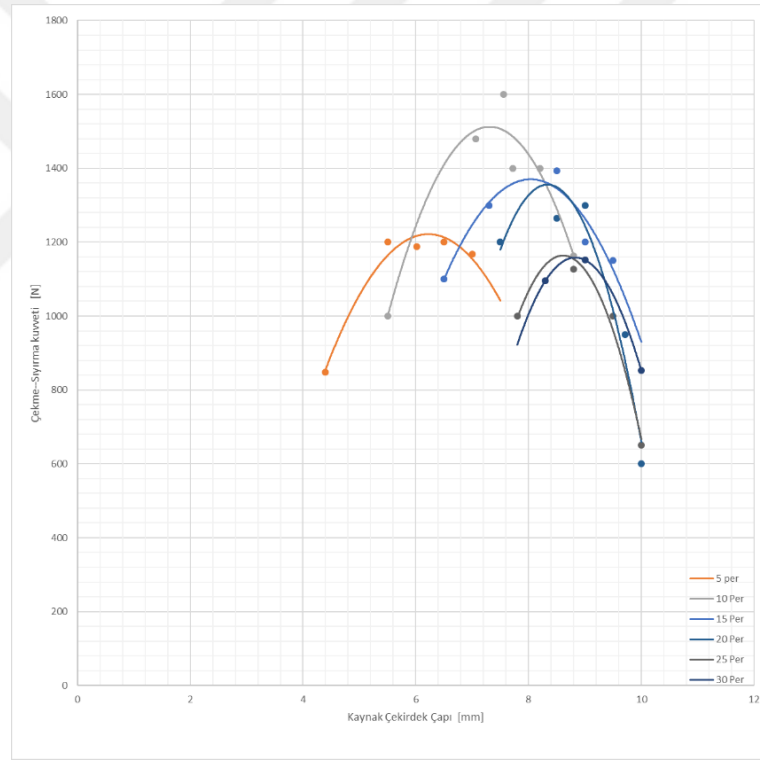
Şekil 7.35. Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



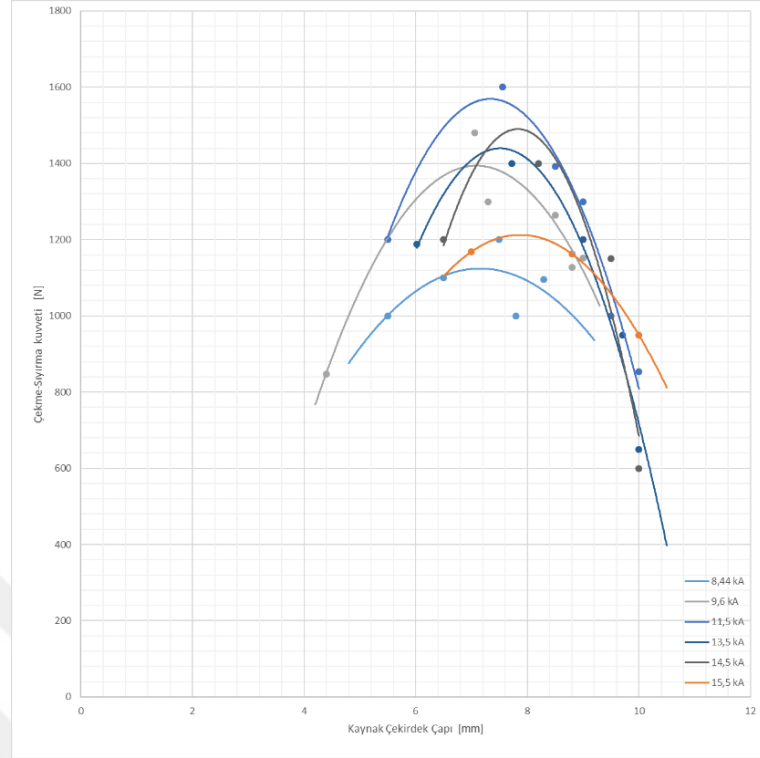
Şekil 7.36. Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.6.4. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek çapının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdeğinin çapı arttıkça kaynaklı birleştirmelerde çekme-sıyırma kuvveti de artış göstermekte olduğu Şekil 7.37. ve Şekil 7.38’de görülmektedir. Bu artışın belirli bir noktaya kadar olduğu sonrasında da azalmakta olduğu görülmektedir. Bu düşüşün sebebi ise yüksek akım şiddeti ve zamanlarında elektrot dalma derinliğinin artmasıyla ortamda oluşan fişkirmalar ve bunun sonucunda kaynağın çekirdek kesitinde oluşan azalmanın artmasıdır.



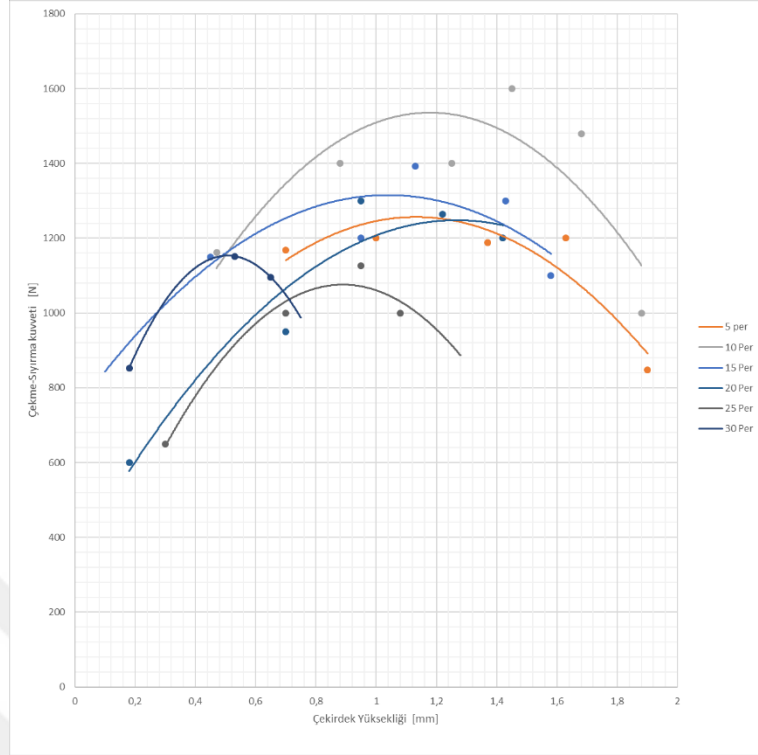
Şekil 7.37. Kaynak çekirdek çapının D800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



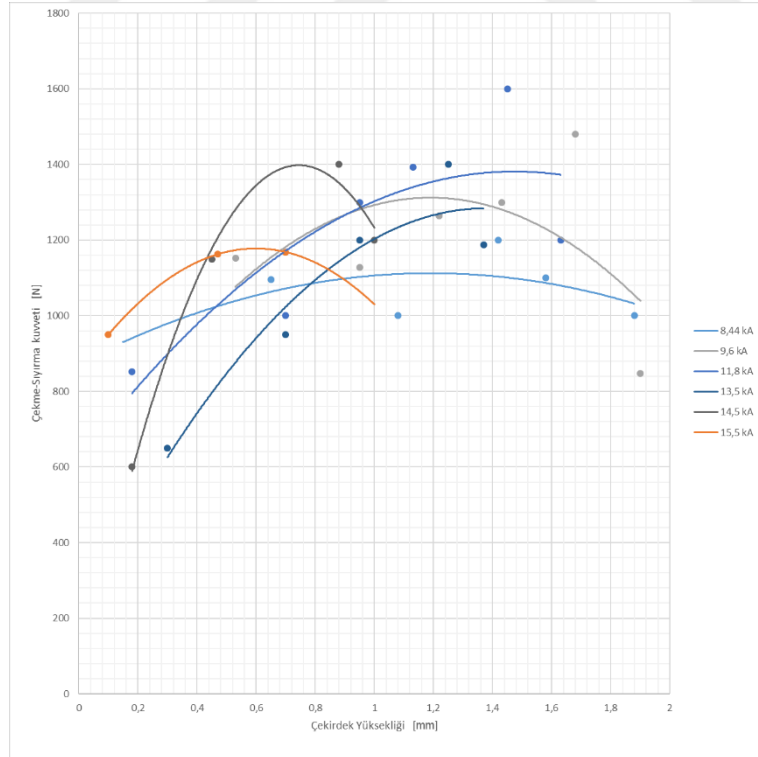
Şekil 7.38. Kaynak çekirdek çapının D800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.6.5. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyrma kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdek yüksekliğinin artışı ile DP800HF-1200M birleştirmesindeki çekme-sıyrma kuvvetinin de belirli bir noktaya ulaştıktan sonra düştüğü Şekil 7.39. ve Şekil 7.40.'da görülmektedir. Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarının da bu şekilde olduğu görülmektedir [9-12].



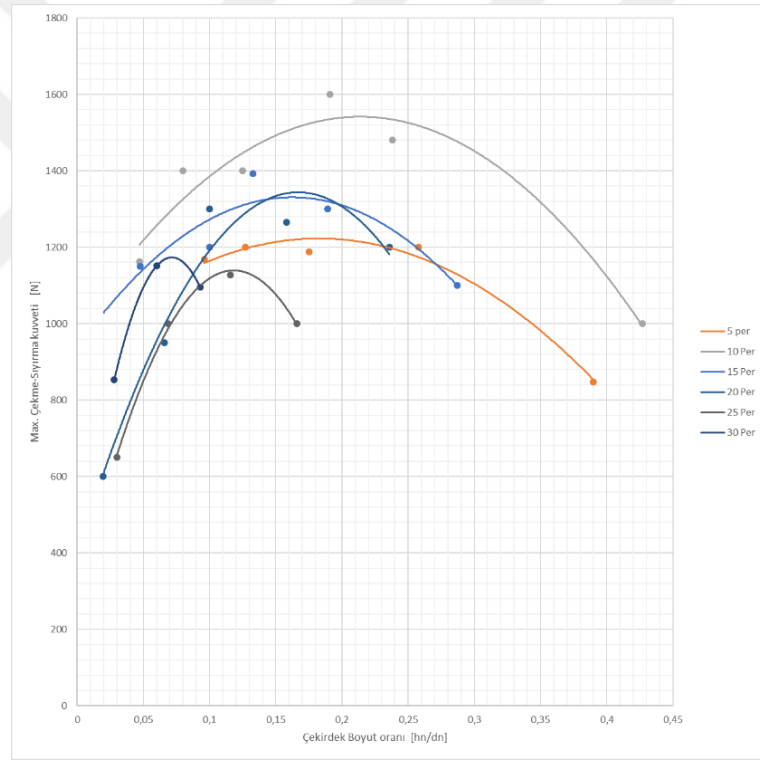
Şekil 7.39. Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



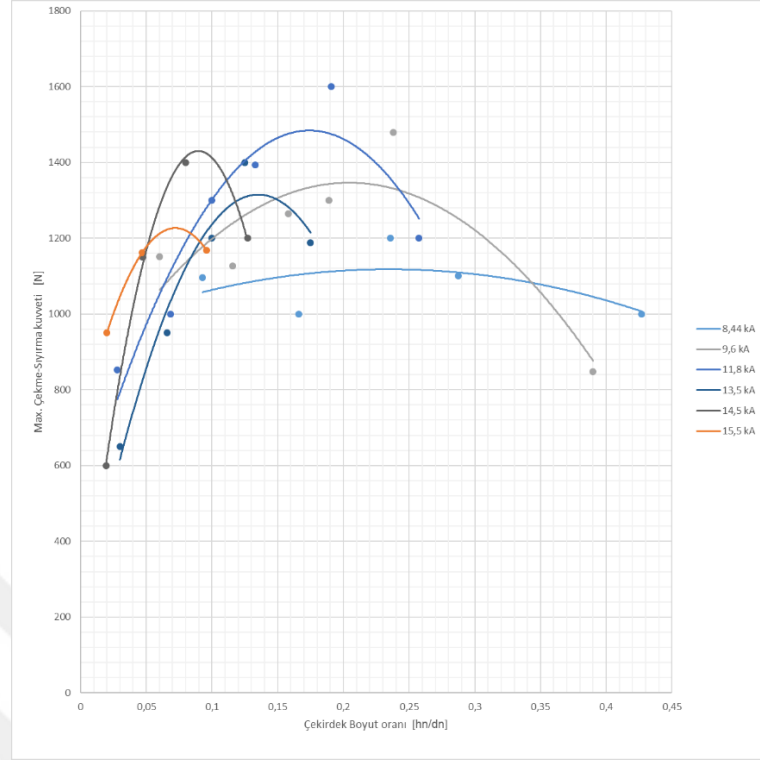
Şekil 7.40. Çekirdek yüksekliğinin DP800HF-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.6.6. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Çekirdek boyut oranındaki artışla beraber DP800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetleri belirli bir noktaya kadar artış göstermekte olup sonrasında düşmekte olduğu Şekil 7.41. ve Şekil 7.42.'de görülmektedir. Kaynak akım şiddetinin sabit olduğu durumda en yüksek çekme-sıyırma kuvveti 10 Per iken kaynak zamanının sabit olduğu durumda 11800A değeridir. Kaynak zamanındaki artış hem çekirdek boyut oranını hem de çekme-sıyırma kuvvetine düşüşe sebep olmaktadır.



Şekil 7.41. Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).

