T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DP800 ÇELİK SACLARIN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA HASAR MODUNUN TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hacı ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : **İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ**

Haziran 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DP800 ÇELİK SACLARIN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA HASAR MODUNUN TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hacı ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 01/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa BOZ	Prof.Dr. Salim ASLANLAR	Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Jüri Başkanı	Üye	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 bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hacı ASLAN
25.05.2017

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam esnasında her zaman gece gündüz kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan sayın Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, danışman hocam sayın Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan sayın Doç. Dr. Zafer BARLAS'a, çalışmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen tüm emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çocuklarım ve eşime de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ vi
ŞEKİLLER LİSTESİ vii
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
SUMMARY xv

BÖLÜM 1.
GİRİŞ 1
1.1. Giriş ve Konunun Önemi 1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Planlanması 3
1.3. Literatürde Yer Alan Konu ile Alakalı Çalışmalar 4

BÖLÜM 2.
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ÇELİK SAC MALZEMELER 7
2.1. Yeni Nesil Çelikler 11
2.1.1. DP Çelikleri 12
BÖLÜM 3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI 17
3.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi ve Yöntem Esasları 18
3.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu 20
3.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Ayar Parametreleri 23
3.3.1. Kaynak akım şiddeti 23
3.3.2. Kaynak zamanı 25
3.3.3. Elektrot baskı kuvveti 26
3.3.4. Elektrot ucu malzemesi 26
3.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdeğinin Kalitesi 27

3.4.1. Kaynak çekirdeğinin geometrik özellikleri 27
3.4.2. Kaynak çekirdeği dayanımının ve performansının belirlenmesi 31
3.5. Kaynak Zamanına ve Kaynak Akım Şiddetine bağlı Kaynak Grafiği31
3.6. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları 32
3.7. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Uygulama Alanları..... 33

BÖLÜM 4.
DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 35
4.1. Genel..... 35
4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri 35
4.3. Deney Numunelerinin Standartlara Göre Boyutlarında Hazırlanması 36
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlamasında Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi..... 37
4.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları.. 38
4.6. Ön Deneylerin Yapılması 39
4.7. DP 800 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Deneylerinin Yapılması..... 40
4.8. DP800 Çeliklerinin Çekme-Makaslama ve -Sıyırma Testleri..... 42
4.9. DP800 Çeliklerin Optik Mikroskop ve SEM ile Yapılan Çalışmalar. 44
4.10. Çekirdek Geometrisinin Ölçülmesi 45
4.11. Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi 45

BÖLÜM 5.
DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI 47
5.1. Genel..... 47
5.2. DP 800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Kuvvetine Etkisi 47
5.2.1. Kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama kuvvetine etkisi..... 48
5.2.2. Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama kuvvetine etkisi..... 49

5.2.3. Kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma kuvvetine etkisi 50
5.2.4. Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma kuvvetine etkisi 51
5.3. DP800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Kaynak Çekirdek Geometrisine Etkisi 52
5.3.1. Kaynak akım şiddetinin ve Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların kaynak çekirdek çapına (d_1)etkisi 52
5.3.2. Kaynak akım şiddetinin ve Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek yüksekliğine(h_1) etkisi 55
5.3.3. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek boyut oranına (h_1/d_1) etkisi 55
5.4. DP800 Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliklerine ve Genişliğine Etkisi 57
5.4.1. Kaynak zamanın ve kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt –Üst ve toplam Elektrot dalma derinliğine(t_1,t_2) etkisi 57
5.4.2. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt ve Üst Elektrot dalma genişliğine(l_1,l_2) etkisi 63
5.5. DP800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Geometrisinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Kuvvetlerine Etkisi 63
5.5.1. DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının çekirdek çapının(d_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi 63
5.5.2. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek yüksekliğinin (h_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi 65
5.5.3. DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının(h_1/d_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi 66

5.5.4. DP800 bağlantıların elektrot dalma derinliklerinin(t_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi 67
5.5.5. DP800 bağlantıların Elektrot dalma genişliğinin(l_1,l_2) çekme-makaslama kuvvetine etkisi 70
5.5.6. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek çapının(d_1) çekme-sıyırma kuvvetine etkisi..... 72
5.5.7. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi..... 73
5.5.8. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi 75
5.5.9. DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi..... 77
5.5.10. DP800 bağlantıların elektrot dalma genişliklerinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi..... 79
5.6. Kaynak Ayar parametrelerinin Bağlantıların Sertliğine Etkisi..... 80
5.7. DP800 Çelik Saçların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe) 86
5.8. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Mikro Yapısına Etkisi..... 87
5.9. Bağlantıların Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri..... 87
5.10. Bağlantıların Makro Yapı İncelemesi 91

BÖLÜM 6.
SONUÇLAR VE TARTIŞMA 94
6.1. Sonuçların İrdelenmesi ve Öneriler 94
6.2. Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar..... 96

KAYNAKLAR 97
ÖZGEÇMİŞ..... 104

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

d	: Kaynak çekirdek çapı
DP	:Çift fazlı çelikler
h	: Kaynak çekirdek yüksekliği
h/d	:Kaynak çekirdek boyut oranı
ITAB	: Kaynak etki bölgesi
l_1	: Üst elektrot dalma genişliği
l_2	: Alt elektrot dalma genişliği
t_1	: Üst elektrot dalma derinliği
t_2	: Alt elektrot dalma derinliği
R1	: Üst elektrot malzeme direnci
R2	: Üst elektrot ile üstteki parça arasındaki temas direnci
R3	: Üst parçanın malzeme direnci
R4	: Üst parça ile alt parça arasındaki temas direnci
R5	: Alt parçanın malzeme direnci
R6	: Alt elektrot ile alt parça arasındaki temas direnci
R7	: Alt elektrotun malzeme direnci
R_{AEMT}	:Alt elektrot ile malzeme arasındaki temas direnci
R_{EM}	:Elektrotların malzeme direnci
$R_{İM}$	:İş malzemelerinin direnci
$R_{ÜEMT}$	:Üst elektrot ile malzeme arasındaki temas direnci
R_M	:Malzemelerinin direnci
R_{MT}	:Malzemelerinin –malzeme temas direnci
R_T	: Temas dirençleri
R_{TOP}	: Toplam direnc
s	: Et kalınlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yeni nesil çeliklerin özellikleri 8
Şekil 2.2. Günümüz otomobillerinden istenilen özellikler 8
Şekil 2.3. Bir otomobilde kullanılan metal malzemeler 10
Şekil 2.4. Otomotivde kullanılan çelik malzemelerin mekanik özelliklerine göre sınıflandırılması 11
Şekil 2.5. Farklı martensit hacim oranlarının DP çeliklerinin çekme dayanımına etkisi [32]. 14
Şekil 2.6. DP çeliklerin Gerçek gerilim- gerinim eğrileri üzerine martensit hacim oranın etkisi [33]. 15
Şekil 2.7. DP çeliklerinin Peugeot 308'de kullanımı: (a) 2008 model 1. nesil, (b) 2014 model 2. nesil 16
Şekil 3.1. Otomatik elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen bir otomobil kapı paneli 18
Şekil 3.2. Elektrik direnç nokta kaynak makinası ve prensibi 19
Şekil 3.3. Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi 19
Şekil 3.4. Elektirk direnç nokta kaynak makinası uygulama örneği 20
Şekil 3.5. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan dirençler 21
Şekil 3.6. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan ısı dağılımı ve meydana gelen dirençler 22
Şekil 3.7. Elektrik direnç nokta kaynağında ısı kaybı 24
Şekil 3.8. Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi 24
Şekil 3.9. Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi 25
Şekil 3.10. Kaynak çekirdek geometrisinin şematik gösterimi 28
Şekil 3.11. Düşük karbonlu çeliklerde kaynak çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi 29
Şekil 3.12. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan fışkırma örnekleri 31

Şekil 3.13. Bir kaynak eğrisi diyagramı 32
Şekil 3.14. Farklı malzemeler için kaynak eğrisi diyagramı 33
Şekil 3.15. Elektirik direnç kaynağı uygulama örnekleri 34
Şekil 4.1. Deney malzemelerinin çekme deneyi sonuçları 36
Şekil 4.2. Çekme-makaslama deney numuneleri 37
Şekil 4.3. Çekme-sıyırma deney numuneleri 37
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi 38
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan akım şiddeti ölçüm cihazı 38
Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan elektrotların boyutları 39
Şekil 4.7. Ön deney numuneleri 40
Şekil 4.8. Deneylerde uygulanan kaynak ayar parametreleri 41
Şekil 4.9. DP 800 Çekme-makaslama deney numuneleri 41
Şekil 4.10. DP800 Çekme-sıyırma deney numuneleri 41
Şekil 4.11. Deneylerde kullanılan çekme cihazı 42
Şekil 4.12. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop 44
Şekil 4.13. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskopu (SEM) 44
Şekil 4.14. Makroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop 45
Şekil 4.15. DP 800 çelik malzemenin sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme cihazı 46
Şekil 5.1. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında kaynak akım şiddetinin sabit kaynak zamanında çekme-makaslama dayanımına etkisi 49
Şekil 5.2. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında kaynak zamanının sabit kaynak akım şiddetinde çekme-makaslama dayanımına etkisi 50
Şekil 5.3. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi 51
Şekil 5.4. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi 52
Şekil 5.5. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi 54
Şekil 5.6. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi 54

Şekil 5.7. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi 55
Şekil 5.8. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek yüksekliğine etkisi . 56
Şekil 5.9. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek boyut oranına etkisi 56
Şekil 5.10. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek boyut oranına etkisi 57
Şekil 5.11. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Alt elektrot dalma derinliğine etkisi 58
Şekil 5.12. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Alt Elektrot dalma derinliğine etkisi 58
Şekil 5.13. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin üst elektrot dalma derinliğine etkisi 59
Şekil 5.14. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi 59
Şekil 5.15. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi 60
Şekil 5.16. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi 60
Şekil 5.17. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Alt Elektrot dalma genişliğine etkisi 61
Şekil 5.18. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Alt Elektrot dalma genişliğine etkisi 61
Şekil 5.19. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Üst Elektrot dalma genişliğine etkisi 62
Şekil 5.20. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Üst Elektrot dalma genişliğine etkisi 62
Şekil 5.21. DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken) 64
Şekil 5.22. DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken kaynak zamanı sabit)..... 64

Şekil 5.23. DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 66
Şekil 5.24. DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)..... 66
Şekil 5.25. DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 68
Şekil 5.26. DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)..... 68
Şekil 5.27. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 69
Şekil 5.28. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)..... 70
Şekil 5.29. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 71
Şekil 5.30. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)..... 71
Şekil 5.31. DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 73
Şekil 5.32. DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit) 73
Şekil 5.33. DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 75
Şekil 5.34. DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit) 75

Şekil 5.35. DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 76
Şekil 5.36. DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit) 76
Şekil 5.37. DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 78
Şekil 5.38. DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit) 78
Şekil 5.39. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) 79
Şekil 5.40. DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)..... 80
Şekil 5.41. Sertlik ölçüm doğrultuları 81
Şekil 5.42. DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay) 82
Şekil 5.43. DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey) 82
Şekil 5.44. DP800 bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay) 82
Şekil 5.45. DP800 bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey) 83
Şekil 5.46. DP800bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey ve yatay doğrultu) 83
Şekil 5.47. DP800 bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey) 83
Şekil 5.48. DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay) 84
Şekil 5.49. DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey) 84

Şekil 5.50. DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay) 84
Şekil 5.51. DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey) 85
Şekil 5.52. DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay) 85
Şekil 5.53. DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey) 85
Şekil 5.54. DP800 bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe) 86
Şekil 5.55. DP800 bağlantılarda esas metale ait mikro yapı fotoğrafı..... 87
Şekil 5.56. Kaynağı yapılmış DP800 saçların ana malzemeye ait SEM görüntüsü 88
Şekil 5.57. Kaynağı yapılmış DP800 saçların ITAB'a ait SEM görüntüsü 88
Şekil 5.58. Kaynağı yapımış DP800 saçların kaynak çekirdeği-ITAB arası SEM görüntüsü..... 89
Şekil 5.59. DP800 bağlantılarda kaynak bölgesine (çekirdek) ait SEM görüntüsü 89
Şekil 5.60. Şekil 5.59. (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi 90
Şekil 5.61. DP800 bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü..... 90
Şekil 5.62. Şekil 5.61'de (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi .. 91
Şekil 5.63. DP800 bağlantılarda 5 periyot – 11.1kA ait makroyapı fotoğrafı..... 92
Şekil 5.64. DP800 bağlantılarda 10 periyot – 12,5 kA ait makroyapı fotoğrafı..... 92
Şekil 5.65. DP800 bağlantılarda 15 periyot – 11,1 kA ait makroyapı fotoğrafı..... 92
Şekil 5.66. DP800 bağlantılarda 20 periyot – 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı..... 92
Şekil 5.67. DP800 bağlantılarda 25 periyot 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı..... 92
Şekil 5.68. DP800 bağlantılarda 30 periyot 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı..... 93

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi (%)[93] 35
Tablo 4.2. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri[93] 35
Tablo 4.3. DP 800 Çeliklerin çekme-makaslama ve -sıyırma deneylerinde meydana gelen hasar çeşitleri 43
Tablo 5.1. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri 49
Tablo 5.2. DP800 bağlantılarda fışkırma oluşan çekme-sıyırma numuneleri 53
Tablo 5.3. DP800 bağlantılara ait bazı mikroyapı görüntüleri 88
Tablo 5.4. Şekil 5.59. (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği 90
Tablo 5.5. Şekil 5.61'de (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği 91
Tablo 5.6. DP800 bağlantılara ait bazı makroyapı fotoğrafları 93

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Çift Fazlı Çelik, Çekme-Sıyırma Dayanımı, Çekme-Makaslama Dayanımı, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Otomotiv endüstrisinde son yıllarda yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bunlar arasında çift fazlı (Dual Phase, DP) çelikler yüksek dayanım ve şekillendirilebilirlik açısından ön plana çıkmaktadır. Otomotiv sektöründe, özellikle maliyet indirimi ve araçların ağırlığının azaltılması için ultra yüksek mukavemette tok malzeme arayışına geçilmiştir. 1990' lı yıllarda niobyum (Nb) elementinin malzemelerde kullanılması ile 400 gradelerde yüksek mukavemetli malzemeler kullanılmış; fakat müşteri isteklerini karşılamada bu malzemeler yetmeyince; kolay şekil verilebilir, şekil verildikten sonra da pekleşerek daha yüksek dayanım değerine sahip malzemeler bulunmaya çalışılmıştır.

2000' li yıllarda çift fazlı malzemelerin kullanımına başlanmıştır. Bu malzemelerin ana yapısı, tamamen özel tavlama ile sacın ferritik özelliklerinin arttırılması ve böylece malzemeye kolayca şekil verilmenin sağlanması, ikinci faz olarak da martenzitik fazın oluşturulması ki bu faz iğneli sert yapısı ile mukavemet özelliğini artırma esasına dayanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, DP 800 çelikleri seçilmiştir. Kalınlıkları 1.0 mm olan bu saclar araçların kapı kısımlarında kullanılmaktadır. DP800 çelik sac numuneler kendi aralarında, elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Deneylerde, kaynak zamanı ile kaynak akım şiddetinin ve bu parametrelere bağlı olarak çekirdek geometrisinin, bağlantının çekme-sıyırma ve çekme-makaslama dayanımına, sertlik dağılımına ve makro-mikro yapısına etkileri incelenmiştir. Bağlantıların çekme-sıyırma ve çekme- makaslama dayanımlarını belirlemek için 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanı ve 6 kA, 7 kA, 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,5 kA kaynak akım şiddeti parametreleri kullanılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Deneyler sonucu mekanik özellikleri belirlemede ve karakterizasyon çalışmalarında çekme deneyleri dışında mikrosertlik ölçümleri yapılmış, makroyapı ve mikroyapı görüntüleri SEM (Tarama Elektron Mikroskopu) ve optik mikroskopta çekilmiş, EDS (Elektron Dispersive Spectrometry) analizleri yapılmıştır. Son olarak, kullanıcılara en ideal kaynak parametreleri ve bölgesi (Weld Lobe) sunulmuştur.

DEFECT MODE DETERMINATION OF DUAL PHASE DP800 STEEL SHEETS JOINT BY ELECTRICAL RESISTANCE SPOT WELDING

SUMMARY

Keywords: Dual-Phase Steel, Tensile-Peel Strength, Tensile-Shear Strength, Electrical Resistance Spot Welding

Use of high-strength steels in automotive industry has become pretty widespread in recent years. Among these, dual phase (DP) steels come into prominence in terms of high-strength and forming ability. In automotive industry, decrease of costs and weight have vital importance, therefore ultra high strengtehed and having high toughness steels are required. In 1990s, niobium (Nb) was added to steels as an alloying element to strengten them up to 400 grades. However, the needs of customers have not been provided accuretely, so new steels having easily formable, and strain hardenable were developed.

In 2000s, the dual-phase steels have been started to use in many areas. The main phase in this type of steel is ferrite which was specifically heat-treated in order to form easily, and the second phase is martensite to strengthen the whole structure.

In this study, Dual-Phase (DP 800 type) steel sheets having 1.0 mm thickness were welded by electrical resistance spot welding method. Welded joints were prepared in 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cycles welding times, and 6 kA, 7 kA, 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,5 kA weld currents. The tensile-peel and tensile-shear tests of these joints were performed and microstructural properties of them were investigated by SEM (Scanning Electron Microscope) and optical microscope and EDS (Energy Dispersive Analysis) were done. Finally, the optimum welding parameters (i.e. Weld Lobe) were advised to users.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Konunun Önemi

Günümüzde, Şirketlerin kar zarar parametrelerini takipteki hassasiyet, üretimin sınırları zorlaması, tüketimin alışkanlıktan çıkıp savurganlık düzeyine taşması, sektörün krizlerden çıkma çabaları firmaların bin bir zorlukla tasarlayıp para ve zaman harcayarak buldukları ürünlerinin çok kısa sürede taklit edilmesi, Pazar payının aynı kalıp pazardaki firma sayısının rakamsal olarak her gün artması güçlü ve arge si müthiş olan şirketleri yeni ürünleri keşfedip pazara sürerken, taklit edilmesine fırsat kalmadan sektörün rol aldığı pazarda çok hızlı ve tatmin edecek payı alma isteği metal ve kaynak sektöründe baş döndürücü bir gelişmeye ve hıza tanık olmuştur.

Önceden kaynak edilebilecek malzemeler üretilmeye gayret gösterilirken bu gün günümüz de üretilen malzemelere göre kaynak metotları geliştirilmekte olduğunu görüyoruz geliştirilen kaynak teknikleri otomotiv endüstrisinde müthiş üretim ve kalite getirmekle kalmıyor sürekli yeni bir üretim hızı getiriyordu araçların banttan çıkış zamanı artık dakikalarla ölçülüyordu.

Sıcak savaş zamanında savaş ganimetlerinden oluşan ülke ekonomileri gıda tarım ve baharat ticaretleri 19 yüzyılın başlarında yerini kesin sınırları belirlenecek ülkelere ve bu ülkelerin sanayi devrimleri ile teknolojik ürünlerle ekonomik başarılar kazanma tirendi başladığında müthiş bir yarış da başlamış oluyordu.

Elektrik ve Elektronik alanındaki baş döndürücü gelişmeler buluşlar kimyanın sınırları zorlayan yenilikleri. Fizik ve matematiğin doruk noktasıyla 20. yüz yıl artık soğuk savaşların başlayacağını bu savaşlarında ülkelerin ticari sınırlarının

olmayacağının ipuçlarını verirken Amerika Rusya ve Almanya'da kaynak teknolojileri alanında yenilikler İsveç Çekoslovakya ve Almanya bazında ise demir ve çelik endüstrisi sınırlarını çoktan aşmış oluyordu.

1980 yıllara gelindiğinde sektörün içinde olan alaylı ve mektepli uzmanlar ne makinaların çeşitlerine nede demir ve çelik endüstrisindeki hem de demir dışı metallerdeki ürün gamının ad ve türlerine yetişme şansları da olmuyordu.

Avrupa'da her tür malzemenin hem konstrüktif olarak hem de günlük kullanımlarda kullanılabileceği ve kaynatılabileceği bilinirken uzak doğu ülkelerinden Japonya güney Kore hem kaynak teknolojilerindeki robot sistemlerine hem de kaliteli çelik üretimlerine müthiş yatırımlar yaparken bizim ülkemizde adı bile anılmıyordu

90 yıllarda internetin ve pazarlama teknolojilerinin çağ atlaması şirketlerin pazardan pay kapma ve yeni ticari alanlar arama çabaları demir ve çelik endüstrisi ve kaynak teknolojisiyle ilgili bilgi doküman ve ürünlere ulaşabilmeyi aniden getirdi. çok uluslu şirketlerde hem üretilen ürünlerin pazara çabuk ulaştırılması hem de mevcut ülkelerde markaların ülkenin malıymış gibi algılanmasını sağlayacak müthiş bir pazarlama fikri bulundu ve otomobil markaları sattıkları ülkelerde imalat montaj fabrikaları kurmaya başladılar buda Türkiye yi Pazar yaptı yabancı menşeli ürünler ve kaynak makinaları kaynak teknolojileri ülkemizde ortak oluşturulmuş şirketler bayiler ve pazarlama şirketleri sayesinde satılabilir konumdayken küçük ve orta ölçekli şirketlerde de bu makine ve ürünler taklit edilmeye başlandı 2010 lu yıllarda artık Türkiye de patenti ve menşei kendine ait olmayan ürünlerle dolmaya başlamıştı.

