

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TWIP ÇELİK SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA
KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet BULCA

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TWIP ÇELİK SACLARININ ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA
KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet BULCA

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Nuri AKKAŞ	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR	BAŞARILI

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 bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet BULCA

12.06.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübe, bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, tezim boyunca beni her konuda en ince ayrıntısına kadar titiz bir şekilde bilgilendirip yönlendiren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım, Melih KEKİK'e 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 ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ ÇELİKLER	4
2.1. Otomotiv sektöründeki çelik türleri	5
2.1.1. Martenzitik Çelikler (MART)	5
2.1.2.Çift Fazlı Çelikler (DP)	6
2.1.3. IF Çelikleri.....	7
2.1.4. BH Çelikleri.....	7
2.1.5. Kompleks Çelikler (CP)	8
2.1.5. Mikro Alaşımli Çelikler (HSLA)	8
2.1.6. TRIP Çelikleri	9
2.1.7. Yüksek Manganlı Çelikler (TWIP)	9
BÖLÜM 3.	
TWIP ÇELİKLERİ	10

BÖLÜM 4.

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	13
------------------------------------	----

BÖLÜM 5.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....	14
5.1. Genel	14
5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	14
5.3. Kullanılan Malzemelerin Boyut Özellikleri ve Deney Hazırlık Süreci	15
5.4. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Makinesi	15
5.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları	17
5.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	17
5.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması	18
5.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri.....	19
5.9. Çekirdek Boyut Ölçümleri Ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi	21
5.10. Optik Mikroskop Görüntülerinin Çekilmesi.....	21
5.11. Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ile Yapılan Çalışmalar	22
5.12. Sertlik Değeri Ölçümleri.....	23

BÖLÜM 6.

DENEYSSEL SONUÇLAR.....	25
6.1. Genel	25
6.2. TWIP 1000 Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Dayanımına Etkisi.....	25
6.2.1. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi	26
6.2.2. Kaynak zamanının TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi	28
6.2.3. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi	29
6.2.4. Kaynak zamanının TWIP1000 bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi	29

6.3. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdek Boyutlarına Etkisi.....	30
6.3.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek yüksekliğine etkisi.....	31
6.3.2. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekirdek boyut oranına etkisi	33
6.4. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliği ve Genişliğine Etkisi	34
6.4.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi	34
6.5. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi	36
6.5.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.....	36
6.6. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Kuvvetine Etkisi	37
6.6.1. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında çekirdek çapının çekme-makaslama kuvvetine etkisi.....	37
6.6.2. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama kuvvetine etkisi	39
6.6.3. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-makaslama kuvvetine etkisi	40
6.6.4. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek çapının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi.....	42
6.6.5. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi.....	43

6.6.6. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi.....	45
6.7. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Kaynak Parametrelerinin Sertlik Değerine Etkisi	46
6.7.1. Kaynak parametrelerinin TWIP1000 birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi.....	47
6.7.2. Kaynak parametrelerinin TWIP1000 birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi.....	50
6.8. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi	51
6.9. TWIP1000 Çeliklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri	52
6.10. TWIP1000 Kaynaklı Birleştirmelerinin Makroyapı Görüntüleri.....	54
BÖLÜM 7.	
TWIP1000 BİRLEŞTİRMELERİNİN KAYNAK GRAFİĞİ (WELD LOBE)	58
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	59
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

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 darbe anında koruma oranları.....	4
Şekil 3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan saclar	11
Şekil 3.2. TWIP Çeliğinin araç üzerindeki kullanım yerleri	12
Şekil 5.2. Çekme-Sıyırma deney numunesi örneği	15
Şekil 5.3. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi.	16
Şekil 5.4. Dengensha marka akımölçer.	16
Şekil 5.5. Elektrotların teknik boyut gösterimi.	17
Şekil 5.6. Elektrot kuvveti ölçüm cihazı.	18
Şekil 5.7. Elektrik direnç nokta kaynak parametreleri.....	19
Şekil 5.8. Deneyleerde kullanılan 100 tonluk Instron çekme makinesi.	20
Şekil 5.9. Çekirdek boyut ölçümlerinin gerçekleştirildiği optik mikroskop.	21
Şekil 5.9. Mikroyapı görüntülerinde kullanılan optik mikroskop.	22
Şekil 5.10. SEM ölçümünde kullanılan Zeiss EVO 50.....	23
Şekil 5.11. Seri Mikrosertlik ölçümlerde kullanılan EmcoTest Cihazı.....	24
Şekil 6.1. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.	27
Şekil 6.2. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.	28
Şekil 6.3. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.	29
Şekil 6.4. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.	30
Şekil 6.5. TWIP1000 birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.	31
Şekil 6.6. TWIP1000 birleştirmelerinde Kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi. .	31
Şekil 6.7. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.	32

Şekil 6.8. Kaynak zamanının TWIP1000 çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi...	32
Şekil 6.9. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.	33
Şekil 6.10. Kaynak zamanının TWIP1000 çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.	33
Şekil 6.11. Kaynak zamanının TWIP1000 birleştirmelerindeki dalma derinliğine etkisi.	35
Şekil 6.12. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki dalma derinliğine etkisi.	35
Şekil 6.13. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.	36
Şekil 6.14. Kaynak zamanının TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.	37
Şekil 6.15. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	38
Şekil 6.16. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	38
Şekil 6.17. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	39
Şekil 6.18. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	40
Şekil 6.19. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	41
Şekil 6.20. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	41
Şekil 6.21. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	42
Şekil 6.22. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	43
Şekil 6.23. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	44

Şekil 6.24. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	44
Şekil 6.25. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).	45
Şekil 6.26. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).	46
Şekil 6.27. TWIP1000 birleştirmelerindeki ölçüm yönü.	47
Şekil 6.28. 10 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	48
Şekil 6.29. 15 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	48
Şekil 6.30. 20 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	48
Şekil 6.31. 25 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	49
Şekil 6.32. 30 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	49
Şekil 6.33. 6,33 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	50
Şekil 6.34. 7,4 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	50
Şekil 6.35. 8,3 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	50
Şekil 6.36. 9,79kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	51
Şekil 6.37. 12 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	51
Şekil 6.38. 13,16 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.....	51
Şekil 6.39. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinde ITAB bölgesinin 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü.	53
Şekil 6.40. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu. .	54

Şekil 6.41. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz grafiği.....	54
Şekil 6.42. TWIP1000 birleştirmelerinde 10 Periyot – 8,3 kA makroyapı görüntüsü.....	55
Şekil 6.43. TWIP1000 birleştirmelerinde 15 Periyot – 6,33 kA makroyapı görüntüsü.....	55
Şekil 6.44. TWIP1000 birleştirmelerinde 20 Periyot – 6,33 kA makroyapı görüntüsü.....	55
Şekil 6.45. TWIP1000 birleştirmelerinde 20 Periyot – 7,4 kA makroyapı görüntüsü.....	56
Şekil 6.46. TWIP1000 birleştirmelerinde 10 Periyot – 7,4 kA makroyapı görüntüsü.....	56
Şekil 7.1. TWIP1000 birleştirmeleri için Weld Lobe	58

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1. TWIP1000 Çeliğinin kimyasal bileşimi	14
Tablo 5.3. Kullanılan elektotların kimyasal bileşimi ve özellikleri	17
Tablo 5.4. Deneyler sonucu oluşan kopma türleri	20
Tablo 6.1. Kaynaklı birleştirmeler için hazırlanan numune sayıları	26
Tablo 6.2. Farklı büyütme ve bölgelerden alınmış mikroyapı görüntüleri.	52
Tablo 6.3. TWIP1000 fişkirmaların meydana geldiği numunelerin makroyapı görüntüleri.	57

TWIP ÇELİK SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe çok noktada kullanılan TWIP çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleriyle ulaşılan optimum mekanik özellikleri sağlayan kaynak parametrelerinin belirlenmesidir.

Elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmeleri üretmek için 120 kVA gücünde akım sağlayan ve elektrik akım kontrollü pnömatik sisteme sahip olan kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanı olarak 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot=0,02 sn) belirlenmiştir. Kaynak akım şiddetleri ise 6330 A'den 13160 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 weld lobe denilen kaynak eğrisi grafiğine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: TWIP çelikleri, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, Weld Lobe

THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES IN THE CONNECTION OF TWIP STEEL SHEETS WITH ELECTRIC RESISTANCE SPOT WELDING METHOD

SUMMARY

The aim of this study is to determine the welding parameters to obtain the optimum mechanical properties in resistance spot welding of TWIP steels 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 10, 15, 20, 25 and 30 periods (1 period=0,02 second). The weld currents were increased from 6330 Amperes to 13160 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.

Keywords: TWIP Steels, Resistance Spot Weld, Weld Lobe

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe her geçen gün daha da rekabetin artmasının temel nedeni küresel olarak ekonominin öneminin ön plana çıkmasıdır. Rekabetin otomotiv sektörüne yüklediği sorumlulukların sonucunda yeni bir ürün üretirken maliyetleri eskiye nazaran azaltmak hedeflenmektedir ve bunu yapabilmenin en iyi yolu daha az parça ile üretim yapmaktır. Yeni nesil çelik çeliklerin birçoğu yüksek mukavemetlerine rağmen yüksek uzama ve şekillendirilebilirlik özelliği gösterememektedir.

AHSS yani geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin içerisinde en iyi uzama gösteren çelik grubu TWIP çelikleridir. 2. Nesil AHSS diye tanımlanan TWIP çelikleri yüksek mukavemetlerinin yanında %50'nin üzerindeki uzama değerleri ile otomotiv sektöründe en çok kullanılmak istenen çelikler arasındadır. İçerdiği yüksek mangan değeriyle birlikte sağladığı üstün uzama değerleri sayesinde çarpma traversleri gibi karmaşık parçaların tek parça halinde üretilmesine olanak sağlamaktadır.

TWIP çelikleri ikizlenme yoluyla plastisite kazanan çeliklerdir ve yüksek akma dayanımı, yüksek uzama değerleri ile ön plana çıkmaktadırlar. TWIP çeliklerinin içerisindeki yüksek mangan değeri kaynaklanabilirliğin formülü olan karbon eşdeğerliğindeki 0,9 sınırının çok üzerine çıkmaktadır. Bu yüzden kaynaklanabilirliği halen araştırılmaktadır. Mukavemet değerleri 900-1300 MPa arasında değişmekle beraber %20-%60'a varan uzama değerlerine sahiptirler (AWS, Welding Handbook).

Otomobil üretimi sırasında 700'ü aşan preslenmiş ve kesilmiş parçayla 400'den fazla talaşlı imalat ile üretilmiş parçanın yanı sıra cıvata, kıvrırma, perçin, lehimleme, yapıştırma ve en çok da kaynaklı birleştirilmiş parça kullanılmaktadır. Bir otomobil karoserinde 5000'in üzerinde elektrik direnç nokta kaynağı, 30 metreye varan ark kaynağı, 1 metrenin üzerinde elektron ışın kaynağı ve 15 adet sürtünme kaynağı bulunmaktadır (AHSS, 2005).

Bir otomobil karoseri üretiminde çok fazla yöntemle üretilmiş ve çok sayıda parça kullanıldığı ve üretimin seri şekilde ilerlemesi gerektiğinde kullanılan yöntemin hızlı, çabuk ve kolay olması önceliklidir. Bu yüzden en çok kullanılan yöntem elektrik direnç nokta kaynağıdır.

TWIP çeliklerinin kaynaklanabilirliği günümüzde otomotiv sektörü için tam olarak çözülebilmemiş olmadığı ve araştırmalar halen devam ettiği için bu konuda literatürde az miktarda çalışma bulunmaktadır ve bazıları şunlardır:

Crettur ve Koruk (2003), Elektrik direnç nokta kaynağında kaynaklanmış TRIP çeliklerinin mekanik özelliklerini arttırmak için farklı kaynak çevrim sayıları denemiş ve ön tav yapıp tutma sürelerini değiştirip kaynak esnasında arayüzeydeki kaynak kırılmalarını engellemişlerdir.

Gül (2018), Yüksek lisans tezinde 1200M çelik saclarının farklı akım şiddeti ve farklı lehim hızlarında yaptığı birleştirmelerde yoğun dentritik yapılar görmüş olup sonuç olarak optimum akım şiddeti ve hızını belirlemiştir.

Onar (2018), Doktora tezinde farklı kalınlıklarda kullandığı sacları elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmiş ve farklı kaynak süreleri ile kaynak zamanlarının etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda optimum kaynak zamanı ve sürelerini bulmuştur ve bulunan sonuçlar bu çalışmanın doğruluğunu destekler niteliktedir.

Cho ve Cho (1989), Yaptıkları çalışmada elektrik direnç nokta kaynağı yöntemindeki akım yolundaki karışıklıktan dolayı mikroyapı ve faz değişimi sorunları gibi termal hareketleri analitik ölçütte tahmin edilebilirliğini araştırmış ve sonuç olarak kaynaktaki nüfuziyetin çekirdek boyutu ile bağlantılı olduğunu tespit etmiştir.

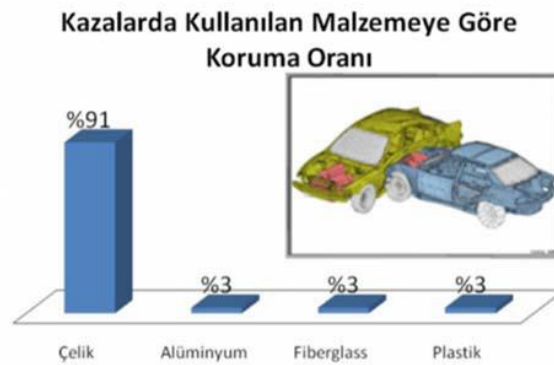
Dong et al. (2002), Yaptıkları çalışmada nikel kaplı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı esnasında elektrot yapışması durumunu incelemiş ve çok sayıda değişken ile çalışmıştır. Sonuç olarak kaynak akımı ve kaynak zamanının azaltılması ile elektrot baskı kuvveti ve elektrot boşluğunun arttırılmasıyla yapışmanın azaltmayı başarmışlardır, elektrotlar TiC ile kaplandığında ise yapışma gözlenmediği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, otomobil sektöründe sıkça kullanılan TWIP çelik saclarının elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi incelenmiş olup değişken parametreler kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değerleridir.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ ÇELİKLER

Otomotiv sektörünün ileri gelen üreticilerinin son zamanlarda kullandıkları malzemeler göz önüne alındığında magnezyum ve alüminyum gibi demir esaslı malzemelerin dışında hafif metallerin ve plastik esaslı malzemelerin de karoser üzerinde çok farklı noktalarda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Otomobil sektörünün en önemli kriterlerinden biri olan ekonomik araç üretiminin sonucu olarak otomobillerin hafiflemesi giderek daha fazla öneme sahip olmuştur. Otomobillerdeki hafiflik daha fazla önem arz ettikçe yakıttan da tasarruf sağlanmıştır (Aslanlar, 1999,2006,2007).

Araçlardaki en önemli noktalardan birisi de yolcu güvenliğinin geliştirilmesi de çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin karoser üzerindeki kullanımını arttırmaktadır. Kaza anındaki darbelerden korunmanın karoserdeki malzemeye göre değişim oranlarını gösteren Şekil 2.1 aşağıda gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ise meydana gelen kazalarda çelik yapılar ile üretilmiş karosere sahip araçlardaki yolculardaki can kaybının %91 düşürülmesi mümkün olmaktadır. Fiberglass, plastik ve alüminyum malzemelerin darbe anındaki koruma oranı ise %3'te kalmaktadır. Çelik kullanımının getirdiği çok büyük avantaj ile birlikte kullanımı artmıştır (Ding et al, 2011; Fonstein, 2015; Çetin, 2019; Mohrbacher, 2015).



Şekil 2.1. Kullanılan malzemelere göre darbe anında koruma oranları.

2.1. Otomotiv sektöründeki çelik türleri

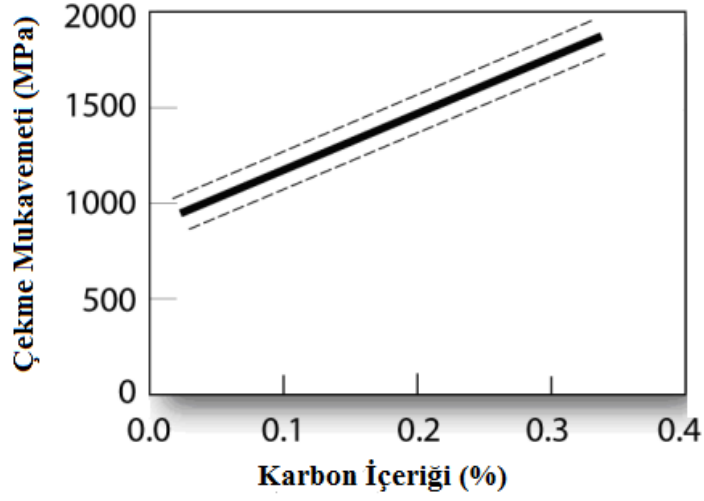
Otomobil çelikleri literatürde çok farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. İncelendiğinde ortaya çıkan AHSS türü yani geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin sınıflandırılması aşağıda verilmiştir;

- Martenzitik Çelikler (MART)
- Çift Fazlı Çelikler (DP)
- IF Çelikleri
- BH Çelikleri
- Komples Çelikler (CP)
- Mikro Alaşımli Çelikler (HSLA)
- TRIP Çelikleri (TRIP)
- Yüksek Manganlı Çelikler (TWIP).

2.1.1. Martenzitik Çelikler (MART)

Martenzitik çeliklerin eldesini özetleyecek olursak tavlama yada sıcak haddeleme esnasında mikroyapının tamamıyla östenit fazına dönüştüğü sırada çok hızlı şekilde soğutma yapılarak östenitin tamamen martenzit yapıya dönüşmesiyle proses tamamlanmış olur. Bu martenzitik yapı şekil verme sırasında da elde edilebilmektedir (Ertaç, 2004; Gül, 2017; Kekik, 2018; Onar, 2017).