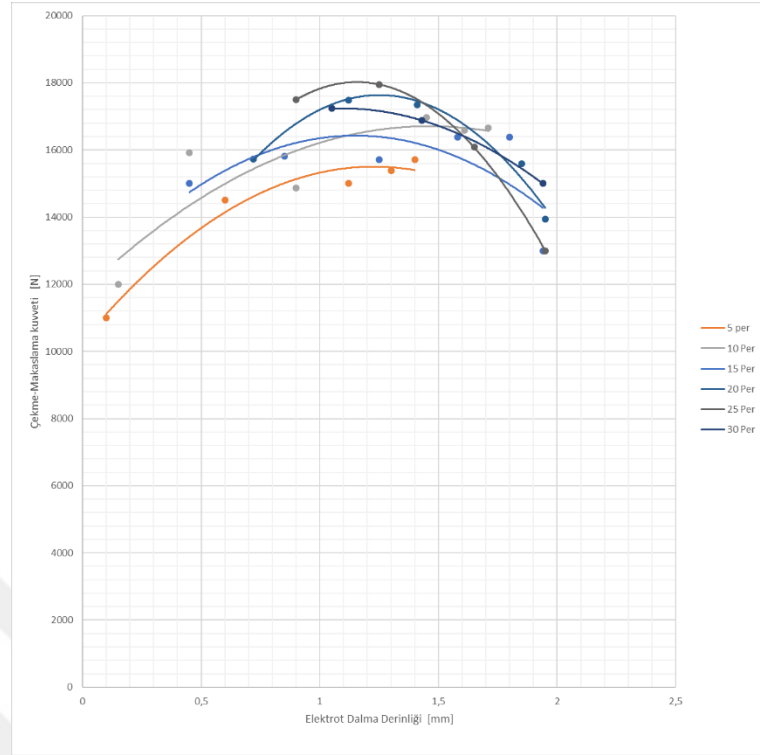


Şekil 7.42. Çekirdek boyut oranının DP800HF-1200M birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

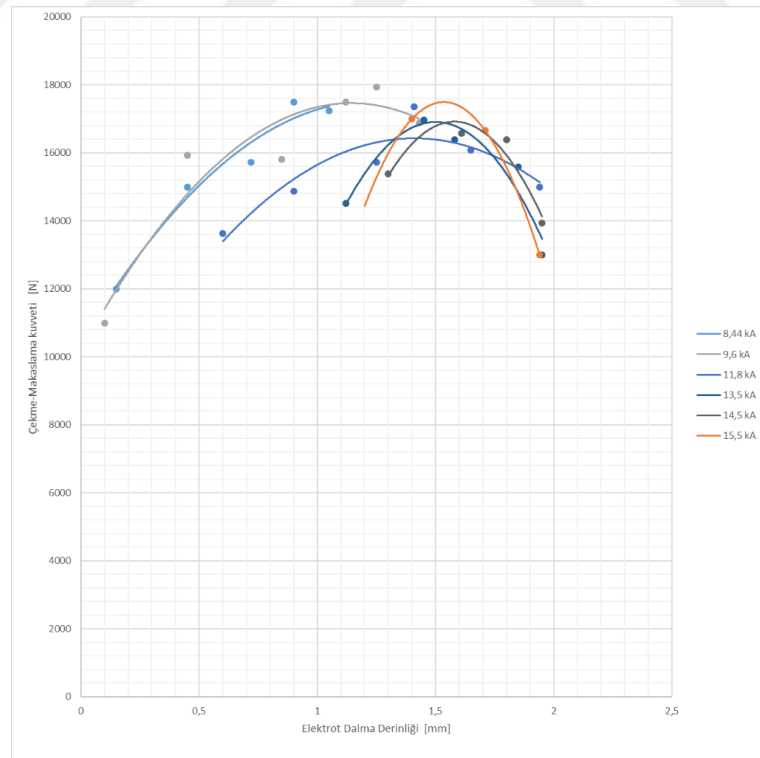
7.7. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Elektrot Dalma Derinliğinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Kuvvetine Etkisi

7.7.1. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Elektrot dalma derinliğinde artışın meydana gelmesiyle beraber çekme-makaslama kuvveti de artış göstermekte olup bu artışın belirli bir noktadan sonra düşüş gerçekleştirdiği Şekil 7.43. ve Şekil 7.44.'de görülmektedir. Yüksek kaynak zamanı ve akım şiddetlerinde ısı girdisinin artışıyla kaynakta ergimenin artması ve elektrot kuvvetinin etkisiyle ergiyen metalin fişkırmasıyla oluşan kaynak kesitindeki küçülmeden dolayı çekme-makaslama kuvvetinde düşüş gerçekleşmektedir.



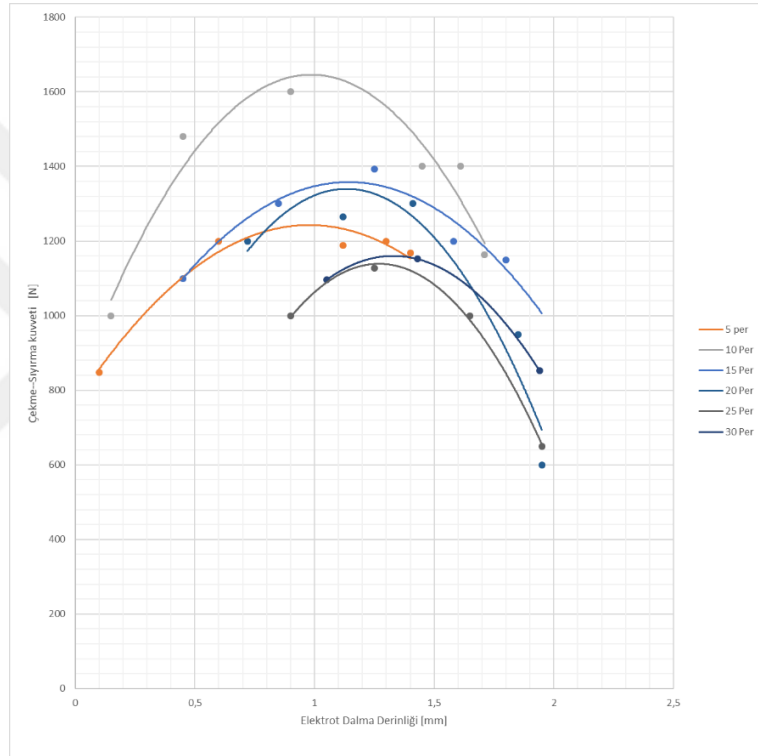
Şekil 7.43. Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



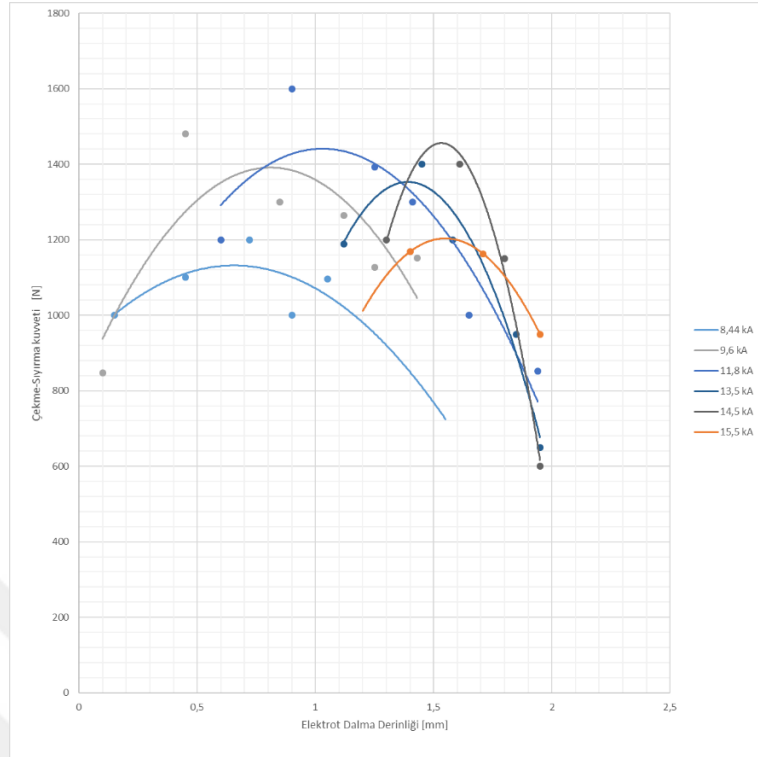
Şekil 7.44. Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.7.2. DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında elektrot dalma derinliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Elektrot dalma derinliğindeki artışla beraber çekme-sıyırma kuvveti de aynı çekme-makaslama kuvvetinde olduğu gibi bir noktaya kadar yükselip sonrasında hızla düşüşe geçtiği Şekil 7.45. ve Şekil 7.46.'de görülmektedir. Bunun nedeni ise kaynak kesitinin yüksek akım şiddeti ve zamanıyla oluşan fişkırmalardır.



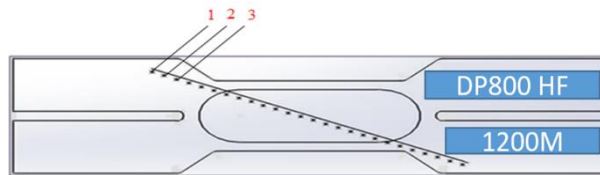
Şekil 7.45. Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



Şekil 7.46. Elektrot dalma derinliğinin DP800-1200M birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

7.8. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Kaynak Parametrelerinin Sertlik Değerine Etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilen DP800HF-1200M çeliklerinin Şekil 7.47.'de gösterildiği şekilde DP800HF çeliğinin kaynak etkisinden uzak bölgesinden başlamak üzere ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeğinin ortasından geçecek biçimde çapraz şekilde 1200M çeliğinin kaynak etkisinden uzak bölgesine kadar 0,4mm aralıklarla MikroVickers sertlik değerlerine 200gr yük uygulanarak EN ISO 14271 standardına uygun olarak ulaşılmıştır.



Şekil 7.47. DP800HF-1200M birleştirmelerindeki ölçüm yönü.

7.8.1. Kaynak parametrelerinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi

DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik değerlerinin alındığı noktalar 4 farklı bölgeden alınarak elde edilmiştir, bunlar;

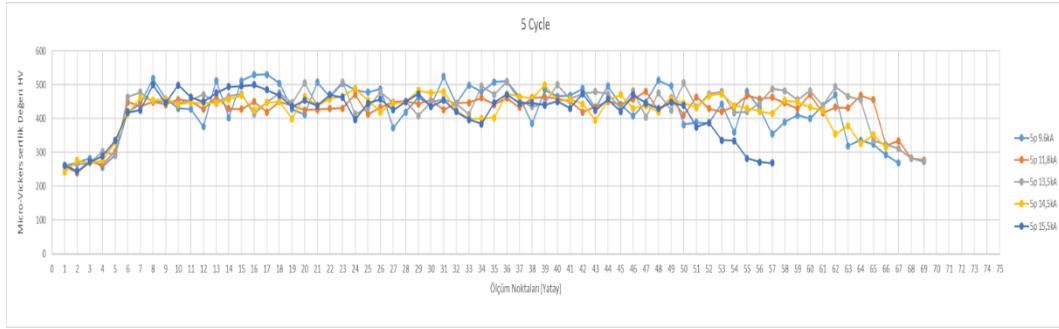
- DP800HF çeliğinin ısıdan etkilenmemiş bölgesi
- ITAB
- Kaynak çekirdeğı
- ITAB
- 1200M

çeliğinin ısıdan etkilenmemiş bölgesi'dir.

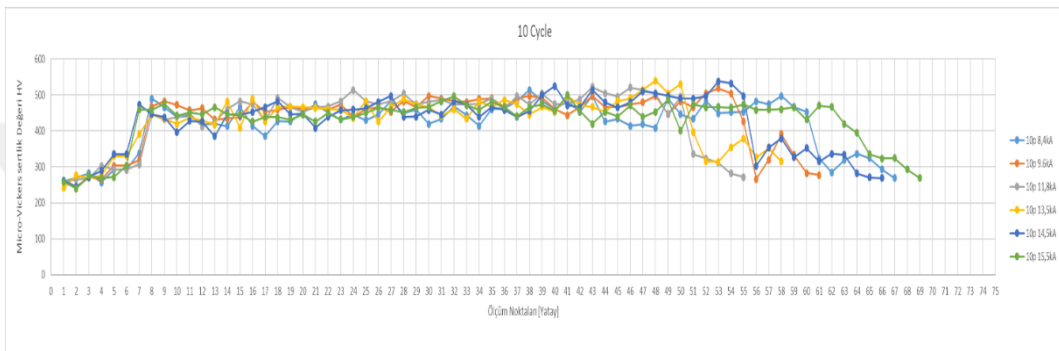
DP800HF-1200M birleştirmelerindeki kaynak çekirdeğinden hem DP800HF hem 1200M çeliğinin olduğu bölgeye doğru bulunan ITAB bölgelerine ulaşıldığında sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin ilk noktası olan DP800HF çeliğinden alınan sertlik değeri ortalama 250 HV, son noktası olan 1200M çeliğinden alınan sertlik değeri ortama 280 HV iken iki taraftan kaynağın çekirdek noktasına doğru gidildikçe sertlik değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Kaynak çekirdek merkezinde ortalama olarak 550 HV'e ulaşılmıştır. Bu değer neredeyse esas metal sertlik değerlerinin iki katıdır.

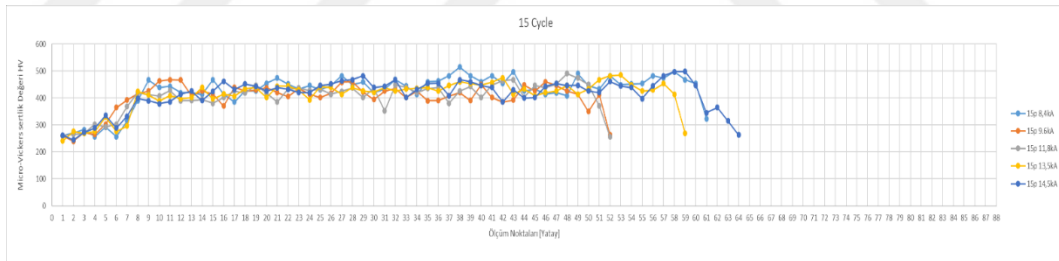
Şekil 7.48., Şekil 7.49., Şekil 7.50., Şekil 7.51., Şekil 7.52. ve Şekil 7.53.'de farklı kaynak akım şiddetlerinde sabit kaynak zamanlarında DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertliğe etkisi görülmektedir.