Bu gün baktığımızda kaynak tekniği açısından da kaynatılabilecek malzeme açısından da bir liste oluşturulduğunda sayfalar dolusu olduğunu görmekteyiz.

Bizim irdeleyip inceleyeceğimiz ve dp 800 serisi ile çalışacağımız elektirk direnç kaynağı ise 1960 yıllara kadar Sobacıların ve havalandırma şirketlerinin gözdesi olan bir kaynak tekniğinin bu gün otomasyon sisteminde otomotiv endüstrisinin vaz

geçilmez müthiş bir tekniği olduğunu heyacanla gözlemliyoruz sektörün prensi belki de elektirik direnç kaynakları dersek abartmamış oluruz.
Çift fazlı çelikler bir zamanlar çifte su verilmiş türk kılıcı denilen ürünlerin ilkel atalarımıydı bu konu ne irdelendi nede bir metalografik bir inceleme yapılmadı sanırım bize sunulan her ürünü müthiş nidalarıyla kabullenirken bu ürünlerde adımızın da teknolojimizin de olmamasını ne kadar düşündük ne kadar bir plan ve proğram uygulama hevesine girdik muallaklı sorular olarak hep sektör ve akademik sohbetlerde kaldı.

Otomotiv sanayinde kaliteli, görsel araçların kendi ağırlıklarının yakıt tasarrufu ve yol tutuşlarda önemi aerodinamik yüklere dayanıklılık yüksek teknoloji araçlarda hız ve kalitenin makul olması korozyona karşı yüksek direnç beklentileri kaynaklı bağlantılarda defermasyonun ve İTAB bölgelerinin sorun olmaması istekleri, araçların müşterisi konumundaki tüketicilerin de teknik ve görsel bilgilerde bilinçli ve tecrübeli olmaları tüketici mahkemelerinin hukuksal olarak önem kazanması sektördeki baş döndüren rekabet otomobil ve araç üretici dev şirketleri daha çok arge ye daha çok teknolojik çalışmaya itmiştir buda fiyat ve tasıt agırlıgının azaltılması korozyana karşı dayım şekillenebilirlik konstrüktüf yüklemelere ve ani darbelere karşı dayınım üzerine yapılan araştırmalardan biride bu yeni nesil çelikler üzerine yapılan araştırma ve çalışmalardır. Yeni nesil çelikler içinde günümüzde çift fazlı Çelikler, TRIP çelikleri otomotiv uygulamalarında son derece önemli bir konuma gelmişlerdir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Planlanması

Yapılacak bu çalışmada Otomobil sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan DP 800 çelik saçların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında kaynaklanabilirliğinin ve kaynak esnasında ortaya çıkacak olan problemlerinin bertaraf edilmesi planlanmıştır.

Yapılan literatür taramalarında DP 800 çelik saçlarının elektrik direnç nokta kaynağı ile ilgili çalışmalara rastlanmış olup, bu DP800 saçların hasar modlarının tespiti

üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bundan dolayı yüksek lisans tezi konusu olarak seçilmiştir.

Bu nedenle elektrik direnç nokta kaynaklı DP 800 çelik sac bağlantılarının metalurjik ve mekanik davranışlarını incelemek için deney parçaları standart boyutlarda hazırlanmış ve önceden ön deneylerde tespit edilmiş kaynak ayar parametrelerine göre kaynakları atılmıştır.

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak ayar parametrelerinin elde edilen bağlantının kaynak davranışına, çekme-sıyırma ve çekme-makaslama dayanımına etkisinin saptanabilmesi için yapılan ön deneylerin olumlu sonuçlanması ile kaynak parametreleri belirli bir aralıkta değiştirilmiştir.

Kaynak ayar parametrelerinin bağlantının çekirdek boyutlarına ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması ile birlikte, bağlantı bölgesinde oluşması muhtemel metalurjik değişikliklerin belirlenmesi amacıyla kaynak çekirdeği, Isının Tesiri Altındaki Bölge ve esas metal optik mikroskop altında incelenmiştir. Bu bölgelerde oluşan sertlik dağılımları incelemek amacıyla sertlik ölçümleri yapılmış ve. bazı numuneler taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir.

Sonuç olarak elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş DP 800 çelik saclardan elde edilmiş en uygun bağlantılar için kullanılması gereken kaynak ayar parametreleri kaynak eğrisi diyagramı oluşturularak belirlenmiştir.

1.3. Literatürde Yer Alan Konu ile Alakalı Çalışmalar

Elektrik direnç nokta kaynağının otomotiv endüstrisindeki kullanımı üzerine 1940 lı yıllardan beri literatür tarandığında çok sayıda yayına rastlamak mümkündür. Demir esaslı ve demir dışı malzemelerin birleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemi olması nedeni ile günümüzde yoğun olarak araştırma çalışmaları kapsamına girmektedir.

Elektrik Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş malzemeler üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan deneysel yöntemler benzerlikler göstermektedir. Elektrik Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş malzemeler üzerine yapılan deneysel çalışmalarda ileri yüksek dayanımlı çelikler (AHSS) [1], [2][46-59], yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA) [3]–[10], düşük karbonlu çelikler [3]–[6], [11]–[15], galvaniz kaplamalı çelikler [16]–[23] ve paslanmaz çelikler [14], [24]–[41] gibi malzemeler incelenmiştir.

Bu güne kadar yapılan çalışmalarda araştırmacılar Elektrik Direnç nokta kaynağında kaynak ayar parametrelerinin bağlantı kalitesine etkisini araştırmışlardır. Kaynak ayar parametreleri olarak kaynak zamanı, kaynak akım şiddeti, malzeme et kalınlığı ve türü, sıkıştırma ve tutma zamanı, elektrot kuvveti ve şeklini incelemişlerdir. Elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantıların kalitesini belirlemede hasar tipi, çekirdek boyutları, fışkırma, dalma derinliği, yorulma dayanımı, çekme-sıyırma dayanımı, korozyon dayanımı çekme-makaslama dayanımı gibi kriterler, makro, mikro yapı gibi analizler ve sertlik sonuçları kullanılmış olup, kaynak kullanım eğrileri oluşturularak uygun ayar parametreleri önerilmiştir. [1]–[10], [12]–[17], [19]–[23], [25]–[54]. Teorik çalışan araştırmacılar, nümerik kodlar geliştirerek veya Yapay sinir ağları (ANN) , Taguchi, ve Genetik algoritma (GA) bilgisayar programları ile deneysel verileri ile karşılaştırma yaparak [24], yöntem ayar parametrelerinin optimizasyonu için çalışmışlardır [55].

Gould [15], elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AISI 1008 çeliklerinin kaynak çekirdeği oluşumunun deneysel ve analitik olarak incelemiştir.

Karagoulis [12], elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş soğuk şekillendirilmiş düşük karbonlu çeliklerin SAE 1005 ve SAE 1080 kaynak parametrelerin etkilerini incelemiştir.

Pouranvari [50], düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekme-makaslama testinde hasar tiplerini incelemiştir.

Pouranvari bir başka çalışmasında [41], elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin çekme-sıyırma ve çekme-makaslama sonucunda oluşan hasar çeşitlerini incelemiştir.
Mukhtar [11], elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirlmiş 1.8902 karbon çeliklerinin kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin çekirdek oluşumuna, çekme-sıyırma ve çekme- makaslama dayanımlarına etkisini araştırmıştır.

Aslanlar [16]elektrik direnç nokta kaynağında mikro alaşımlı çeliklerin hasar modları ve kopma tipleri üzerine çalışmış

Aktaş [53]Elektrik Direnç Nokta kaynağında DP 600 çelik saçların mekanik özelliklerini incelemiştir.

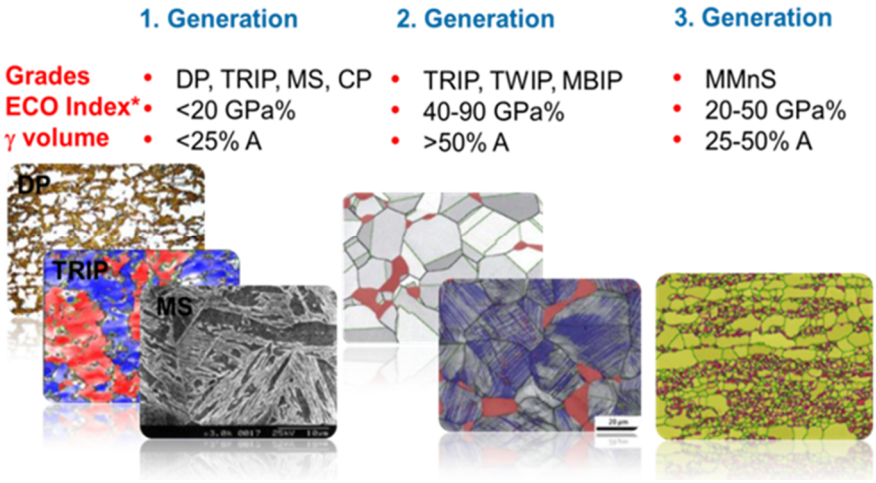
Akkaş [54,90,91]Raylı sistem araçlarında kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilme kabiliyetleri üzerineçalışmalar yapmıştır.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ÇELİK SAC MALZEMELER

Günümüzde otomotiv sektörünün gelişimi incelendiğinde, günümüzde yapılan çalışmalar aracın yakıt tasarrufu ve karbon emisyon oranını azaltmak için ağırlık azaltmak ve güvenli araçlar üretme konularıda olduğu görülmektedir. Bundan dolayı yüksek dayanıma, yüksek akma dayanımına ve iyi şekillendirme kabiliyetine sahip malzemeler hızlı bir biçimde gelişmiştir. Bu malzemelerin istenen dayanım değerlerine ulaşmak için metalografik yapısının kompleks bir şekilde tasarlanmasını esas alır. Bu yeni njesil çelikler Advanced High Strength Steel (AHSS) adıyla isimlendirilmişlerdir. Üçüncü nesil çelikler ise daha araştırma ve gelişim aşamasındadır. Birinci neslin ikinci nesilden farkı dayanım ve süneklik oranlarının daha yüksek olmasıdır.

Günümüzde Otomobil ve araç sahibi olmak isteyenlerinin, bilinçli ve görsel istekleri devamlı artmaktadır. Bu isteklerin başında:

- Gövdede daha güvenli ve dayanıklı alaşımların kullanılması
- Yakıt tüketiminin azaltılması (araçların hafifletilmesi)
- Doğal maden kaynakların gelecek nesillere aktarılması
- Araçların boş ağırlığı hafifletilmesi ve daha fazla yük taşıma kapastesi
- Kullanım güvenliğinin arttırılması
- Korozyon dayanımının iyileştirilmesi
- Gövdede daha hafif malzemelerin kullanılması
- Otomobil boyutlarının küçültülmesi
- Dayanıklılığının iyileştirilmesi
- Otomobillerin kullanım sürelerinin uzatılması
- Rahat kullanımın arttırılması
- Gövde yapısının değiştirilmesi



Şekil 2.1. Yeni nesil çeliklerin özellikleri

Şekil 2.2. Günümüz otomobillerinden istenilen özellikler

Altmışlı yıllar da yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin otomotiv sektöründe araçların ağırlığından taşarruf edilmesi amacı ile düşük karbonlu çeliklerin yerine kullanılması taşıt üreticilerine üstünlük sağlamış, ama. bunun yanında şekillendirilebilme özeliklerinin kötü olması şekillendirilme kabiliyetlerinin iyi dezavantaj oluşturmuştur. Bu çeliklerden üretilen DP çeliklei süneklilik, dayanım ve şekillendirilebilme özeliklerininin çok iyi olmasından dolayı otomotiv sektöründe yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin yerine kullanılmaya başlanmıştır.

DP çelikleri YMDA çeliklerinden kritik tavlama-su verme ısıl işlemine tabi tutularak. Mikro yapıları ise yumuşak ferrit yapı içerisinde dağılmış martensit fazlarından

meydana gelmektedir. Mikro yapılarında çok az miktarda, perlit veya beynit, kalıntı östenit olmasına karşın çift-faz sözcüğü esas fazları meydana getiren ferrit esas yapı ve ikinci faz martensitten oluşmaktadır. Bu DP çelikler imal edildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerle kıyaslandığında mükkemel olarak kabul edilecek kabiliyetlere sahiptirler. Pekleşme hızlarının yüksek olması, toplam uzama iyi olması, akma dayanımının düşük olması, sürekli akma davranışı ve akma oranının düşük olması gibi mekanik özellikler bu çeliklerin özelliklerinden sayılabilir.

A1 ve A2 kritik sıcaklıkları arasında ferrit+östenit bölgesinde tavlama+su verme işlemi DP çelikleri imalatının esasını oluşturur. Farklı Martenzit hacim oranlarına sahip çift fazlı çelikler değişik ısıl işlem reçeteleri hazırlanarak değişik başlangıç mikro yapılarından değişik faz morfolojilerine ve değişik sıcaklıklarda kritik tavlama uygulanarak da elde edilebilir.

Çift-fazlı çeliklerin üretimi üç farklı şekilde yapılabilir:

- Sürekli tavlama
- Sıcak hadde sırasında
- Kutu (batch) tavlama

Otomotiv sektöründe kullanılan AHSS çelik çeşitleri aşağıda verilmiştir:

- Mikro alaşımlandırma yapılmış YP ve MC Çelik Saclar
- Çift fazlı çelikler (DP)
- Dönüşümle Plastikliği Arttırılmış (TRIP) Çelikler
- TWİP çelikleri
- Kompleks Fazlı (CP) Çelikler
- Martenzitik (Mart) Çelikler

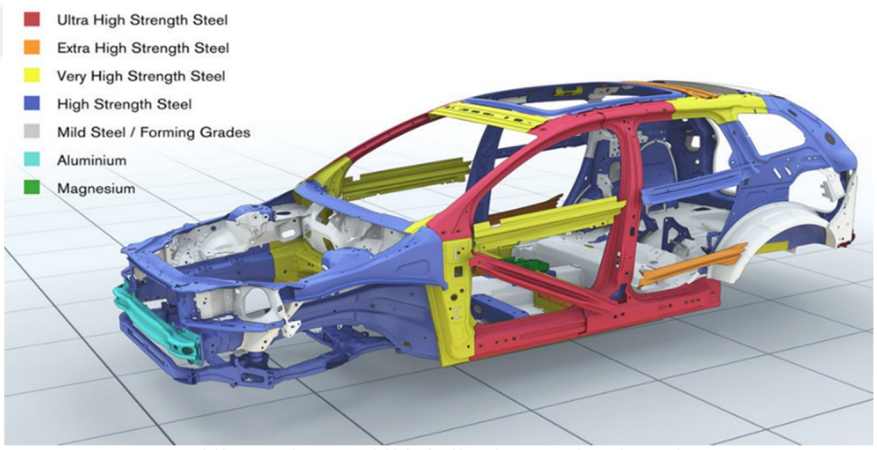
Otomobillerde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanım alanları:

- Kapı Profilleri
- Kapı Güçlendirmeleri
- Kapı Mekanizmaları

- Tavan Çerçeveleri
- Tamponlar
- Darbe Emiciler
- Süspansiyon Başlık
- A Pillar
- B Pillar
- C Pillar

Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin tanımlanması literatürde farklı şekillerde yapılmıştır. Metalürjik açıdan yapılan genel sınıflandırma:

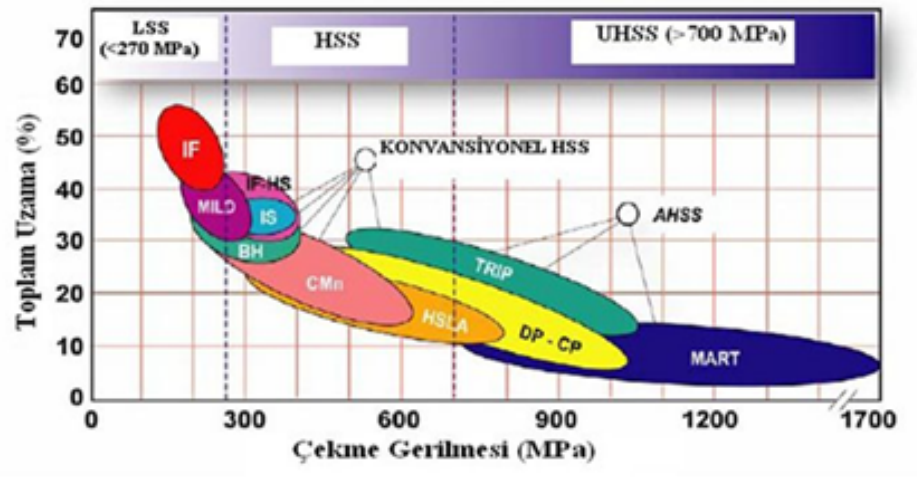
- Mukavemeti düşük IF ve yumuşak çelikler);
- Mukavemeti yüksek IF ve düşük alaşımlı çelikler
- Mukavemeti yüksek Konvansiyonel çelikler (C-Mn, fırınlama sertleştirilmesi yapılmış),
- Yeni nesil çelikler (çift fazlı, TRIP, kompleks fazlı ve martenzitik çelikler).



Şekil 2.3. Bir otomobilde kullanılan metal malzemeler

Mekanik özelliklerine göre otomotiv sektöründe kullanılan çelik saç malzemeleri mekanik özelliklerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz:

- > 700 MPa Ultra yüksek mukavemetli çelikler
- 270-700 MPa Yüksek mukavemetli çelikler
- < 270 MPa Düşük mukavemetli çelikler



Şekil 2.4. Otomotivde kullanılan çelik malzemelerin mekanik özelliklerine göre sınıflandırılması

2.1. Yeni Nesil Çelikler

Yüksek mukavemetli çeliklerin şekillendirilme kabiliyetleri ve yüksek dayanımlarından dolayı otomotiv gövde, panel ve kaporta parçaları imalatında kullanılmak üzere üretilmektedirler. Bu yeni geliştirilen bu ileri teknoloji ürünü yüksek mukavemetli çelik grupları yerine konvansiyonel yüksek dayanımlı çeliklerin kullanılmaması şekillendirilebilirlik probleminin olması ve mekanik özelliklerinin uygun olmamasıdır. Esasında imalatta ürünlerin optimize edilmesinde yüksek mukavemet veya yüksek sünekmalzemelerde sorunlar yaşanır. Bu sebebple geliştirilen yüksek dayanımlı çelikleri daha ince et kalınlığına sahip çelik kullanarak düşen ağırlığa karşın, yükselen mekanik özellikleri ile önemli bir çelik pozisyonuna durumuna gelmiştir. Yüksek dayanımlı çelik kalitelerinin sınıflandırılması aşağıda belirtildiği şekilde yapılabilir:

- Dual Fazlı Çelikler
- TRIP Çelikleri
- TWİP
- TRİPLEKS
- CP Çelikleri
- Mart Çelikler(MS)
- Mangan – Bor Çelikleri

Otomotiv sektöründe kullanılan yüksek mukavemetli çeliklerin kullanım avantaj dezavantajları:

- Otomotiv sektöründe yakıt tasarrufu ve emisyon miktarının düşürülmesi için yapılan çalışmalarda bulunan yeni nesil çeliklerin otomobillerin önemli kısımlarında kullanılan parçalarda dayanım kaybı olmadan parça et kalınlıklarının azaltılması ile ağırlık azaltılmasını mümkün kılmaktadır.
- Araçlarda esas olan güvenliğin geliştirilmesi isteği, çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin daha sık kullanılmasına yol açmaktadır.
- Yeni nesil çelikler, emniyetin oldukça önemli olduğu otomotiv sektöründe taşıt gövdesinde kazalar sonucunda oluşabilecek hasarları en iyi şekilde karşılayabilme özelliğine sahiptirler.

Otomobil gövdesi metal sac aksamdan oluşmakla birlikte, yaklaşık olarak aracın %25'ini gövde oluşturmaktadır. Bu gövde parçalarının bu çeliklerden çeliklerden imal edilmesi günümüzde önem arz etmektedir. Bu yeni nesil çelikler yüksek mukavemet değerlerine sahip olduklarından otomotiv sektöründeki kullanımlarında artış gözlemlenmektedir. Bu artış ile araçlarda sağlanan hafifleme yakıt tasarrufu ve gaz emisyonuna olan katkısı büyük olmaktadır.