Mart çeliklerinin çekme dayanımı günümüzde yaklaşık olarak 2200 MPa değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Ancak yine de bu çeliklerin uzama değerleri çok düşük olduğundan üretim sonrası uygulama öncesinde temperleme işlemine tabii tutulması tercih edilebilmektedir. Martenzitik yapının sertliğinden daha fazla bir sertlik değeri isteniyorsa yapıda bulunan karbon oranı arttırılabilir yada sertleştirici elementler eklenebilir. Temperlenmiş martenzitteki karbon içeriğinin çekme mukavemetiyle arasındaki bağıntı aşağıda Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Temperlenmiş martenzitteki karbon içeriğinin çekme mukavemetine etkisi

2.1.2.Çift Fazlı Çelikler (DP)

Çift fazlı olan DP çeliklerinin özellikleri yumuşak bir ferrit matrisindeki sert martenzit yapılarının dağılımıyla oluşan bir mikroyapı ile karakterize edilir. Mikroyapının temelde martenzit ve ferrit olmak üzere iki ana fazı mevcuttur, ancak içerisinde çok az miktarda beynit veya kalıntı östenit fazı da mevcut olabilir. Yapısındaki ferrit yumuşak olup, çift fazlı DP çeliğinin şekillendirilme kabiliyetini yükseltmektedir. Martenzit fazı da sert yapısından dolayı malzemeye yüksek mukavemet değeri kazandırmaktadır (Erdem ve Arısoy, 2003; Marya ve Garden, 2005; Pollard, 1974).

Çift fazlı DP çeliklerinin yapısı esas olarak, Demir-Karbon denge diyagramında A1-A3 sıcaklıkları arasındaki ($\alpha+\gamma$ bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra bir süre tutulup östenit yapının martenzite dönüşebileceği çok hızlı şekilde soğutulmasıyla elde edilir.

Çift fazlı DP çelikleri yüksek mukavemet ve iyi şekillendirilebilme kabiliyetlerinden dolayı otomobilde karoserin birçok noktası için üretilmektedir. Bu sebeplerden dolayı

DP çeliklerinin kullanımıyla azalan ağırlığın yanında artmakta olan mekanik dayanım değerleri ile son derece önemli bir malzemedir.

2.1.3. IF Çelikleri

İntertital-Free yani IF Çeliklerinin üretiminde karbondioksit, azot, hidrojen gibi gazların vakumla giderilerek çeliğin aşırı düşük karbon içermesi sağlanmıştır. Ayrıca atomların arasında bulunan karbon ve azot gibi elementler de alaşım elementleri ile birleşerek karbür ve nitrür yapılarını oluştururlar. Bu bileşimlerden dolayı da mikroyapıda oluşacak karbür ve nitrürü kontrol etmek amacıyla titanyum nitrür ve karbür yapıcı elementler katılır. Atomik yapıda oluşan nitrür ve karbürler de IF çeliğinin iyi süneklığe sahip olmasını sağlar. IF çeliği derin çekme uygulamalarında bu özelliği yüzünden uygun bir malzeme haline gelmiştir. Bu çelik tipine “ekstra derin çekme çelikleri” de denir. Düşük mukavemetlidirler fakat yüksek çalışma sertliği ve çok iyi şekillendirilebilirlik özelliği de azot ve diğer elementlerin ilavesiyle meydana gelir (Öztürk ve diğerleri, 2009; Satoh et al, 1996).

2.1.4. BH Çelikleri

BH çelikleri basit ferritik mikroyapı karakterine sahip çeliklerdir. Fakat mikroyapı içerisine bazı elementler ilavesi ve çökeltilmesi sonucunda yüksek mukavemet kazanan bir çelik türüdür. Üretim prosesi esnasında çelik fırınında karbonun yapıda kalması önemlidir ve bunun için özel teknikler kullanılır. Fırında sinterleme ve sertleştirme prosesleri sayesinde mükemmel şekillendirilebilirlik özelliği korunmuş olurken akma dayanımının da yükselmesi sağlanır. BH çelikleri yüksek korozyon dayanımına sahip olduğundan davlumbazlar ve yüzey kaplama ürünleri için idealdir (Sawhill et al, 1977).

2.1.5. Kompleks Çelikler (CP)

Kompleks fazlı CP Çelikleri yüksek çekme dayanımına sahiptirler. 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 (Speich, 1981).

2.1.5. Mikro Alaşımli Çelikler (HSLA)

Yüksek dayanımlı ve düşük alaşımli olan mikro alaşımli çelikler, diğer yapı çeliklerine göre daha iyi dayanım ve tokluk değerine sahiptirler. HSLA çeliklerinin en önemli avantajı geleneksel sıcak haddeleme yöntemi ile üretilmiş olan düşük karbonlu hafif ve ferritik-perlitik mikro yapıya sahip çeliklerden daha ince bir ferrit yapısına sahip olmasıdır (Toros ve Öztürk, 2007).

Karbon miktarının düşük olduğu mikro alaşımli çeliklerin mukavemet değerlerinin yüksek olmasının sebebi ise yapısında bulunan mikro alaşımı sağlayan elementleridir. Bu mikro alaşımli çeliklere uygulanan kontrollü ısıl işlemler sonrasında akma sınırı 500 N/mm² değerine ulaşırken, tane büyümesini ve sertliğini kaybetmemesi amacı ile mikro alaşımli yapının içerisine Nb, V, Ti elementleri eklenebilmektedir.

2.1.6. TRIP Çelikleri

TRIP çeliklerinin mikroyapısı incelendiğinde matris yapısı olarak ferrit ve bu ferrit yapının içinde bulunan kalıntı östenit ve beynit tanelerinden meydana geldiği görülmektedir. Bu matris ve diğer yapıların oranları dikkate alındığında hacimce yaklaşık olarak %65 ferrit (α), %20 beynit $\alpha(B)$ ve %15 kalıntı östenit yapısının (γR) olduğu görülmektedir. Aslında “TRIP”, Transformation Induced Plasticity kelimelerinin kısa adıdır. Bu çeliklerde çok iyi şekillendirilebilme kabiliyeti malzeme iç yapısında bulunmakta olan kararsız haldeki kalıntı östenit yapının (γ , sünek ve demirin yüksek sıcaklık fazı) verilen plastik deformasyon ile birlikte daha kararlı ve sert olan martenzit fazına dönüşmesi ile eldesi gerçekleşmektedir. Sonuç olarak TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi için oldukça büyük öneme sahiptir (Özer, 2009).

2.1.7. Yüksek Manganlı Çelikler (TWIP)

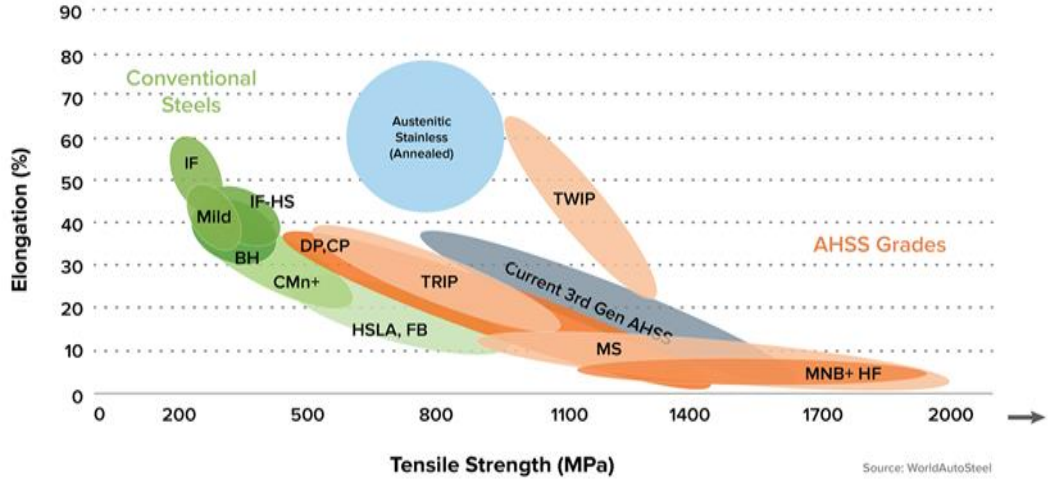
AHSS (Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler) içerisinde en yüksek uzamaya sahip olmasıyla bilinen çelik grubudur.

BÖLÜM 3. TWIP ÇELİKLERİ

TWIP çeliklerinin üretiminde deformasyon ikizlenmesini sağlamak için aktivasyon enerjisinin iyi ayarlanması gerekir; 12-20 kJ/mol aralığında mekanik martenzitik dönüşüm sağlanırken 20-32 kJ/mol aralığında ise ikizlenme gerçekleşmektedir. Üretimdeki enerjinin 20-32 kJ/mol aralığında tutulması ikizlenmenin sağlanması için çok önemli bir noktadır, bu aralıkta uzama ve darbelere karşı absorpsiyonu artırır. Bu şekilde gerçekleşen üretim aşamalarında mikroyapıdaki östenit fazı oda sıcaklığında stabil tutuluyor ve sorunsuz bir ürün elde ediliyor.

Üretimlerine %35-40'lara ulaşan Mn oranı ile Fe-Mn ikili sistemi ile başlanmış olup POSCO tarafından gerçekleştirilmiştir. Mangan değerli bir alaşım elementi olduğu için yüksek oranlarda kullanımı çeliğin maliyetini çok üst noktalara taşıyordu ve otomotiv sektöründe yer edinebilmesi için ekonomik olması gerekiyordu. Aynı zamanda yüksek mangan oranı karbon eşdeğerliğini tek başına sınır kabul edile 0,9 oranının üzerine taşıyordu. Bu da kaynaklanabilirliği azaltıyordu ve otomotiv sektöründe kullanılacağı için kaynaklanabilirliğinin iyi olması gerekmektedir.

TWIP çelikleri yüksek mangan içermesiyle şekillendirilebilirliği çok iyi ve yüksek mekanik özelliklere sahip bir çelik türüdür. Yüksek manganlı olan TWIP çeliğinin endüstriyel olarak özellikle otomotiv sektörü için üretilmesi de yaygın olarak görülmektedir.

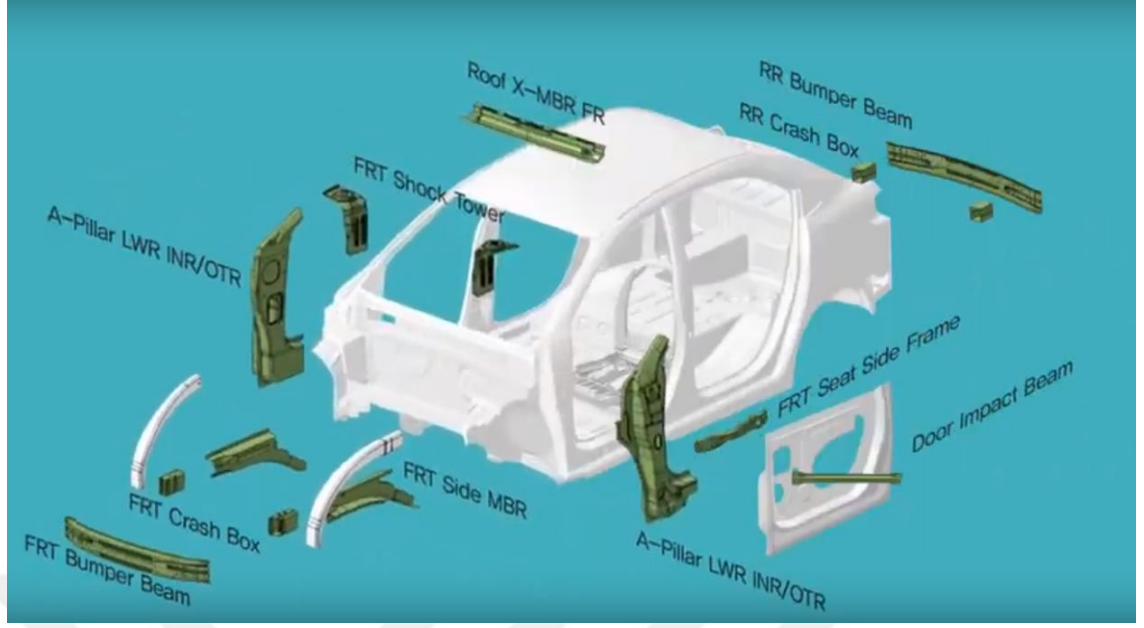


Şekil 3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan saclar

Son yıllarda otomotiv sektöründeki emisyon oranlarının düşürülmesi, arttılmaya çalışılan yakıt tasarrufu, otomobil ağırlıklarının azaltılması ve aynı zamanda da güvenliği arttırma ihtiyacı nedeniyle dünyada otomotiv endüstrisi ve çelik üreticileri otomobil gövdeleri yani karoser için yeni malzemeler araştırmaya devam etmektedir.

AHSS sınıfı geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler içerisinde TWIP çelikleri Şekil 3.1.'de görülen Muz diyagramı diye belirtilen grafikteki yoğunlaşılın bölgenin dışına çıkabilen tek 2. Nesil çeliktir.

TWIP çelikleri deformasyon mekanizmasıyla ikizlenmiş olduğundan ve yüksek Mangan içermesi sebebiyle çalışma esnasında sertleşebilen ve üstün süneklik özelliklerine sahip çeliklerdir. Bu çeliklerde içinde ikizlenme enerjisinin ayarlanarak östenit yapının sürekli ikizlenmesi sayesinde yüksek dayanımlar ve yüksek kopma uzaması elde edilir. Bu yüzden de otomotiv sektörünün üretildiği günden itibaren özellikle karmaşık parçalar için vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir, araç üzerindeki kullanım alanları Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. TWIP Çeliğinin araç üzerindeki kullanım yerleri

Mikroyapısında kütlece % 15-30 Mn bulunmaktadır. Bu mangan oranına ek deformasyon ikizlemesiyle içersine ilave edilen Al, Si ve C alaşım elementleriyle de yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik elde edilir.

BÖLÜM 4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi basit olup seri üretim için uygun olması ile, otomasyon uyumlu ve oldukça hızlı bir metal birleştirme yöntemidir. Bu nedenle de otomotiv sektörünün en çok kullanılan birleştirme yöntemidir. Bir otomobilin montajı gerçekleşirken 3000'den fazla direnç nokta kaynağı kullanılır. Elektrik direnç nokta kaynağı yönteminde diğer yöntemlerin aksine ilave malzeme ihtiyacı duyulmaz.

Elektrik direnç nokta kaynağı, iki elektrot arasında sıkıştırılan iki sac levhayla başlar. Sıkışan levhalardan düşük voltajlı yüksek amperin geçmesi ile levhalar arasında ısı oluşur. Bu noktada en önemli kısım levhaların birbirine temas ettikleri ara yüzeyde oluşan temas direncidir. Isı da burada oluşarak metal malzemeyi eritmeye başlar ve elektrotlara uygulanan basınç kuvveti ile levhalar arasında ergime başlar. Elektrot ve levhalardan geçen akım kesildikten sonra belli bir tutma süresi ile elektrotların su soğutmasıyla ergimiş bölge yüksek hızda katılarak kaynak çekirdeğini oluşturmuş olur. Böylece kaynak tamamlanmış olur. Bu işlem genellikle bir saniyeden daha kısa bir süre alır. Kaynak zamanı, kaynak akımı, elektrot tipi ve elektrot baskı kuvveti gibi değişkenler Elektrik direnç nokta kaynağı'nın en kritik parametreleridir. Birleştirilecek metalin cinsi ve kalınlığına bağlı olarak bu parametreler ayarlanmalıdır (Aslanlar, 2006).

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak bağlantısının oluşabilmesi için, üretilen ısının birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesi gerekmektedir. Yüksek soğuma hızları, iyi ısı iletim yeteneğine bağlı olup, malzemelerde sertleşmeye ve bu şekilde çatlak eğilimine sebep olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki üstün ısı iletim davranışı istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutulmasını sağlar. Bu şekilde malzeme ve elektrot arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur ve işlem gerçekleşmiş olur (Aslanlar, 2007; Erdem ve Arısoy, 2003).

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan TWIP çelik sacları birbirleri ile eşleştirilip elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirme işlemi tamamlanmıştır. Yapılan birleştirme işleminde tutma, sıkıştırma süreleri ve elektrot kuvveti sabit tutulup kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değişken olarak belirlenmiştir. Kullanılan her bir parametre için makro ve mikroyapı incelemesi, mikro-sertlik ölçümü ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile de çekme – makaslama, çekme – sıyırma testleri yapılmıştır.

5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Otomotiv sektöründe genellikle ön ve arka tampon traversleri gibi karmaşık parçaların üretiminde kullanılan 1,4mm kalınlığında TWIP1000 çelik sacı kullanılmıştır. Kullanılan çelik sacının kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. TWIP1000 Çeliğinin kimyasal bileşimi

Fe	C	Mn	Al	Si
77,174	1,21	18,71	2,65	0.256

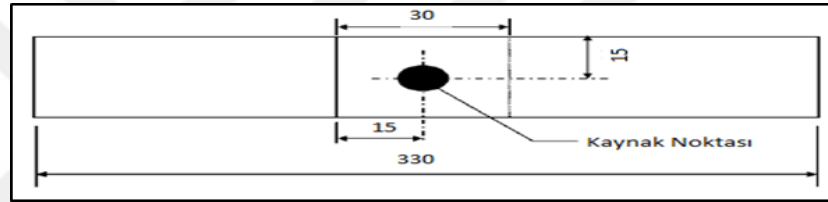
Tablo 5.2. TWIP1000 Çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Uzama [%]
533	980	48

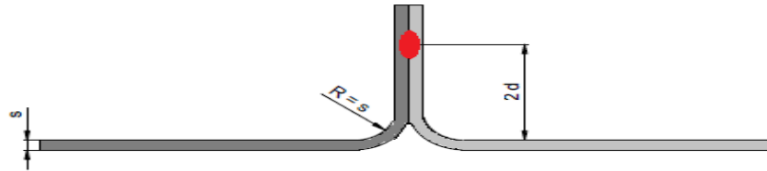
5.3. Kullanılan Malzemelerin Boyut Özellikleri ve Deney Hazırlık Süreci

Kaynaklı birleştirmelerde seçilmiş olan çelik sacları giyotin makas ile belirlenen boyutta (100x30mm) kesildikten sonra % 99,5 saflıktaki aseton havuzunda iyice yıkanarak yüzeyde bulunan yağ, pas, kir gibi yabancı maddeler temiz bir bezle silinerek kurulanmış ve arındırılmıştır.

Çekme - Makaslama deneyinde kullanılacak çelik sacları EN ISO 14270:2016 standartlarına uygun halde hazırlanmış ve boyutları Şekil 5.1' de verilmiştir. Çekme - Sıyırma deneyinde kullanılacak çelik sacları EN ISO 14273 standartına uygun hazırlanarak deney numunelerinin boyutları Şekil 5.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çekme-Makaslama deney numunesi örneği



Şekil 5.2. Çekme-Sıyırma deney numunesi örneği

5.4. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Makinesi

Deneylerde yapılan birleştirmelerin tümünde 120 kVA akım değerine sahip olan, kaynak zamanı kontrol edilebilen, pnömatik sistemli elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Kullanılan bu makinenin parametre ayarları üzerindeki elektrik donanımdan ayarlanabilmektedir. Kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi.