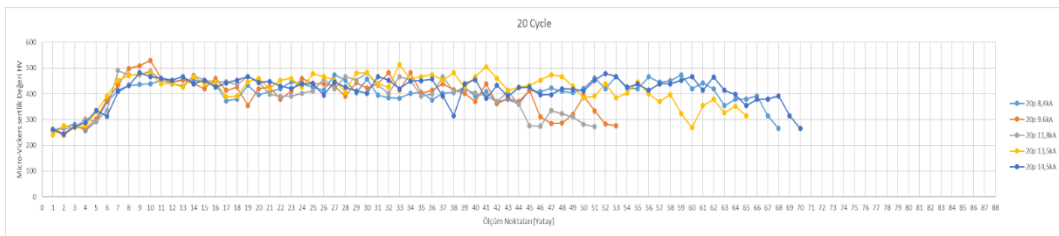
Şekil 7.48. 5 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



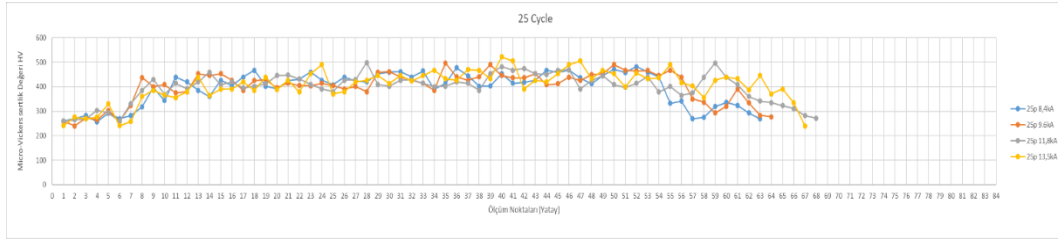
Şekil 7.49. 10 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



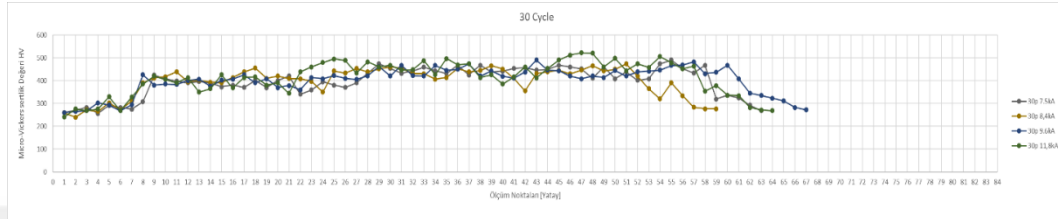
Şekil 7.50. 15 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



Şekil 7.51. 20 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



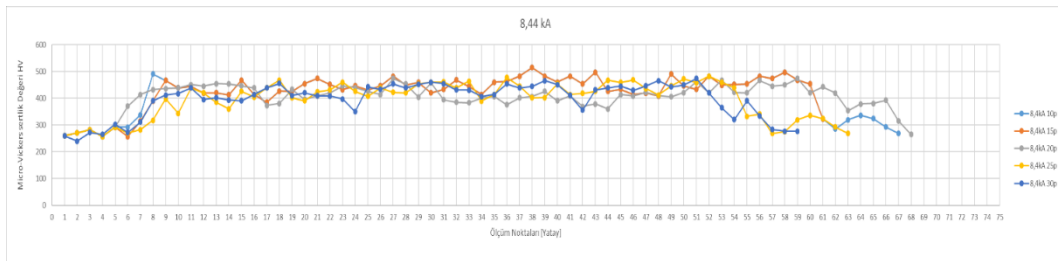
Şekil 7.52. 25 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



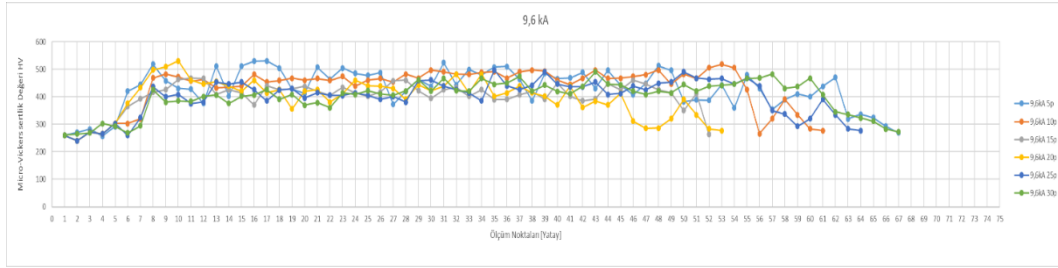
Şekil 7.53. 30 Periyot kaynak zamanında DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.

7.8.2. Kaynak parametrelerinin DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi

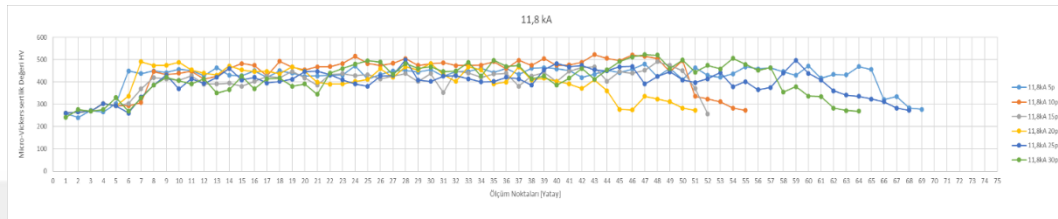
DP800HF-1200M çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında yapılan birleştirmelerinde kaynak akım şiddetine göre değişiklik gösteren sertlik değerleri vicker cinsinden Şekil 7.54., Şekil 7.55., Şekil 7.56., Şekil 7.57., Şekil 7.58. ve Şekil 7.59.'da görülmektedir. Elde edilmiş en yüksek sertlik değeri 550 HV civarında olmuştur. En yüksek sertlikler kaynak çekirdeğinden alınmış olup bağlantının güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.



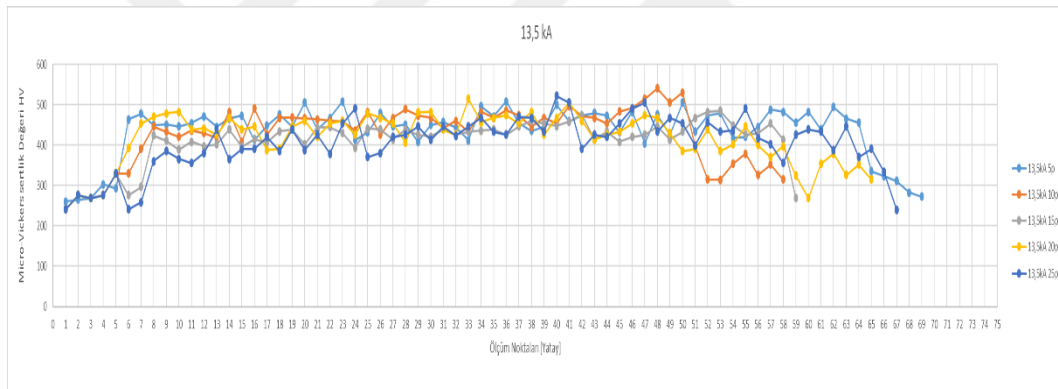
Şekil 7.54. 8,44 kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



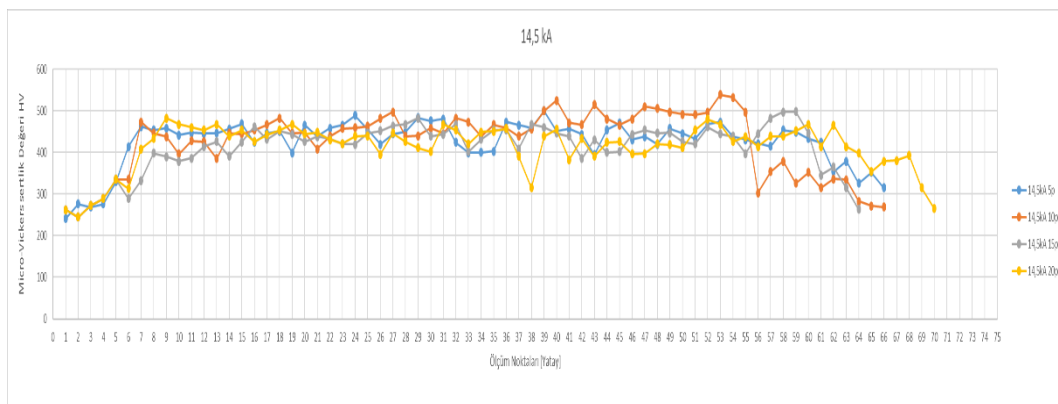
Şekil 7.55. 9,6 kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



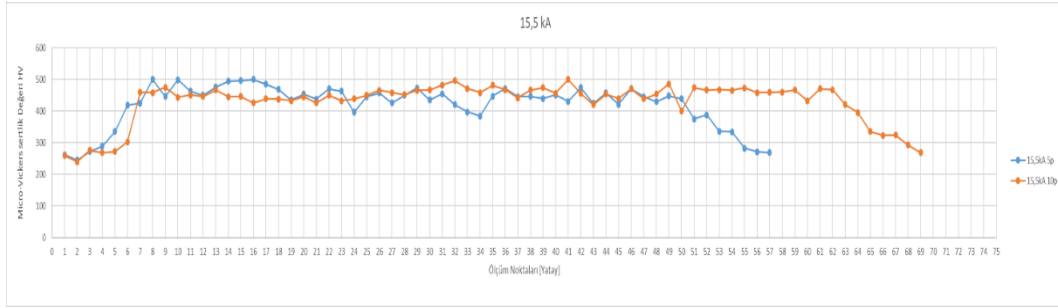
Şekil 7.56. 11,8kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



Şekil 7.57. 13,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



Şekil 7.58. 14,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.



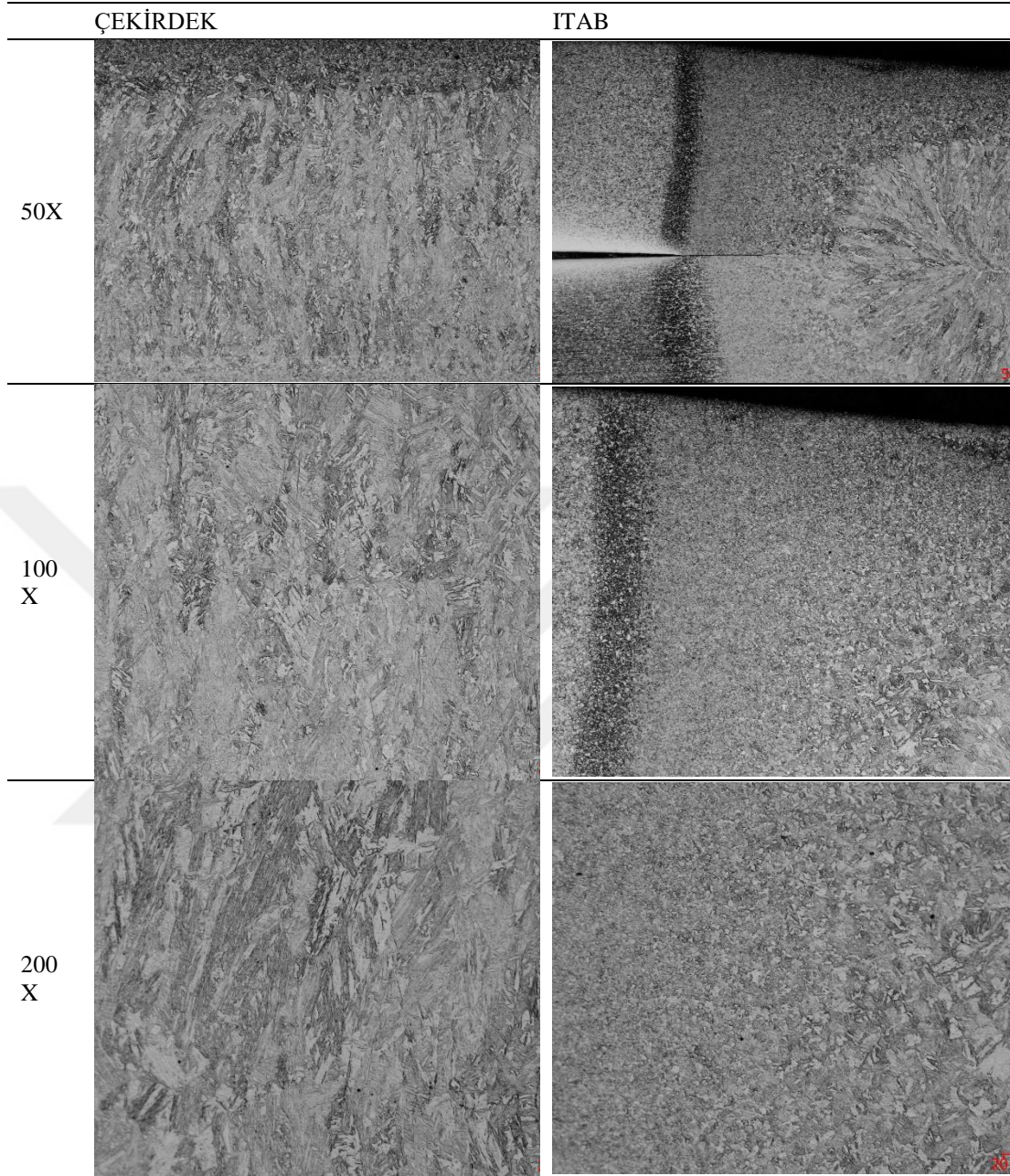
Şekil 7.59. 15,5kA kaynak akım şiddetinde DP800HF çeliğinden, kaynak çekirdeğine ve kaynak çekirdeğinden 1200M çeliğine doğru sertlik geçişi.

7.9. DP800HF-1200M Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi

Kaynak akım şiddeti ve zamanı parametrelerinin değiştirilmesiyle oluşan DP800HF-1200M birleştirmelerindeki ana metal, ITAB ve kaynak çekirdeğinin 50x, 100x ve 200x büyütmelerde çekilen mikroyapı görüntülerinden bazıları Tablo 7.3.'de görülmektedir. 50x, 100x ve 200x büyütmelerde alınan mikroyapı görüntülerinin devamı Ek-1.'de verilmiştir.

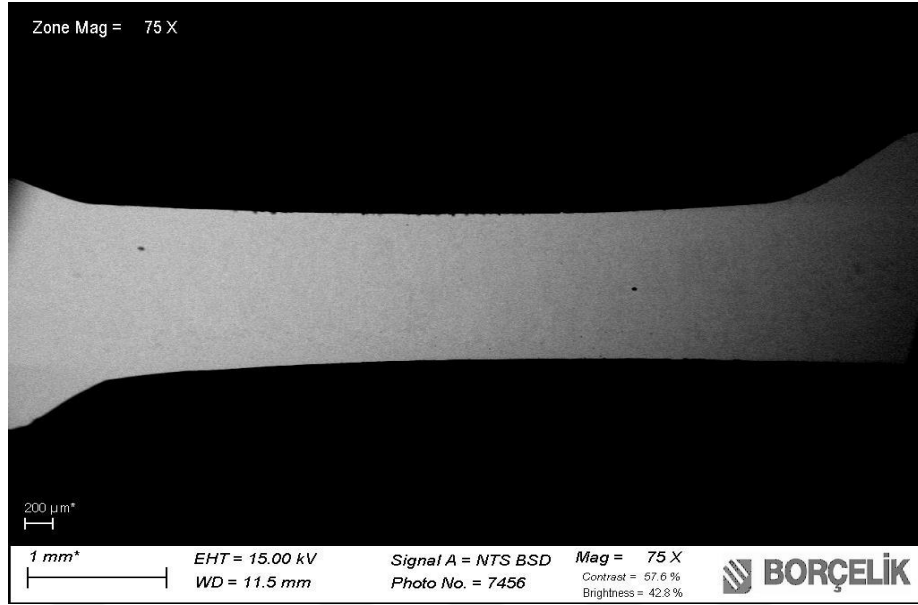
Sıradan DP800 çeliğinde bulunan yüksek orandaki ferrit ve düşük orandaki perlit miktarının üzerine HyperForm (HF) özelliği ile kalıntı östenit ve beynit ilavesiyle mikroyapılarda TRİP800 ile DP800 arasında karakterde olan DP800HF çeliğinden ITAB'a doğru yönelen tanelerin büyüdüğü gözlemlenmiştir. Çekirdek bölgesindeki hızlı soğumanın etkisiyle ve diğer ana metalin de 1200Martenzit olmasıyla beraber çekirdek bölgesindeki iğnemsî yapıları açıklanabilmektedir.