2.1.1. DP Çelikleri

HSLA çeliklerine göre yüksek dayanım şekil değiştirme gibi mekanik özelliklere sahip DP çelikleri, yumuşak ferrit matris içine dağılmış %10- 30 aralığında martenzit fazı adacıkları şekline sahip çeliklerdir.

Mikro yapısındaki bu ferrit yumuşak faza sahiptir ve DP çeliğin şekillendirme kabiliyetini ve süneklilik özelliğinin iyileşmesini ve yükselmesini sağlar. Yüksek sünekliliğe ve şekildeğiştirme mekanik özelliklerine sahip DP çeliğin üretile bilmesi için yapısında dayanımı az fakat sünekliliği yüksek olan ve ferrit fazının olması ve ferrit taneciklerinin eş eksenli olarak bulunması gerekmektedir. Sert bir yapıya sahip olan martenzit fazı ile çeliğe dayanım özelliği kazandırılır.

Martenzitin dayanımı ve MHO'su şu faktörlere göre değişmektedir;

- Ostenitin sertleşebilme kabiliyeti
- Çeliğin içindeki karbon karbon miktarı
- Tavlama ısısı

Alaşımsız, düşük alaşımlı veya az karbonlu olarak üretilen DP çeliklerinin karbon oranları düşüktür (%0.06-0.20). Karbonla birlikte değişik elementler de C, Mn ve Si gibi belirli şartlar dahilinde beklenen özelliklerin elde edilmesi için ilave edilir. Bu elementlerin alaşım içindeki miktarlarına göre dayanım yükselirken şekil değiştirme özelliklerinde düşmeler meydana gelir.

DP çeliklerinin mekanik özellikleri, mikroyapısındaki farklılıklara bağlı olarak değişim gösterirler. DP çeliklerinin mekanik özelliklerine etkileyen pek çok etmen vardır. Bunlar:

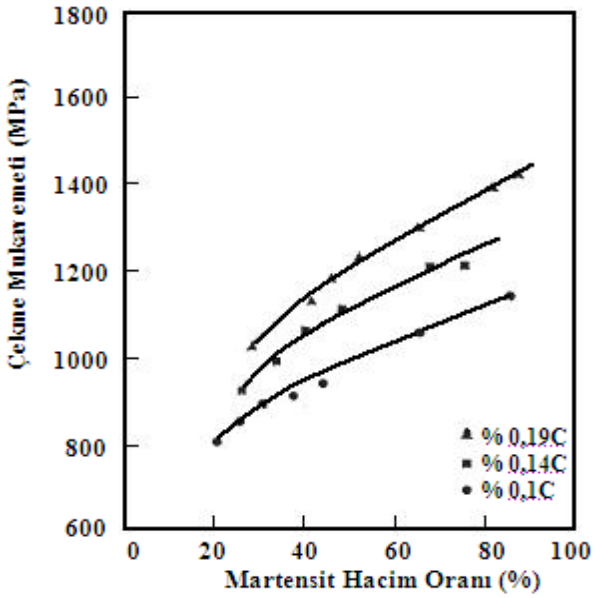
- Martenzitin hacimsal oranı
- Ferrit ve martenzitin morfolojisi
- Ferrit ve martenzitin özellikleri
- Çeliğin tavlama ısısı, soğma hızı ve alaşım elementlerinin etkisi.
- Martenzitteki karbon değişikliğinin etkisi

2.1.1.1. DP çeliklerinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı: YMDA ve sade karbonlu çeliklere göre belirgin bir akma göstermeyip sürekli akma gösteren DP çeliklerinin akma dayanımları daha düşüktür. Bunun sebebi, martensite ostenitin dönüşüme uğraması esnasında martensitin içindeki elementlere bağlı olarak % 2–4 oranlarında hacminin artması nedeni ile ferrit matrisin şekil değişimine uğraması neticesinde martensitlerin etrafında dislokasyon hareketinin yoğunlaşmasına ve iç kalıntı gerilmelerine bağlanmaktadır [61]–[63].

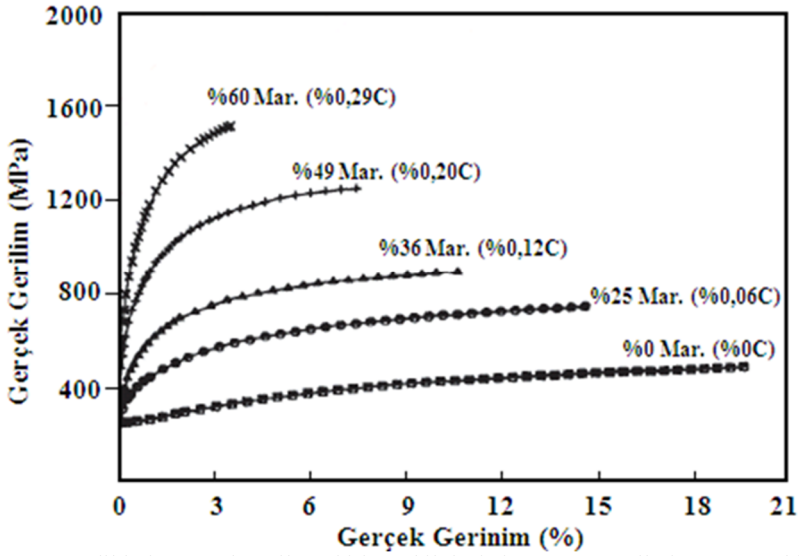
DP çeliklerine temperleme, deformasyon yaşlanması veya ön şekil değiştirme neticesinde temperleme işlemi uygulanırsa, belirli akmaya belirsiz akma dönüşür ve mukavemet değerleride artar [60], [61], [64].

Çekme Dayanımı: Farklı bilim adamlarının yapmış oldukları araştırma sonuçları ile DP çeliklerinin çekme dayanımı, martensit hacim oranına bağlı olduğu ve. MHO miktarı yükseldikce çekme dayanımınında yükseldiği ifade edilmiştir. Şekil 2.5., farklı karbon oranına sahip DP çeliklerde MHO ile çekme dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir [61], [65].



Şekil 2.5. DP çeliklerinin farklı MHO'nın çekme dayanımına etkisi [32].

Speich and Miller [66], farklı martensit hacim ve karbon oranlarına sahip alaşımı az ve alaşımlı ve alaşım elementi olmayan çelikler ile yaptıkları çalışmalarda elde edilen veriler ile farklı martensit oranlarında gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme oranı grafikleri Şekil 2.6.'de görülmektedir.

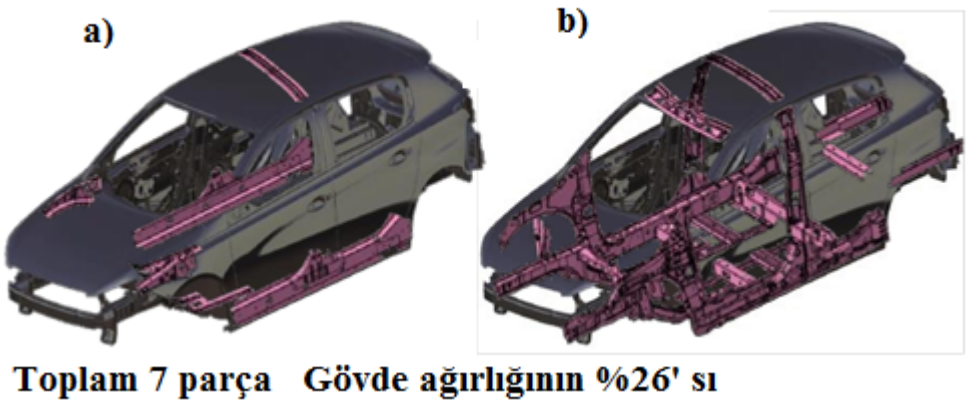


Şekil 2.6. DP çeliklerin Gerçek gerilme- birim şekil değiştirme oranı eğrilerine MHO etkisi [33].

Kopma Dayanımı: DP çeliklerinin çekme deneyi esnasında boyun vermenin başladığı heterojen plastik şekil değiştirmenin ve boyunverme oluşumunun başladığı kısımda yüksek bir şekil değişimi meydana gelmekte ve bu bölgede mikro boşluklardan dolayı çatlak oluşumuna ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı DP çeliklerinde kopma iki aşamada oluşmaktadır. Birincisi çatlak oluşumu başlangıcı olan mikro gözeneklerin ortaya çıkması, ikincisi çatlağın mikro gözeneklere bağlı olarak ilerlemeye başlamasıyla ile kopma olayının meydana gelmesidir [61], [67].

Süneklik: YMDA çeliklerine göre DP çelikleri, aynı mukavemet değerlerinde daha iyi süneklilik gösterirler. kadar arttırılabilirken DP çeliklerinin uzama değerleri % 28'e ulaşırken, YMDA çeliklerinin toplam uzama değerleri % 18 dir [57], [61], [68] .

DP çeliklerde süneklik morfolojisine ve FHO bağlı olduğundan dolayı iyi bir süneklilik elde edebilmek için FHO'nın saf ve %70'in üzerinde olması istenir. Sünekliğin yüksek olmasını düşük karbon içerikli martensit fazı sağlamaktadır [61], [63], [69]. [61], [66].



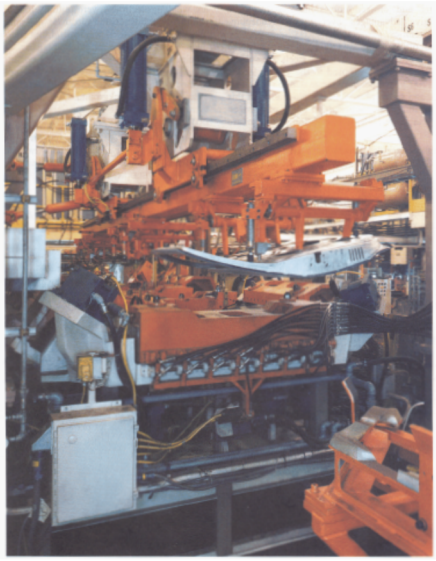
Şekil 2.7. DP çeliklerinin Peugeot 308'de kullanımı: (a) 2008 model 1. nesil, (b) 2014 model 2. nesil

BÖLÜM 3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Elektrik direnç kaynak yöntemlerinden biri olan nokta kaynağı otomotiv sektöründe kullanılan en eski ve yaygın yöntemlerinden biridir. İşlemin esası ısı, basınç ve zamandan meydana gelir ve verilen elektrik akımına kaynak edilmesi istenen malzemelerin gösterecekleri direnç yöntemin temelini meydana getirir.

Dolgu metali gerektirmemesi, otomasyona uygunluğu, yüksek üretim hızı, diğer klasik kaynak yöntemlerine göre kaynakçıdan oluşan hataların azlağı elektrik direnç nokta kaynağının avantajları arasında sayılabilir. Bağlantı tipinin bindirme ile sınırlı olması ve ekipman maliyetinin ark kaynağına nazaran yüksek olması dezavantajları olarak söylenebilir [72].

Elektrik direnç nokta kaynağı başta otomotiv olmak üzere raylı taşıtlar, mobilya,alet-gereç, taşıt, inşaat gibi pek çok sektörde metal saclardan oluşturulmuş malzemelerin birleştirilmesi için yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir [73]. Şekil 3.1.'de elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen otomobil kapı gövdesi görülmektedir [74].



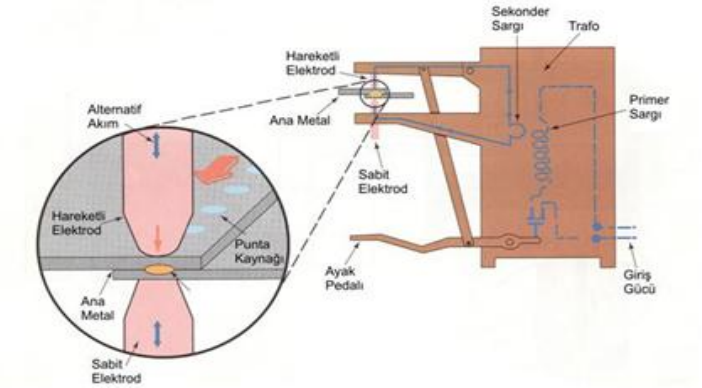
Şekil 3.1. Otomatik elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen bir otomobil kapı paneli

3.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi ve Yöntem Esasları

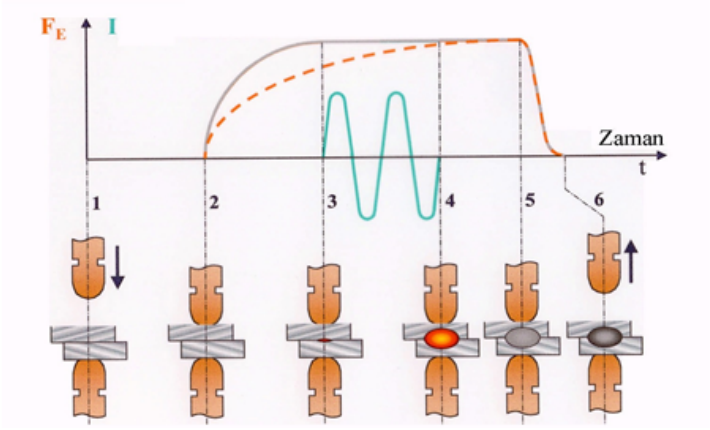
Elektrik direnç nokta kaynağı; iş parçalarının elektrotlar tarafından sıkıştırılması ve iş parçalarının elektrik akımına karşı gösterdikleri direnç neticesinde oluşan ısı yardımı ile parçaların local olarak eritilip basınç altında birleştirilmesidir.

Yöntemin ilk kademesi kaynatılması istenen malzemelerin alt elektrot ve üst elektrot tarafından uygulanan kuvvet ile basınç altında sıkıştırılmasıdır. Yöntemin ikinci kademesinde düşük gerilimi düşük – akım şiddeti büyük kaynak için gerekli olan kaynak akımı az bir zaman zarfında uygulanması sonucunda malzeme kontakt yüzeyleri arasında gösterdikleri direnç ten dolayı ısınma başlar ve yöntemin üçüncü kademesinde kaynak akımı kaynağı yapılması istenen alt ve üst malzeme yüzeyleri arasındaki kısımda erime ısıdan dolayı başlayıncaya ve kaynak çekirdeğinin oluşumu tatamlanıncaya kadar verilir sıvı haldeki kaynak çekirdeği uygun geometriye ulaştığında akım devreden çıkartılır. Işlemin sonunda elektrik akımının devreden çıkarılması ile birlikte, elektrot kuvveti kaynak çekirdeğinin hızla soğumasını ve katı hale gelmesi için sıkmaya devam eder ve katılaşma tamamlandıktan sonar elektrotlar malzemelere kuvvet uygulamayı bırakırlar. Oluşan kaynak çekirdeğinin biçimi ve geometrisi öncelikle elektrot ucu geometrisine bağlıdır [75]. Şekil 3.2.'de [46],

elektrik direnç nokta kaynağının esası ve Şekil 3.3.'de [76] çekirdek oluşum aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elektrik direnç nokta kaynak makinası ve prensibi



Şekil 3.3. Elektrik direnç kaynağı kaynak aşamaları ve programı

Çekirdek oluşum süreci elektrik direnç nokta kaynağında dört ana zaman diliminden meydana gelir.

- Elektrotların malzemelere yaklaşması ve sıkıştırma süresi
- Malzemelere akımın verildiği ve kaynağın başladığı süre
- Malzemelere verilen akımın kesildiği Elektrotların sıkıştırdığı tutma süresi
- Elektrotların malzemelerden uzaklaştığı ayrılma süresi

Elektrotların malzemelere yaklaşması ve sıkıştırma süresi alt ve üst elektrotlar birbirlerine yaklaşarak malzemeleri sıkıştırır ve kaynak zamanında kaynak çekirdeği meydana gelene kadar malzemelere kaynak akımı verilir. Elektrotları sıkıştırma

(tutma) süresinde ise kaynak akımının verilmesi kesilmesine rağmen elektrotlar malzeme ara yüzeyinde oluşan kaynak çekirdeğinin yavaş soğuması sağlamak için bir süre daha baskı uygulamaya devam eder. ve ayrılma süresinde elektrotlar malzemeleri bırakarak işlem tamamlanır. Şekil 3.4.'de elektrik direnç nokta kaynağında uygulama şekli gösterilmektedir [74].

Şekil 3.4. Elektirk direnç nokta kaynak makinası uygulama örneği

3.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu

Elektrik direnç nokta kaynağında iş parçalarını birleştirmek için gerekli olan ısı, elektrik kaynak akımının malzemelerdeen geçerken malzemelerin gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelir. Birleştirilecek malzemeler transformatörün sekonder devresindedir. Transformatör düşük akım şiddeti ve yüksek gerilimde ki şebeke gücünü düşük gerilime ve yüksek akım şiddetine dönüştürür.

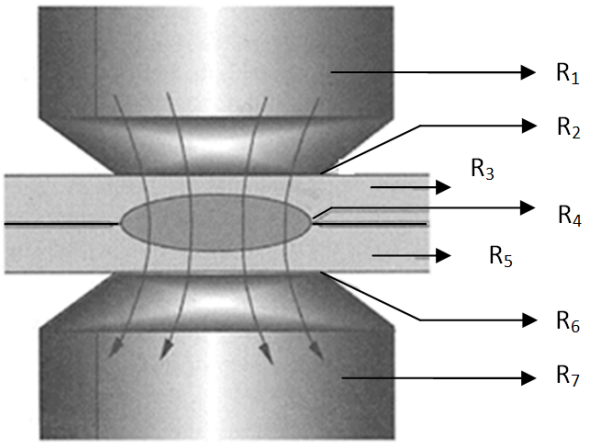
Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti ölçülebilmesi kolay olmasına rağmen direncin ölçülmesi zor ve karmaşıktır. Toplam direnç temas dirençlerinin ve malzeme dirençlerinin toplamına eşittir. Kaynak başladığında temas direnci temas yüzeylerindeki pürüzlülük, aşınma, kir, yağ, ve oksitlenme gibi kusurlardan dolayı yüksektir. Ancak kaynak başladıktan kısa bir süre sonra ısının meydaana gelmesi ile birlikte direnç düşer [77], [78].

Sistemde ki toplam direnç;

$$R_M = R_{EM} + R_{İM} = R_1 + R_7 + R_3 + R_5 \quad (3.1)$$

$$R_T = R_{AEMT} + R_{İMT} + R_{ÜEMT} = R_6 + R_4 + R_2 \quad (3.2)$$

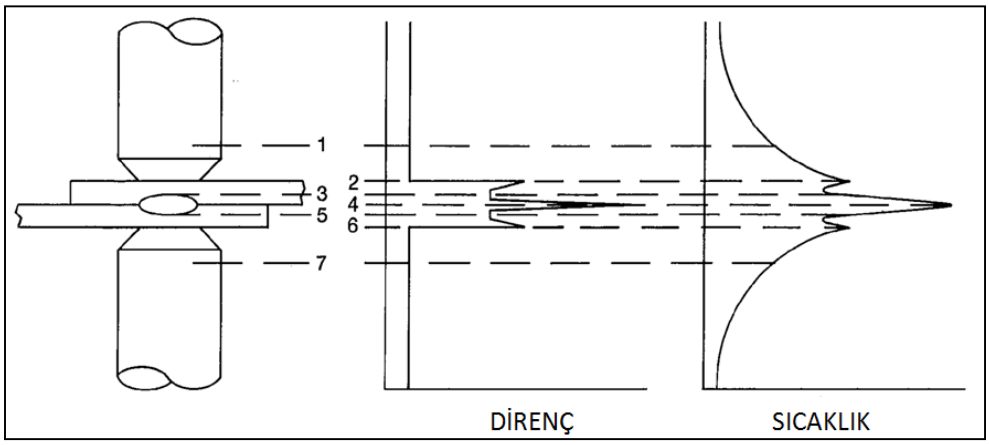
$$R_{TOP} = R_M + R_T \quad (3.3)$$



Şekil 3.5. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan dirençler

Şekil 3.5.'de [79] gösterildiği gibi R_2, R_4 ve R_6 ise temas dirençleri, R_3 ve R_5 malzeme dirençleridir. Temas direnci sıcaklık ve basıncın kuvvetli bir fonksiyonu iken malzeme direnci sadece sıcaklığa duyarlıdır.