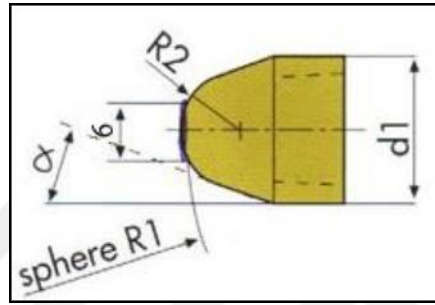
Deneyleerde kullanılan akım değeri, makinenin alt ve üst çenelerine bağlanan akımölçer aracılığıyla belirlenmiştir. Kullanılan akım ölçme cihazı Şekil 5.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Dengensha marka akımölçer.

5.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları

Yapılan deneylerin tümünde aynı konik uçlu küresel sıkı geçmeli direnç nokta kaynak elektrotları kullanılmıştır. Sıkı geçme türü olan elektrotlar su soğutması sayesinde sürekli soğutulmuştur. Elektrot temas yüzey çapı olarak 6 mm belirlenmiştir. Şekil 5.5.'de elektrotlar şematik olarak verilmiştir. Deneylerde kullanılan elektrotlar Cu-Cr-Zr alaşımı olmakla beraber Tablo 5.3.'de kimyasal bileşimi gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Elektrotların teknik boyut gösterimi.

Tablo 5.3. Kullanılan elektrotların 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

5.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Önceden temizlenip hazırlanmış TWIP çeliği sac çiftlerini üst üste bindirmekle beraber nokta kaynak işlemi uygulanmıştır. Her parametre için uygulanan ön testler sonrasında deney için optimum kaynak parametreleri belirlenmiş ve uygun parametreler ile kaynak işlemine geçilmiştir. Her akım şiddetinin tüm kaynak zamanlarında ve her kaynak zamanının tüm akım şiddetlerinde bu işlem gerçekleştirilmiştir.

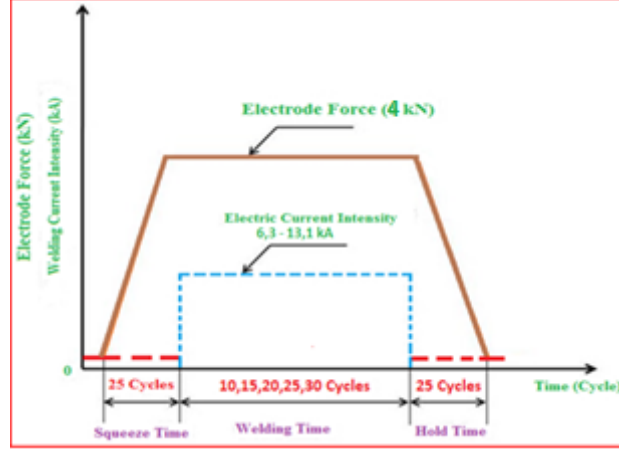
5.7. Elde Edilen Parametrelerle Deneylerin Yapılması

Deney numuneleri Şekil 5.1., Şekil 5.2.'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 5.7'de gösterilen cihaz ile kontrol edilmiştir. Kaynak süreleri ön deneyler sonucunda 10,15,20,25, ve 30 periyot (1 periyot kaynak süresi =0,02 sn) belirlenmiş ve seçilen her kaynak akımı için (6330A - 13100A aralığında) değiştirilerek kaynak işlemi tamamlanmıştır. Bu değerler makine ayarlanırken gösterilen ekipmanlar ile birlikte yapıldıktan sonra o değerler karşılığı ölçümlerle tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Elektrot kuvveti ölçüm cihazı.

Bunlarla beraber tutma zamanı ve sıkıştırma zamanı 25 periyot olarak sabit bırakılmıştır. Uygulanan kaynak parametreleri Şekil 5.8.'de grafikte gösterilmektedir. Tüm kaynaklı birleştirmeler için hazırlanan numuneler EN ISO 14373 standartına uygundur.



Şekil 5.7. 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.

Her bir deney parametresi için beş tane elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiş numuneler oluşturulmuştur. Elde edilen bu numunelerden iki tanesi çekme-makaslama, iki tanesi çekme – sıyırma testlerine tabi tutulmuştur. Beşinci numune ise sertlik ölçümleri (mikro vickers), makroyapı (çekirdek boyutunun ölçülmesi), mikroyapı ve SEM görüntülerinde kullanılmıştır.

5.8. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri

Her bir deney parametresinde Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'ye göre üçer tane elde edilen numuneler ERMETAL Giriş Kalite Laboratuvarında bulunan Şekil 5.8.'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 iki tip hasar çeşidine rastlanmıştır.



Bunlar;

- Yırtılma
- Düğmelenme

şeklinde olmuştur.

Oluşan hasar çeşitleri Tablo 5.4.'de gösterilip detaylı şekilde incelenmiştir.

Tablo 5.4. Deneyler sonucu oluşan kopma türleri

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



Şekil 5.8. Deneylerde kullanılan 100 tonluk Instron çekme makinesi.

5.9. Çekirdek Boyut Ölçümleri Ve Makroyapı Görüntülerinin Çekilmesi

Oluşturulan kaynaklı parçaların hepsinde farklı parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerden en önemli olanları ise kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değerleridir. Bu sebeple kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının birleştirmelerde oluşturduğu çekirdeğin boyutu üzerindeki etkisini analiz etmek için, bakalite alınıp metalografik işlemler sonrasında elde edilmiş numunelerin makro boyutta resimleri çekilip incelenerek çekirdek boyutları ölçülmüştür. Makro görüntü ölçüm işlemi BORÇELİK Ar-Ge merkezinde Şekil 6.12.'de gösterilmiş olan Nikon SMZ 745T marka optik mikroskop ile EN ISO 14329 standartına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9. Çekirdek boyut ölçümlerinin gerçekleştirildiği optik mikroskop.

5.10. Optik Mikroskop Görüntülerinin Çekilmesi

Kaynaklı birleşmelerin her birinden alınan numuneler kaynak çekirdeğinin tam ortasından kesilerek bakalite alınmıştır. Bakalite alınmış her numune metalografik inceleme için su yardımıyla zımparalanmış ve 3 mikrona kadar keçe ile parlatılarak işlemler tamamlanmıştır. Daha sonra bu numuneler %3 nital ile dağlanarak mikroyapı incelenmiştir. Bu işlemde ana metal, çekirdek ve ısı tesiri altındaki bölge'nin (ITAB-HAZ) optik mikroskop ile mikroyapısına bakılmış ve kaynak sonrasında birleştirmelerde oluşan mikroyapı değişimleri analiz edilmiştir. Mikroyapı analizi için

BORÇELİK Ar-Ge merkezinde bulunan Şekil 5.9.'da gösterilmiş olan Leica HC marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Mikroyapı görüntülerinde kullanılan optik mikroskop.

5.11. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile Yapılan Çalışmalar

Mikroyapı görüntülerinde alınan numuneler için ayrıca SEM incelemesi de 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 5.10. SEM ölçümünde kullanılan Zeiss EVO 50.

5.12. Sertlik Değeri Ölçümleri

Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin sertlik üzerindeki etkisini incelemek için 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 sürede konik uçlu batıcı ucun numune üzerine batmasıyla ölçülmüş olup değerler Vickers cinsinden elde edilmiştir. 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 ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin hepsinde EN ISO 14271 standartına uygun Şekil 6.15.'de gösterilen EmcoTest DuraScan marka cihaz ile laboratuvar ortamında yapılmıştır.



Şekil 5.11. Seri Mikrosertlik ölçümlerde kullanılan EmcoTest Cihazı.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde karoser üzerinde birçok yerde kullanılan 1,4mm kalınlığında TWIP 1000 çelik saclar kendi arasında elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynaklanmışlardır. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değişken parametreler olarak belirlenip bunlara bağlı olarak da oluşan çekirdek geometrisin mikroyapı ve mekanik özelliklerine olan etkileri gözlemlenmiştir. Bütün deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

6.2. TWIP 1000 Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Dayanımına Etkisi

Bu çalışmadaki değişken kaynak parametreleri olan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin birleştirmelerdeki çekme dayanımına etkisini incelemek amacıyla numuneler EN ISO 14270 standartına uygun olarak çekme-sıyırma ve EN ISO 14273 standartına uygun şekilde çekme-makaslama testleri uygulanmıştır. Her kaynak parametresi için iki adet kaynaklı birleştirilmiş numune hazırlanmış ve iki testin ortalaması alınarak kaynaklı bağlantının çekme-sıyırma ve çekme-makaslama testlerinde maksimum çektiği kuvvet değerleri tespit edilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların hepsinde çekme-sıyırma ve çekme-makaslama kuvvetlerini tespit etmek için 10,15,20,25, ve 30 periyot kaynak sürelerinde 6330 A, 7400 A, 8300 A, 9790 A, 12000 A ve 13160 A kaynak akım şiddetlerinde kaynaklı birleştirmeler elde edilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler için parametreler ve numune adetleri Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kaynaklı birleştirmeler için hazırlanan numune sayıları.

ÇEKME-SIYIRMA VE ÇEKME MAKASLAMA DENEYLERİ İÇİN HAZIRLANAN TOPLAM NUMUNE SAYILARI					
AKIM ŞİDDETİ(A)	KAYNAK SÜRESİ(Cycles)				
	10 Periyot	15 Periyot	20 Periyot	25 Periyot	30 Periyot
6330	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
7400	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
8300	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
9790	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
12000	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
13160	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet	4 Adet
Toplam Numune:	24 Adet	24 Adet	24 Adet	24 Adet	24 Adet

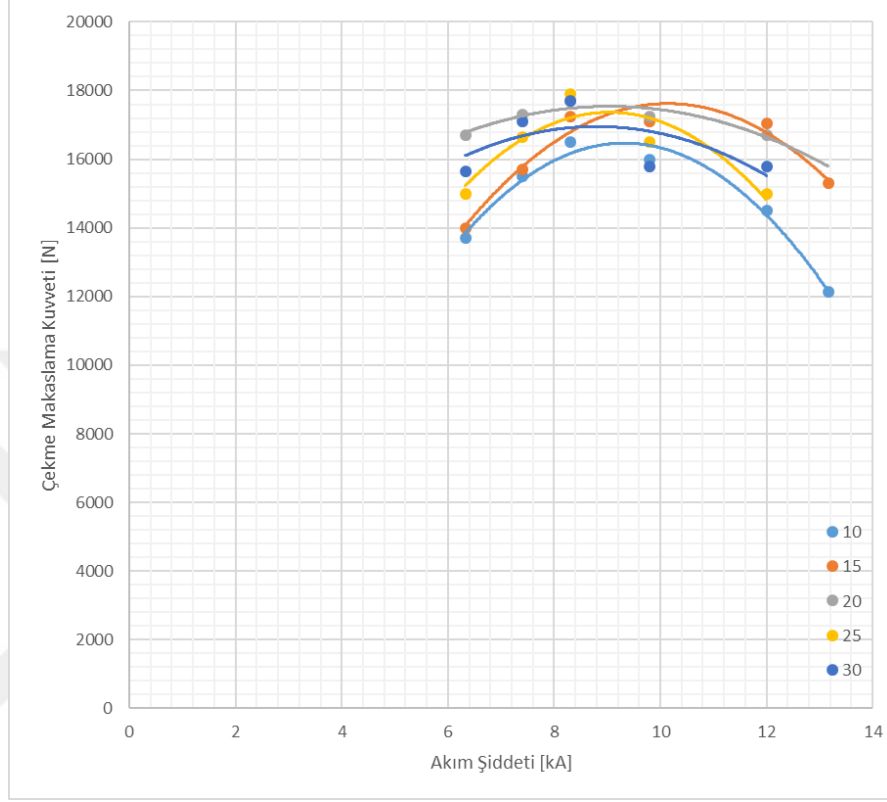
6.2.1. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Şekil 6.1.'de TWIP1000 saclarından oluşan bağlantılardaki kaynak akım şiddetinin etkisiyle ortaya çıkmış kuvvet değerleri gösterilmiştir. Çekme-makaslama kuvvetinin en yüksek değeri 20 Periyot kaynak zamanı ve 8300 A akım şiddetinde elde edilmiştir.

Kaynak zamanı 10 Periyot belirlenmiş deneyde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 8300 A'de 17100N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7400-9800A'dir.

Kaynak zamanı 15 Periyot deneylerde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 9790 A'de 17100N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7400-12000A'dir.

Kaynak zamanı 20 Periyot deneylerde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 8300 A'de 17700N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 6300-12000A'dir.



Şekil 6.1. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.

Kaynak zamanı 25 Periyot deneylerde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 7400 A'de 16650N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7400-9790A'dir.

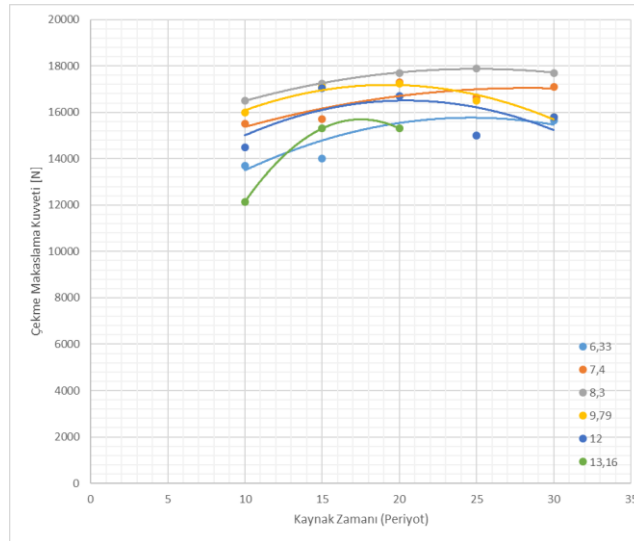
Kaynak zamanı 30 Periyot deneylerde en yüksek çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 8300 A'de 17700N ve kaynaklı birleştirmelerin dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7400-9790A'dir.

Bu değerler elde edildikten sonra numuneler analiz edildiğinde yüksek ısı girdisinin daha uzun kaynak periyotlarında elektrot dalma derinliğinin TWIP çeliğinin diğer numunesine kadar ulaştığı görülmüş ve bunun etkisi olarak da sacların temas

yüzeyinden fişkirmalarda artma oluşmuştur. Bu nedenle çekme-makaslama kuvvetinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Artan ergime miktarı nedeniyle kesitte daralma gözlemlenmiştir, elektrotun temas yüzeyine yapışması ve hatta delmesiyle yüzeyde değişik renklerin de oluşumuna neden olmuştur.

6.2.2. Kaynak zamanının TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımına etkisi

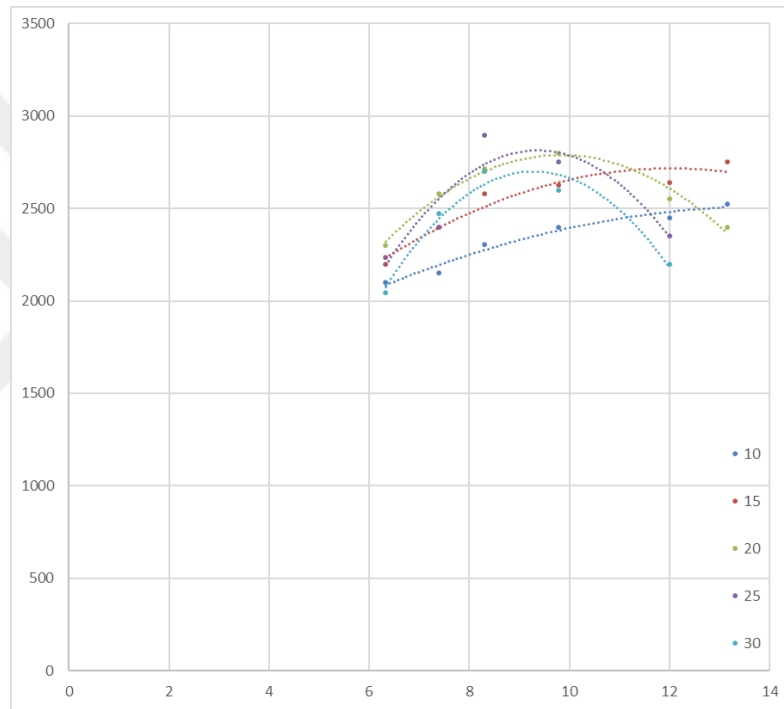
TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde Şekil 6.2.'de gösterildiği gibi kaynak zamanının artmasıyla kaynaklı birleştirmenin çekme-makaslama kuvvetinde artış meydana gelmiştir. Artan ısı girdisi nedeniyle uzun kaynak zamanlarında belirli bir noktaya kadar yükselen kuvvet değerinin dalma derinliğinin artması sebebiyle azaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle uzayan kaynak zamanıyla kabul edilebilir kaynak değer aralığının daraldığı gözlemlenmiştir. Kaynaklı birleştirmede maksimum kuvvet ve kabul edilebilir parametre aralıkları sırasıyla şöyle gerçekleşmiştir: 10 Periyot için maksimum 17100N, 7400-12000A'dir. 15 Periyot için maksimum 17100N, 7400-13160A'dir. 20 Periyot için maksimum 17700N, 6330-12000A'dir. 25 Periyot için maksimum 16650N, 6330-12000A'dir. 30 Periyot için maksimum 17700N, 6330-9790A'dir.



Şekil 6.2. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme Makaslama kuvvetine etkisi.

6.2.3. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla beraber çekme-sıyırma kuvvetinde meydana gelen artış Şekil 6.3.'de gösterilmiştir. Yüksek akım şiddetiyle beraber yüksek miktardaki fişkırmaya ve elektrot dalma derinliği çok yani delinmeye yaklaşmış olan numuneler neredeyse düşük miktarda birleşme gerçekleştirmiş düşük akım şiddetindeki numuneler kadar az çekme-sıyırma kuvveti göstermektedir.