Tablo 7.3. Farklı büyütme ve bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri.

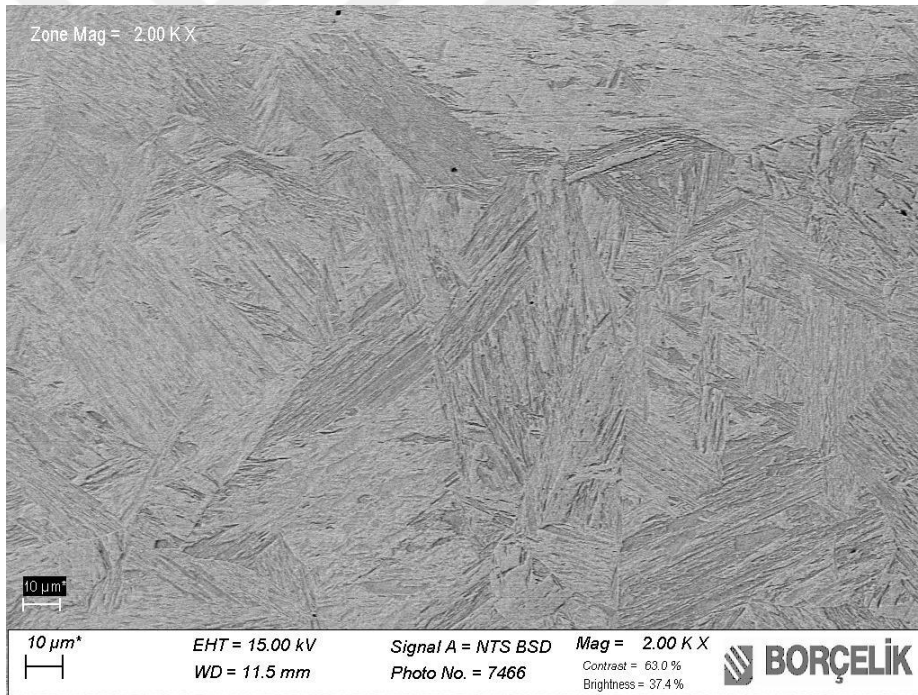


7.10. DP800HF-1200M Çeliklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri

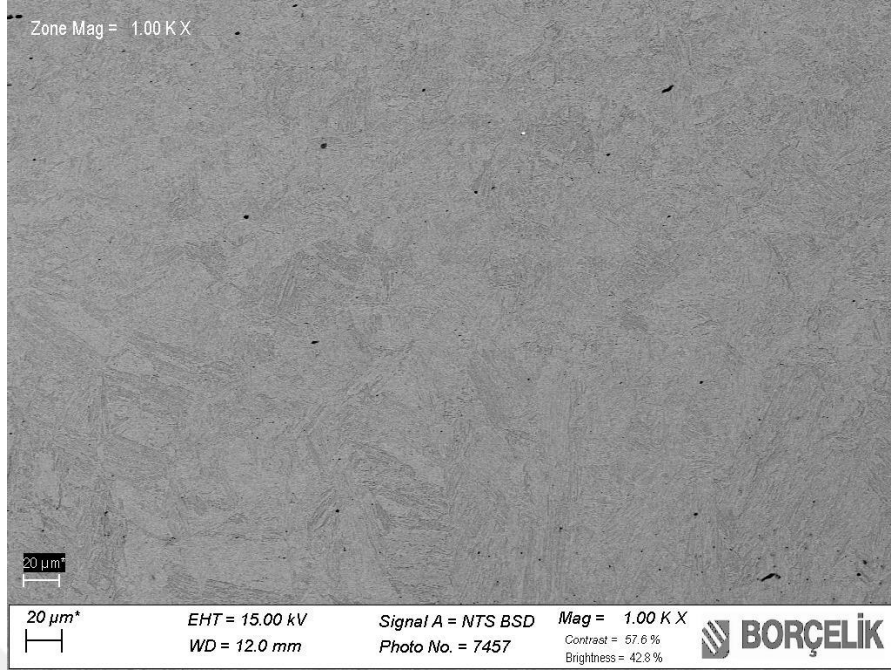
DP800HF-1200M çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerdeki kaynak çekirdeğine ve ITAB'a ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 7.60., Şekil 7.61. ve Şekil 7.62.'de görülmektedir.



Şekil 7.60. DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin SEM görüntüsü.

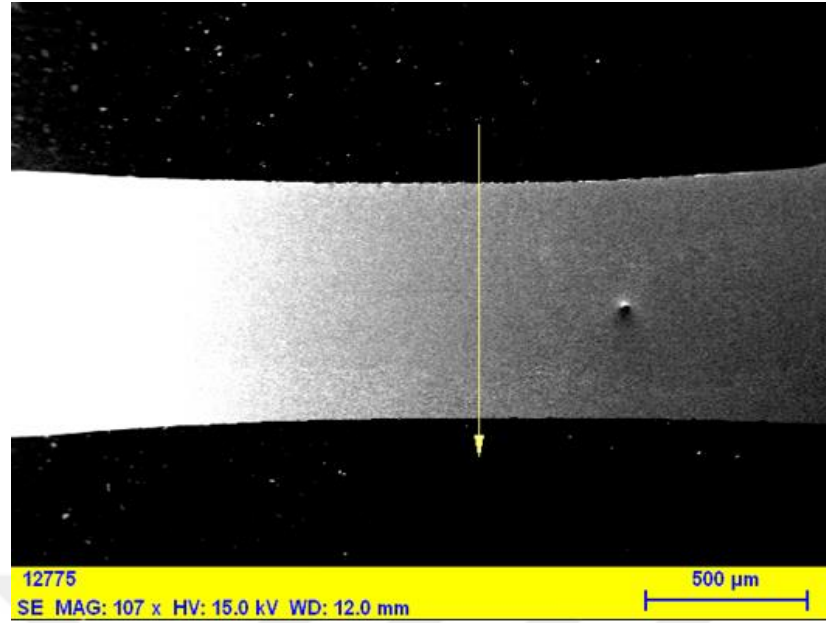


Şekil 7.61. DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinde çekirdek bölgesinin 2000x büyütmedeki SEM görüntüsü.

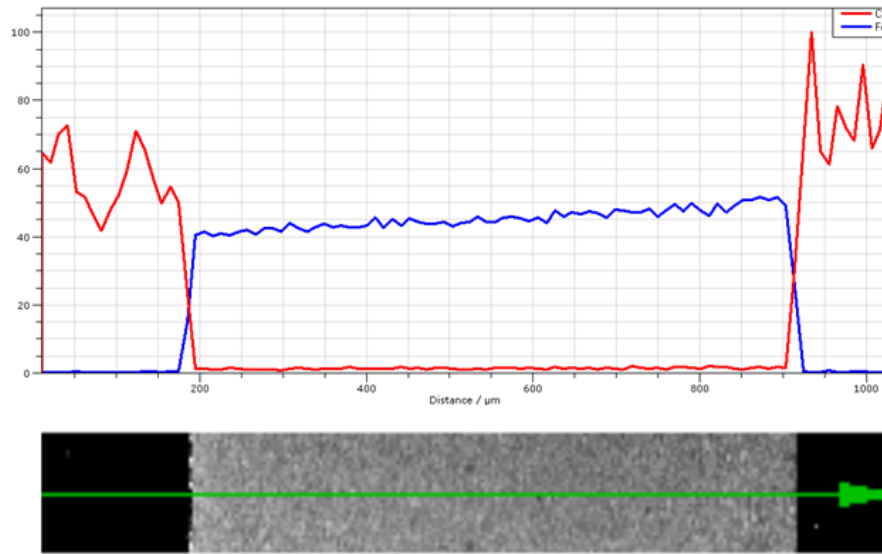


Şekil 7.62. DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerde ITAB bölgesinin 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü.

DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinden alınan numunelere boyuna yani dik biçimde çizgisel EDS analizi uygulandığı Şekil 7.63. ve Şekil 7.64.'de görülmektedir. EDS analizi sonucunda DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerde çekirdek mukavemetinde düşüş, kırılma gibi sorunla yol açabilecek herhangi bir elemente rastlanmamış olması birleştirmenin sağlıklı bir şekilde olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.63. DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu.



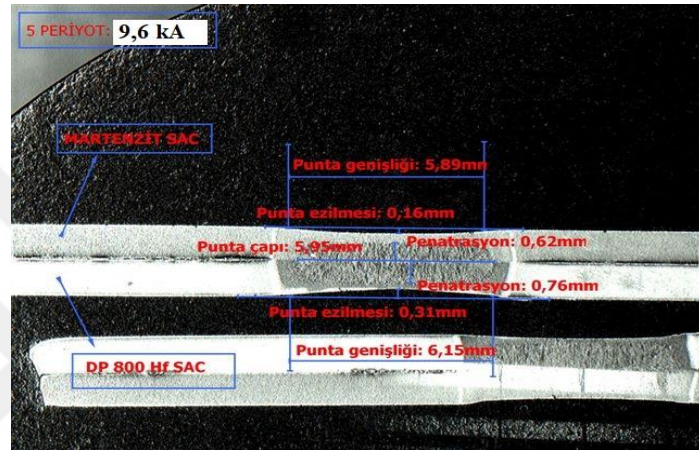
Şekil 7.64. DP800HF-1200M kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz grafiği.

7.11. DP800HF-1200M Kaynaklı Birleştirmelerinin Makroyapı Görüntüleri

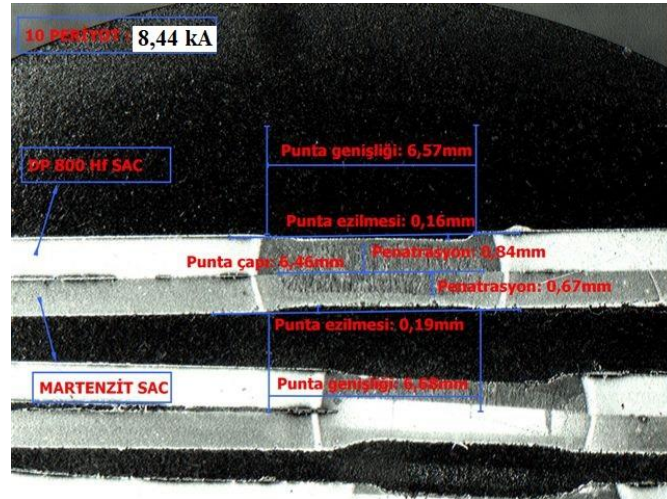
DP800HF-1200M çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerindeki makroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak akım şiddeti ve zamanındaki artışla birlikte çekirdeğin boyutunun da arttığı Şekil 7.65., Şekil 7.66., Şekil 7.67., Şekil 7.68. ve Şekil 7.69.'da görülmektedir. 5 Periyot için 9,6 kA altında kaynak çekirdeği oluşmadığı,

10,15,20,25,30 Periyot kaynak zamanlarında ise kaynak akım şiddetinin artışıyla çekirdek boyutunun büyüdüğü tespit edilmiştir.

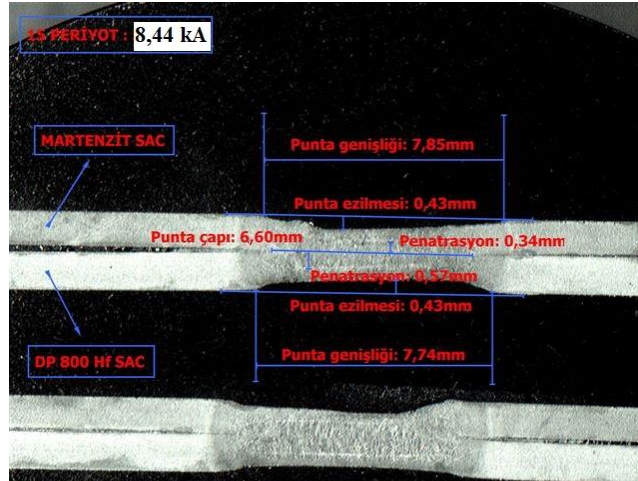
Fıçkirmalar 5 periyot için 11,8 kA sonrasında; 10 ve 15 periyot için 9,6 kA sonrası; 20, 25, 30 periyot kaynak zamanları için ise 8,44 kA sonrasında başlamıştır. Elektrot dalma derinlikliği 5 periyot için olmayıp 10, 15, 20, 25 periyot için 11,8 kA sonrasında; 30 Periyot kaynak zamanı için 9,6 kA sonrasında meydana gelmiştir.



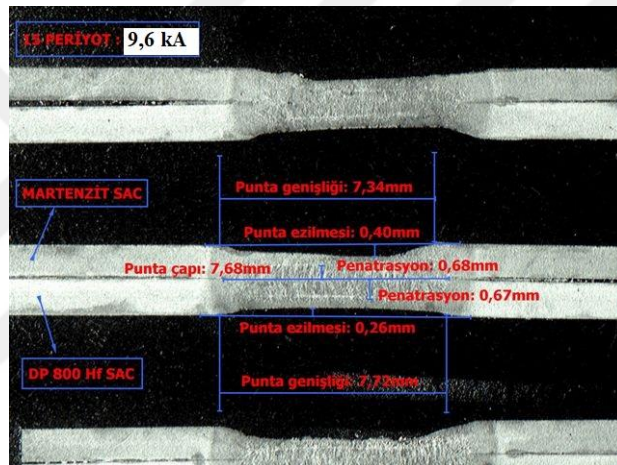
Şekil 7.65. DP800HF-1200M birleştirmelerinde 5 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.



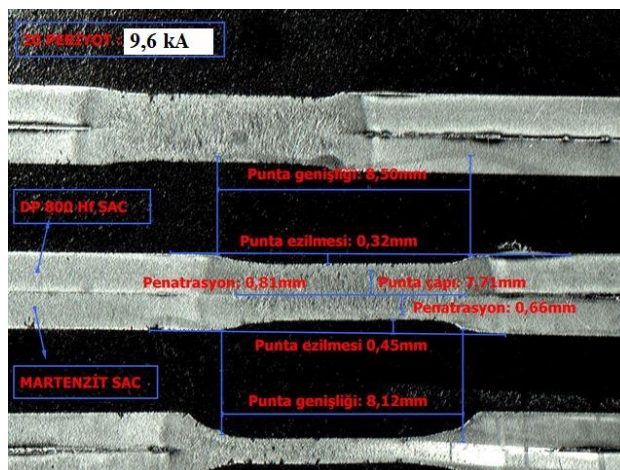
Şekil 7.66. DP800HF-1200M birleştirmelerinde 10 Periyot – 8,44 kA makroyapı görüntüsü.