Bu malzemelerin ve temas bölgelerinin her yerinde, o malzemelerin direnclerine bağlı olarak ısı oluşumu meydana gelir. Kaynak çekirdeğinin oluşumu meydana gelebilmesi için malzeme- malzeme temas olduğu yerde en yüksek ısının oluşması arzu edilir. Bu nedenle diğer bölgelerde meydana gelen ısının azaltılmasına çalışılmalıdır [24]. R_4 direncinin olduğu noktada sıcaklığın malzemenin erime sıcaklığının üzerine çıkmasıyla sıvılaşan malzeme soğuduktan sonra kaynak çekirdeğini meydana gelir. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan direnç ve ısı dağılımı Şekil 3.6.'da [74] gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan ısı dağılımı ve meydana gelen dirençler

Kaynak çekirdeğinin oluşumuna etki eden önemli bir faktörde ısının kaynak çekirdeğinin oluşumunun olduğu bölgede ısı yığılmasını sağlamak, diğer bir tanımlama ile o bölgeye iletilmesi gereken ısıdan daha fazla ısı üretmek, yani ısı kayıplarınıda göz önünde bulundurmaktır. Yüksek soğuma hızları ki bunlar yüksek ısı iletme özeliklerine bağımlıdır, sert bir çekirdek yapısına ve dolayısı ile çatlak oluşumuna neden olurlar. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özeliktir ve elektrotlar ile malzemelerin alaşım oluşturmasını veya birbirleriyle kaynamasını engelemek için elektrotlarla malzemeler arasındaki ısının minimize edilmesi gerekir, bunuda elektrotların suyla soğutulması ile sağlanır, ama bu esnada elektrotlarında ısı iletim özelliğinde kayıp oluşmaması gerekir [80].

İletilen kaynak akımı için, oluşturulan ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu oluşturulan ısının iletilme hızını veya kaynak bölgesinden kayıp miktarını belirler. Bu iki etmen, metal malzemelerde aynı doğrultuda gider. Şayet elektrotlar, akım kesildikten sonra malzeme ile kontakt halinde kalmaya devam ederlerse, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletim kabiliyetinden dolayı, kaynak çekirdeği hızlı bir şekilde soğumaya başlar. Elektrotların etkin şekilde su veya hava ile soğutulması ısı kaybının hızını artırır ve buda beklenen bir olaydır. Kaynak bölgesinden, malzemelere doğru soğuma hızı, yüksek kaynak süreleri kullanarak minimize edilebilir. Soğutma hızı, kısa kaynak zamanını uygulanan ince saçlarda büyük. uzun kaynak zamanının uygulandığı kalın saçlarda düşüktür, Elektrotlar kaynak çekirdeğinden hızlı bir şekilde kaldırılırsa, ısı kaynak çekirdeğini saran

malzemeye ve atmosfere transfer olacağından elektrotların yeterli bir tutma süresi kullanmak yerinde olur.

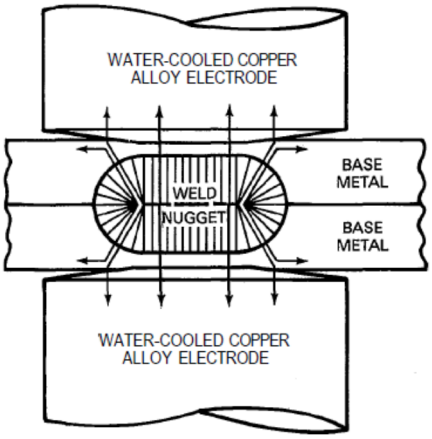
3.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Ayar Parametreleri

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin oluşumunu etkileyen başlıca parametreler:

- Kaynak çekirdeğinin oluşumunu sağlayan kaynak akımı
- Kaynak süresi
- Elektrot baskı kuvveti
- Elektrotuclarının malzemesi
- Kaynağı yapılacak malzemeler

3.3.1. Kaynak akım şiddeti

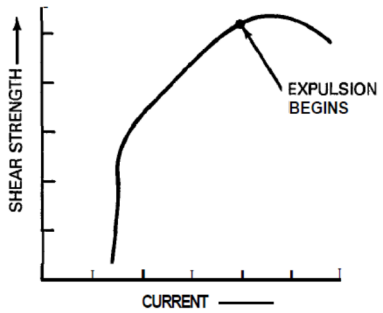
Elektrik direnç nokta kaynağında dirence bağlı olarak devrenin her bölümünde ısı oluşur. Meydana gelen ısının bir bölümü elektrotlarsdan ve malzemelerden radyasyon ve konveksiyon yoluyla kaybolur [24]. Elektrotlar malzemelere kıyasla dirençleri daha düşük ve iletkenlikleri daha yüksek malzemelerdir ve su ile soğutulmaktadır. Bundan dolayı ısı yığılması malzemelerde ve malzeme temasyüzeyinde meydana gelir. Şekil 3.7.'de direnç nokta kaynağında ısı kaybı şematik olarak gösterilmektedir [78].



Şekil 3.7. Isı kaybı

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla sonucunda kaynak çekirdeğinin dayanımı ve kaynak çekirdeğinin boyutu artar. Aşırı kaynak akım şiddeti çatlakoluşumuna, fışkırmalara, gözenek oluşumuna, kaynak çekirdeğinin dayanımının düşmesine, yüzeyin kötü görünmesine ve elektrotların deformasyonuna sebebiyet verir. Şekil 3.8.'de kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi gösterilmiştir [78]. Şekilde de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin belli bir değerinden sonra fışkırmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Denklem 3.1'e göre oluşan ısı kaynak akım şiddetinin karesiyle değiştiğinden dolayı, kaynak akım şiddeti kaynak çekirdeğinin kalitesine en fazla etkiye sahip parametre olarak kabul edilebilir [8]. Kaynak akım şiddetinin büyüklüğünün yanı sıra birim kesitten geçen akım miktarı yani yoğunluğu da önemlidir [81].



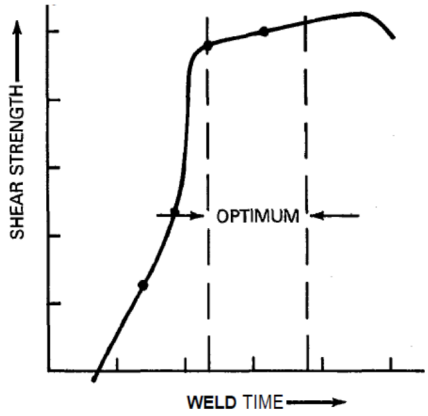
Şekil 3.8. Kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılankaynak akım şiddetiçok yüksek (5 ile 20 kA arası) olmasına rağmen gerilim düşük (10 V'un altında) ve kaynak akım şiddetinin uygulanma zamanı da çok kısadır (0,1 ile 0,4 s arası) [72], [79].

3.3.2. Kaynak zamanı

Denklem 3.1'e göre kaynak zamanı üretilen ısıyı direkt olarak etkiler. Kaynak zamanının artmasıyla üretilen ısıda artar. Bundan dolayı kaynak çekirdeğin çapı ve kaynak çekirdeğinin yüksekliği artar. Böylelikle kaynaklı bağlantının dayanımı da artmış olur. Ancak aşırı artırılmış kaynak zamanı, kaynak akım şiddetinde olduğu gibi fışkırmalara ve fışkırmalar neticesinde ise gözenek, çatlak ve aşırı dalma derinlikleri meydana gelebilir [46].

Yüksek kaynak akım şiddeti ve kısa kaynak zamanı veya kısa kaynak akım şiddeti uzun kaynak zamanı kullanılarak aynı boyutlarda kaynak çekirdeği elde edilebilir. Uzun kaynak zamanı ısının tesiri altındaki bölgeye silindirik bir şekil kazandırır ve aynı zamanda kaynak çekirdek, yüksekliği enine doğrultudan daha fazla büyür. Kaynak zamanının daha da artması çekirdek boyutunun sabit büyüklükte kalmasına neden olur. Kaynak zamanı azaldığında ısı kayıpları da azaldığından dolayı sistemin ısıl verimi artmaktadır [27], [75]. Şekil 3.9.'da kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi gösterilmektedir [82].



Şekil 3.9. Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

3.3.3. Elektrot baskı kuvveti

Elektrot baskı kuvveti elektrotlar tarafından kaynağı yapılacak malzemelere, kaynak çevrimi süresince uygulanan kuvvettir [24]. Elektrot baskı kuvveti iş parçalarının uygulanan kaynak akım şiddetini ve temas dirençlerini etkiler [75]. Yüksek elektrot kuvvetlerinin kaynak elektrotların malzemelerin yüzeylerine dalma derinlikleri de fazla olur [46].

Elektrot kuvveti elektrik direnç kaynak işleminin sıkıştırma, kaynak ve tutma zamanlarına etki eden önemli bir faktördür. Sıkıştırma zamanı kaynak çevriminde, elektrotların kuvveti, malzemeler arasında oluşan temas direncini düşük seviyede tutar. Malzemelerin elektrotlar arasında, belli bir kısmını kontakt etirerek kaynak çekirdeğinin oluşabileceği konumu oluşturur. Elektrot baskı kuvvetinin görevi malzemeler arasında fışkırmaya çalışan erimiş metali, katı haldeki kaynak çekirdek çukuru içinde basınç altında tutarak fışkırmayı kaynak esnasında durdurmaktır. Kaynak çekirdeğinin erimiş vaziyetten soğuması ve katılaşması anında, büzülme sebebiyle oluşabilecek çatlak, boşluk gibi hataların oluşumunu önlemektir.

3.3.4. Elektrot ucu malzemesi

Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotlarından talep edilen özellikler:

- Yüksek ısılarda sertliğin kaybolmaması
- Birleştirilecek malzemeler ile düşük alaşım oluşturma
- İyi ısı iletim ve elektrik iletim kabiliyeti
- Yüksek Mukavemet
- Elektrotlarının sağlıklı soğutulması

Saf bakır iyi bir iletken olmasına rağmen düşük dayanımı nedeniyle elektrot malzemesi olarak kullanımı sınırlıdır ve bundan dolayı zirkonyum, krom, gibi elementlerle alaşım oluşturarak yüksek sıcaklıklarda büyük dayanım sağlayan elektrot malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [16], [75].

Elektriksel ve ısıl direnci artması alaşımın sertliğinin artmasına bağlıdır. Bundan dolayı, belirli bir elektrot alaşımının seçimi herhangi bir uygulama için, onun mekaniksel özelliklerine bağlı olarak değişen elektriksel ve ısıl özelliklerinin dikkate alınması ile yapılır. [83].

3.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çekirdeğinin Kalitesi

Elektrik direnç nokta kaynağında elde edilmiş bir bağlantının uygunluğunu belirlemede kaynağın geometrik özellikleri, performansı ve dayanımına ait özellikleri araştırılır. Bir elektrik direnç nokta kaynağı çekirdeğini değerlendirebilmek için genellikle birden çok özellik göz önünde tutulur [79].

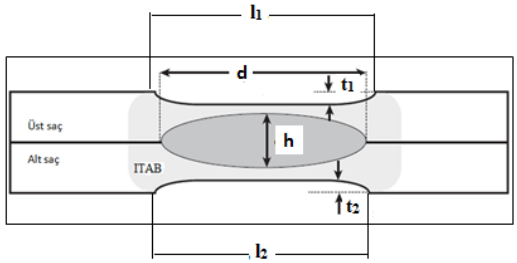
3.4.1. Kaynak çekirdeğinin geometrik özellikleri

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeği için kullanılan fiziksel / geometrik özellikler aşağıda belirtilmiştir:

- Kaynak çekirdek çapı (d)
- Kaynak çekirdek yüksekliği (h)
- Kaynak çekirdek boyut oranı (h /d)
- Elektrot dalma derinliği (t1 + t2)
- Elektrot dalma genişliği (l1 , l2)
- Fışkırma
- Yüzey görünümü
- İç süreksizlikler

3.4.1.1. Kaynak çekirdek çapı ve yüksekliği

Kaynak çekirdek geometrisi Şekil 3.10.'da [77] şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.10.'da da görüldüğü gibi kaynak çekirdeği, yüksekliği ve çapı ile belirlenir. Kaynak çekirdek çapı elektrik direnç kaynağında kaynak çekirdeğinin dayanımını belirlemede önemli bir veridir ve mukavemet üzerinde en fazla tesire sahip olan özelliktir[77], [79]. Kaynak çekirdek yüksekliğinin de dayanım üzerine önemli bir etkiye sahip olduğundan söz edebiliriz [79]. Bundan dolayı bu güne kadar yapılmış olan çalışmalarda kaynak çekirdek çapı ve yüksekliğinin dayanıma etkisini araştırılmıştır. Bu yapılan çalışmaların yanında literatürde, kaynak çekirdeğinin dayanım üzerinde ki etkisi araştırılırken çekirdek boyut oranını [16], [17] ve çekirdek alanını referans alan araştırma çalışmalarına da rastlanmıştır [11].



Şekil 3.10. Kaynak çekirdek geometrisinin şematik gösterimi

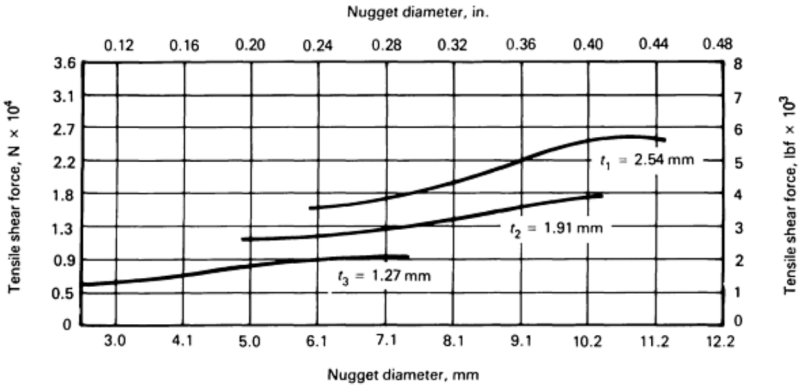
Standart imalat şartlarında emniyetli bir elektrik direnç nokta kaynağı için minimum kaynak çekirdek çapı;

$$d = 4s^{0,5} \tag{3.4}$$

Olması gerekir [84]. "s" iş parçasının kalınlığıdır.

Standartlarda en düşük değer olarak çekirdek yüksekliği birleştirilecek malzemelerin et kalınlıklarının %20'si, en yüksek değer olarak da birleştirilecek ince olan malzemenin et kalınlığı %80'ini aşmaması gerekir. Bu sınırı aşan çekirdek yüksekliği; aşırı dalma derinliği, fışkırma ve elektrotların daha hızlı deformasyonuna sebep olur [81].

Şekil 3.11.'de farklı et kalınlıklarındaki düşük karbonlu çelik malzemeler için kaynak çekirdek çapı ile çekme-makaslama dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram verilmiştir [82].



Şekil 3.11. Düşük karbonlu çeliklerde kaynak çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi

3.3.5.1. Kaynak çekirdek boyut oranı(h /d)

Elektrik direnç nokta kaynağı yapılmış bağlantıların çekme makaslamave sıyırma dayanımlarına çekirdek geometrisinin etkisini incelenirken kaynak çekirdek çapı ve kaynak çekirdek yüksekliği ile birlikte kaynak çekirdek boyut oranının da hesaplarda göz önünde bulundurulması gerekir. Kaynak çekirdek boyut oranı kaynak çekirdek yüksekliğinin kaynak çekirdek çapına oranı ile bulunur (h /d) [26].

3.4.1.2. Elektro dalma derinliği ve genişliği

Elektrik direnç nokta kaynak işleminde birleştirilecek malzemelerin sıkıştırılması için elektrotlar tarafından uygulanan basınç nedeniyle malzemelerin yüzeylerinde deformasyonlar meydana gelir. Elektrik direnç nokta kaynağı yapılan malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen bu deformasyon dalma derinliği ve genişliği olarak ifade edilir. Elektrik direnç nokta kaynağı sonrası çekilen makro fotoğraflarda dalma derinlikleri ve genişlikleri boyutlandırılabilir. Yüksek kaynak akım şiddeti, yüksek elektrot kuvveti ve yüksek kaynak zamanı dalma derinliğini ve genişliğini artırır. Amerikan standardlara göre malzemeye elektrot dalma derinliğinin toplam malzeme et kalınlığının %30'unu geçmemesi istenir [84].

3.4.1.3. Kötü yüzey görünümü

Elektrik direnç nokta kaynağında elektrot uclarının aşınması, elektrot baskı kuvvetinin yüksek veya düşük ayarlanması, kaynak akım şiddetinin yüksek veya düşük ayarlanması ve birleştirilecek malzemelerin yüzeylerinin kirli olması gibi sebeblerle elektrot ucu kalıntıları, derin elektrot izi, şekilsiz kaynak çekirdeği ile derin boşluklar ve çatlaklar meydana gelebilir. Derin elektrot izleri kaynak çekirdek bölgesinin etrafındaki malzeme kalınlığının azalmasına ve buna bağlı olarak bağlantının dayanımın azalmasına ve kötü bir görünüme sebebiyet verirler. Malzeme üzerinde elektrotların kalıntısı malzeme görünümünü kötüleştirir, korozyon direncinin azalmasına ve elektrot ömrünün kısalmasına sebep olurlar. Şekilsiz bir kaynak çekirdeği geometrisi malzeme temas yüzeyinde oluşan fışkırmaya bağlı olarak dayanımın düşmesine sebebiyet verir. Derin boşluklar ve çatlaklar ve kaynak çekirdek bölgesinin çevresine kadar ilerliyorsa yorulma dayanımında da azalmalara neden olur. Buna bağlı olarak korozyona sebep olan maddelerin bu bölgelerde birikmesi sonucunda korozyon dayanımıda azalır [79].

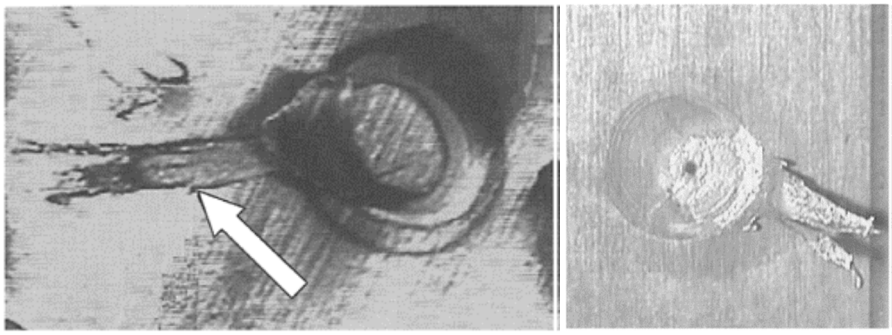
3.4.1.4. İç süreksizlikler

İç süreksizlikler yüksek kaynak akım şiddeti ve düşük elektrot kuvveti gibi sebeblerle meydana gelen yüksek ısı girdisinin etkisi ile oluşurlar. Kaynak akımı uygulanmasından sonra elektrot kuvvetinin kaldırılması iç hatalara neden olur.

3.4.1.5. Malzeme ara yüzeylerindeki fışkırmalar

Elektrik direnç nokta kaynağında ortaya çıkan en önemli problemlerden biri iyi seçilmemiş kaynak değişkenleri, aşınmış elektrotlar ve temas yüzeylerindek kirlilikler sebebiyle meydana gelen fışkırmalardır. Kaynak çekirdeğinin dayanımını ve geometrisini optimize ederken fışkırma oluşumununda engelenmesi gerekir. Fışkırma neticesinde aşırı elektrot dalma derinliği, yüzey görünümünün kötü olması

ve gözeneklilik ile beraber birleştirmenin mukavemetinin azalmasına sebep olabilir [6], [77]. Şekil 3.12.'de fışkırma oluşmuş bağlantılar görülmektedir [79].



Şekil 3.12. Elektrik direnç nokta kaynağında oluşan fışkırma örnekleri

3.4.2. Kaynak çekirdeği dayanımının ve performansının belirlenmesi

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin dayanımını tespitte kullanılan performans kiriterleri aşağıda verilmiştir:

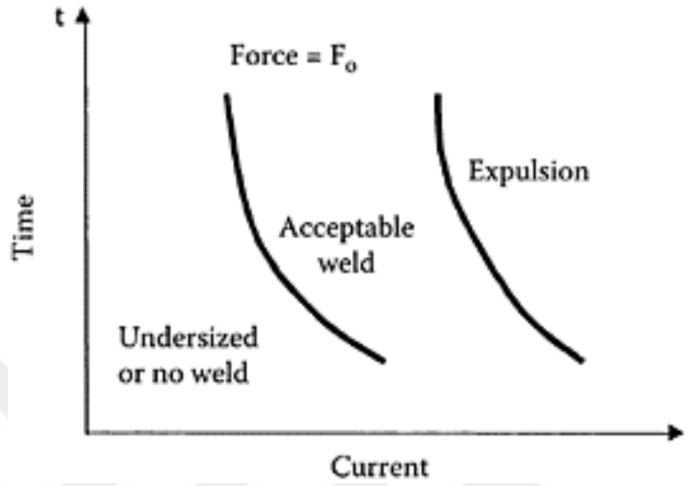
- Kaynaklı bağlantının çekme-makaslama testi
- Kaynaklı bağlantının çekme-sıyırma testi
- Kaynaklı bağlantının çapraz çekme testi
- Burma dayanımı
- Kaynaklı bağlantının yorulma davranışı
- Kaynaklı bağlantının korozyon direnci

Bu çalışmada DP800 çelik saçlardan elde edilmiş elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların performans kriterlerini tespit etmek çekme-sıyırma ve -makaslama dayanımları incelenmiştir.