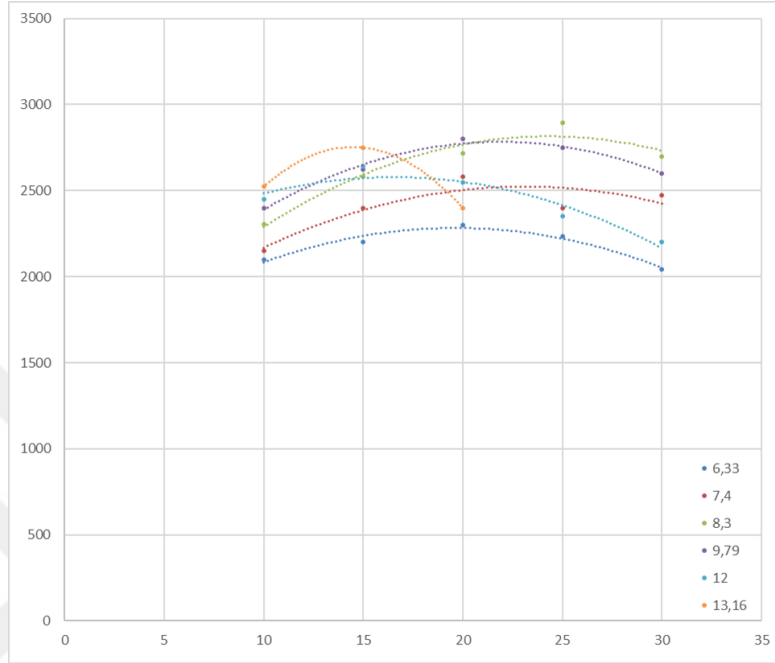


Şekil 6.3. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak akım şiddetinin Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.

6.2.4. Kaynak zamanının TWIP1000 bağlantılarında çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Kaynak zamanındaki artmayla birlikte çekme-sıyırma kuvvetinin 6330, 7400, 8300, 9790 ve 12000A değerleri için arttığı Şekil 6.4.'de görülmektedir. Bu grafik için yüksek kuvvet değeri 8300A ve 25 periyot kaynak zamanı için 2800N olmuştur. 10 Periyot kaynak zamanı için ise en yüksek kuvvet değeri 2500N ile 13160A'de olmuştur. Kaynak zamanındaki artışın etkisi artan ısı girdisi ile birlikte elektrot daha fazla

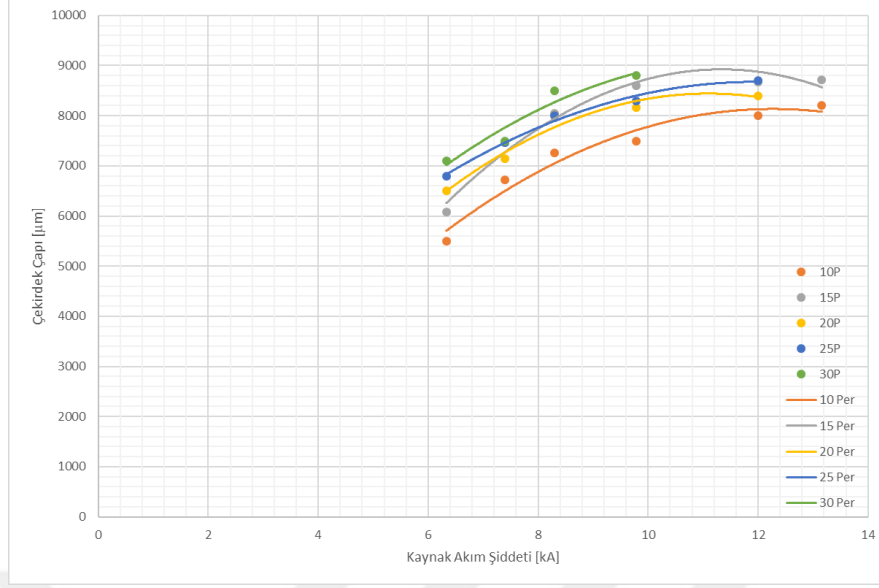
dalmasıyla fişkırmaları arttırmakta ve kaliteli bir kaynaklı bağlantı meydana getiremediği görülmektedir. Bu nedenler ile birlikte çekme-sıyırma dayanımında bir noktadan sonra azalma meydana gelmektedir.



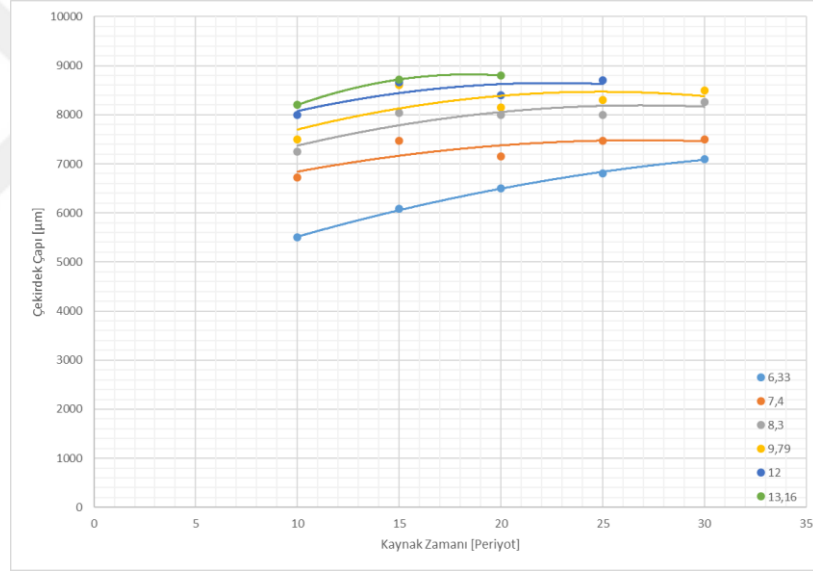
Şekil 6.4. TWIP1000 kaynaklı birleştirmesinde kaynak zamanının Çekme sıyırma kuvvetine etkisi.

6.3. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Çekirdek Boyutlarına Etkisi

Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının artışıyla çekirdek çapının da arttığı sırasıyla Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.'da gösterilmiştir. Literatürde daha önce yapılmış olan çalışmaların sonuçlarında da benzer veriler elde edilmiştir (Cho ve Cho, 1989; Dong et al, 2002; Ding et al, 2011).



Şekil 6.5. TWIP1000 birleştirmelerinde Kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi.

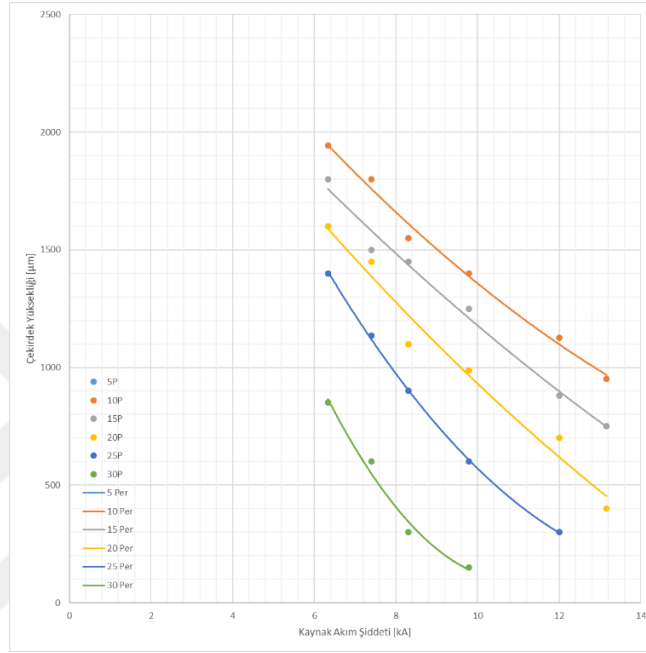


Şekil 6.6. TWIP1000 birleştirmelerinde Kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi.

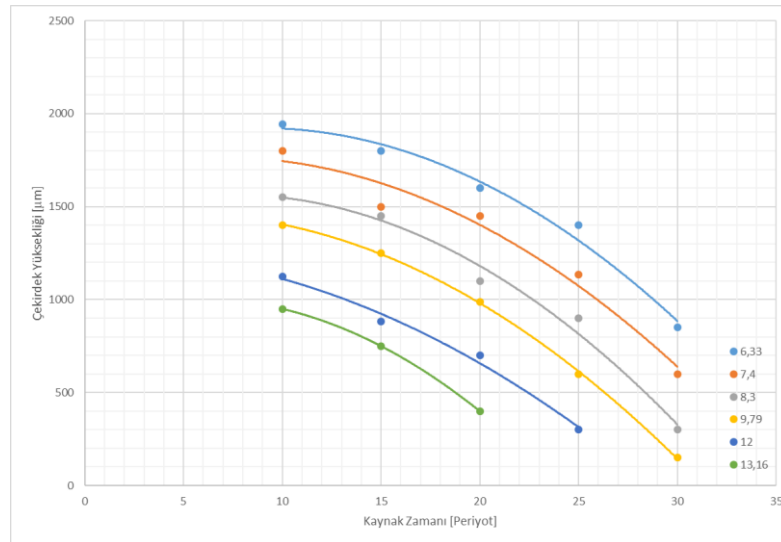
6.3.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerinde oluşan kaynak çekirdeğinin çekirdek yüksekliğine etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla TWIP1000 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğinin azalması Şekil 6.7.'de gösterilmektedir.

Kaynak zamanının uzamasıyla birlikte TWIP1000 çeliğinde oluşan kaynak çekirdeğinin yüksekliğinin azalması Şekil 6.8’de görülmektedir. Kaynak zamanıyla yükselen ısı ortamdaki ergimeyi arttırdığından çok fazla ergime ile fişkırmalar meydana gelerek çekirdek kaliteli bir şekilde oluşamaz ve böylece çekirdek yüksekliğinde düşüş meydana gelmektedir.



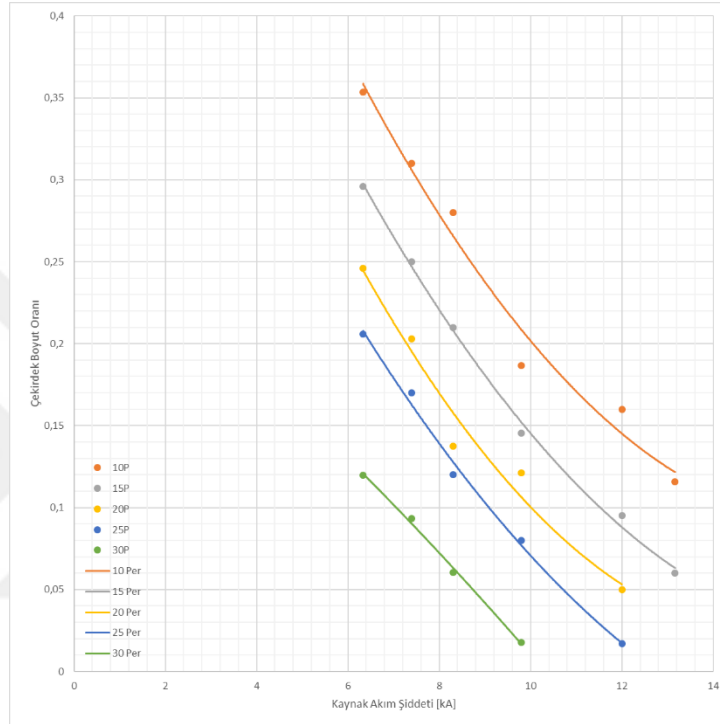
Şekil 6.7. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.



Şekil 6.8. Kaynak zamanının TWIP1000 çeliğindeki çekirdek yüksekliğine etkisi.

6.3.2. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekirdek boyut oranına etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla TWIP1000 çeliğinde çekirdek boyut oranının azaldığı Şekil 6.9.'da görülmektedir.

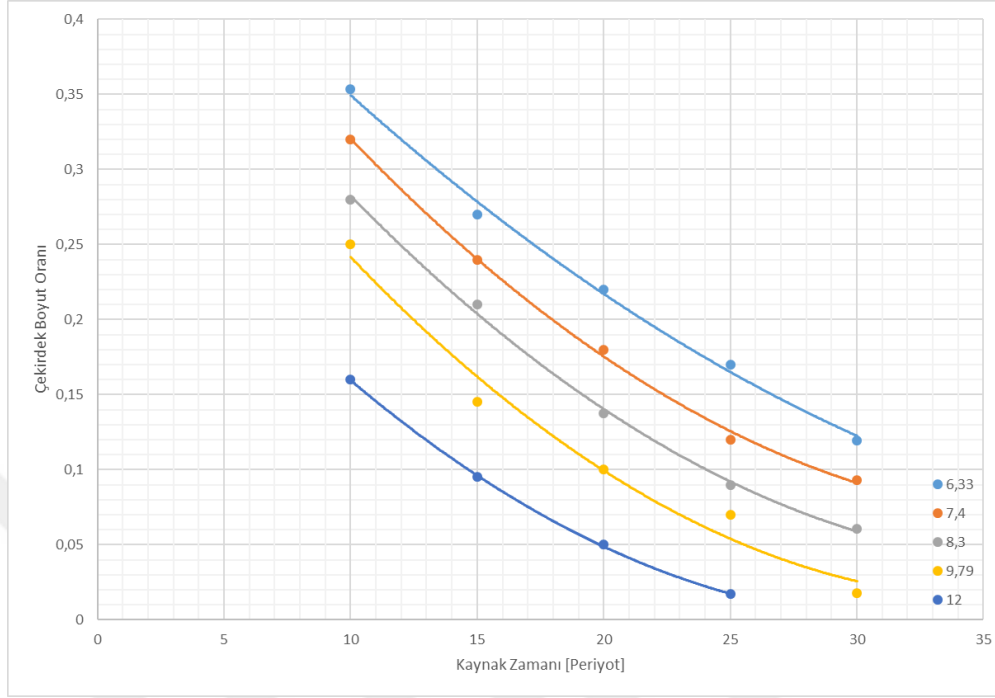


Şekil 6.9. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

Kaynak zamanındaki artışla birlikte çekirdek boyut oranında azalmanın meydana geldiği Şekil 6.11.'de görülmektedir. 10 Periyot kaynak zamanı için çekirdek boyut oranı aralığı 0,14-0,3 iken bu değerlerler 30 periyot kaynak zamanı için 0,12-0,24 aralığında kalmaktadır.

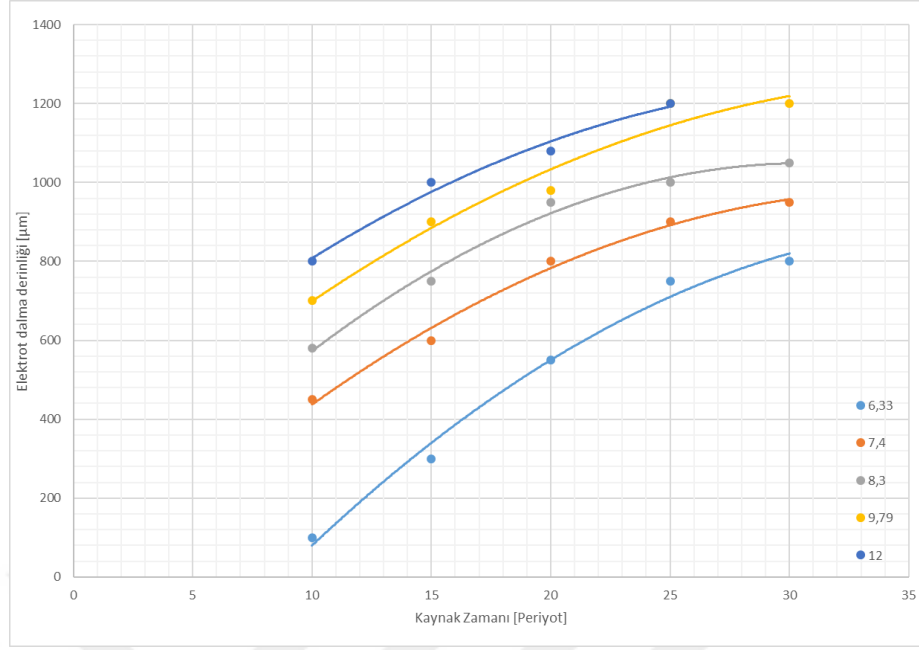
Şekil 6.10. Kaynak zamanının TWIP1000 çeliğindeki çekirdek boyut oranına etkisi.

6.4. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Derinliği ve Genişliğine Etkisi

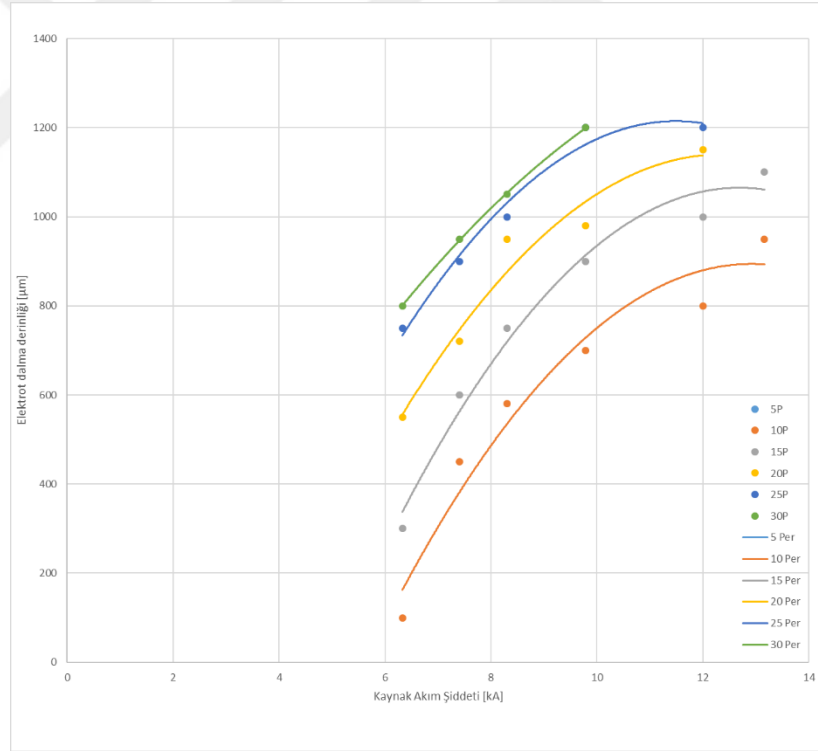


6.4.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 bağlantılarında elektrot dalma derinliğine etkisi

Kaynak zamanı ve akım şiddetinin artması ısı girdisini de arttırdığından dolayı artan ergime ile elektrotların yüzeylere daha fazla battığı yani elektrot dalma derinliğini de doğrusal olarak arttırdığı sırasıyla Şekil 6.11. ve Şekil 6.12.'de gösterilmektedir. Literatürde yapılmış benzer çalışmaların sonuçlarında da sonuçlara yakın veriler elde edildiği görülmektedir (Aslanlar, 1999; Fonstein, 2015).