Şekil 7.67. DP800HF-1200M birleştirmelerinde 15 Periyot – 8,44 kA makroyapı görüntüsü.



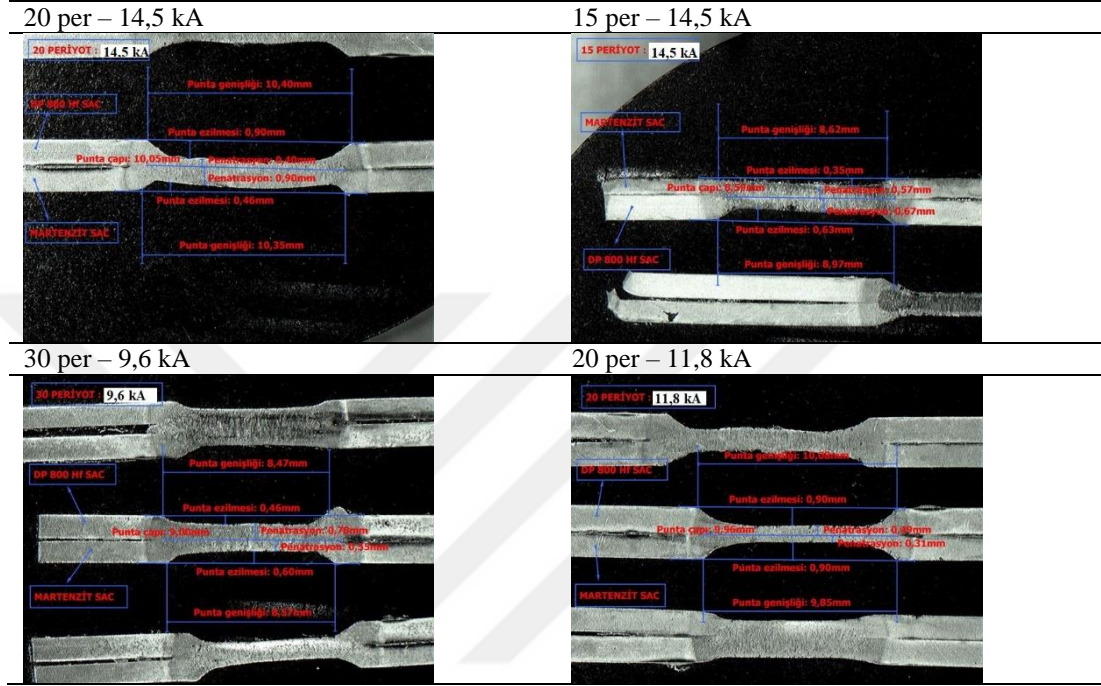
Şekil 7.68. DP800HF-1200M birleştirmelerinde 15 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.



Şekil 7.69. DP800HF-1200M birleştirmelerinde 20 Periyot – 9,6 kA makroyapı görüntüsü.

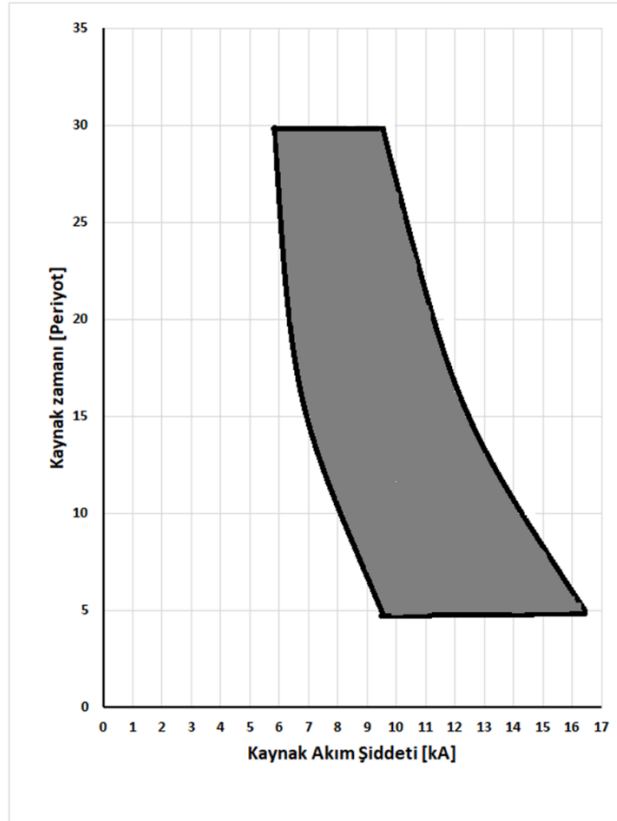
DP800HF-1200M birleştirmelerindeki elektrot dalma derinliğinin çok fazla olduğu ve fişkırmaların meydana geldiği numunelerin makroyapı görüntüleri Tablo 7.4.'te görülmektedir.

Tablo 7.4. DP800HF-1200M fişkırmaların meydana geldiği numunelerin makroyapı görüntüleri.



BÖLÜM 8. DP800HF-1200M BİRLEŞTİRMELERİNİN KAYNAK GRAFIĞI (WELD LOBE)

Kaynak çekirdeğinin boyutları elektrik direnç nokta kaynağındaki kalitenin belirlenmesi için kullanılan en önemli özelliklerdendir. Kaynak akım şiddeti ve zamanı çekirdek boyutlarını etkileyen önemli diğer değişkenlerdir. Diğer değişkenlerin sabit kalması koşuluyla kaynak akım şiddeti ve zamanının kendi aralarında değiştirilerek ulaşılan uygun bağlantıların oluşturduğu alana Weld Lobe yani Kaynak grafiği veya kaynak eğrisi denir. DP800HF-1200M birleştirmeleri için ulaşılan kaynak eğrisi Şekil 8.1.'de görülmektedir.



Şekil 8.1. DP800HF-1200M birleştirmeleri için Kaynak eğrisi (Weld Lobe).

BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

9.1. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında yapılan çalışmada, otomotiv endüstrisinde yan kapı direklerinde ve ön-alt şase bağlantılarında kullanılan DP800 HyperForm çeliğiyle yine otomotiv sektöründe motor traverslerinde kullanılan 1200Martenzit çeliği elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş ve bu birleştirmelerde elektrot baskı kuvveti, tutma ve sıkıştırma zamanları sabit bırakılıp kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değiştirilmiştir. Ön testlerde malzemede kaynak çekirdeğini oluşturan değerden malzemeyi delen değere kadar tüm değerler denenmiş ve uygun parametrelerde incelemeler yapılmıştır. Ön testlerin sonucunda 5-10-15-20-25-30 periyot için 8,44 kA, 9,6 kA, 11,8 Ka, 13,5 kA, 14,5 kA ve 15,5 kA için beş sıralı seri kaynak yapılmıştır. Bunların iki tanesi çekme-makaslama, iki tanesi çekme-sıyırma ve beşinci seri de mikrosertlik, SEM, EDS, mikro ve makroyapı incelemeleri için kullanılmıştır.

Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- DP800HF-1200M birleştirmelerinde en yüksek çekme-makaslama kuvveti 25 Periyot kaynak zamanı 8,44 kA kaynak akım şiddeti değerinde 18000N olarak elde edilmiştir.
- DP800HF-1200M birleştirmelerinde en yüksek çekme-sıyırma kuvveti 10 Periyot kaynak zamanı 11,8 kA kaynak akım şiddeti değerinde 1600N olarak elde edilmiştir. Elde edilen 1600N değerinin maksimum çekme-makaslama değeri olan 18000N'un çok altında olduğu görülmektedir. Bu tür bağlantılar

yapılacağı zaman mukavemet hesabında atlanmaması gereken bir nokta olduğunu belirtmek gerekmektedir.

- Maksimum çekmesiyırma ve çekmemakaslama kuvvetlerine 79mm çekirdek çapında, 11,5mm çekirdek yüksekliğinde, 0,120,19mm çekirdek boyut oranında ve 0,91,3mm elektrot dalma derinliğinde ulaşılmıştır.
- Yüzey görünümü kalitesinin üst düzey istendiği durumlarda 2530 kaynak zamanlarında 8,44 kA, 1520 kaynak zamanlarında 9,6 kA, 510 kaynak zamanında maksimum 11,8 kA kaynak akım şiddeti değeri tercih edilmesi önerilir.
- DP800HF1200M çelik saclarının düşük kaynak zamanı ve akım şiddetlerinde yapılan kaynaklı birleştirmelerde kaynak çekirdeğine iletilen ısı miktarı az olduğundan dolayı çekirdek geometrisinde yani boyutunda azalma meydana gelmiştir. Bu bağlantılarda ulaşılan deney sonuçlarında çekmemakaslama ve çekmesiyırma kuvvetlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu şekilde olan DP800HF1200M çelik saclarının birleştirmelerindeki çekmemakaslama ve çekmesiyırma testlerinde ayrılma tipi kopmalar oluşmuştur.
- Kaynak akım şiddeti ve zamanının artmasının sonucunda çekirdek boyutlarındaki artış gözlemlenmiş olup çekirdek boyutlarındaki artışla çekmemakaslama ve çekmesiyırma kuvvetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Artan kuvvet kaynak noktasındaki daha yüksek miktardaki ergimenin sonucu olduğundan çekmemakaslama ve çekmesiyırma testlerindeki ayrılma tipi de düğmelenme ve sonrasında yırtılma tipi kopma oluşturmuştur.
- Daha yüksek kaynak akım şiddetlerinde ise ısı girdisi yükselmiş ve kaynak noktasındaki ergime miktarını arttırmış olup, ergiyen metalin elektrot baskı kuvvetiyle beraberinde her iki yüzeyden de elektrot dalma derinliklerindeki artışa sebep olmuştur. Bunun sonucunda renk değişimleri, elektrotun yüzeye yapışması, fişkirmalar ve sonrasında malzemenin delinmesi durumu meydana gelmiştir. Böylece azalan kaynak çekirdeğinin kesitinin sonucu olarak çekmemakaslama ve çekmesiyırma kuvvetlerinde hızla düşüş oluşmuştur.
- DP800HF1200M birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin 0,1mm daha kalın olan DP800HF kesitinde daha çok olduğunu, yüksek kaynak zamanları ve

akım şiddetleri kullanılan deneylerde ise kaynak çekirdeğinin 1mm kalınlığa sahip 1200M çeliğinde olduğu tespit edilmiştir.

- Mikrosertlik ölçümlerinin sonucunda DP800HF1200M birleştirmelerinin ana metallere çekirdeğin merkezine doğru ilerledikçe sertliğin giderek arttığı gözlemlenmiştir. Kaynak çekirdeği merkezinde yaklaşık 550HV sertlik değerine ulaşılmış olup bu değer ana metallere sertlik değerlerinin yaklaşık iki katı olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçlar doğrultusunda artan sertlik değeri çekirdek bölgesindeki hızlı ısınıp soğumadan dolayı oluştuğu ve esas metallere birinin 1200Martenzit çeliği olması nedeniyle çekirdekte yüksek miktarda gözlemlenen martenzitik yapıdan dolayıdır.
- 1mm ve 1,1mm kalınlığa sahip 1200M ve DP800HF çeliklerinin kaynak bölgesinde ve kaynak çekirdeklerinde yapılan SEM ve EDS deneyleri sonucunda kaynak ve ITAB bölgesinde mukavemeti olumsuz yönde etkileyecek yabancı elementler olmadığı gözlemlenmiştir.
- DP800HF1200M birleştirmelerinde ITAB bölgesindeki tane büyümeleri olduğunu ve bu tane büyümelerinin ise tane sınırlarının yok olması sonucunda birbirlerini yutma biçiminde meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Kaynak parametrelerinin her kombinasyonu denenerak yapılan testlerin sonucunda DP800HyperForm ve 1200Martenzit çeliğinin elektrik direnç nokta kaynağındaki birleştirmelerinde elde edilmiş tüm sonuçların optimize edilmiş haline Weld Lobe, kaynak grafiğine ulaşılmıştır.

9.2. Öneriler

- Ana metallere farklı kalınlığa sahip olduğundan dolayı elektrot baskı kuvveti ana metallere kalınlığına göre değiştirilip tüm deneyler tekrarlanabilir.
- Aynı kalınlığa sahip malzemeler kullanılarak düşük bir elektrot baskı kuvvetiyle deneyler tekrarlanabilir.
- Elektrot çapı ayarı 0,1mm daha ince olan 1200Martenzit çeliğine göre biraz daha kalınlaştırılıp akıma karşı direncin artırılmasıyla, 1,1mm kalınlığa sahip

DP800HyperForm çeliğinde ise sabit olmak kaydıyla ısıl dengenin yakalanması sonucu simetrik bir kaynak çekirdeği oluşturulabilir.

- Kaynaklı birleştirmelerin yorulma deneyi incelenebilir.
- Birleştirmelere dış ortam yağmur gibi korozyon testleri uygulanıp incelenebilir.
- Kaynaklı birleştirmeler yorulma ve burulma deneyilerine tabii tutularak daha sonuçları inceleyebilir.
- Kaynaklı birleştirmeler çentik darbe testi ile incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf, Erişim Tarihi: 08.10.2017.
- [2] 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.
- [3] Ertaç, A.H., Fatigue Behaviour Of Spot Welds, Graduate Program in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, Doktora Tezi, 120 s., 2004.
- [4] Şık, A., Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağından gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [5] 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.
- [6] 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: 868873, 2011.
- [7] 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.
- [8] Gül, Ü., 1200m çeliğinin (cmt) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, 2017.
- [9] Onar, V., Trip çelikler ile mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, SAÜ, 2017.
- [10] 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.

- [11] 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.
- [12] Aslanlar, S., Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [13] 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.
- [14] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, *Mühendis ve Makina*, Cilt:50, Sayı:596, 2009.
- [15] Erdem, V.E., Arısoy, C.F. Otomotiv Endüstrisinde Çelikten Vazgeçilebilir Mi? *Metal Dünyası*, Sayı.125, sy.72-81, 2003.
- [16] Toros S., Öztürk, F., Otomobillerde Alüminyum ve Magnezyum Alaşımlarının Yeri ve Şekillendirilebilme Kabiliyetlerinin İncelenmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa, 2007
- [17] 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.
- [18] <http://www.metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/47/gelistirilmis-yuksekmukavemetli-otomotiv-celik-kaliteleri.html>, Erişim Tarihi: 16.10.2017.
- [19] Özer, A., Çeliklere uygulanan TRIP işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, *TUBAV Bilim Dergisi*, Cilt:2, Sayı:3, Sayfa:291-301, 2009.
- [20] 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.
- [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 Mikrpyapının Mekanik Özelliklere Etkisi, 18th Uluslar arası Metalurji & Malzemeler Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 1, İstanbul, 942 – 947, 2016.
- [23] <http://slideplayer.biz.tr/slide/2310693/>, Erişim Tarihi: 16.10.2017.