3.5. Kaynak Zamanına ve Kaynak Akım Şiddetine bağlı Kaynak Grafiği

Elektrik direnç nokta kaynağında en yaygın olarak kullanılan kaynak ayar değişkenleri kaynak zamanı, kaynak akım şiddeti ve elektrot baskı kuvvetidir. Bu

değişkenlerin tespiti ise yapılan testler sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulan kaynak eğrisi (weld lobe) diyagramları ile belirlenir. Şekil 3.13.'de bir kaynak eğrisi diyagramı görülmektedir [79].



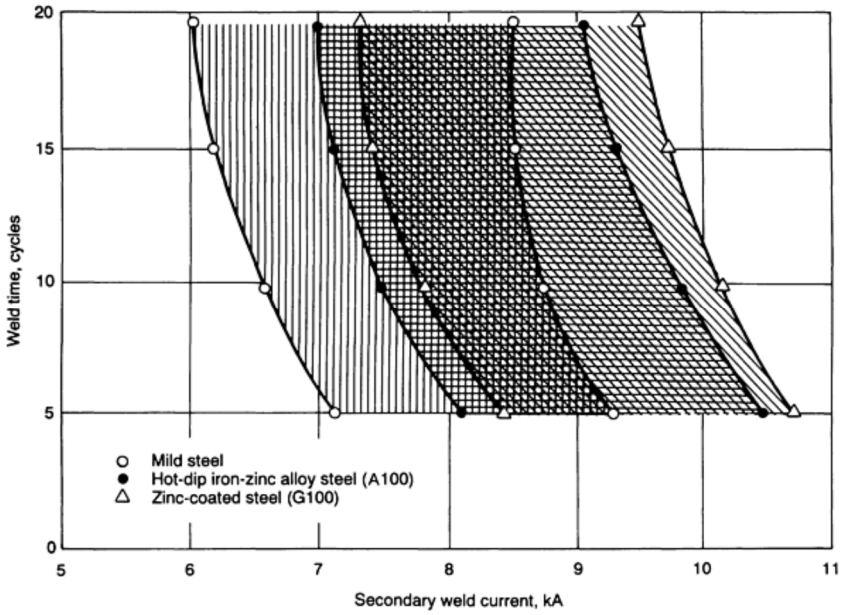
Şekil 3.13. Bir kaynak eğrisi diyagramı

Şekil 3.14.'de ise farklı malzemeler için kullanılan kaynak eğrisi diyagramı görülmektedir [82].

3.6. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları

Elektrik direnç nokta kaynağının üstünlükleri aşağıda verilmiştir.

- Kaynak işlemi yüksek üretim hızında gerçekleşir
- Sürekli kaynak çekirdek noktası elde edilir
- Yöntem otomasyona uygundur
- İlave malzemeye (tel, gaz, temizleme gibi) ihtiyacın olmaması
- Kaynama ve ısı tesiri altındaki bölgenin küçüklüğü, malzemenin özelliklerinin bozulmaması
- Kaynak oluşumunun kontrol edilebilirliği, yarı otomotik makina kullanımının ekonomik oluşu,
- Montaj hattında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilir. akım, zamanlama ve elektrod kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek üretim hızlarında kaliteli kaynak üretilebilirliği.



Şekil 3.14. Farklı malzemeler için kaynak eğrisi diyagramı

Elektrik direnç nokta kaynağının dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Yöntem kalın parçaların kaynağına elverişli değildir
- Otomoasyon ile entegre yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir
- Kontrol altında alınması zorunlu olan ayar paremetreleri çoktur
- Distorsiyon seviyesi minimum olması gerekir
- Elektrot dalma derinliklerinden dolayı çentik etkisi oluşur buda bağlantının, düşük gerilme ve yorulma davranışlarına sebebiyet verir.

3.7. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Uygulama Alanları

- Elektrik direnç nokta kaynağı sanayide çoğunlukta esas olarak ince saçlara uygulanmaktadır.
- En sık uygulama alanı farklı kalınlıklara ve birleşimlere sahip metallerin birleştirilmesi ve kaplı çeliklerin birleştirilmesi olarak söylenebilir.
- Beyaz eşya sektöründe
- Otomotiv sanayi ürünlerinde
- Hassas cihazların imalatında sıkça kullanılmaktadır.
- Et kalınlıkları 0,02 mm ile 5 mm aralığındaki saçların kaynağında.
- Konteynerlerin imalatında.

Şekil 3.15. Elektirik direnç kaynağı uygulama örnekleri

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Genel

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kapı dikmeleri olarak kullanılan DP800 çelik sacların elektrik direnç nokta kaynak makinesini ile kaynak edilmesi sonucunda nokta kaynak bağlantılı numune serileri deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde sıkıştırma zamanı, tutma zamanı ve elektrot kuvveti değiştirilmeden sabit tutularak, kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değiştirilirmiştir. Kaynağı yapılan bağlantıların dayanım verilerini tespit etmek için her seri çekme-sıyırma ve makaslama deneyleri uygulanmış ve sertlik, makro ve mikro yapıları araştırılmıştır.

4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri

Deneylerde kullanılan 1 mm kalınlığındaki DP800 çelik sacların Tablo 4.1.'de kimyasal bileşimleri ve Tablo 4.2.'de mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi (%)[93]

Malzeme	C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al (min %)	Nb+Ti (max %)
DP800	0.15	0.40	1.80	0.020	0.010	0.015	0.10

Tablo 4.2. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri[93]

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
DP800	500 - 650	800 - 950	10

ASAS ALUMINYUM SAN.TIC.A.S. 23.02.2017

DIN EN 10002, part 1 Tensile tests on metals

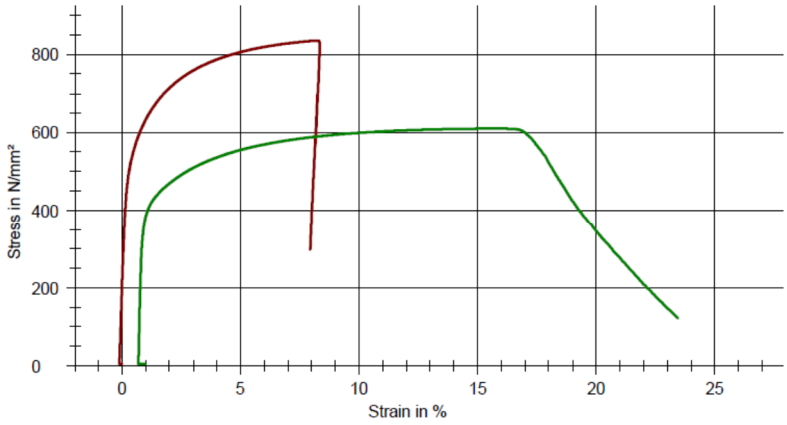
Parameter table:

Firma	: ASAS ALUMINYUM	Maızeme / Isıl islem	: Çelik
Customer/Müşteri	: ARGE / Murat Konar	Profil No / Sarj No	: -
Tester/Testi yapan	: Özcan YILDIZ	Uretim Tarihi / Lot No	: -
Test standard	: TS EN 755-1/TS EN 755-2		
Pre load/Ön yük	: 5 N/mm²	Rp, ReH speed/ Hız	: 5 mm/min
E-Modulus Speed/ Hız	: 5 mm/min	Test speed / Hız	: 10 mm/min

Results:

Legends	Nr	L0 mm	Rp 0,2 N/mm²	Rm N/mm²	A %
	1	50,01	539,08	835,58	7,87
	2	50,04	393,55	610,26	22,72

Series graph:



Statistics:

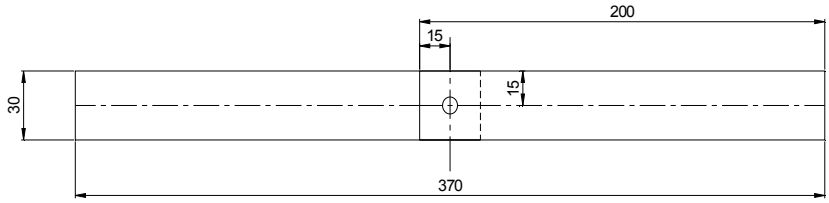
Series n = 2	L0 mm	EMod kN/mm²	Rp 0,2 N/mm²	Rm N/mm²	A %
x̄	50,03	201,89	466,31	722,92	15,30
s	0,02	59,30	102,90	159,33	10,50
v	0,04	29,37	22,07	22,04	68,67

Şekil 4.1. Deney malzemelerinin çekme deneyi sonuçları

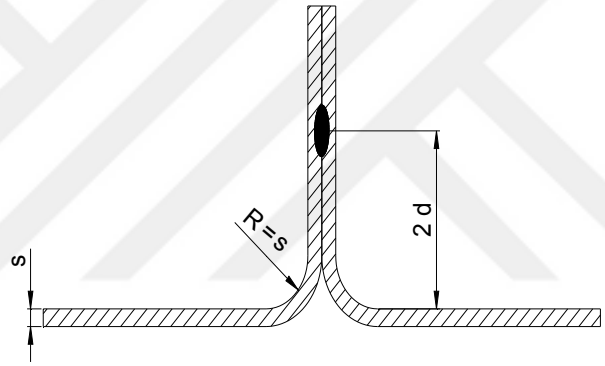
4.3. Deney Numunelerinin Standartlara Göre Boyutlarında Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak numuneler, (200x30) mm boyutlarında giyotin makas ile kesildikten sonra, yüzeylerinin yağ, pas ve kir gibi yabancı maddelerden arındırılması için derin bir kap içerisinde %96 saflıktaki etil alkol ile yıkanmış ve temiz bir bezle silinmiştir.

Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde kullanılan numunelerin boyutları sırasıyla Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. EN ISO 14273 [85] ve EN ISO 14270 [86] standartlarına göre Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deney numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. Makaslama test numunesi



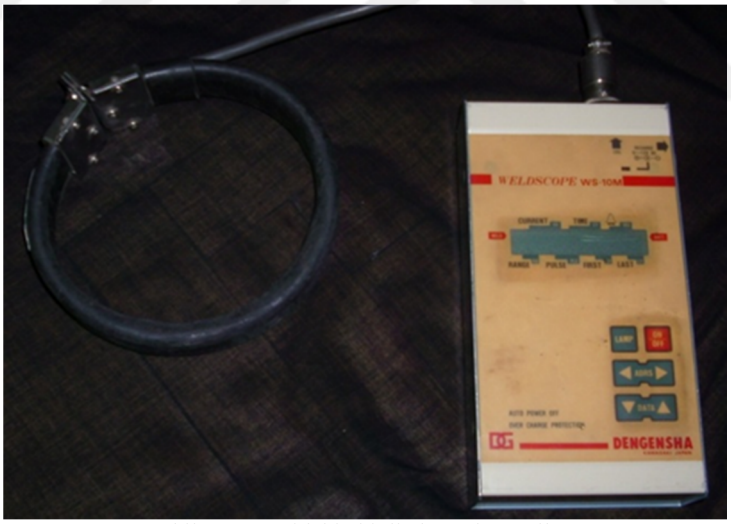
Şekil 4.3.Sıyırma test numunesi

4.4. Deney Numunelerinin Hazırlamasında Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi

Pnömatik elektrot basma kuvveti tertibatlı, elektrik akımı ve zaman kontrollü 120 kVA gücünde tek kollu elektrik direnç nokta kaynağı makinesi deneylerde kullanılmıştır., tutma , sıkıştırma ve kaynak zamanları elektrik direnç nokta kaynak makinesinin elektronik kumanda donanımı ile ayarlanmıştır. Şekil 4.4.'de deneyler esnasında kullanılan elektrik direnç nokta kaynak makinesi verilmiştir

Elektrik direnç nokta kaynak makinesinin üst koluna monte edilen toroidal bobin yardımı ile deneylerde kullanılan kaynak akım şiddeti değerleri ölçülmüştür. Şekil 4.5.'de toroidal bobinli akım ölçme cihazı verilmiştir.

Şekil 4.4. Kontrol üniteli elektrik direnç nokta kaynağı makinesi

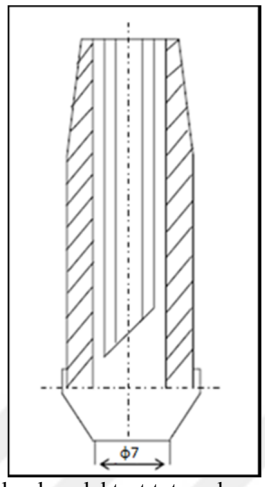


Şekil 4.5. Toroidal bobinli akım ölçme cihazı

4.5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları

Deneylerde, bakır – krom – zirkonyum alaşımlı 7 mm uç çapına sahip olan elektrotlar (CRM 16X-CuCrZr; Malzeme no:2.1293; RWMA / DIN 44759 Sınıf 2)

kullanılmıştır [92]. Tablo 4.3.'de elektrot uclarının mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimleri [92], Şekil 4.6.'da ise elektrotların tutucuların boyutları [3] verilmiştir.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan elektrot tutucu boyutlarının şematik gösterimi

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri[92].

Alaşım	Kimyasal Bileşim (%)	Isıl İletkenlik (J/CmsoK)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm2)	Çekme Dayanımı (MPa)
CuCrZr	Cr > 0,4 Zr > 0,03 g.k. Cu	320	48	590

4.6. Ön Deneylerin Yapılması

DP800 çelik malzemelerden oluşturulmuş deney numuneleri, uygun çalışma parametrelerinin belirlenebilmesi için üst üste bindirilerek elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynağı yapılmıştır.

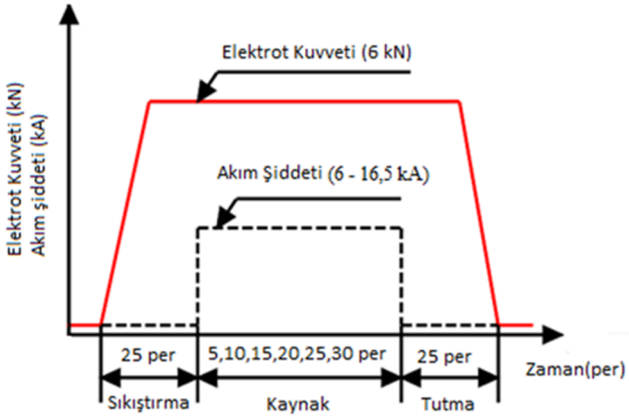
DP 800 çelikler için yapılan ön deneylerde 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyotluk kaynak zamanınında kaynak bağlantısının oluştuğu en ufak kaynak akım şiddeti değerinden (6 kA) malzemelerin delinmeye başladığı en yüksek kaynak akım şiddetine kadar (16,8 kA) kaynak atılmıştırr. Kaynak işlemi için uygun kaynak ayar değerleri keski testi ile tespit edilmiştir.

Şekil 4.7. Ön deney numuneleri

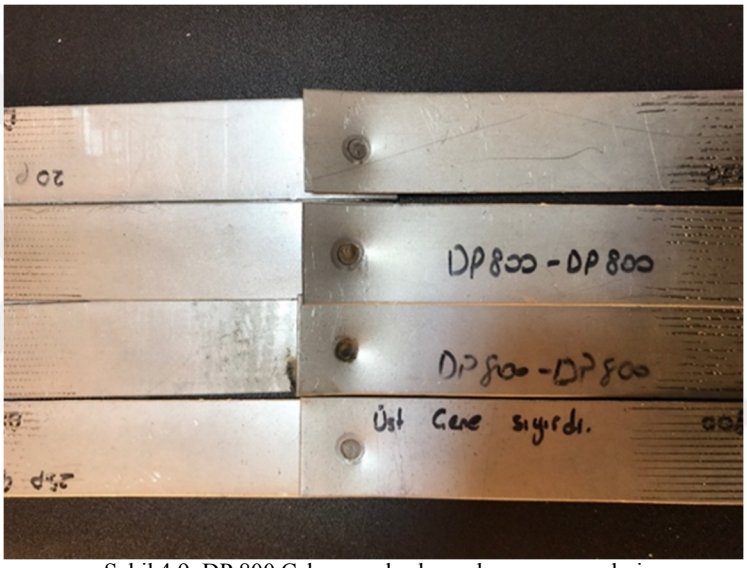
4.7. DP 800 Çeliklerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Deneylerinin Yapılması

DP 800 deney parçaları, Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de gösterilen boyutlarda standartlara göre hazırlanıp temizliği yapıldıktan sonra kaynağı yapılmıştır. Elektrot baskı kuvveti tüm deney esnasında sabit tutulup 6 kN olarak alınmış olup ve sürekli olarak basınç ölçer ile ölçülerek kontrol edilmiştir. Sıkıştırma ve tutma süreleri deney esnasında sabit tutularak 25 periyot olarak ayarlanmıştır ve kaynak zamanı 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot aralıklarında değiştirilerek jullanılmıştır. Kaynak akım şiddeti 6 kA, 7 kA, 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,5 kA'e kadar belirli aralıklarla artırılarak değiştirilmiştir. Şekil 4.8.'da deneylerde uygulanan kaynak parametreleri gösterilmiş ve deneyler EN ISO 14373 [87] standartına göre yapılmıştır.

Her deney şartlarında yedi seri elektrik direnç nokta kaynağı atılmış numuneler elde edilmiştir. Bir, iki ve üçüncü seriler çekme- sıyırma dört, beş ve altıncı seriler çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro yapı, çekirdek geometrisini tespiti için makro yapı, mikro vickers sertlik ölçümleri ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) fotoğraflarının tespitinde kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Deneylerde uygulanan kaynak ayar parametreleri



Şekil 4.9. DP 800 Çekme-makaslama deney numuneleri

Şekil 4.10. DP800 Çekme-sıyırma deney numuneleri

4.8. DP800 Çeliklerinin Çekme-Makaslama ve -Sıyırma Testleri

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'e göre kaynak edilen parçalar, çekme-sıyırma ve çekme-makaslama deneylerine laboratuar koşullarında 5 ton kapasiteli "Shimadzu" marka çekme makinasında (Şekil 4.11.) tabi tutulmuştur.

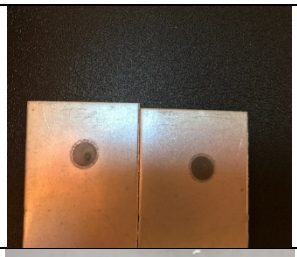
Çekme deneyi sırasında 10 mm/dk çekme hızı belirlenmiş ve deney süresince sabit tutulmuştur. Çekme-sıyırma ve -makaslama kuvveti olarak kullanılan veriler, çekme cihazının kontrol birimindeki kuvvet – zaman grafiğinden okunan en yüksek verilerdir. Çekme-sıyırma ve -makaslama testlerinde üç değişik hasar tipi oluşmaktadır:

- Yırtılma tipi kopma
- Düğmelenme tipi kopma
- Ayrılma tipi kopma

Tablo 4.4.'de düğmelenme ayrılma, ve yırtılma tipi kopma hasarı oluşmuş numuneler verilmektedir.

Şekil 4.11. Deneylerde kullanılan çekme cihazı

Tablo 4.3. DP 800 Çeliklerin çekme-makaslama ve -sıyırma deneylerinde meydana gelen hasar çeşitleri

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

4.9. DP800 Çeliklerin Optik Mikroskop ve SEM ile Yapılan Çalışmalar

DP800 çelik malzemelerden oluşturulan her bir deney parçalarından alınan numuneler, mekanik olarak numune kesme cihazında çekirdek ortasından kesilip bakalit içine alındıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemlerinin belli bir sıra takibi neticesinde %2 çözeltili nitrik asit ile dağlanması tamamlanmış olan numuneler bağlantının kaynak sonrasında oluşabilecek iç yapı değişimlerinin tespiti için kaynak çekirdeği ve ITAB tan optikmikroskop ve SEM kullanılarak mikro yapı fotoğrafları alınmıştır. Şekil 4.12'de gösterilen Nikon marka optik mikroskop mikro yapı incelemelerinde kullanılmıştır.

Şekil 4.12. Deneylerde kullanılan optik mikroskop

Şekil 4.13'de gösterilen "JEOL JSM-6060LV" Taramalı elektron mikroskopu cihazı yapılan araştırmada kullanılmıştır.

Şekil 4.13. Deneylerde (SEM) cihazı

4.10. Çekirdek Geometrisinin Ölçülmesi

Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyutlarına etkisini araştırmak için, kaynak çekirdeğinin optic mikroskopta makro görüntüleri alınarak çekirdek geometrileri belirlenmiştir. Ölçümler Şekil 4.14.'de gösterilen Nikon marka optik mikroskopla EN ISO 14329 standartına göre yapılmıştır [88].

Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan optik mikroskop

4.11. Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin ve elde edilen bağlantının sertliğine etkisini belirleyebilmek için, tüm DP 800 çelik numunelerin sertlik verileri mikro vickers sertlik ölçme cihazında çekirdeğin enine ve boyuna kesitlerinde esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak çekirdeğini kapsıyacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Sertliğin ölçülmesinde mikro vickers sertlik ölçüm test metoduyla, 100 g yük, 10 s zamanla ve piramit batıcı uçkullanılarak EN ISO 14271 standartına göre Şekil 4.15'de verilen Wolpert-Wilson marka sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır [89].

Şekil 4.15. DP 800 çelik malzemenin sertliğinin belirlenmesinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme aleti

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI

5.1. Genel

Bu araştırmada, 1,0 mm et kalınlığına sahip DP800 çelik sacların kendi aralarında eşleştirilerek elektrik direnç kaynağı ile kaynağında, kaynak zamanı ile kaynak akım şiddetinin ve bu ayar parametrelere bağlı olarak çekirdek boyutlarının bağlantının çekme-sıyırma ve -makaslama kuvvetlerine, sertliğine ve mikro yapısına etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeler otomotiv sektöründe kullanılan kapı dikme çelik saclarıdır. Deneyler laboratuar şartlarında yapılmıştır.

5.2. DP 800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Kuvvetine Etkisi

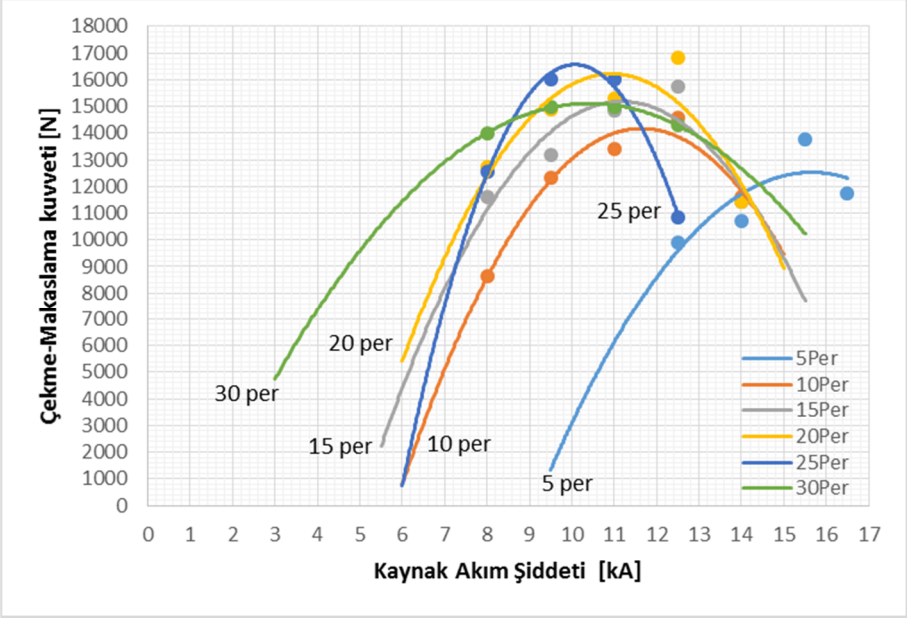
Kaynak zamanı ve kaynak akımı şiddetinin elde eedilen bağlantıların çekme sıyırma ve makaslama dayanımı üzerine etkisini araştırmak amacı ile numunelere EN ISO 14270 [86] standartına göre çekme-sıyırma ve EN ISO 14273 [85] standartına göre çekme-makaslama testleri uygulanmıştır. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneyleri her bir ayar parametresi için üçer numune deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar bu deney numunelerinin ortalama değeri alınarak kaynaklı bağlantının çekme-sıyırma ve çekme-makaslama dayanımı olarak verilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların çekme- sıyırma ve - makaslama dayanımlarını tespit etmek için 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanları 6 kA, 7 kA, 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,5 kA kaynak akım şiddetleri deney numunelerine uygulanmıştır.

5.2.1. Kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama kuvvetine etkisi

DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte çekme-makaslama kuvvetininde artığı ve belli bir akım şiddeti değerinden sonra kesit alanının azalması ile çekme- makaslama kuvvetinde azalmaların meydana geldiği Şekil 5.1.'de görülmektedir. En yüksek çekme-makaslama dayanımına 10 kA kaynak akım şiddetinde ve 25 per kaynak zamanında elde edildiği diyagramda görülür [90]. Bu değerlerdeki kopma türleri düğmelenmeden yırtılmaya doğru değiştiği gözlenmiştir. Bunun sebebi oluşan aşırı ısıdan dolayı malzemede meydana gelen iç yapı değişimleri olduğu belirlenmiştir. 5 per kaynak zamanında oluşturulan kaynağın çekme-makaslama kuvveti düşüktür ve kopma türü ayrılma tipi kopmalar meydana gelmiştir. Arzu edilen en iyi çekme-makaslama kuvvetine sahip kaynaklı bağlantılar 5 per kaynak zamanı 15,5 kA kaynak akım şiddetinde, 10 per kaynak zamanında 11,5 kA kaynak akım şiddetinde; 15 per kaynak zamanında 11,5 kA kaynak akım şiddetinde; 20 per kaynak zamanında 11 kA akım şiddetinde; 25 per kaynak zamanında 10 kA kaynak akım şiddetinde; 30 per kaynak zamanında 9 kA kaynak akım şiddetlerinde ulaşılmıştır.Kaynak zamanı artıkça kaynak akım şiddetlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Yüksek akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak zamanlarında ısının aşırı yükselmesi sebebiyle elektrot dalma derinliklerinde, genişliğinde artışların ve çekirdekte fışkırmaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı malzeme ara yüzeyinde aşırı ısı girdisinden dolayı erime artmış ve çekirdek kesiti daralmıştır. Bunun sonucunda çekme-makaslama kuvvetin de azalma meydana gelmiş, derin elektrot izleri, elektrot yapışması, aşırı renklenme ve çekirdek üzerinde bakır kalıntıları tespit edilmiştir. Literatürde yapılan incelemelerdede benzer sonuçlara rastlanmıştır [7], [16], [18], [27], [43].

Tablo 5.1.'de fışkırma ,derin elektrot izleri ve renklenmeler oluşmuş bağlantılara ait resimler verilmiştir.



Şekil 5.1. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında kaynak akım şiddetinin sabit kaynak zamanında çekme-makaslama kuvvetine etkisi

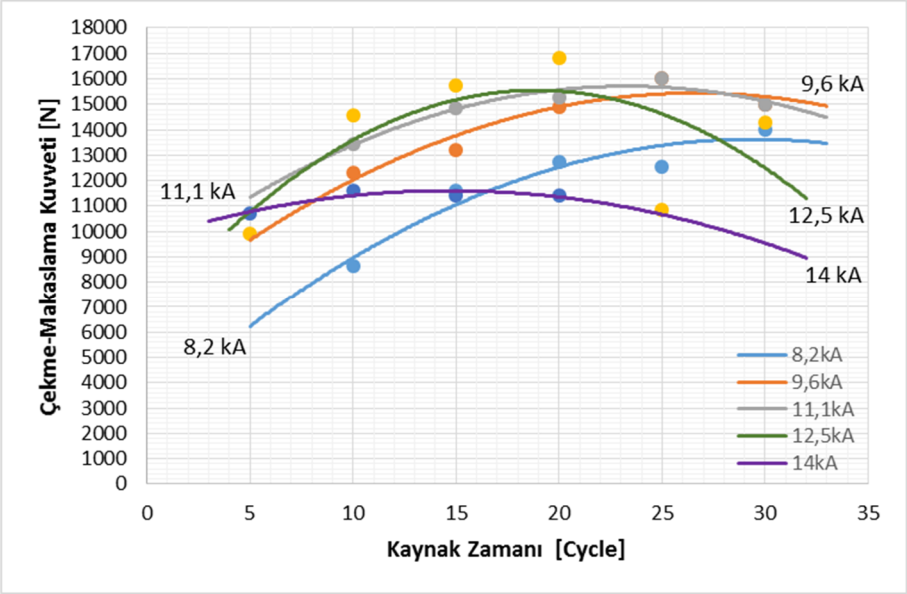
Tablo 5.1. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
25	12,5	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkırma	
15	14	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkırma	
20	11,1	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkırma	

5.2.2. Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Kaynak zamanının artışı ile çekirdeğe verilen ısının yükselmesinden dolayı çekme-makaslama kuvvetininde artığı Şekil 5.2.'de görülmektedir. Maksimum çekme-makaslama kuvvetine 11 kA ve 12,5 kA Kaynak akım şiddetlerinde 15-25 periyot

Kaynak zamanında (yaklaşık olarak 15500 kN) ulaşılmıştır. Düşük kaynak zamanında (5 periyot) arzu edilen kuvvetlere ulaşılamamıştır. Belli kaynak zamanı değerinden sonra (20 per ve 11 kA) çekirdekte fışkırmaların oluşması ile birlikte çekme-makaslama kuvvetlerinde bir düşüş tespit edilmiştir [54]. Literatürde yapılan incelemelerdede benzer sonuçlara rastlanmıştır [2], [9], [24], [27], [54].

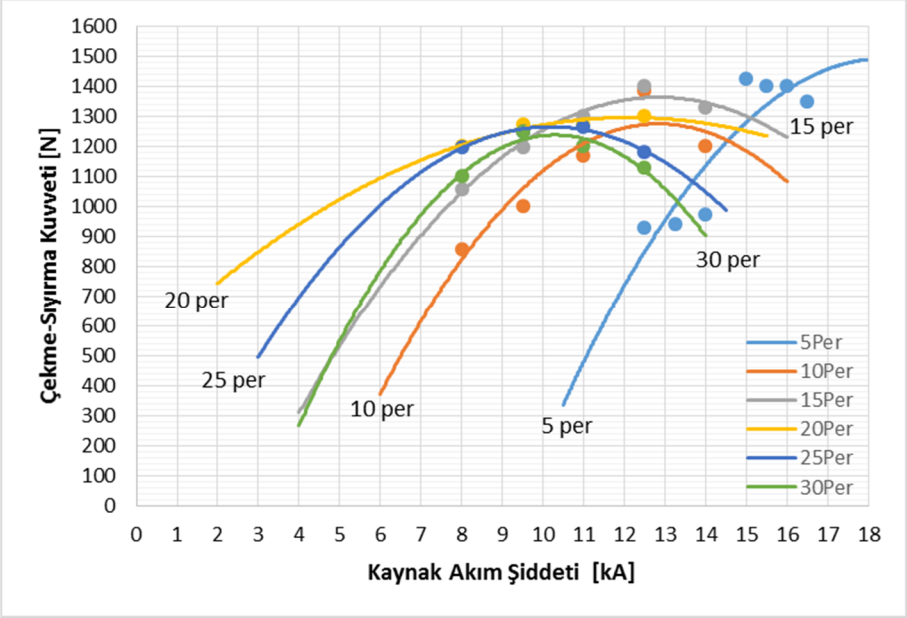


Şekil 5.2. DP800 çelik malzemelerin kaynaklı bağlantılarında kaynak zamanının sabit kaynak akım şiddetinde çekme-makaslama kuvvetine etkisi

5.2.3. Kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.3.'de verildiği gibi kaynak akım şiddetinin artışı çekme – makaslama kuvveti diyagramında olduğu gibi çekme-sıyırma kuvvetinde de artmaktadır. 5 periyot kaynak zamanında istenen bağlantı gerekli olan ısı miktarı tam olarak oluşturulmadığından dolayı elde edilememiştir. 5 periyot kaynak zamanlarında kaynak akım şiddetinin 16,5 kA değerinin üzerinde ayarlanmış olsaydı (makinenin en fazla kaynak akım şiddetinin ayarlanma değeri bu malzeme için 16,5 kA dir) sağlam birleştirmeler elde edilme ihtimali yüksek olacaktır. 30 periyot kaynak zamanında elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları 10,15, 20 ve 25 periyota göre daha düşüktür.Bunun sebebi aşırı elektrot dalmalarından kaynaklandığı tespit

edilmiştir. 15 per kaynak sürelerinde 11-13 kA'de; 20 per kaynak sürelerinde 9-14 kA 'de; 25 per kaynak sürelerinde 8-11 kA'de; 30 per kaynak sürelerinde 8-11 kA'de en yüksek çekme-sıyırma kuvvetlerine ulaşılmıştır. En yüksek çekme-sıyırma kuvvetine 15 per kaynak süresinde ve 12,5 kA kaynak akım şiddetinde elde edildiği diyagramlardan anlaşılmaktadır. Bu verilerden sonra ısının aşırı artması sebebiyle çekirdekde fışkırmalar oluşmuş ve çekme-sıyırma dayanımı hızlı bir şekilde düşmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [24], [27], [90].

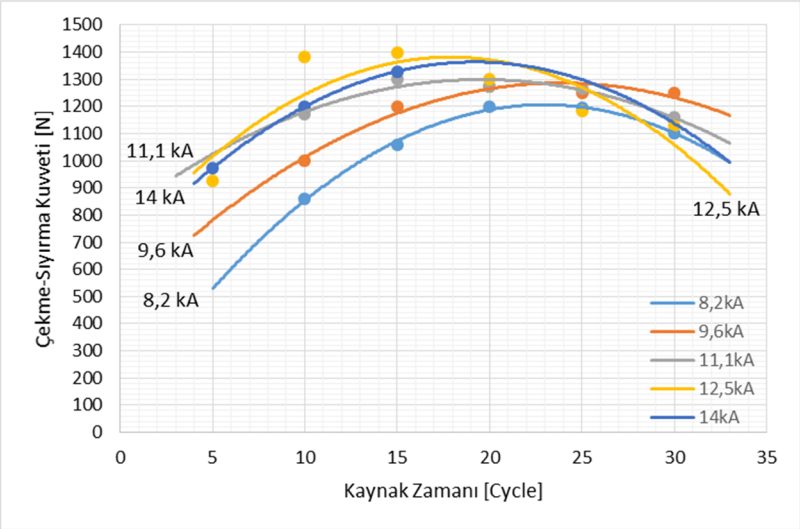


Şekil 5.3. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

5.2.4. Kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi kaynak zamanınındaki artış çekirdeğe ulaşan ısının artmasından dolayı çekme-sıyırma kuvveti de belirli bir kaynak zamanına kadar artışlar meydana gelmiştir. En yüksek çekme-sıyırma dayanımına sahip bağlantılar 8 kA ve 9,5 kA Kaynak akım şiddetlerinde 20-25 periyot arası kaynak zamanlarında (1200 N-1300 N); 11 kA ,12,5 kA ve 14 kA Kaynak akım şiddetlerinde 15-20 periyot arası kaynak zamanlarında (1200 N-1350 N) elde edilmiştir. 5 periyot kaynak

zamanında daha düşük çekme-sıyırma kuvvetine (1000 N) sahip bağlantı elde edilmiştir. Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonra Kaynak akım şiddetine bağlı olarak aşırı elektrot dalma derinliği, fışkırmalar ve elektrotta malzemeye yapışmalar ortaya çıkmıştır (yüksek akım şiddetlerinde 15 periyot-Düşük akım şiddetlerinde 20 periyot). Bu durum çekme-sıyırma dayanımının azalmasına yol açmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [24], [27], [54].



Şekil 5.4. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

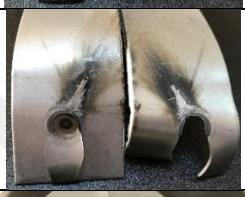
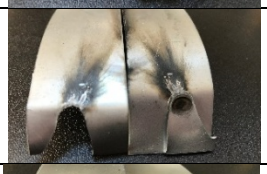
5.3. DP800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Kaynak Çekirdek Geometrisine Etkisi

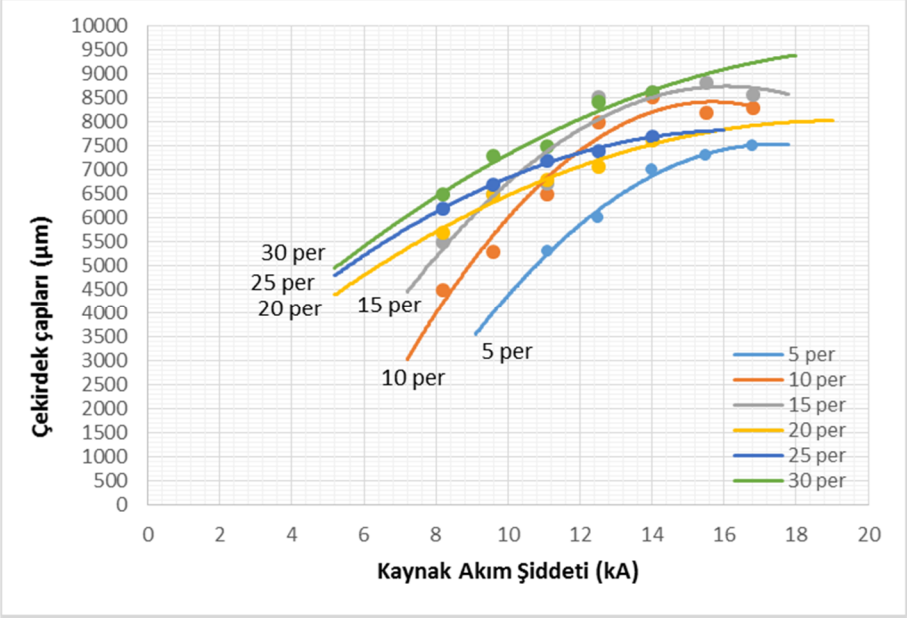
5.3.1. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların kaynak çekirdek çapına (d_1)etkisi

Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile birlikte ısınında artığı ve çekirdek çapında da artışın meydana geldiği Şekil 5.5. ve 5.6.'da görülmektedir [91]. Fakat kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin belli bir değerinden itibaren ısının artması sebebiyle çekirdekteki eriyen metal miktarı artmakta ve elektrot kuvvetinden dolayı erimiş metalin fışkırdığı gözlenmiştir.

Tablo 5.2.'de fışkırma meydana gelmiş bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.

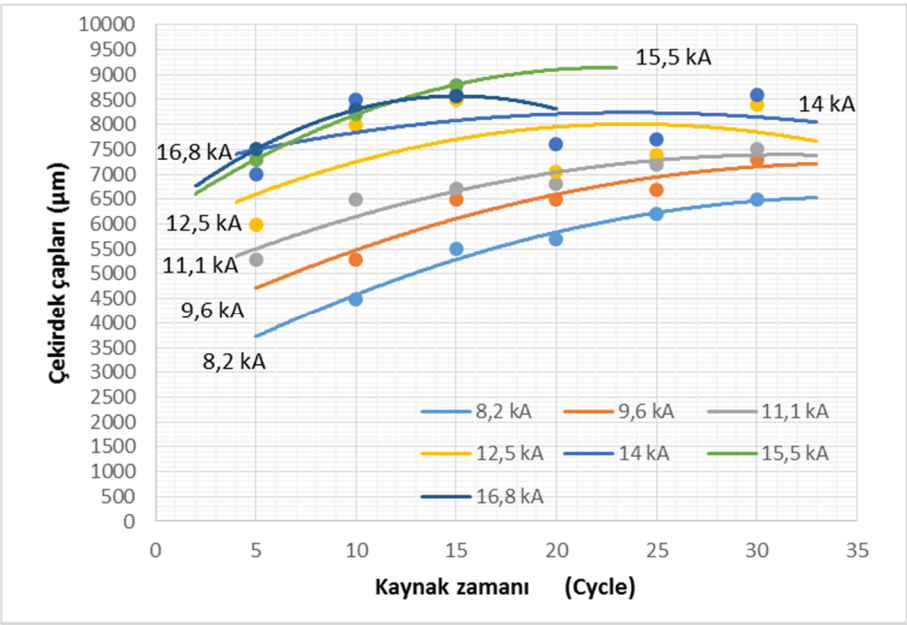
Tablo 5.2. DP800 bağlantılarda fışkırma oluşan çekme-sıyırma numuneleri

Kaynak Zamanı (per)	Kopma tipi	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
25	Yırtılma	12,5	Fışkırma, yanma izleri	
25	Yırtılma	11,1	Fışkırma, yanma izleri	
30	Yırtılma	12,5	Fışkırma, yanma izleri	
30	Yırtılma	11,1	Fışkırma	
15	Yırtılma	11,1	Fışkırma	
15	Yırtılma	14	Fışkırma	
10	Yırtılma	11,1	Fışkırma	
20	Yırtılma	12,5	Fışkırma	



Şekil 5.5. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi

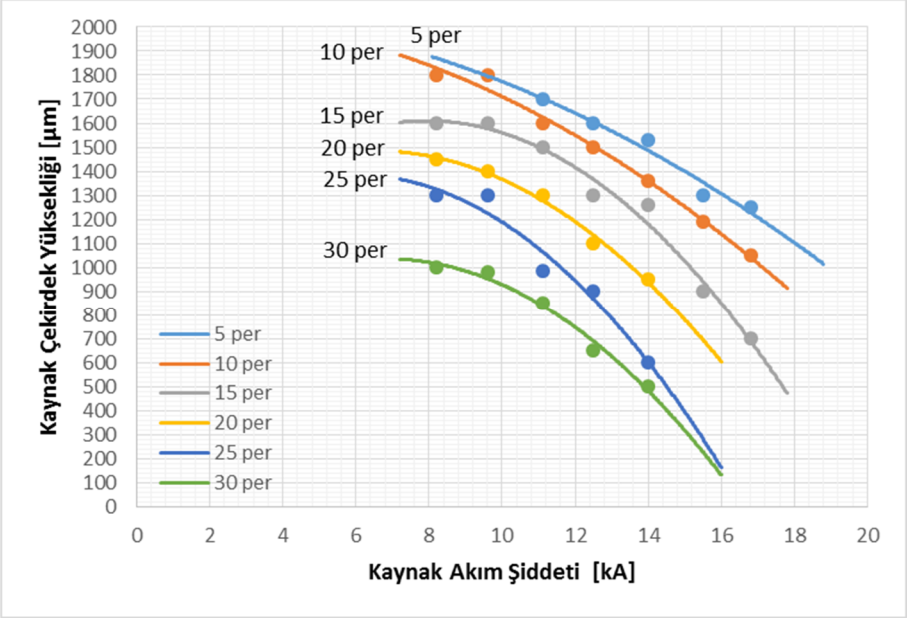
Buna bağlı olarak da çekirdek çapında azalmalar meydana gelmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [3], [15], [17], [24], [61]. 10 periyotta 15 kA'den sonra; 15 periyotta 15 kA'den sonra çekirdek çapının azaldığı; 20-25-30 periyotta 15,5 kA'de çekirdek oluşmadığı ve malzemenin delindiği görülmektedir.