Şekil 6.11. Kaynak zamanının TWIP1000 birleştirmelerindeki dalma derinliğine etkisi.

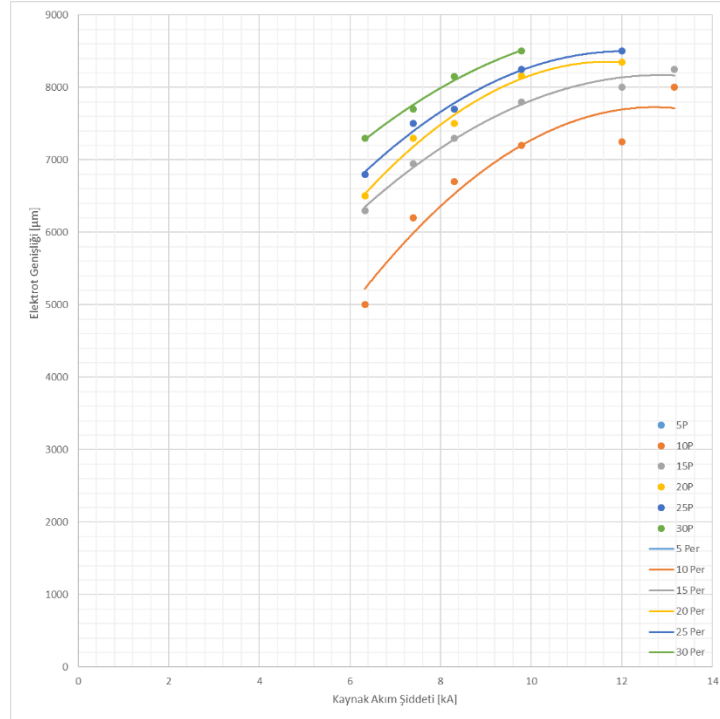


Şekil 6.12. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki dalma derinliğine etkisi.

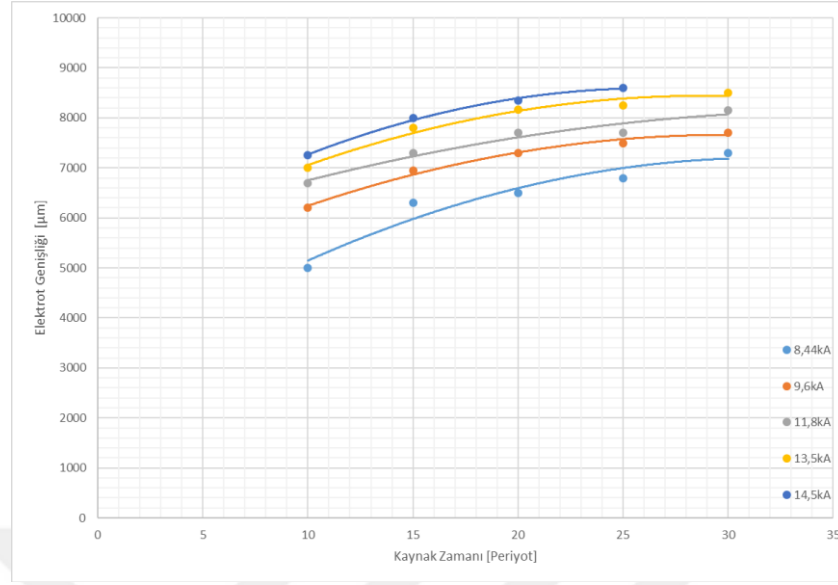
6.5. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Elektrot Dalma Genişliğine Etkisi

6.5.1. Kaynak zamanı ve akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi

Kaynak zamanı ve akım şiddetinin artmasıyla birlikte elektrot dalma genişliğinin kaynak sırasında kullanılan elektrotun çapından (6mm) daha yüksek değerlere ulaşabildiği sırasıyla Şekil 6.13. ve 6.14.'de görülmektedir. Bu durum iki nedenle oluşmaktadır, ilki kaynak zamanı ve akım şiddetinin artışıyla ısı girdisinin de artmasıdır. Bu şekilde ergimenin artması ve elektrot baskı kuvvetiyle de ergiyen metalin dışarı fıskırması ile oluşur. Bu da elektrot dalma derinliğini arttırırken aynı zamanda da elektrot dalma genişliğinin artmasını sağlar. Diğer sebebi ise tekrarlanan kaynak çevrimleri sırasında elektrot yüzeyinde oluşan bozulmalar ile açıklanır. Bozulmalar da tekrarlanan kaynak çevrimlerinde elektrot baskı kuvvetiyle Şekil 5.5.'deki R1 ve R2 açılarındaki değişimlerle meydana gelmektedir.



Şekil 6.13. Kaynak akım şiddetinin TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.

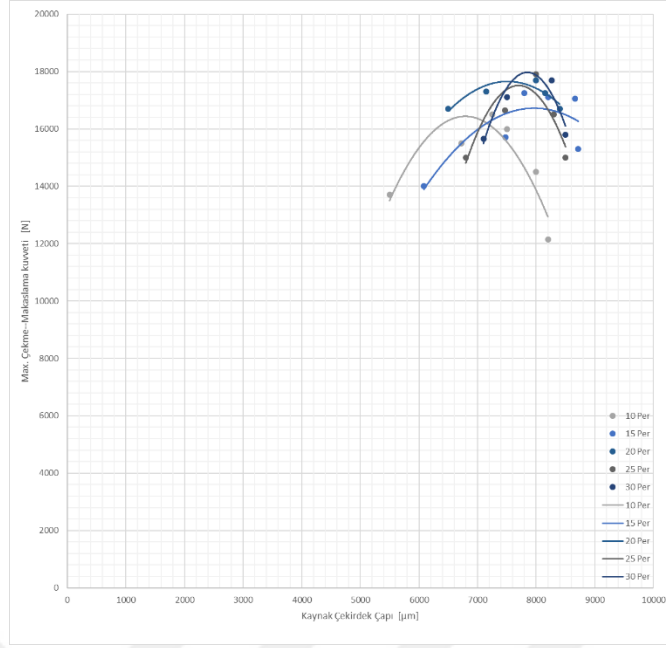


Şekil 6.14. Kaynak zamanının TWIP1000 birleştirmelerindeki elektrot dalma genişliğine etkisi.

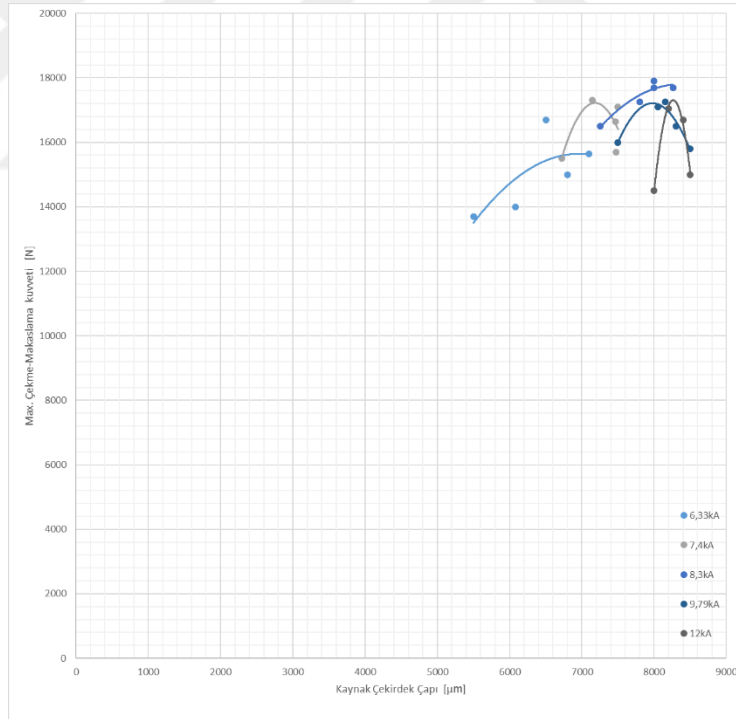
6.6. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdek Boyutlarının Çekme-Sıyırma ve Çekme-Makaslama Kuvvetine Etkisi

6.6.1. TWIP1000 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 6.15.'de görölmektedir. 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 fişkirmaların meydana gelmesi ve kaynak metalindeki ergiyen metal kayıpların artmasıdır.



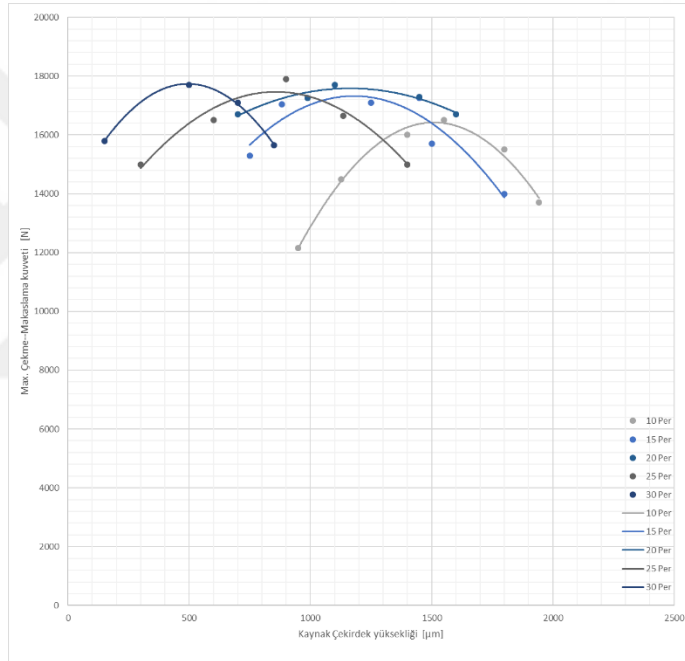
Şekil 6.15. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



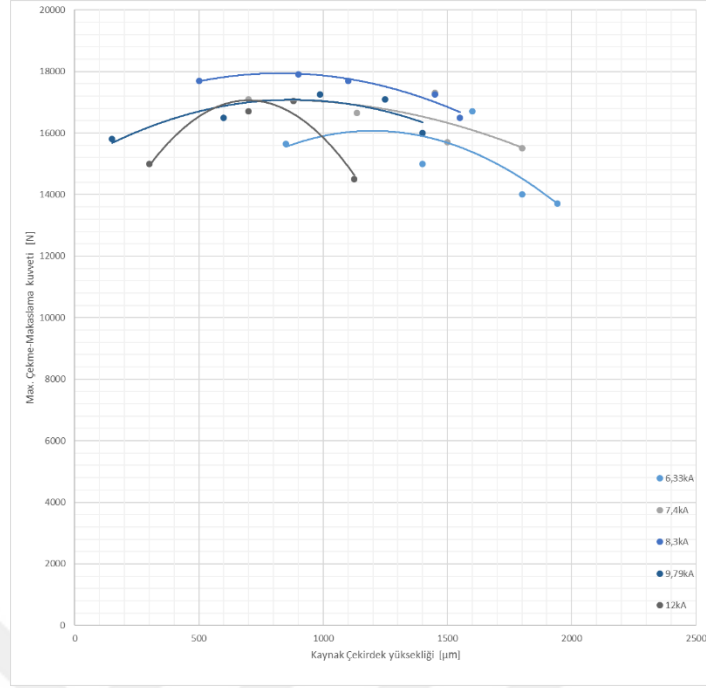
Şekil 6.16. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.6.2. TWIP1000 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 6.17. ve Şekil 6.18.'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.



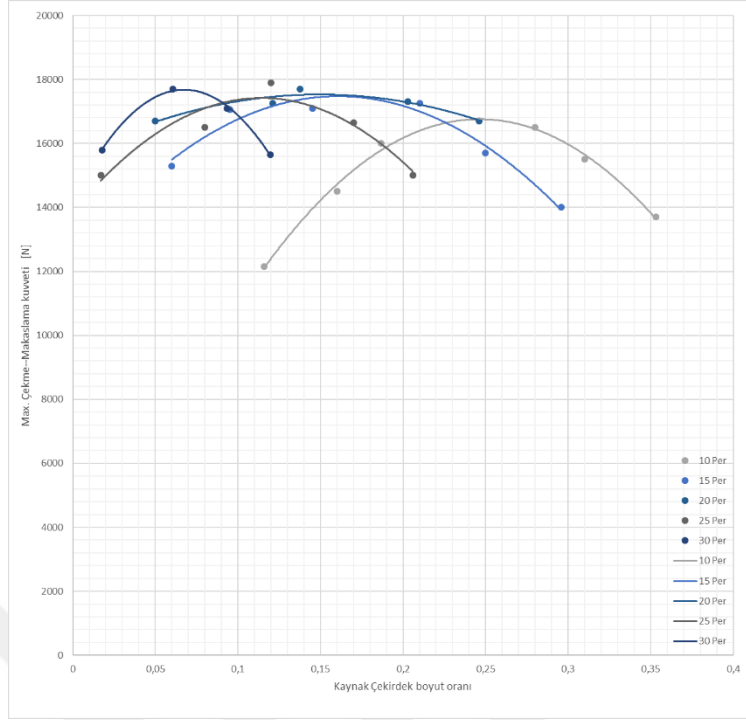
Şekil 6.17. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



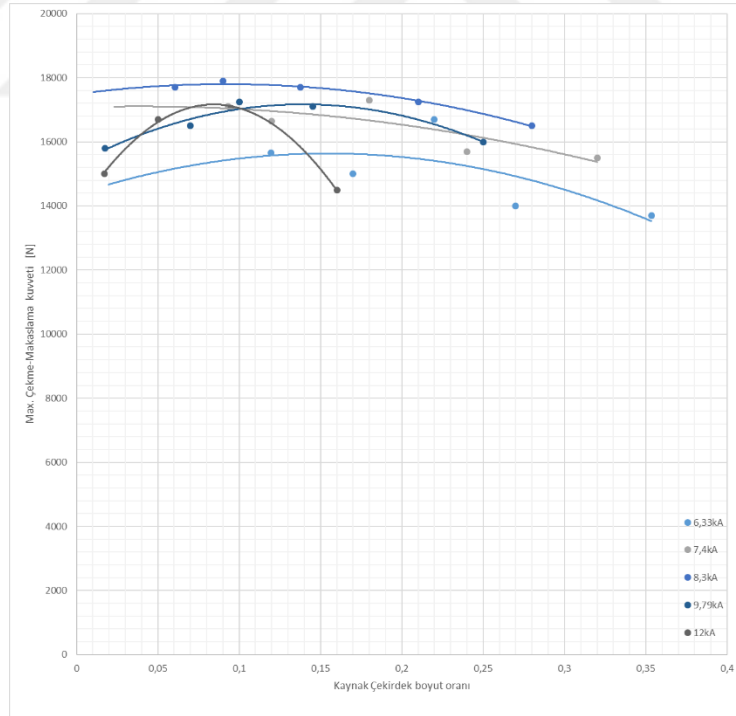
Şekil 6.18. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.6.3. TWIP1000 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 artış meydana geldiği Şekil 6.19. ve Şekil 6.20.'de 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.



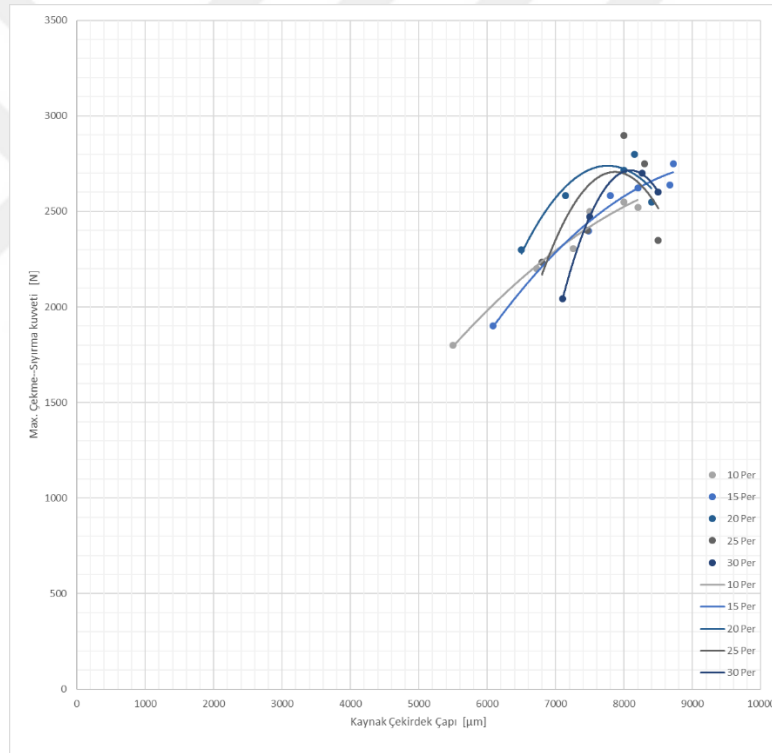
Şekil 6.19. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



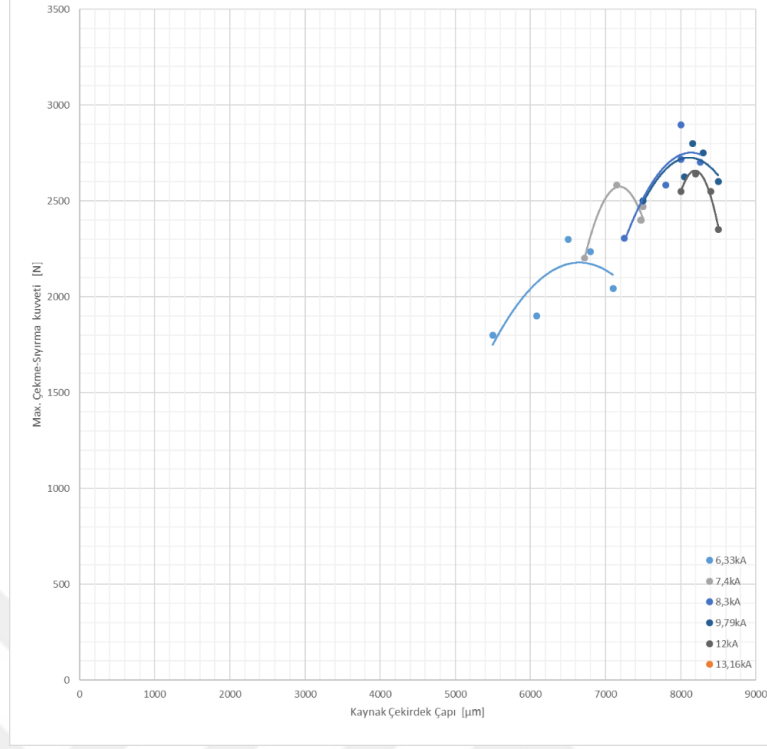
Şekil 6.20. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.6.4. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek çapının çekme-sıyrma kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdeğinin çapı arttıkça kaynaklı birleştirmelerde çekme-sıyrma kuvveti de artış göstermekte olduğu Şekil 6.21. ve Şekil 6.22’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.