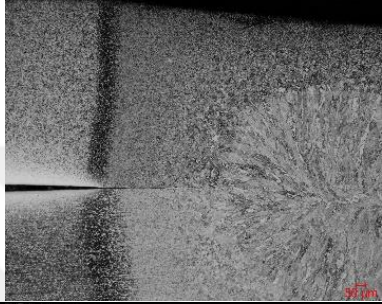
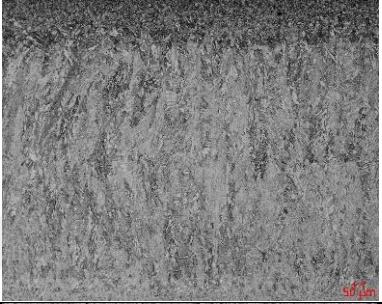
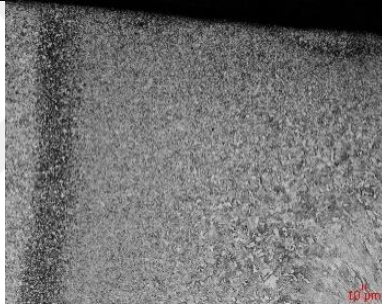

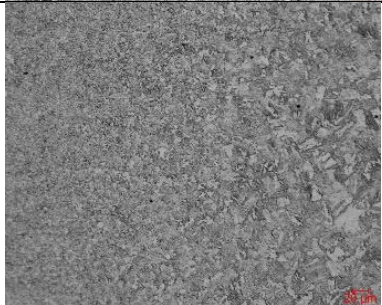

- [24] Varol F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [25] Fonstein, N. (2015). Martensitic Sheet Steels. In *Advanced High Strength Sheet Steels* (pp. 259–274). Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-31919165-2_7.
- [26] V. Savic, L. G. Hector Jr, and J. R. Fekete, “Digital Image Correlation Study of Plastic Deformation and Fracture in Fully Martensitic Steels,” *Exp. Mech.*, vol. 50, no. 1, pp. 99–110, 2010.
- [27] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, March 2005, Erişim Tarihi: 06.10.2016.
- [28] H. Mohrbacher, “Martensitic automotive steel sheet Fundamentals and metallurgical optimization strategies,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 1063, pp. 130–142, 2015.
- [29] AWS, *Welding handbook, Volume 3, Welding processes: Resistance welding and solid-state welding and other joining processes*, 7.Ed, Miami, 1980.
- [30] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14273, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels, 2007.
- [31] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.
- [32] 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.
- [33] Pollard, B., Spot Welding Characteristics of HSLA Steel for Automotive Applications, *AWS Welding Research Supplement August 1974:343-350*, 1974.
- [34] 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.
- [35] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14273, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels, 2007.

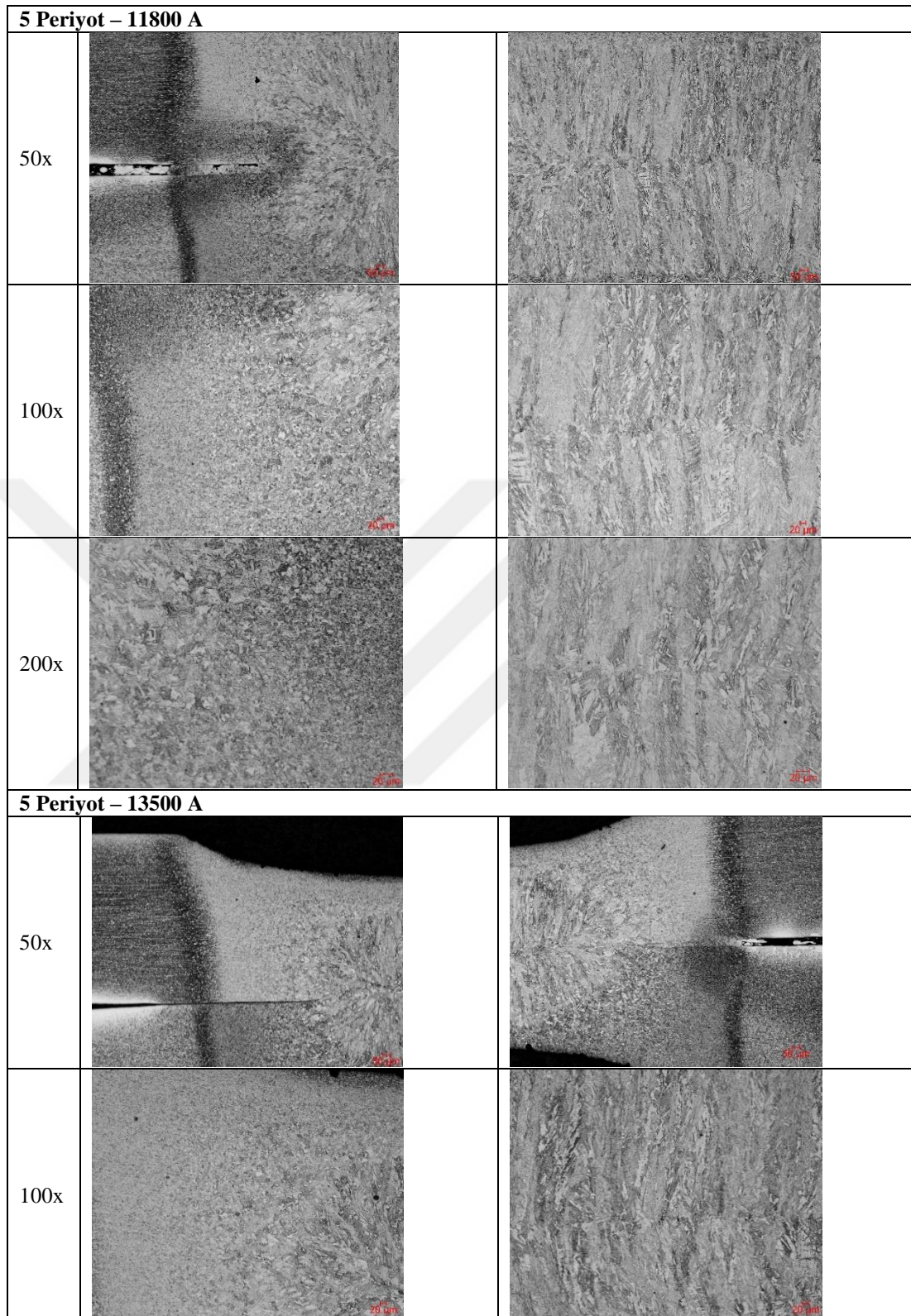
- [36] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.

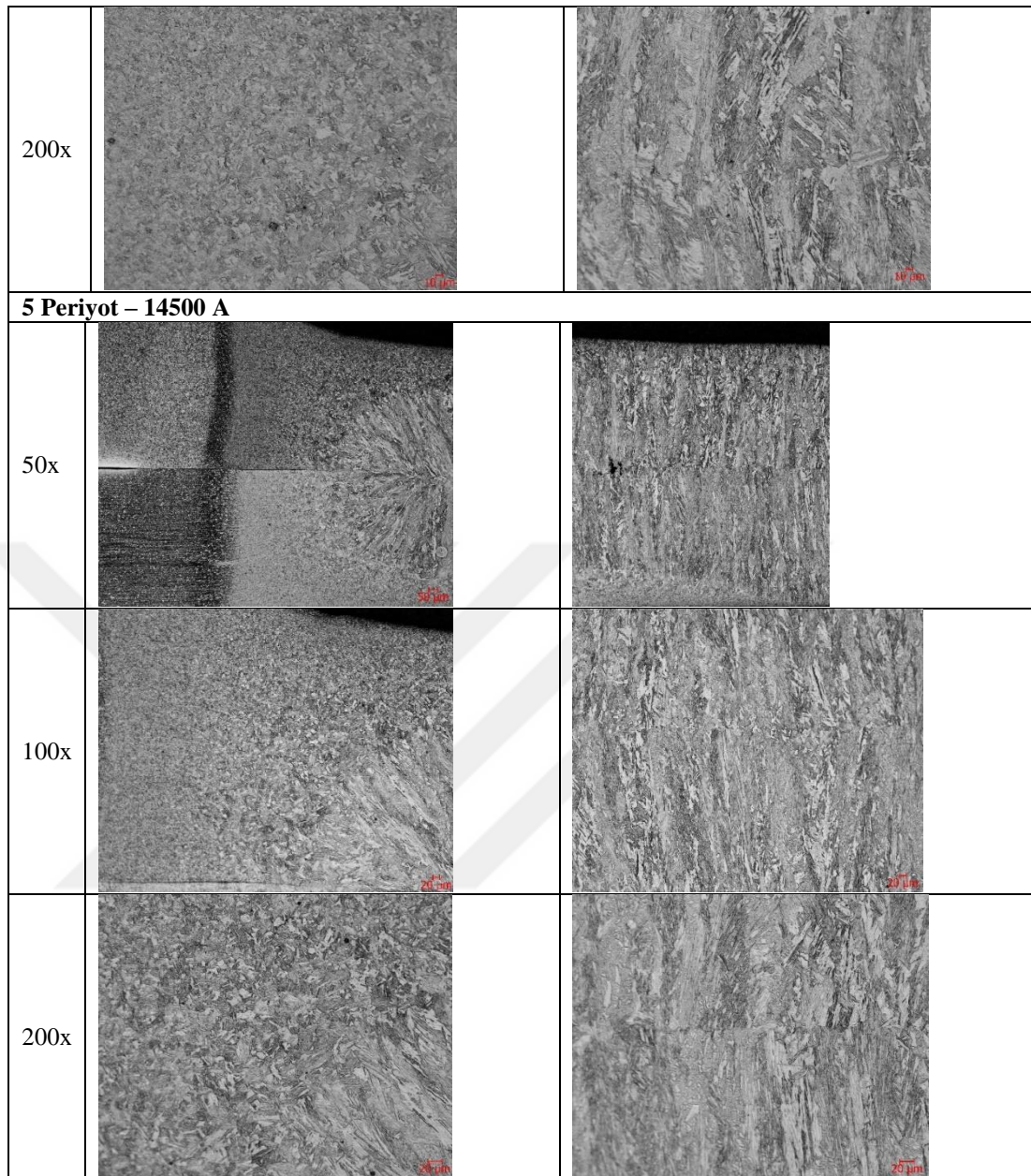


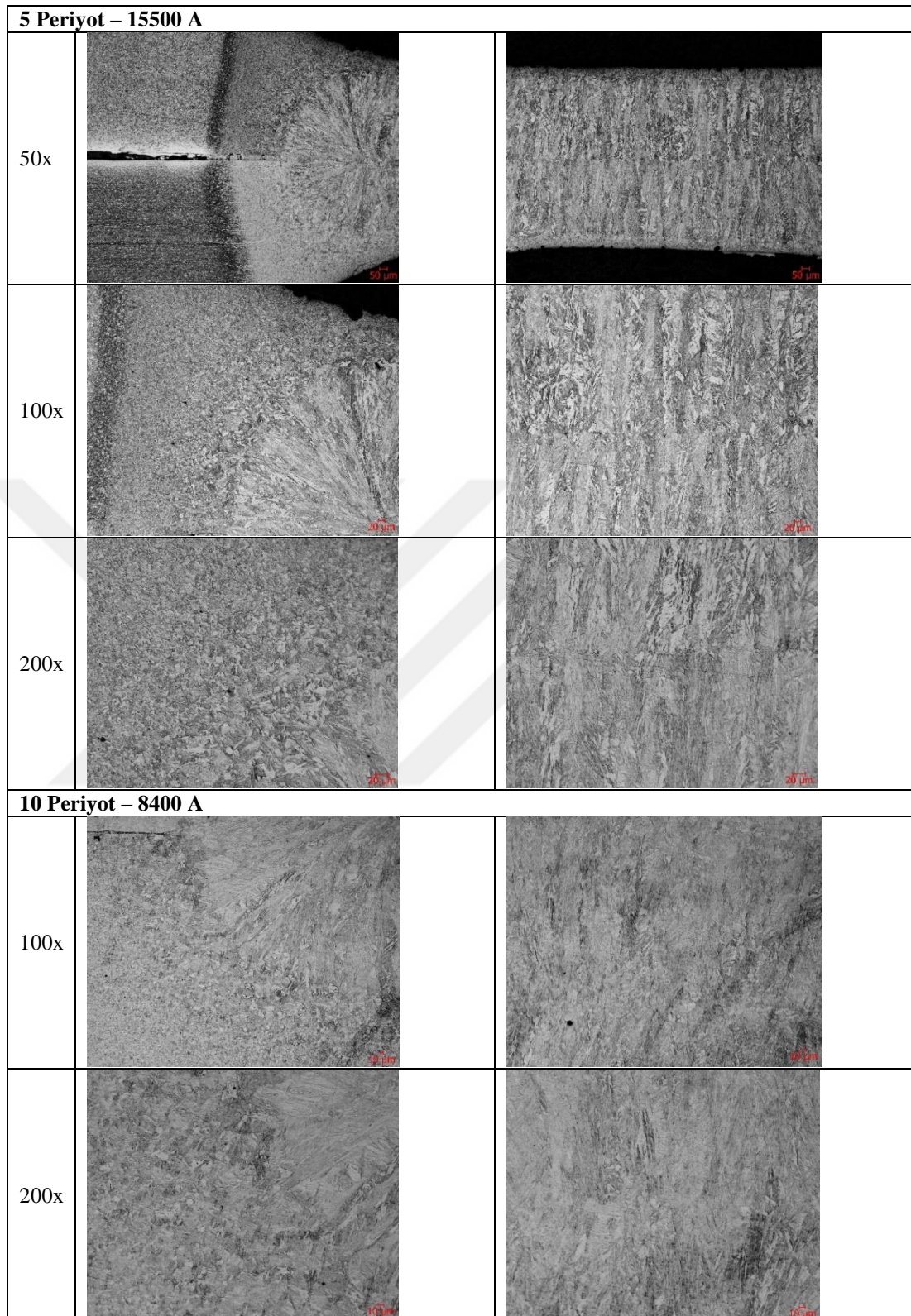
EKLER

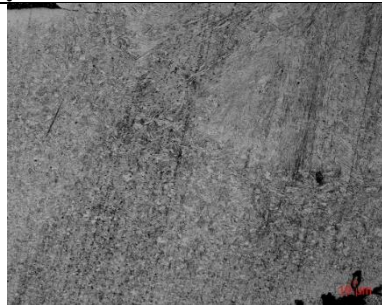


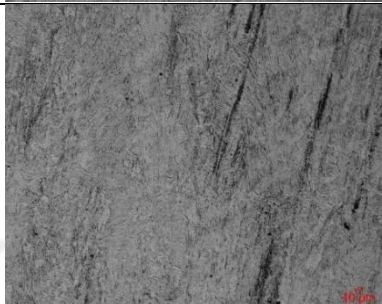
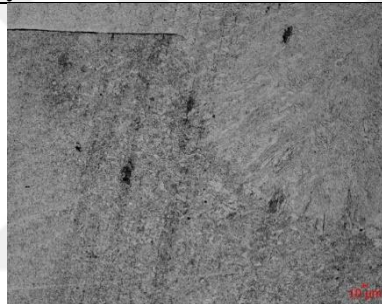