Şekil 5.6. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekirdek çapına etkisi

5.3.2. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek yüksekliğine(h_1) etkisi

Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin artması ile çekirdek yüksekliğinin azaldığı Şekil 5.7. ve 5.8.'de görülmektedir. Bunun sebebi kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile artan ısının erimiş metal miktarını artırması ve neticede fazla elektrot dalma derinliği ile çekirdek bölgesinden fışkırmalar oluşmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [17], [22], [24].

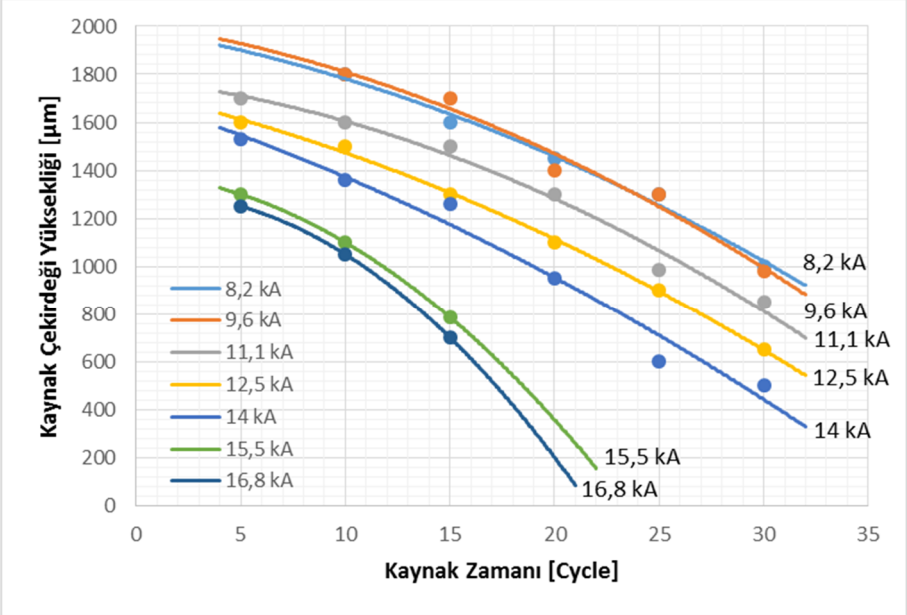


Şekil 5.7. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek yüksekliğine etkisi

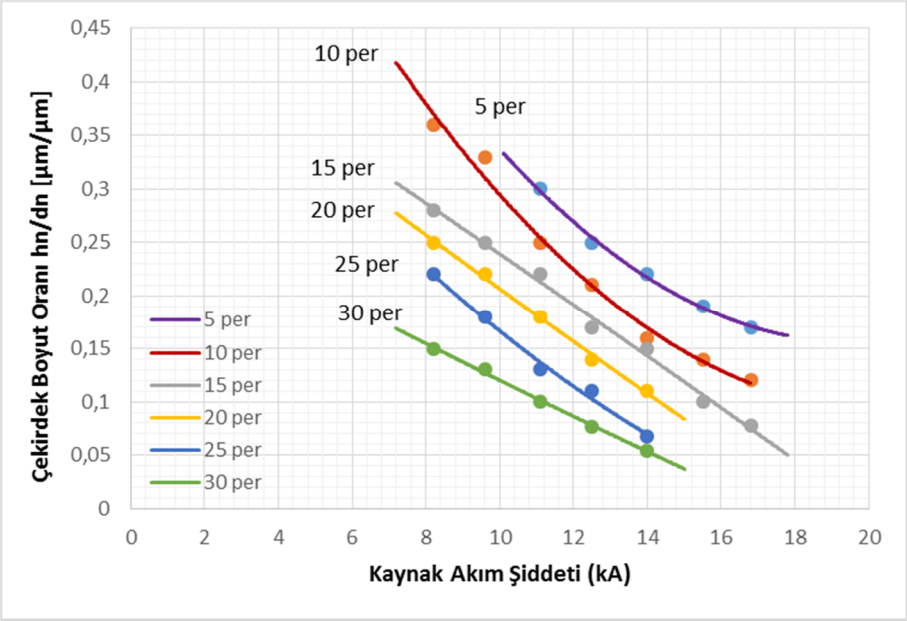
5.3.3. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek boyut oranına (h_1/d_1) etkisi

Şekil 5.9. ve 5.10.'da görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla birlikte belli bir noktaya kadar çekirdek boyut oranı azalır. Bu noktadan sonra ise kaynak akım şiddeti değerlerinin artmasıyla birlikte malzemenin delinmesinden dolayı kaynak çekirdek boyut oranı hesaplanamamaktadır. Bunun sebebi artan ısı nedeni ile alt ve üst elektrotların malzemelere dalma miktarlarının artması ve bunun sonucunda

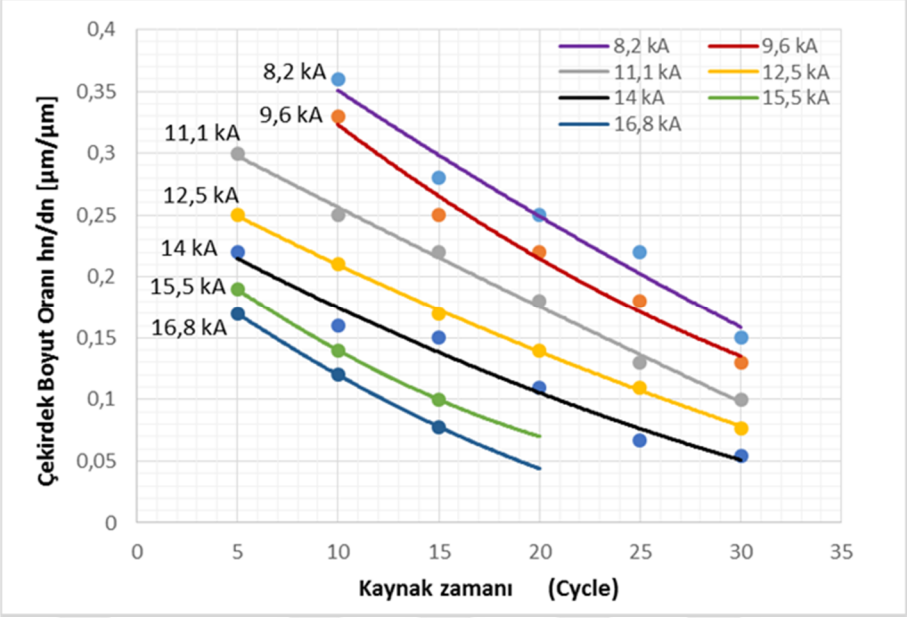
çekirdek yüksekliğininde düşmesidir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [17], [24].



Şekil 5.8. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi



Şekil 5.9. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek boyut oranına etkisi

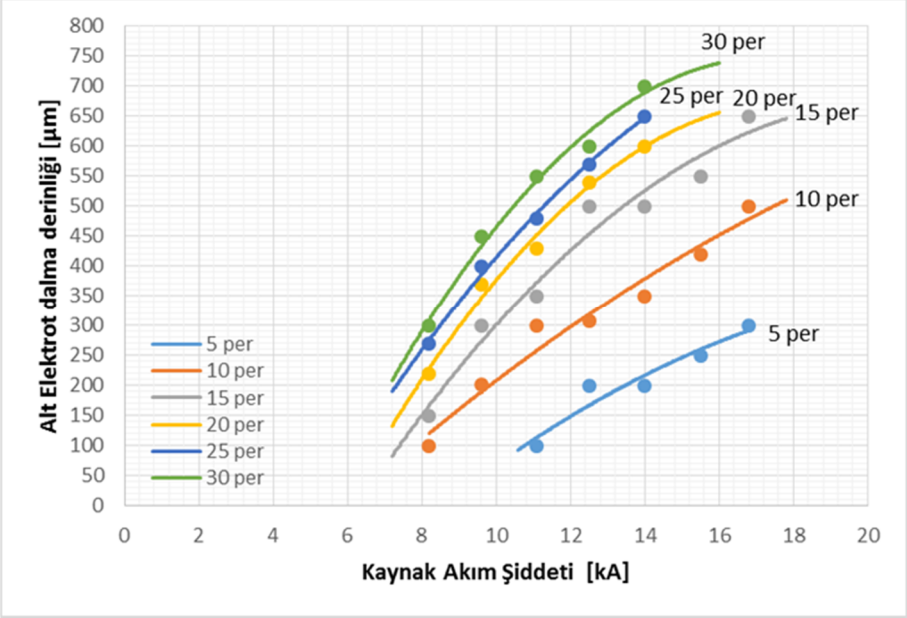


Şekil 5.10. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek boyut oranına etkisi

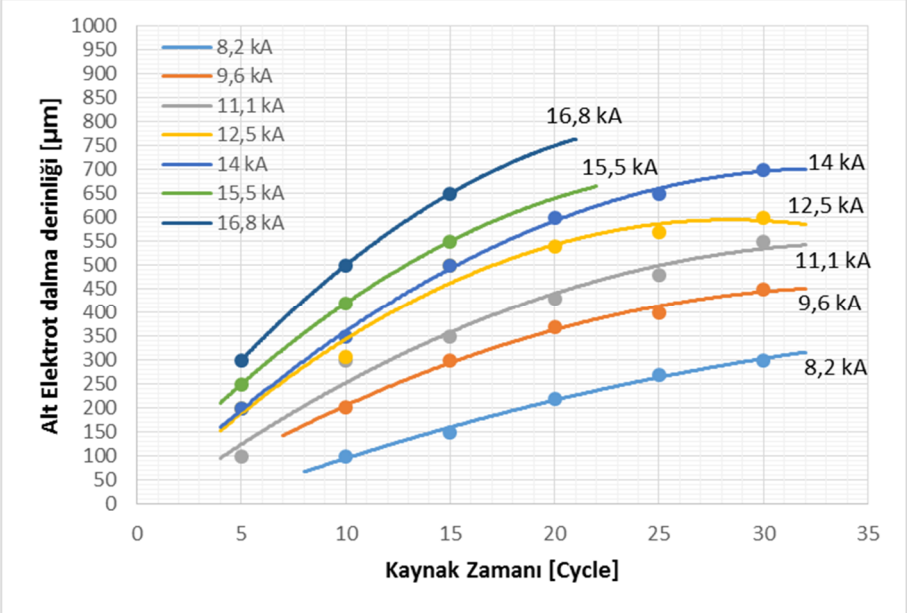
5.4. DP800 Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin Dalma Derinliklerine ve Genişliğine Etkisi

5.4.1. Kaynak zamanın ve kaynak akım şiddetinin DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt –Üst ve toplam Elektrot dalma derinliğine(t_1,t_2) etkisi

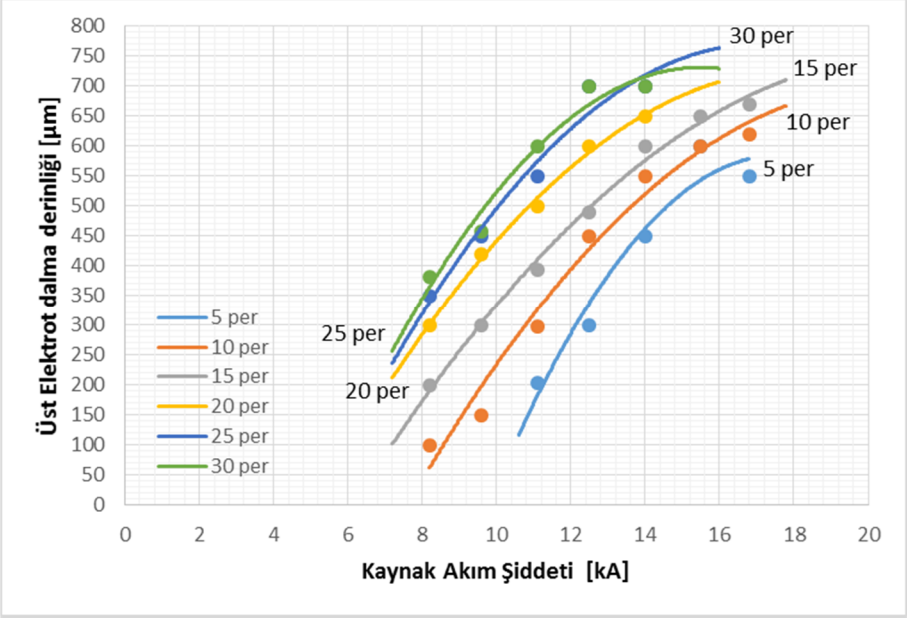
Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin artması ile alt ve üst elektrotların malzemeye dalma derinliklerininde artığı Şekil 5.11.-5.16.'da görülmektedir. Isı girdisinin belli bir değerinden sonra ise herhangi bir değişim meydana gelmemektedir. Yüksek kaynak zamanlarında ve yüksek akım şiddetlerinde elektrot kuvvetinin etkisi ile malzemelerin delindiği ve çekirdeğin oluşmadığı gözlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [22], [23], [48].



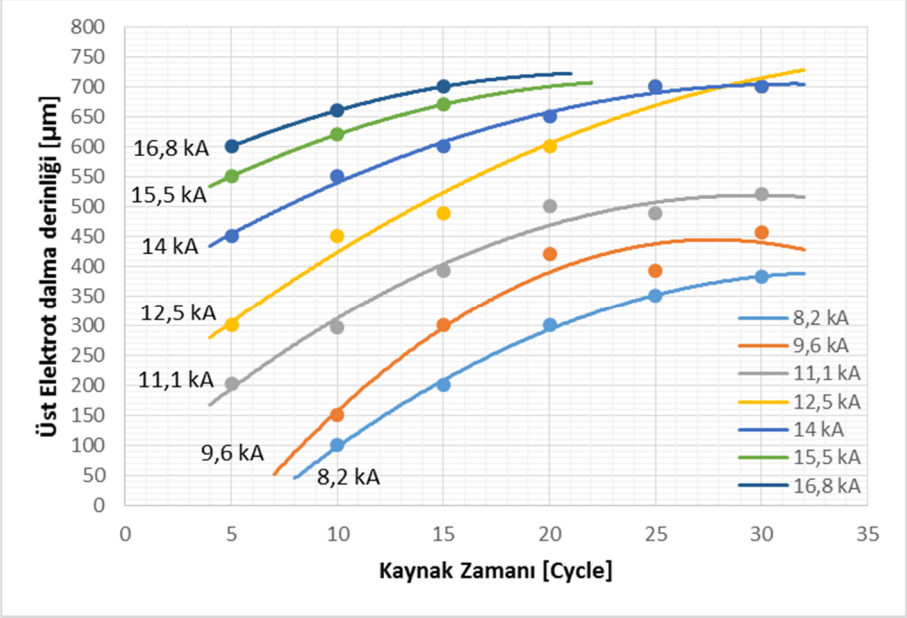
Şekil 5.11. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Alt elektrot dalma derinliğine etkisi



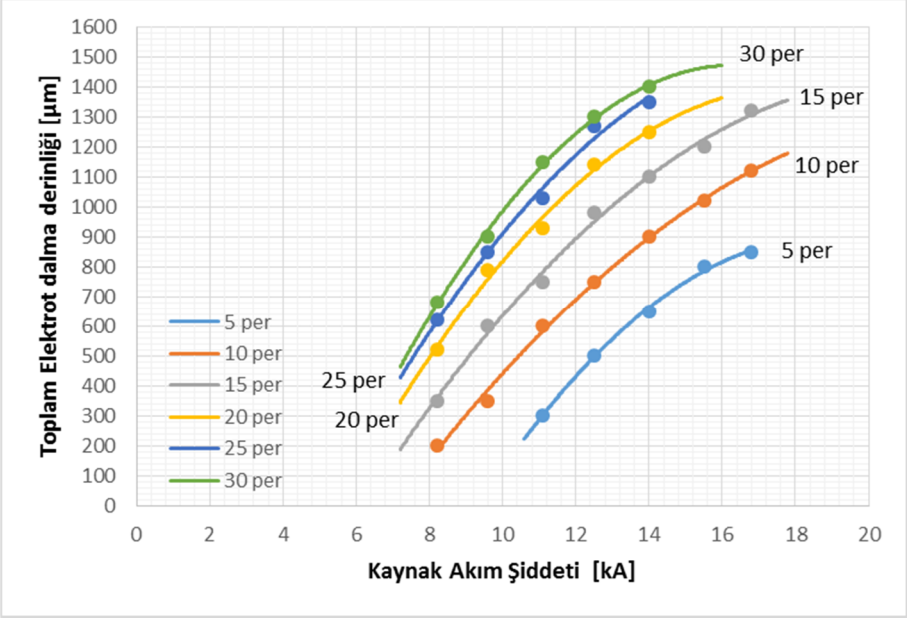
Şekil 5.12. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Alt Elektrot dalma derinliğine etkisi



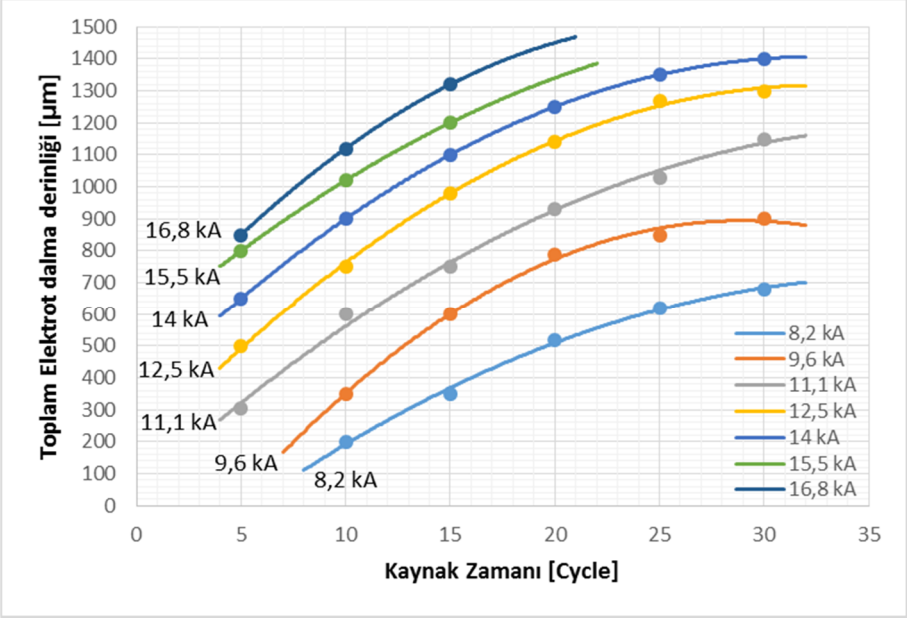
Şekil 5.13. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin üst elektrot dalma derinliğine etkisi