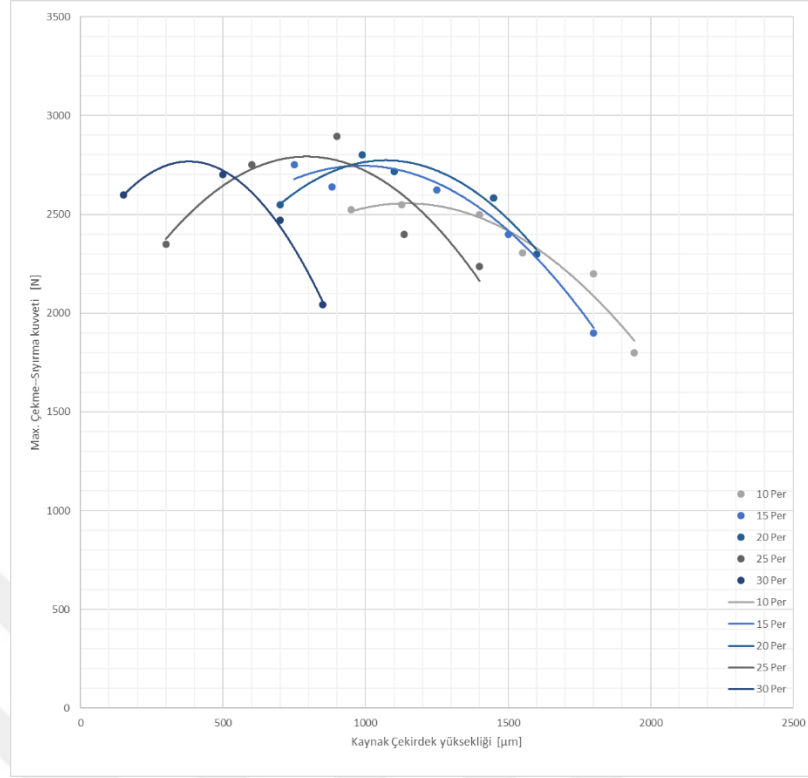
Şekil 6.21. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



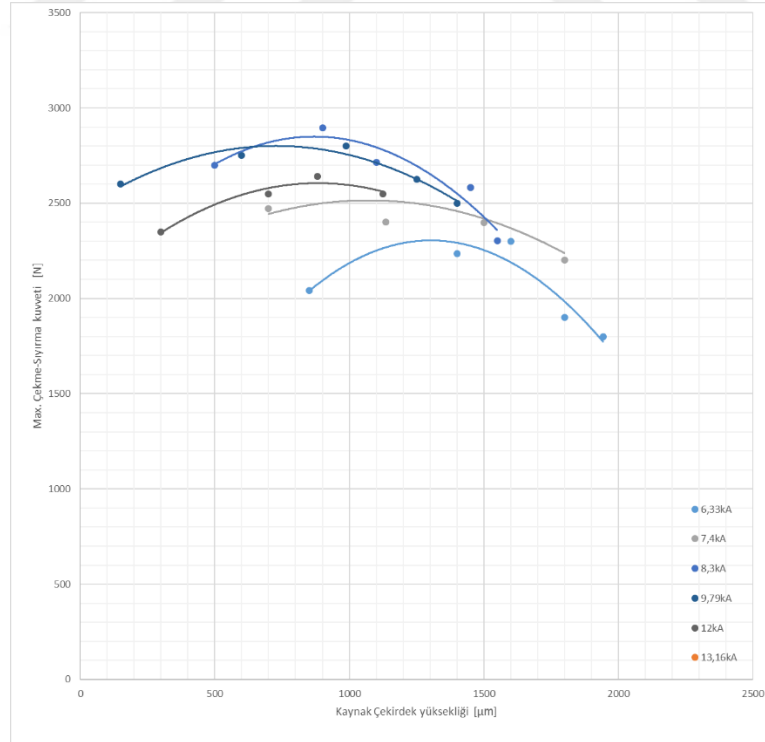
Şekil 6.22. Kaynak çekirdek çapının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.6.5. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyrma kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdek yüksekliğinin artışı ile TWIP1000 birleştirmesindeki çekme-sıyrma kuvvetinin de belirli bir noktaya ulaştıktan sonra düştüğü Şekil 6.23. ve Şekil 6.24.'de görülmektedir. Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarının da bu şekilde olduğu görülmektedir (Sawhill et al, 1977; Marya ve Garden, 2005).



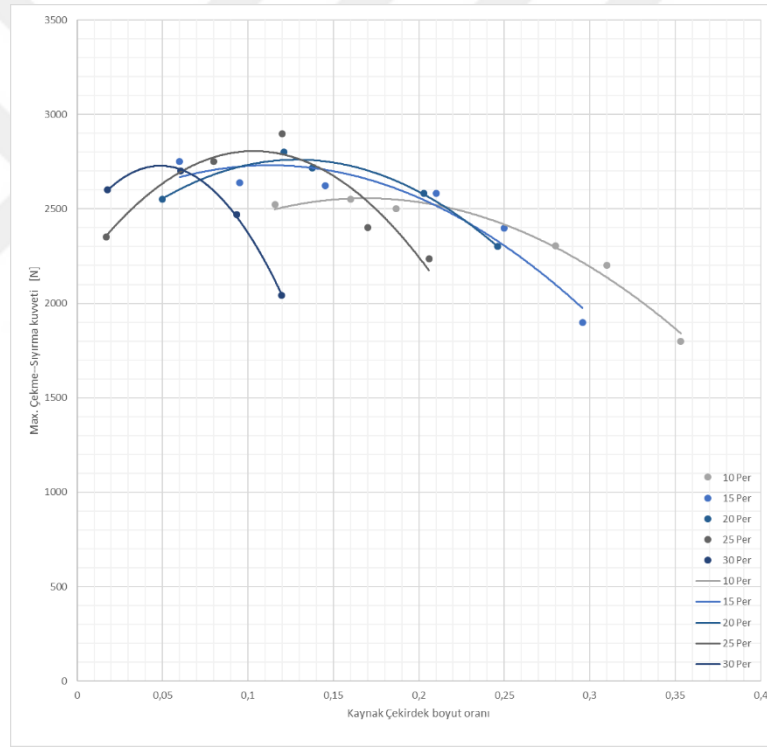
Şekil 6.23. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



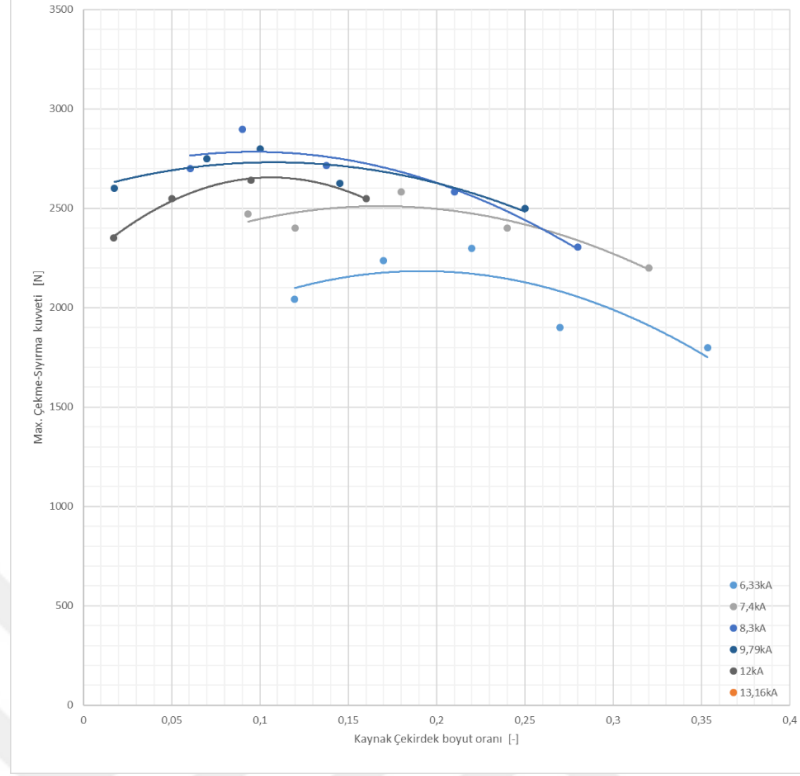
Şekil 6.24. Çekirdek yüksekliğinin TWIP1000 birleştirmelerinde çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.6.6. TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranının çekme-sıyrma kuvvetine etkisi

Çekirdek boyut oranındaki artışla beraber TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetleri belirli bir noktaya kadar artış göstermekte olup sonrasında düşmekte olduğu Şekil 6.25. ve Şekil 6.26.'da görülmektedir. Kaynak akım şiddetinin sabit olduğu durumda en yüksek çekme-sıyrma kuvveti 10 Per iken kaynak zamanının sabit olduğu durumda 11800A değeridir. Kaynak zamanındaki artış hem çekirdek boyut oranını hem de çekme-sıyrma kuvvetine düşüşe sebep olmaktadır.



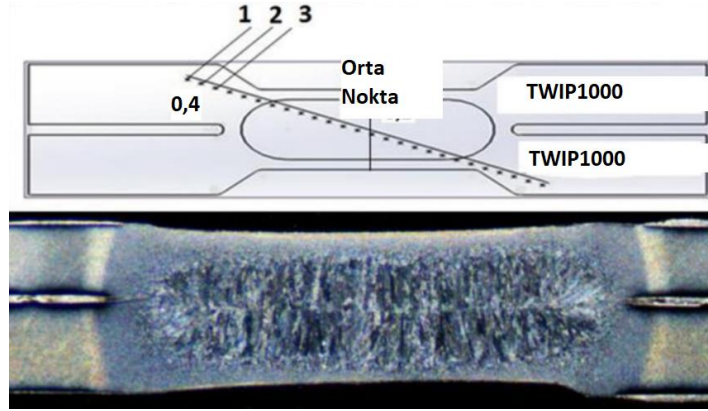
Şekil 6.25. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak akım şiddeti sabit).



Şekil 6.26. Çekirdek boyut oranının TWIP1000 birleştirmelerindeki çekme-sıyrma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit).

6.7. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Kaynak Parametrelerinin Sertlik Değerine Etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirilen TWIP1000 çeliklerinin Şekil 6.27.'de gösterildiği gibi çeliğinin kaynak etkisinden uzak bölgesinden başlamak üzere ITAB (HAZ) bölgesinden ve kaynak çekirdeğinin tam ortasına kadar çapraz şekilde 0,4mm aralıklarla MikroVickers sertlik değerlerine 200gr yük uygulanarak EN ISO 14271 standardına uygun olarak ulaşılmıştır.



Şekil 6.27. TWIP1000 birleştirmelerindeki ölçüm yönü.

6.7.1. Kaynak parametrelerinin TWIP1000 birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi

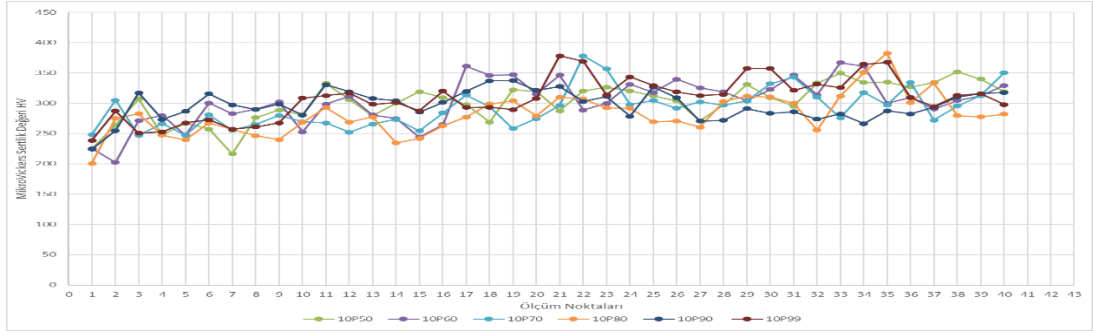
TWIP1000 birleştirmelerindeki sertlik değerlerinin belirlendiği noktalar 3 farklı bölgeden alınarak tespit edilmiştir, bunlar;

- TWIP1000
- ITAB
- Kaynak çekirdeği'dir.

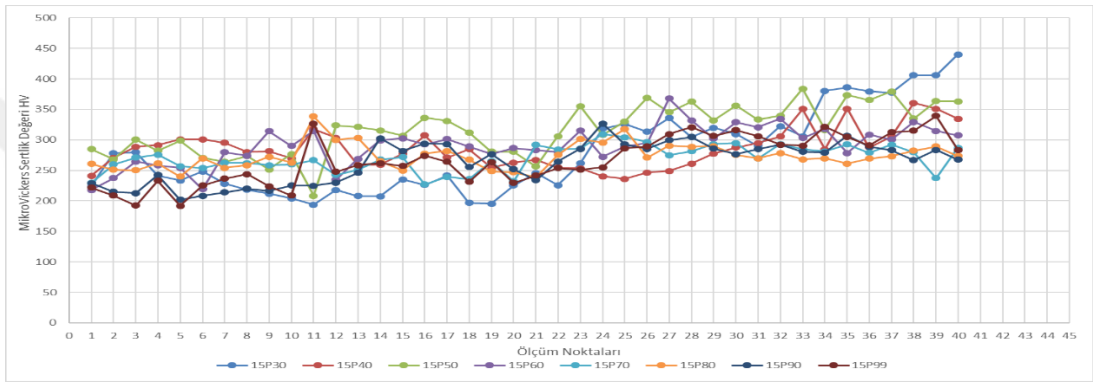
TWIP1000 birleştirmelerindeki kaynak çekirdeğinden ITAB bölgelerine ulaşıldığında sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin başlangıç noktası olan TWIP1000 çeliğinden alınan ana metal sertlik değeri ortalama 200-250 HV arasındayken, Kaynak çekirdek merkezinde ortalama olarak 350-400 HV'e ulaşılmıştır. Bu değer neredeyse esas metal sertlik değerlerinin iki katıdır.

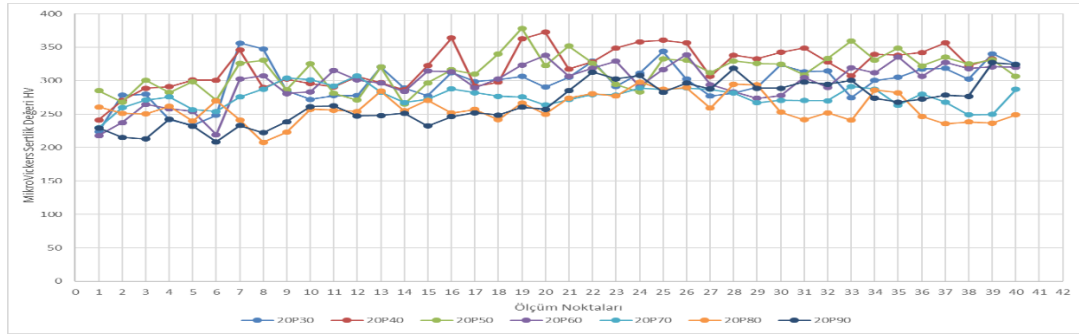
Şekil 6.28., Şekil 6.29., Şekil 6.30., Şekil 6.31., Şekil 6.32.'de farklı kaynak akım şiddetlerinde ve farklı kaynak zamanlarında TWIP1000 çelik saclarının kaynaklı birleştirmelerindeki sertlik değerleri görülmektedir.



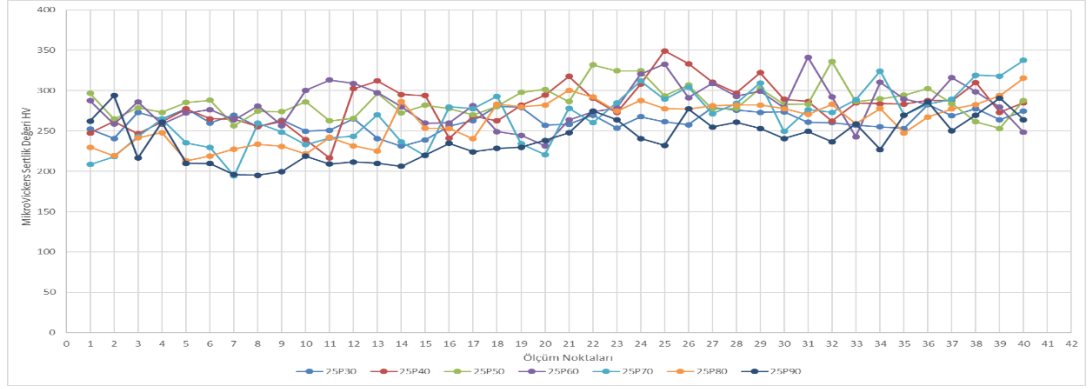
Şekil 6.28. 10 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.



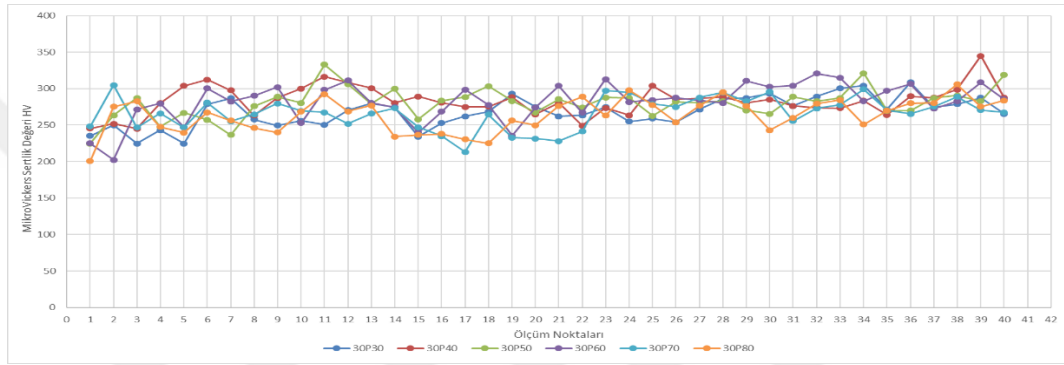
Şekil 6.29. 15 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.



Şekil 6.30. 20 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.