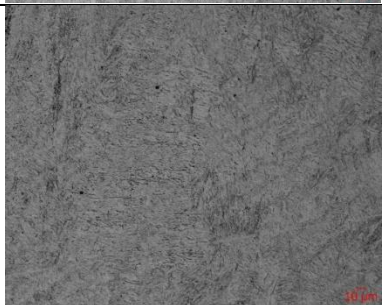
EK 1 DP800HF-1200M birleştirmelerinin mikroyapı görüntüleri

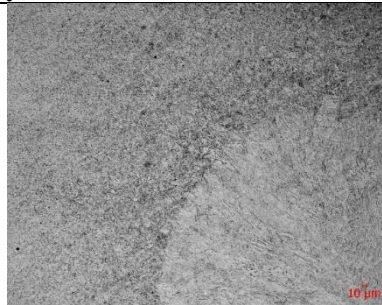

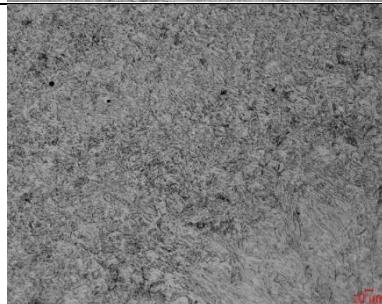





5 Periyot – 9600 A		
Büyütme	ITAB	Çekirdek
50x		
100x		
200x		

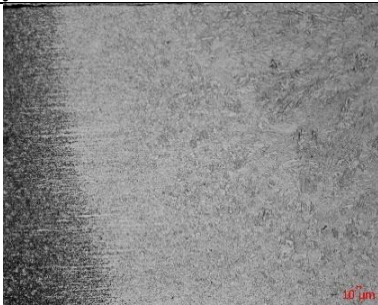

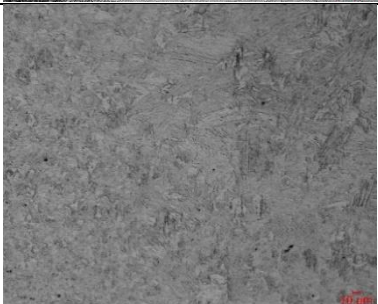

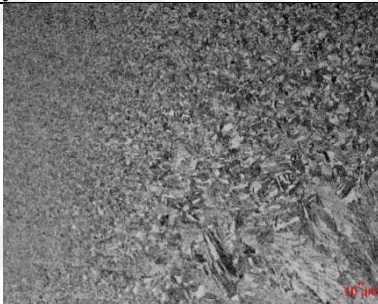

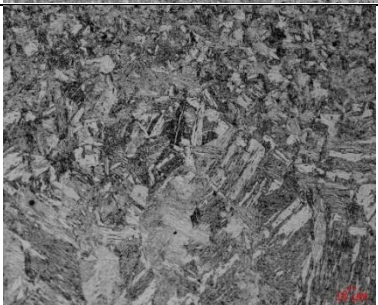



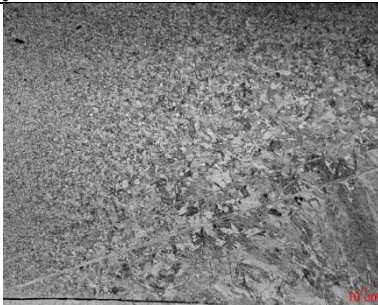
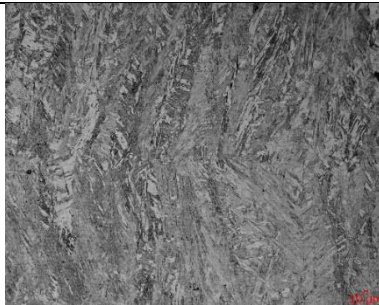
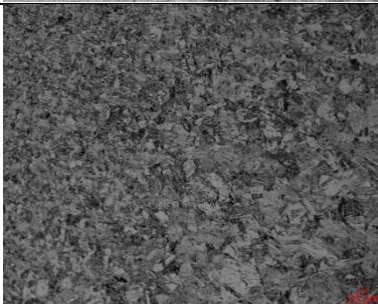

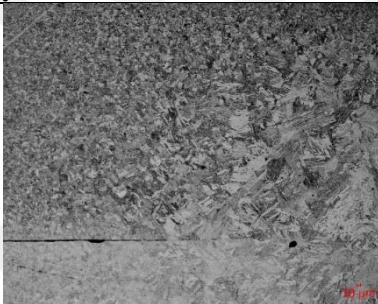
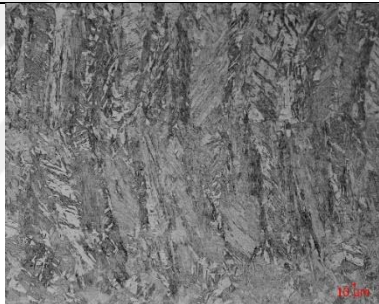
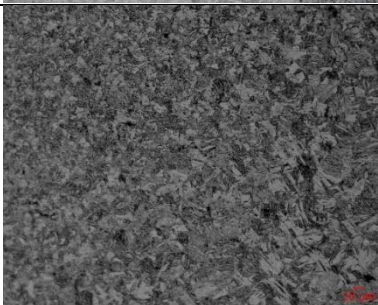



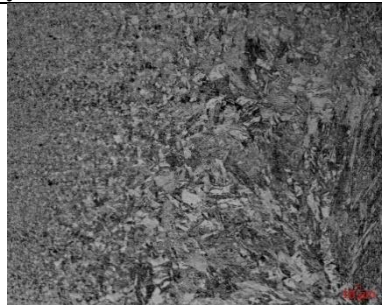
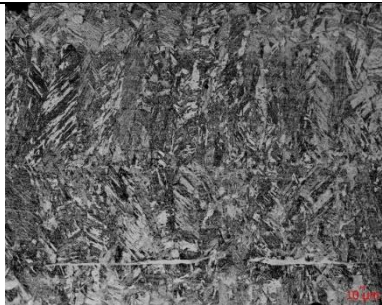
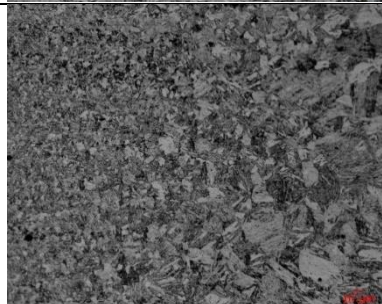

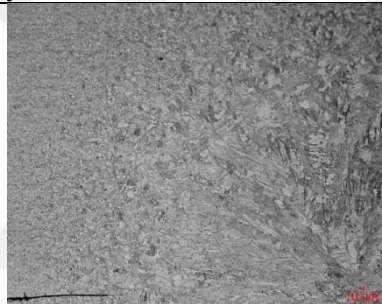
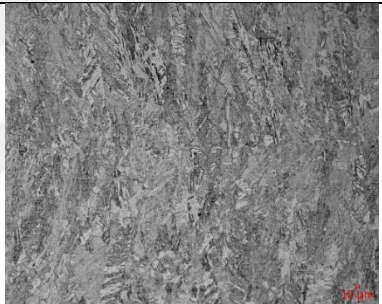




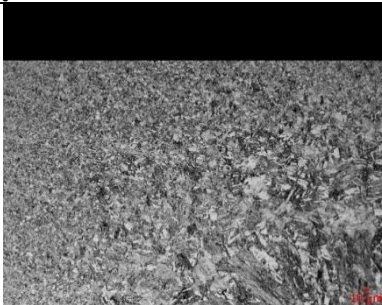
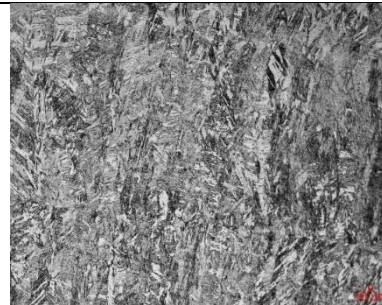
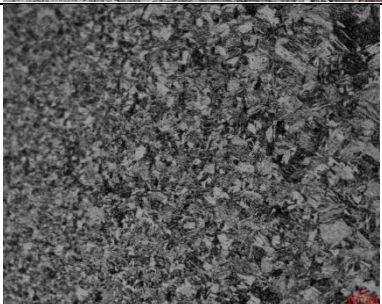







10 Periyot – 9600 A			
100x			
200x			
10 Periyot – 11800 A			
100x			
200x			

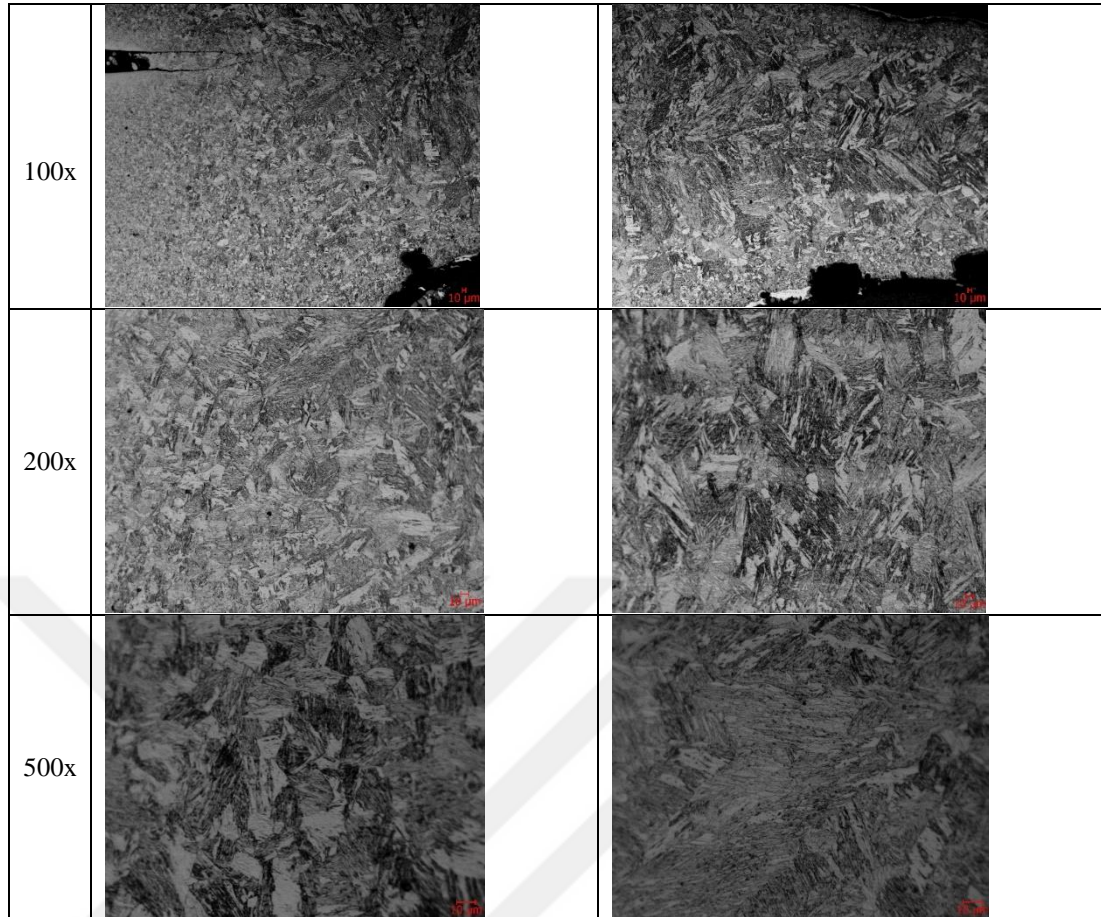
10 Periyot – 13500 A			
100x			
200x			
10 Periyot – 14500 A			
100x			
200x			

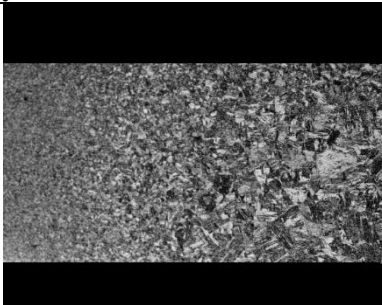
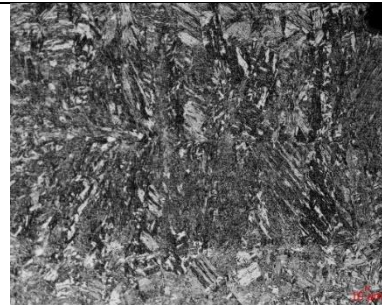





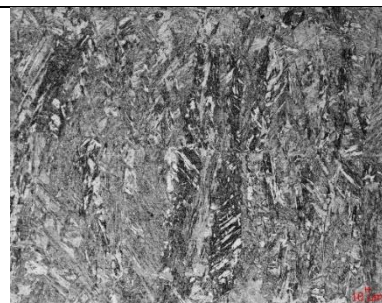
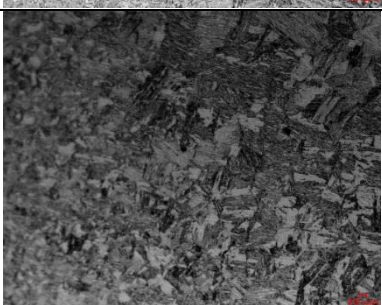

10 Periyot – 15500 A			
100x			
200x			
15 Periyot – 8440 A			
100x			
200x			


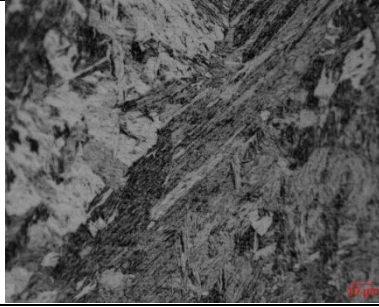


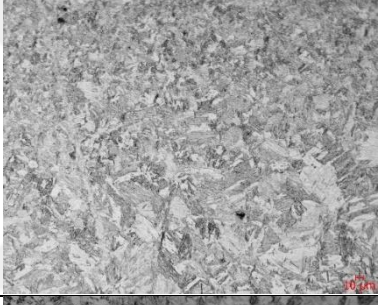

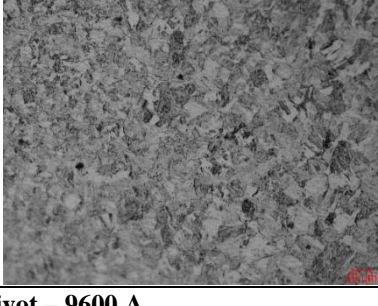

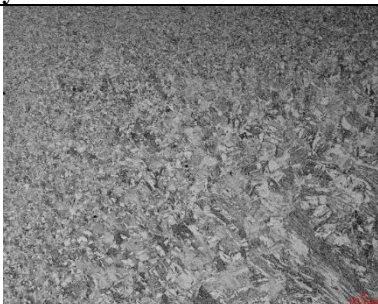
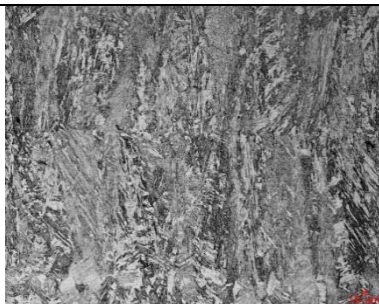
15 Periyot – 9600 A			
100x			
200x			
15 Periyot – 11800 A			
100x			
200x			

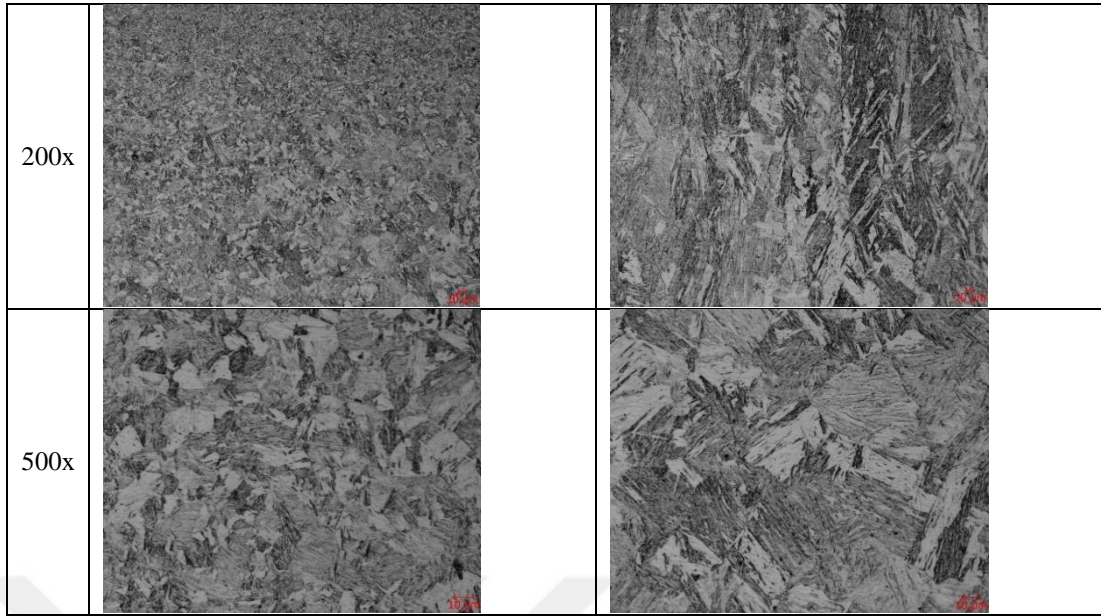
15 Periyot – 13500 A			
100x			
200x			
15 Periyot – 14500 A			
100x			
200x			

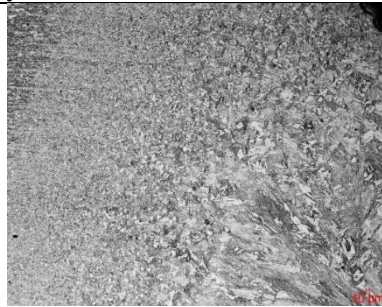
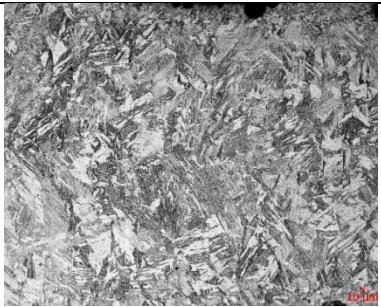
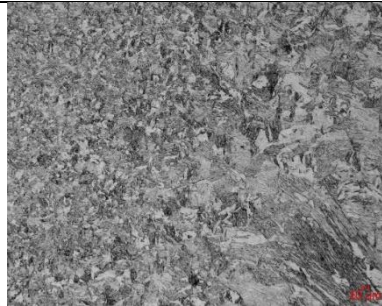

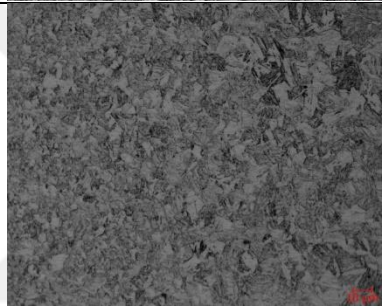


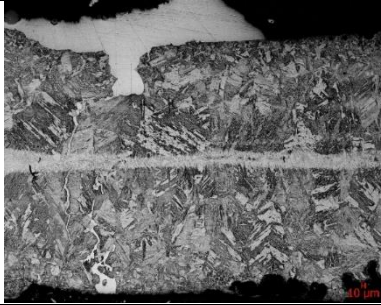
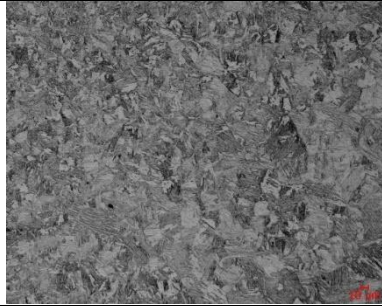
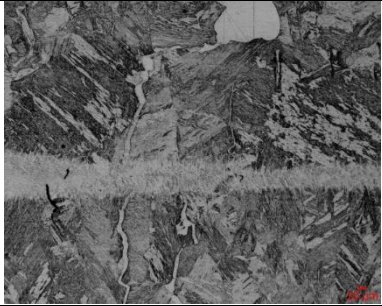
20 Periyot – 8400 A	
100x	 
200x	 
20 Periyot – 9600 A	
100x	 
200x	 
500x	 
20 Periyot – 11800 A	



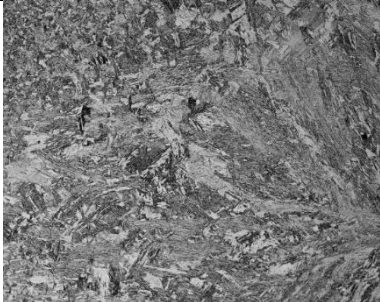

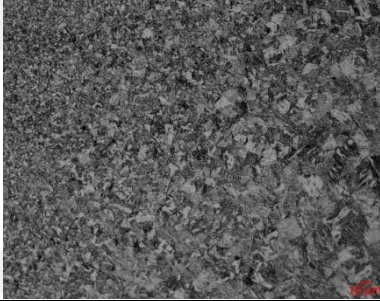

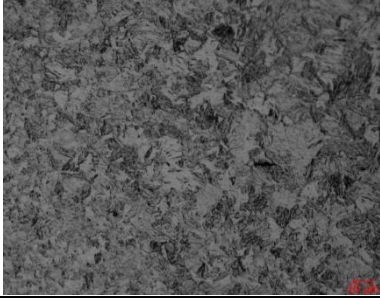
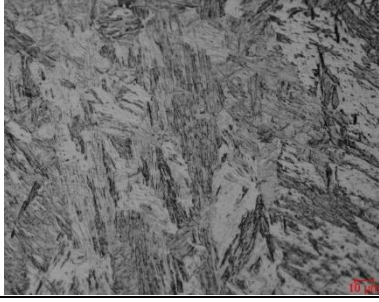

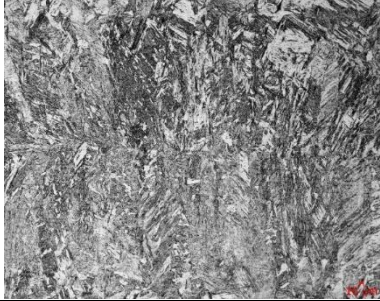


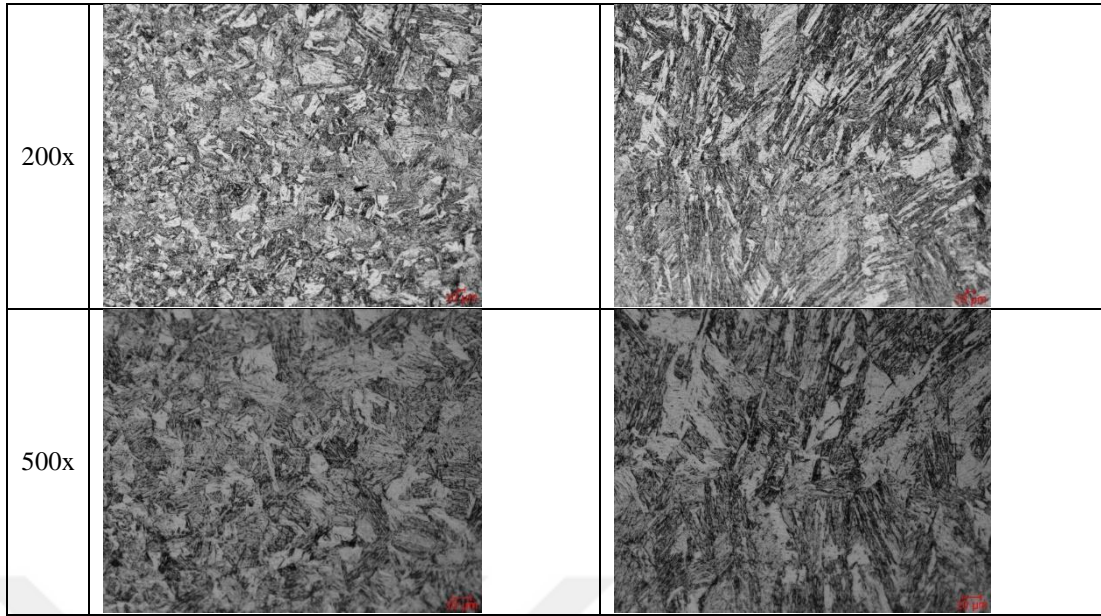
20 Periyot – 13500 A			
100x			
200x			
500x			
20 Periyot – 14500 A			
100x			
200x			

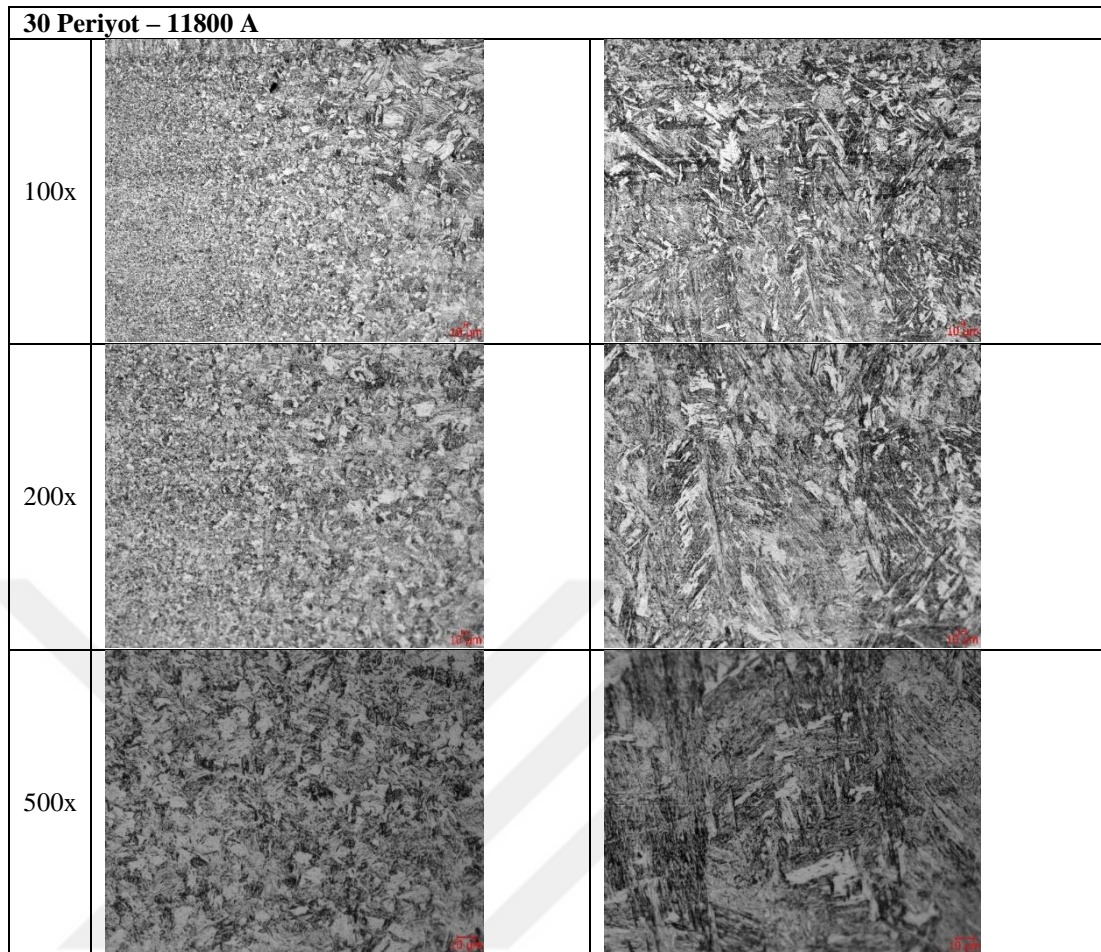
500x				
25 Periyot – 8400 A				
100x				
200x				
500x				
25 Periyot – 9600 A				
100x				



25 Periyot – 11800 A			
100x			
200x			
500x			
25 Periyot – 13500 A			
100x			
200x			

500x				
30 Periyot – 8400 A				
100x				
200x				
500x				
30 Periyot – 9600 A				
100x				





ÖZGEÇMİŞ

Melih KEKİK, 23.09.1992'de Bursa'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamlamıştır. Lise eğitimini 2009'da Bursa Süleyman Çelebi Lisesi'nde tamamlamıştır. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Metal Öğretmenliği bölümüne girmiş ve 2015 yılında mezun olmuştur. 2015 yılında başladığı İmalat Mühendisliği ve Metalurji-Malzeme Mühendisliği yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.