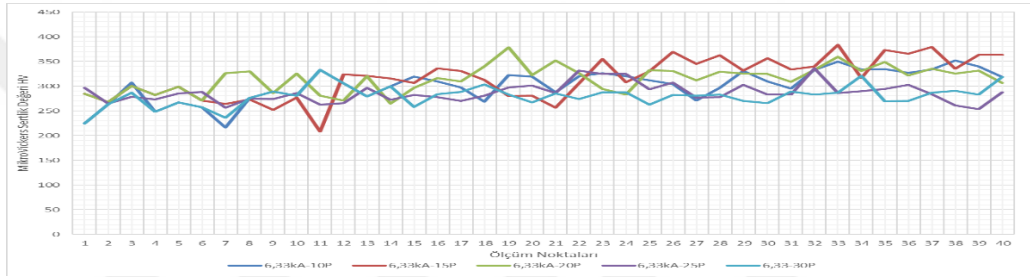
Şekil 6.31. 25 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.



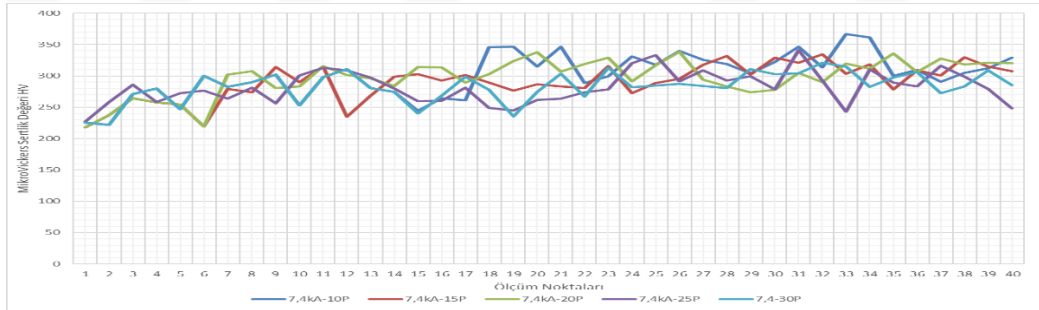
Şekil 6.32. 30 Periyot kaynak zamanında TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.

6.7.2. Kaynak parametrelerinin TWIP1000 birleştirmelerindeki sertlik değerine etkisi

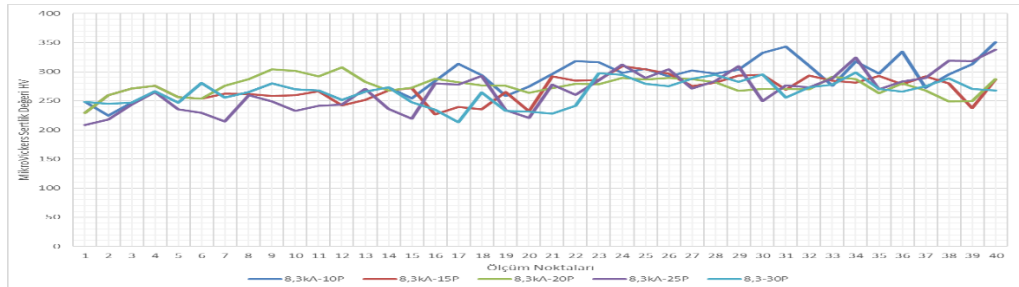
TWIP1000 eliklerinin elektirik direnç nokta kaynağında yapılan birleştirmelerinde kaynak akım şiddetine göre değişlik gösteren sertlik değerleri vicker cinsinden Şekil 6.33., Şekil 6.34., Şekil 6.35., Şekil 6.36., Şekil 6.37. ve Şekil 6.38.’de görülmektedir. Elde edilmiş en yüksek sertlik değeri 350-400 HV civarında gerçekleşmiştir. En yüksek sertlikler kaynak çekirdeğinden alınmiş olup bağlantının güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.



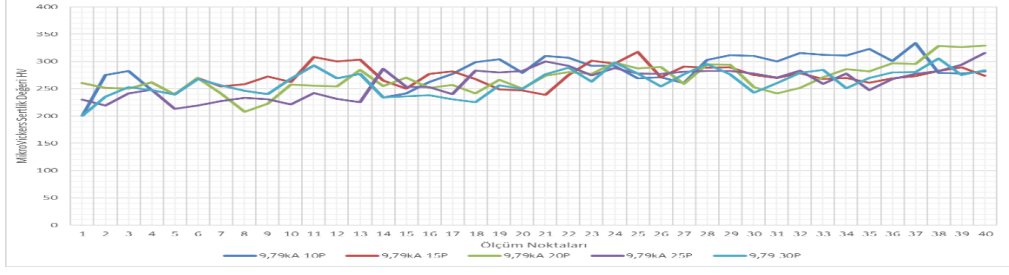
Şekil 6.33. 6,33 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 elik saclarındaki sertlik değerleri.



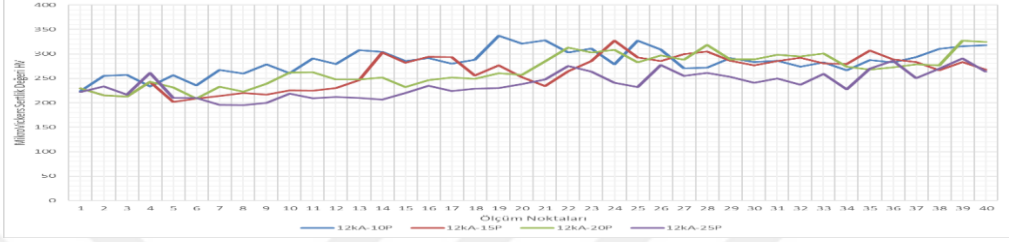
Şekil 6.34. 7,4 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 elik saclarındaki sertlik değerleri.



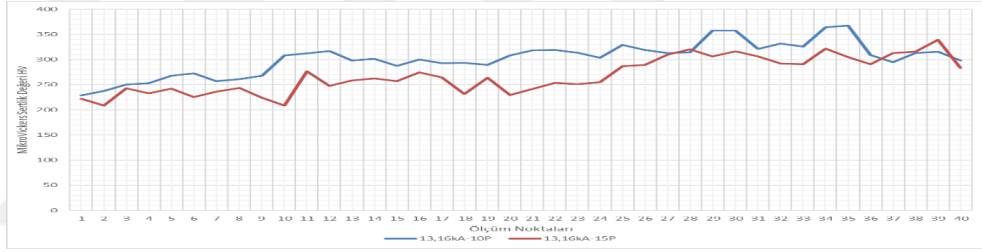
Şekil 6.35. 8,3 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 elik saclarındaki sertlik değerleri.



Şekil 6.36. 9,79kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.



Şekil 6.37. 12 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.

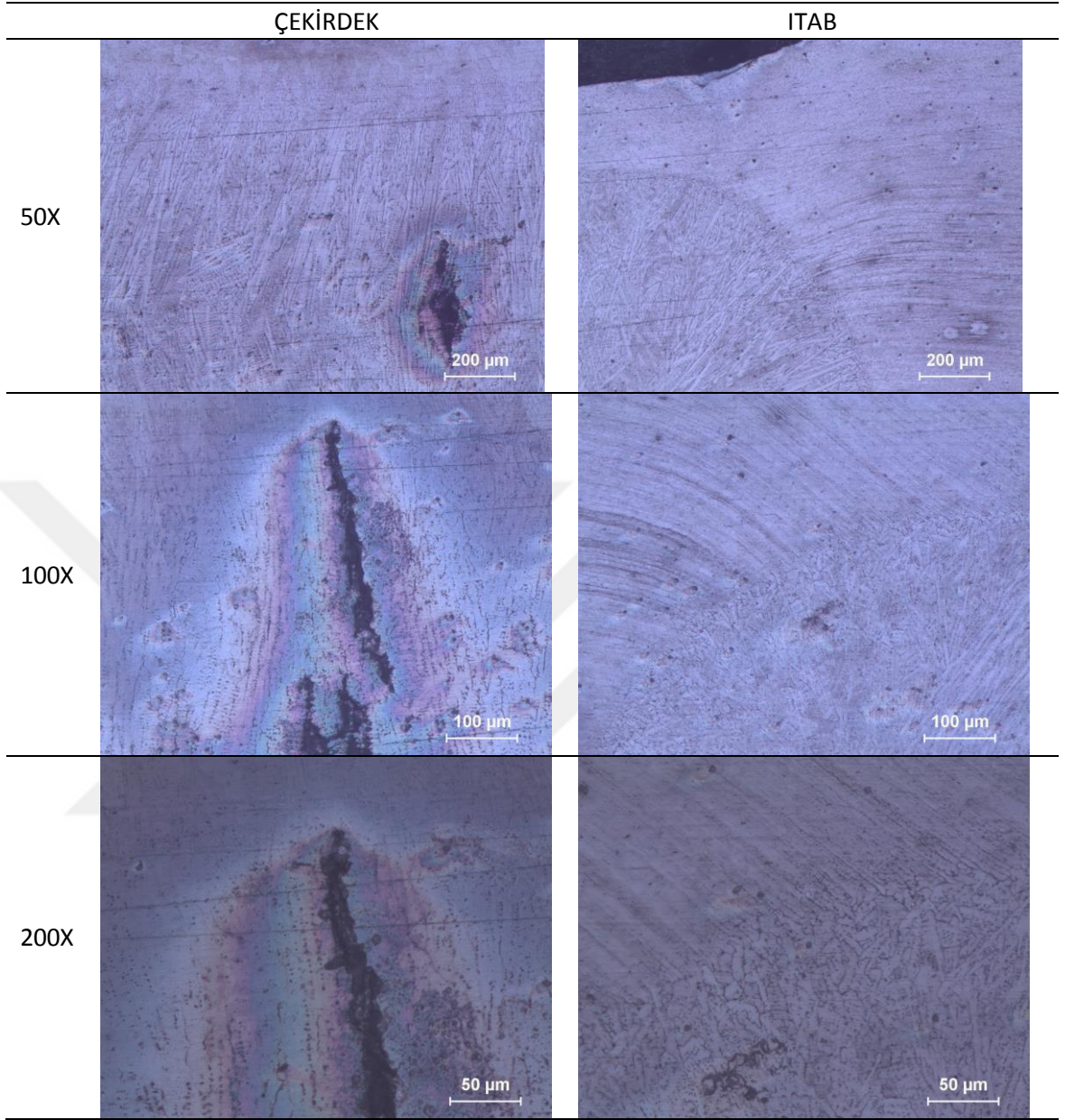


Şekil 6.38. 13,16 kA kaynak akım şiddetinde TWIP1000 çelik saclarındaki sertlik değerleri.

6.8. TWIP1000 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleştirmelerin Mikroyapısına Etkisi

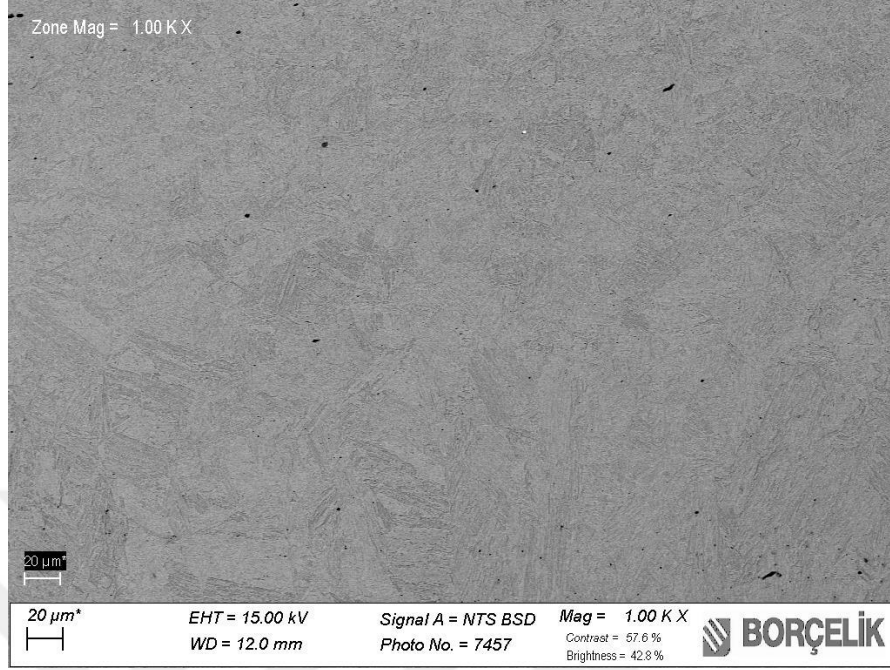
Kaynak zamanı ve akım şiddeti parametrelerinin değiştirilmesiyle oluşmuş TWIP1000 birleştirmelerindeki ana metal, ITAB ve kaynak çekirdeğinden alınmış 50x, 100x ve 200x büyütmelerdeki mikroyapı görüntülerinden birkaçı Tablo 6.2.'de görülmektedir.

Tablo 6.2. Farklı büyütmeler ve bölgelerden alınmış mikroyapı görüntüleri.



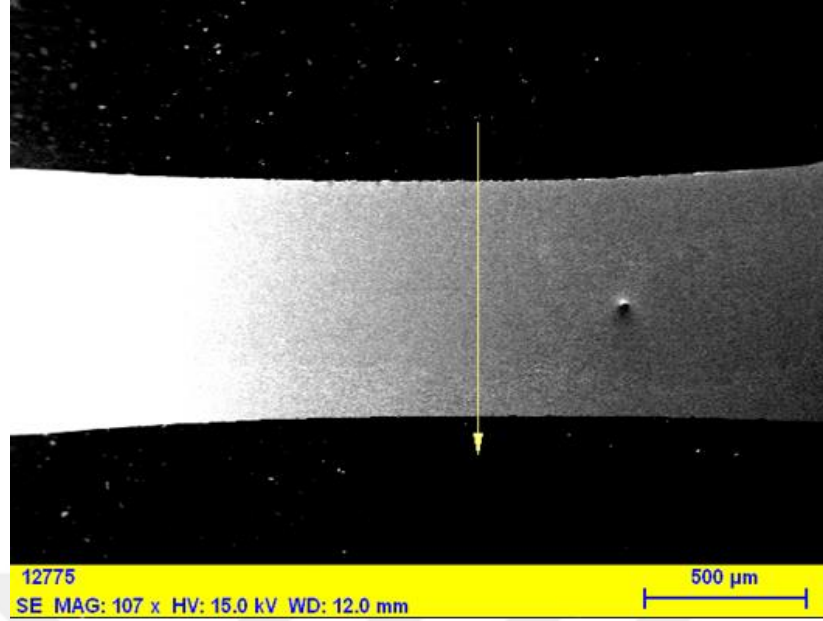
6.9. TWIP1000 Çeliklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri

TWIP1000 çeliklerinin kaynaklı birleştirmelerdeki kaynak çekirdeğine ve ITAB'a ait SEM görüntüsü Şekil 6.39.'da görülmektedir.

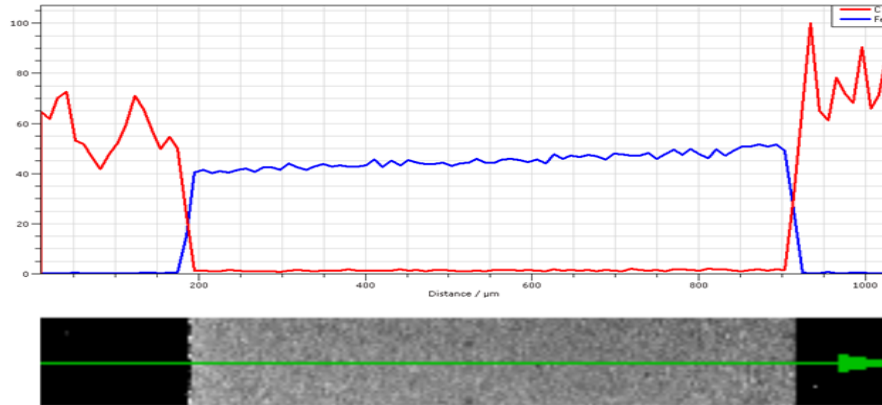


Şekil 6.39. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerde ITAB bölgesinin 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü.

TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinden alınan numunelere boyuna yani dik biçimde çizgisel EDS analizi uygulandığı Şekil 6.40. ve Şekil 6.41.'de görülmektedir. EDS analizi sonucunda TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerde çekirdek mukavemetinde düşüş, kırılabilirlik gibi sorunla yol açabilecek herhangi bir elemente rastlanmamış olması birleştirmenin sağlıklı bir şekilde olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.40. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu.

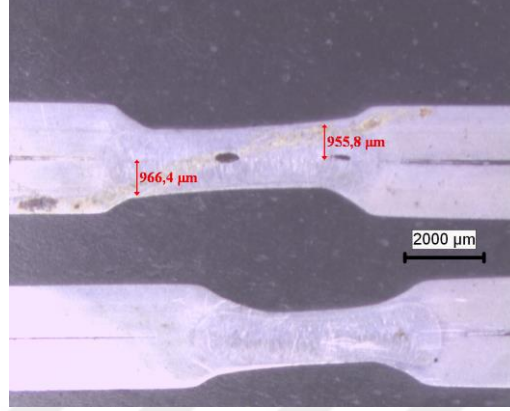


Şekil 6.41. TWIP1000 kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz grafiği.

6.10. TWIP1000 Kaynaklı Birleştirmelerinin Makroyapı Görüntüleri

TWIP1000 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş makroyapı görüntüleri analiz edildiğinde kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanındaki artışın çekirdeğin boyutunu da arttığı Şekil 7.65., Şekil 7.66., Şekil 7.67., Şekil 7.68. ve Şekil 7.69.'da gösterilmektedir. 10,15,20,25,30 Periyot kaynak zamanlarında kaynak akım şiddetinin artışıyla çekirdeğin boyutunda büyüme gerçekleştiği tespit edilmiştir.

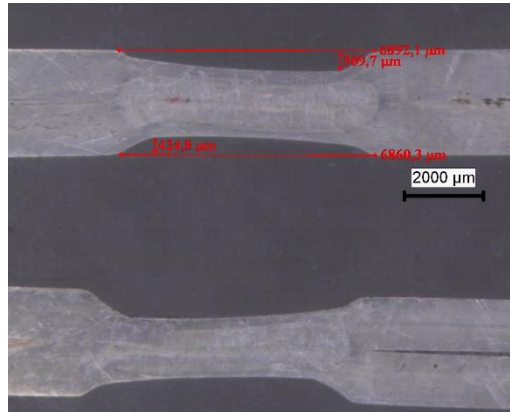
Fıskırmalar 10 ve 15 periyot için 9,79 kA sonrası; 20, 25, 30 periyot kaynak zamanları için ise 8,3 kA sonrasında başladığı gözlemlenmiştir. Elektrot dalma derinliği 10, 15, 20, 25 periyot için 12 kA sonrasında; 30 Periyot kaynak zamanı için 9,79 kA sonrasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



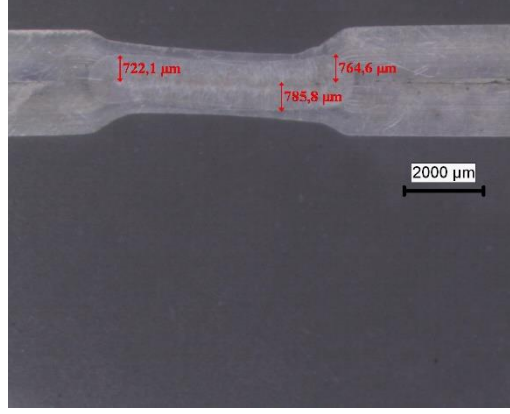
Şekil 6.42. TWIP1000 birleştirmelerinde 10 Periyot – 8,3 kA makroyapı görüntüsü.



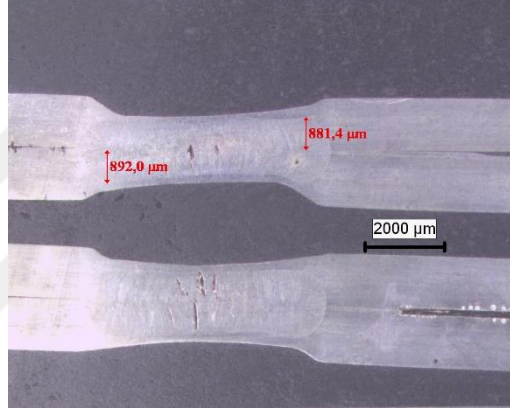
Şekil 6.43. TWIP1000 birleştirmelerinde 15 Periyot – 6,33 kA makroyapı görüntüsü.



Şekil 6.44. TWIP1000 birleştirmelerinde 20 Periyot – 6,33 kA makroyapı görüntüsü.



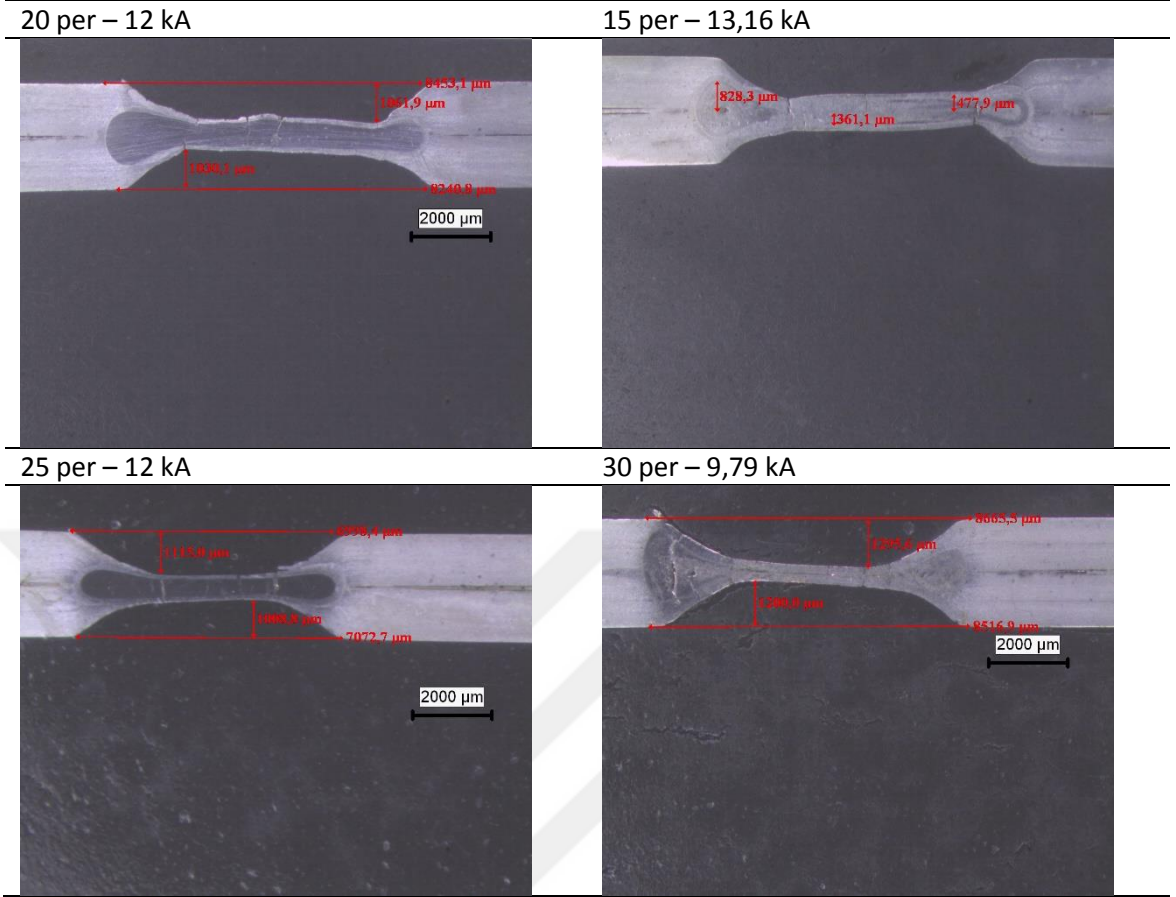
Şekil 6.45. TWIP1000 birleştirmelerinde 20 Periyot – 7,4 kA makroyapı görüntüsü.



Şekil 6.46. TWIP1000 birleştirmelerinde 10 Periyot – 7,4 kA makroyapı görüntüsü.

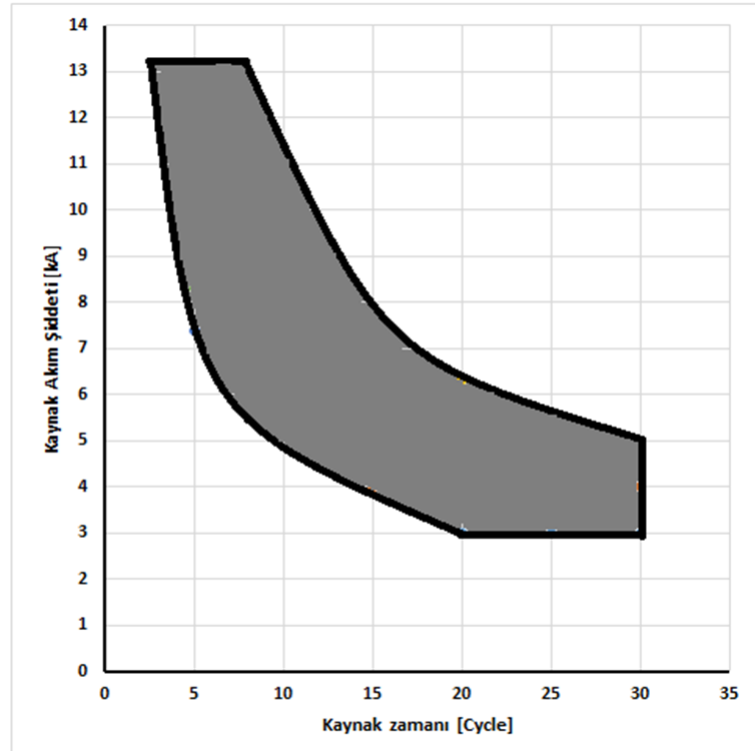
TWIP1000 çelik çiftinin elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmelerindeki elektrot dalma derinliğinin çok olduğu ve fişkırmaların ortaya çıktığı numunelerin makroyapı görüntüleri Tablo 6.3.'de gösterilmektedir.

Tablo 6.3. TWIP1000 fişkırmaların meydana geldiği numunelerin makroyapı görüntüleri.



BÖLÜM 7. TWIP1000 BİRLEŞTİRMELERİNİN KAYNAK GRAFİĞİ (WELD LOBE)

Elektrik direnç nokta kaynak kalitesini belirlemek, parametrelere bağlı sonuç tahmini yapabilmek için Kaynak çekirdek boyutları kullanılan en önemli özelliklerdendir. Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı çekirdek boyutunu etkileyen diğer en önemli parametrelerdir. Bunlar dışındaki değişkenlerin sabit kalması şartıyla kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının kendi aralarında tüm kombinasyonları uygulanarak ulaşılan en uygun bağlantıların oluşturduğu alana Weld Lobe yani kaynak eğrisi denir. TWIP1000 birleştirmeleri için ulaşılan Weld Lobe Şekil 7.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. TWIP1000 birleştirmeleri için Weld Lobe

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tezi için yapılan çalışmalarda otomotiv sektöründe genellikle traversler ve kapı takviyeleri bağlantılarında kullanılan TWIP1000 çelikleri kendi aralarında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş ve bu birleştirmelerde elektrot baskı kuvveti, sıkıştırma ve tutma süreleri sabit bırakılarak kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti parametreleri değişken olarak belirlenmiştir. Ön testlerde malzemede kaynak çekirdeğinin hemen hemen oluştuğu parametrelerden malzemede fişkırmalara yol açıp delen parametrelere kadar tüm parametreler denenmiş olup uygun parametrelerde analizler yapılmıştır. Ön testler sonucunda 10-15-20-25-30 periyot için 6,33 kA, 7,4 kA, 8,33 Ka, 9,79 kA, 12 kA ve 13,12 kA değerleri için beş tane sıralı seri kaynaklı birleştirme elde edilmiştir. Bunların iki tanesi çekme-makaslama, iki tanesi çekme-sıyırma ve son olan beşinci seri mikrosertlik, SEM, EDS, mikro ve makroyapı elde etmek için kullanılmıştır.

Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır;

-TWIP1000 birleştirmelerinde en yüksek çekme-makaslama kuvveti 25 Periyot kaynak zamanı 8,3 kA kaynak akım şiddeti değerinde 17900N olarak elde edilmiştir.

-TWIP1000 birleştirmelerinde en yüksek çekme-sıyırma kuvveti 25 Periyot kaynak zamanı 8,3 kA kaynak akım şiddeti değerinde 2896N olarak elde edilmiştir. Elde edilen 2200N değerinin maksimum çekme-makaslama değeri olan 17900N değerinden oldukça az olduğu görülmektedir. Bu tür bağlantılar kullanılacağında mukavemet hesabı için göz önüne alınması gerekmektedir.

-Çok iyi bir yüzey kalitesi istendiği durumlarda 25-30 periyotta 7,4 kA, 15-20 periyotta 8,3 kA, 10 periyotta ise maksimum 12 kA kaynak akım şiddeti tercih edilmesi önerilir.

-TWIP1000 elik saclarının elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerinde düşük kaynak zamanı ve düşük akım şiddetlerinde yapıldığı durumlarda kaynak çekirdeğine iletilen ısı az olduğundan ısı girdisi az olup çekirdek boyutu normalden küçük olarak gerçekleşmiştir. Bu bağlantılarda elde edilen deney sonuçlarında çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerinin diğer parametrelerle olan birleştirmelerden az olduğu tespit edilmiştir.

-Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetindeki artış ile beraber çekirdek boyutlarında yükselme tespit edilmiş olup çekirdek boyutlarındaki artışla çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerinin de beraberinde arttığı belirlenmiştir. Artan kuvvet kaynak noktasında daha yüksek orandaki ergimenin sonucu sebebiyle olduğundan çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneyleri sonucunda dğmelenme ve sonrasında da yırtılma türü kopma gerçekleşmiştir.

-Yüksek kaynak akım şiddetlerinde ısı girdisi yükselmiş ve kaynaktaki ergime miktarını da arttırmıştır. Ergiyen metalin elektrot baskı kuvvetiyle beraber sacların her iki yüzeyinde de oluşan elektrot dalma derinliklerindeki artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak elektrot-malzeme temas yüzeyindeki renk değişimleri, elektrotun yüzeye yapışması, ara yüzeyden fişkirmalar ve sonrasında da malzemenin delinmesi durumu gerçekleşmiştir. Bu durumlarda incelen kaynak çekirdek kesitinin sonucunda da çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerinde azalma gerçekleşmiştir.

-TWIP1000 elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerinde oluşan çekirdeğin iki malzeme de aynı özellik ve kalınlıkta olduğundan dolayı ısıl denge sağlanmış, kaynak çekirdeğinin tam merkezde olduğu tespit edilmiştir.

-Mikrosertlik testleri sonrasında TWIP1000 birleştirmelerde ana metalden çekirdeğe ilerledikçe sertliğin arttığı belirlenmiştir. Kaynak ekirdeğinin merkezinde yaklaşık olarak 350-400HV olup bu sertlik değeri ana metalin sahip olduğu sertlik değerinin çok üzerindedir.

-1,4mm kalınlığa sahip TWIP1000 eliklerinin kaynak bölgesinin her noktasından yapılan SEM ve EDS analizleri sonucunda kaynak ve HAZ (ITAB) bölgesinde mukavemeti olumsuz yönde etkileyecek yabancı herhangi bir element olmadığı belirlenmiştir.

-TWIP1000 elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerinde HAZ (ITAB) bölgesinde tane büyümelerinin olduğu ve bu tane büyümelerinin tane sınırlarının kaybolması sonrası birbirlerini yutma türünde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

-Elektrik direnç nokta kaynak yöntemi uygulanırken kaynak parametrelerinin her kombinasyonu denenmiş olup uygulanan tüm deneyler sonucunda TWIP1000 elik çiftinin ulaşılan tüm sonuçlarının birleştirilerek tek bir grafikte gösterilebilen şekline Weld Lobe'a ulaşılmıştır.

neriler;

-Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen numunelere yorulma deneyi uygulanıp sonuçları analiz edilebilir.

-Yapılan nokta kaynaklı birleştirmelere yağmur suyu gibi korozyon testleri uygulanabilir.

-Birleştirmelerin burulma deneyi davranışı analiz edilebilir.

-Birleştirmeler entik darbe deneyi ile test edilebilir.

KAYNAKLAR

Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, (2005), Erişim Adresi: www.worldautosteel.org, Erişim Tarihi: 06.10.2016.

Aslanlar, S., (1999) Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aslanlar, S., (2006), 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.

Aslanlar, S., Oğur, A., Özserağ, U., İlhan, E., Demir, Z., (2007), Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding, *Materials and Design* 28: 2–7.

AWS, *Welding handbook*, Volume 3, *Welding processes: Resistance welding and solid-state welding and other joining processes*, 7.Ed.,

Cho, H. S., Cho, Y. J. (1989), A Study of the Thermal Behavior in Resistance Spot Welds, *Welding Research Supplement*, 236 -244.

Cretteur, L., Koruk, A.I., (2003), Heat treatments to improve weldability of new multiphase high strength steels', *Materials science forum*,, 426-432, 1225–1230.

Çetin, V., (2019), S700CR Çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında hasar modunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SUBÜ.

Ding, H. Song, D. Tang, Z. andYang P., (2011), Strain hardening behavior of a TRIP/TWIP steel with 18.8% Mn, *Material Science and Engineering A*, 528: 868873.

Dong, S.J., Kelkar, G.P., Zhou, Y., (2002), Electrode Sticking During Micro-Resistance Welding of Thin Metal Sheets, *Ieee Transactions On Electronics Packaging Manufacturing*, 25(4): 355- 361.

Erdem, V.E., Arısoy, C.F., (2003) Otomotiv Endüstrisinde Çelikten Vazgeçilebilir Mi? Metal Dünyası, Sayı.125, sy.72-81.

Ertaç, A.H., (2004), Fatigue Behaviour Of Spot Welds, Graduate Program in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, Doktora Tezi, 120 sf.

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.

Gül, Ü., (2017), 1200m çeliğinin (cmt) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ.

H. Mohrbacher, (2015), “Martensitic automotive steel sheet Fundamentals and metallurgical optimization strategies,” Adv. Mater. Res., vol. 1063, pp. 130– 142.

Kekik, M., (2018), 1200M-DP800HF Saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ.

Marya, M., Gayden, X.Q., (2005), Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 2: Statistical Analyses and Process Maps, Welding Journal, 197-204.

Onar, V., (2017), Trip çelikler ile mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, SAÜ.

Onar, V., Aslanlar, S., (2017), 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.

Özer, A., (2009), Çeliklere uygulanan TRIP işlemleri ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, TUBAV Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, Sayfa:291-301,. Erişim Adresi: <http://www.metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/47/gelistirilmis-yuksekmukavemetli-otomotiv-celik-kaliteleri.html>, Erişim Tarihi: 16.10.2017.

Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E.,(2009), Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:50, Sayı:596.

Pollard, B., (1974), Spot Welding Characteristics of HSLA Steel for Automotive Applications, AWS Welding Research Supplement August 1974:343-350.

Satoh, T. Abe, H. Nakaoka, T. and Hayata, Y., (1996), The fatigue life of the spot welded joint under a repeated load of R=-1, Welding in The World, 12.

Sawhill, J. M., Watanabe, H., Mitchell, J. W., (1977), Spot Weldability of Mn-Mo Cb, V-N, and SAE 1008 Steels, AWS Welding Research Supplement July 1977:217-224.

Speich, G.R., (1981), Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels, R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, s.3-45.

Toros S., Öztürk, F., (2007), Otomobillerde Alüminyum ve Magnezyum Alaşımlarının Yeri ve Şekillendirilebilme Kabiliyetlerinin İncelenmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa.

Şık, A., (2002), Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağından gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.

Türk Standardları Enstitüsü, (2001), EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds.

Türk Standardları Enstitüsü, (2007), EN ISO 14273, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels.

Varis, J.P., (2006), The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, Journal of Materials Processing Technology, 132, 242-249.

Savic V., Hector Jr L. G. and Fekete J. R., (2010) "Digital Image Correlation Study of Plastic Deformation and Fracture in Fully Martensitic Steels," Exp. Mech., vol. 50, no. 1, pp. 99-110.

Yong T., Zhuang L., (2012), 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.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Bulca, 18.10.1987'de Konya'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya da tamamlamıştır. Lise eğitimini 2005'te Antalya Karatay Lisesinde tamamlamıştır. Ertesi yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği bölümüne girmiş ve 2012 yılında mezun olmuştur. Aynı sene Gedik Üniversitesi Uluslararası Kaynak Mühendisliği Eğitimi tamamlamıştır. 2015 yılında Sakarya Üniversitesinde başladığı İmalat Mühendisliği yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. Şu anda ISRA (Intelligent Systems Robotics&Automation) firmasında satış müdürü olarak çalışmaktadır.