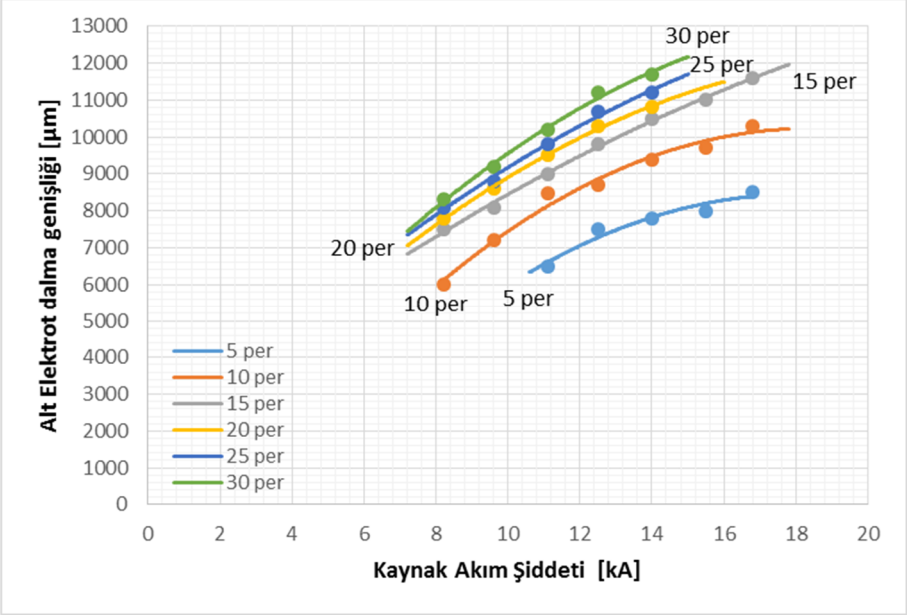
Şekil 5.14. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi



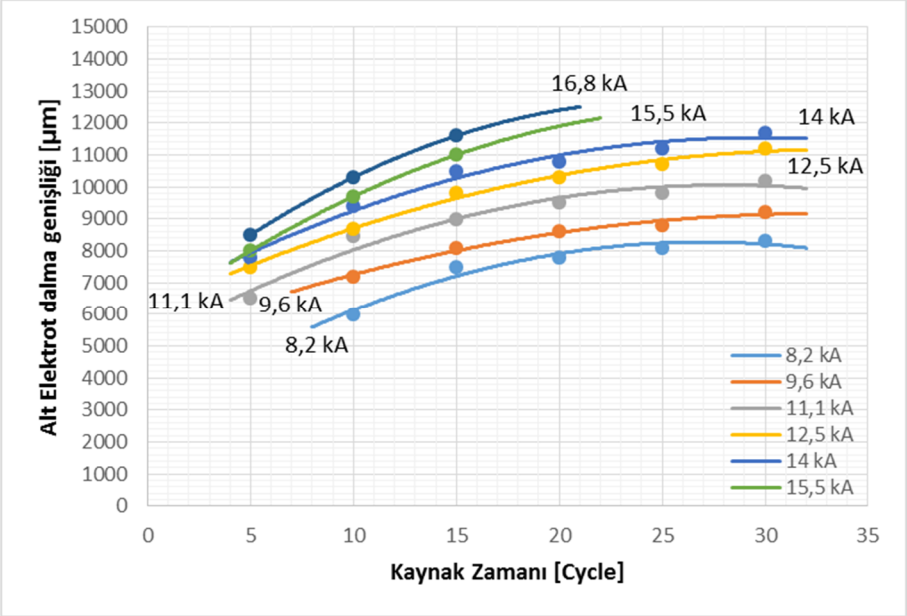
Şekil 5.15. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi



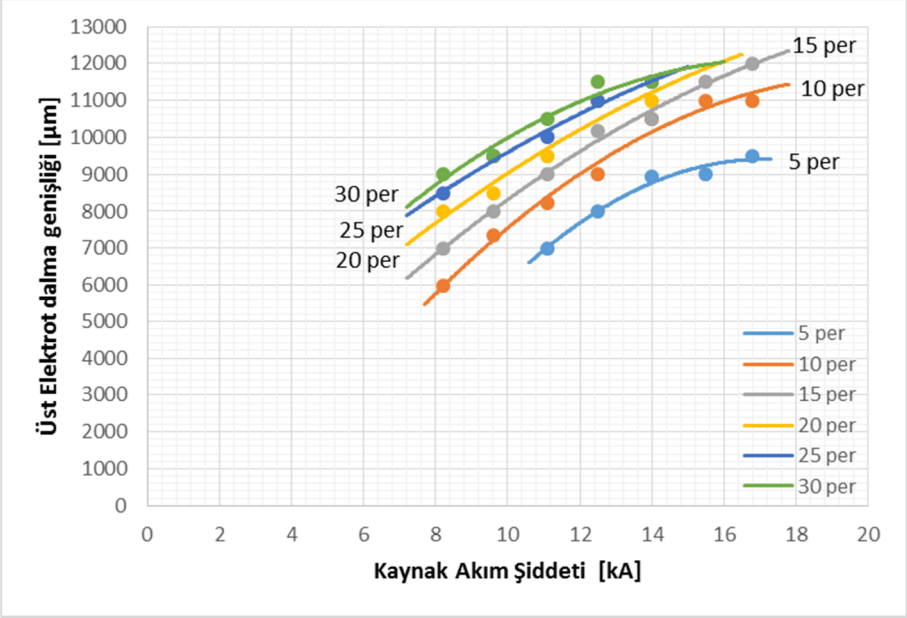
Şekil 5.16. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi



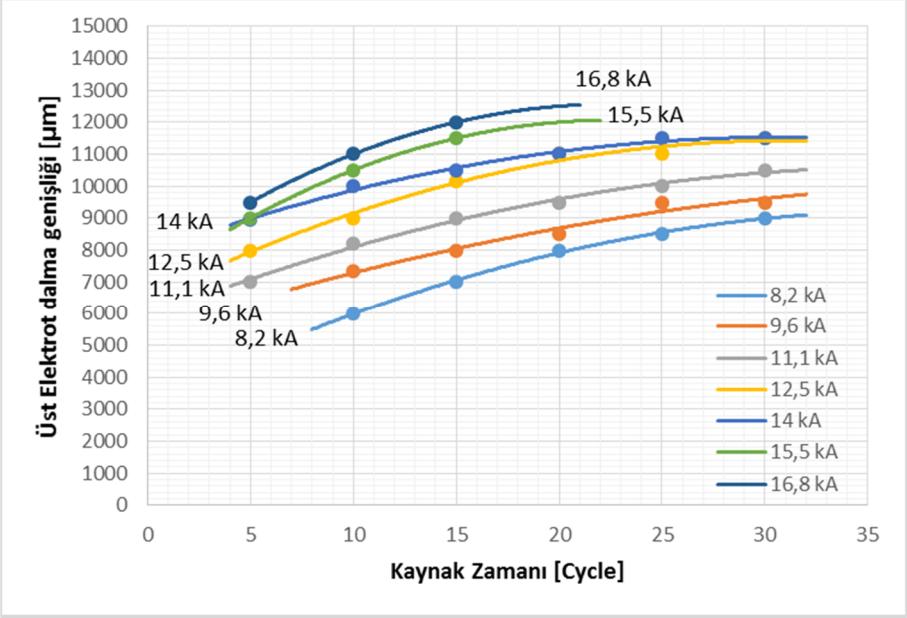
Şekil 5.17. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Alt Elektrot dalma genişliğine etkisi



Şekil 5.18. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Alt Elektrot dalma genişliğine etkisi



Şekil 5.19. DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Üst Elektrot dalma genişliğine etkisi



Şekil 5.20. DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Üst Elektrot dalma genişliğine etkisi

5.4.2. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt ve Üst Elektrot dalma genişliğine(l_1,l_2) etkisi

Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin artması ile elektrotların malzemeye dalma genişliklerinin de artığı Şekil 5.17.-5.20.'de görülmektedir. Isı girdisinin belli bir değerinden sonra ise herhangi bir değişim meydana gelmemektedir.

5.5. DP800 Çelik Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Geometrisinin Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Kuvvetlerine Etkisi

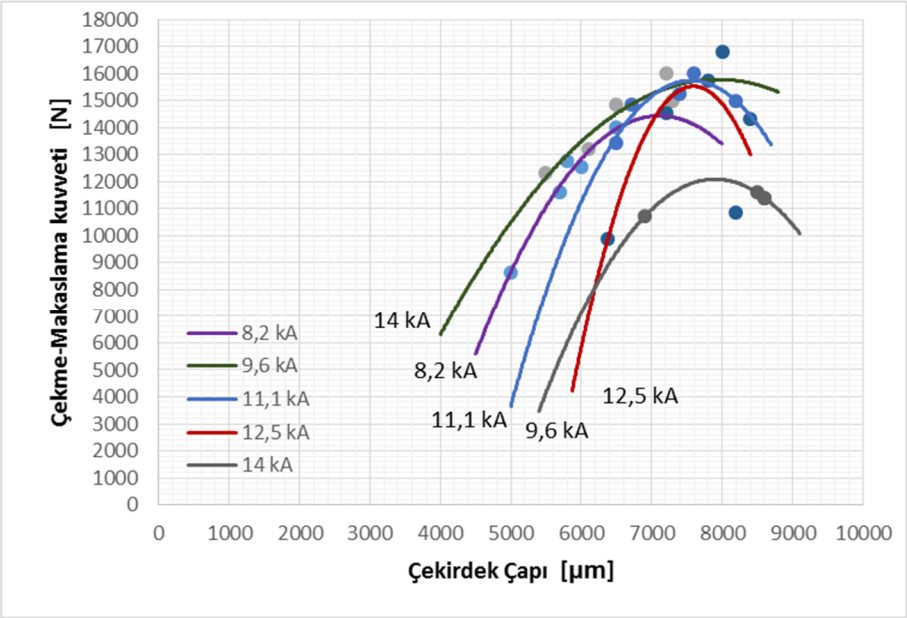
5.5.1. DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının çekirdek çapının(d_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdek çapında artışın oluşması, bağlantının çekme-makaslama kuvvetindede artışın oluşacağı Şekil 5.21. ve 5.22.'da görülmektedir. Bunun neticesinde, kaynak çekirdeği daha yüksek kuvvetlerde hasar meydana gelmektedir [61].

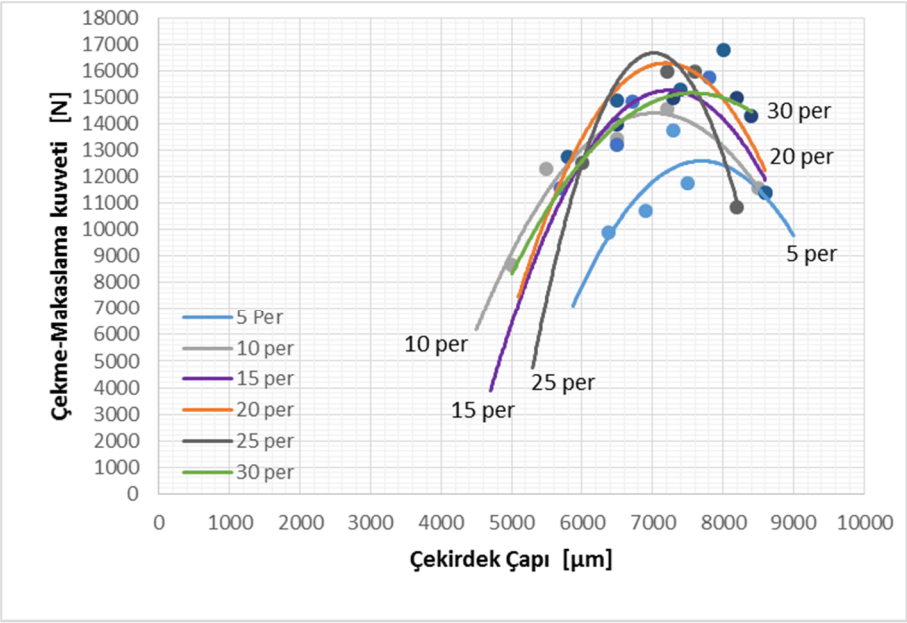
En yüksek çekme-makaslama kuvveti 10 per 7 mm kaynak çekirdek çapında; 15 per 7,5 mm kaynak çekirdek çapında; 20 per 7,5 mm kaynak çekirdek çapında; 25 per 7,5 mm kaynak çekirdek çapında; 30 per 8 mm kaynak çekirdek çapında (14000-17000 N) olarak ve 8,2 kA 7 mm, 9,6 kA 7,5 mm, 11,1 kA 7,5 mm, 12,5 kA 7,5 mm 14 kA 8mm kaynak çekirdek çaplarında (12000-16000N) olarak ulaşılmıştır.

Bu belirlenen kısımlardan sonra kaynak çekirdek çaplarında artış olmasına rağmen kuvvet düşmektedir. Bunun sebebi yüksek akim şiddetleri ve yüksek kaynak zamanlarindan dolayi kaynak çekirdeğindeki ısının oldukça artması ve buna sonucunda çekirdek bölgesinde fışkırmaların meydana gelmesi ile kaynak metalinde

malzeme kayıplarının artmasıdır. Bundan dolayı erimiş metal miktarı artıyor ve elektrot baskı kuvveti sebebiyle kaynak çekirdek çapının artmasına rağmen dayanım düşmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [7], [17], [24].



Şekil 5.21. DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken)

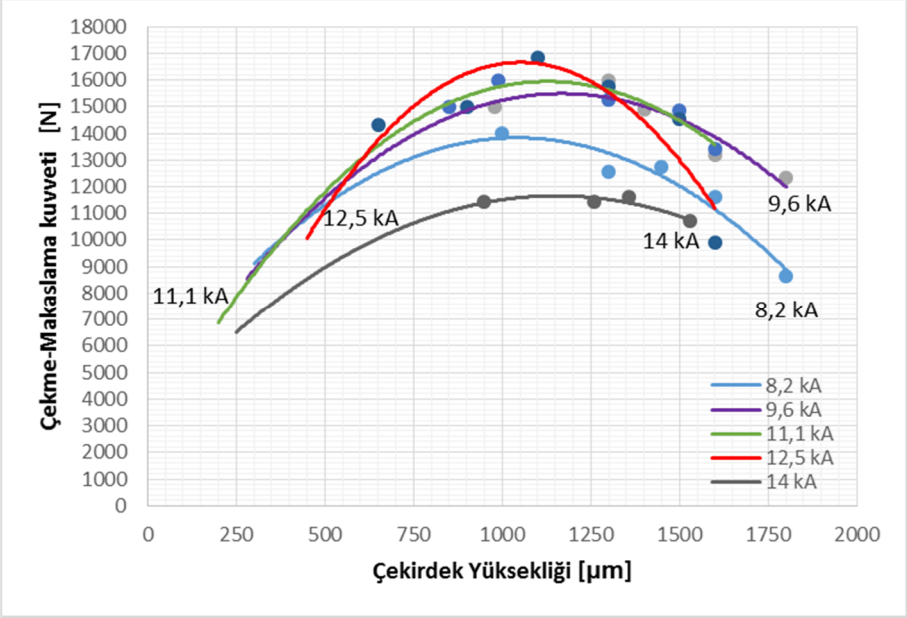


Şekil 5.22. Çekirdek çapının DP800 bağlantılarda çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken - kaynak akım şiddeti sabit)

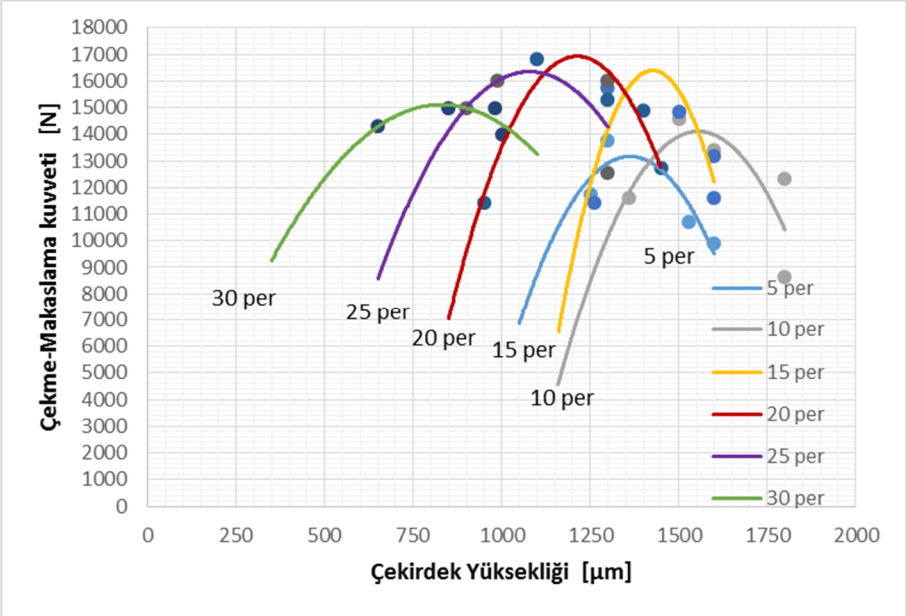
5.5.2. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek yüksekliğinin (h_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdek yüksekliğinde artış meydana geldikçe, bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde azalmaların oluştuğu Şekil 5.23. ve 5.24.'de görülmektedir. Bunun sebebi kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin artması ile oluşan ısının yükselmesi ve bunun sonucunda malzemenin aşırı ısınması, elektrot kuvvetinin etkisi ile fıskırmaların artması çekirdek yüksekliğinin azalmasına sebibiyet vermektedir. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin artması ile birlikte artış gösteren ısı nedeni ile elektrotların malzemeye dalma derinlikleri fazlalaşır ve bunun neticesinde kaynak çekirdek yüksekliği azalma çekirdek çapında artma meydana gelir. Böylelikle düşük kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetlerinde düşük ısıya bağlı olarak(çekirdek çapı az) çekme-makaslama kuvveti de yeterli seviyede olmadığı tespit edilmiştir.

En yüksek çekme-makaslama kuvveti 5 per 1,3 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 10 per 1,55 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 15 per 1,45 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 20 per 1,2 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 25 per 1,1 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 30 per 0,85 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde (13000-17000 N) olarak; 8,2 kA 1mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 9,6 kA 1,15mm kaynak çekirdek yüksekliğinde; 11,1 kA 1,1mm kaynak çekirdek yüksekliğinde;12,5 kA 1 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde, 14 kA 1,1 mm kaynak çekirdek yüksekliğinde(11000-17000 N) olarak ulaşılmıştır. Bu kısımdan sonra kaynak çekirdek yüksekliğinde artış olmasına rağmen kuvvete azalma görülmüştür. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine ulaşan ısının artması ve bunun sonucunda çekirdek bölgesinde fışkırmaların oluşmasıdır. Kaynak zamanı artıldıkça kaynak çekirdeğinde yasılasmanın meydana geldiği ve aşırı yüksek kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanlarında malzemenin delindiği tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [16], [17].



Şekil 5.23. Çekirdek yüksekliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)



Şekil 5.24. Çekirdek yüksekliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit - kaynak akım şiddeti değişken)

5.5.3. DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının(h_1/d_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi

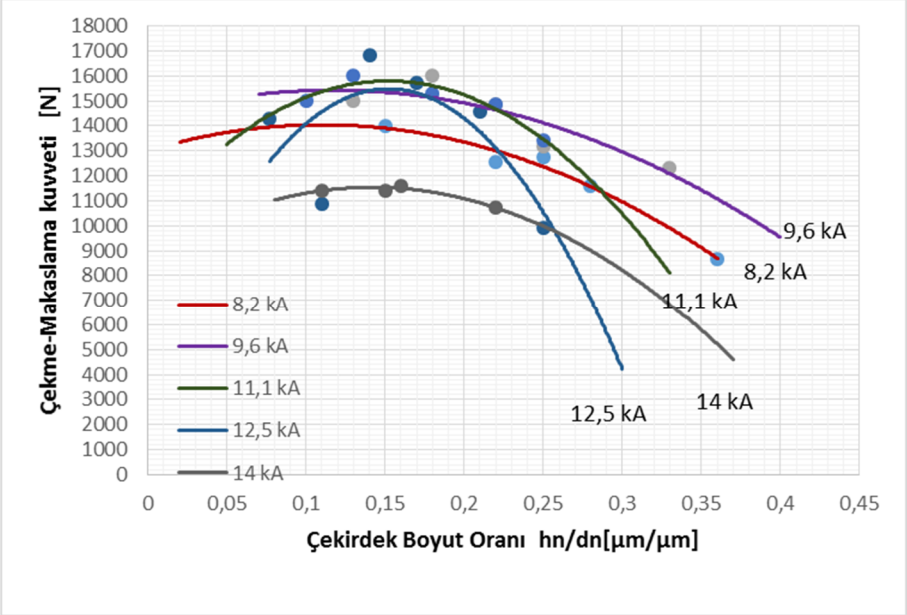
Kaynak çekirdek boyut oranının artması ile bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde azalmanın meydana geldiği Şekil 5.25. ve 5.26.'de görülmektedir.

Kaynak zamanını ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile birlikte yükselen ısı nedeni ile elektrotların malzemeye dalma derinlikleri artar ve bunun sonucunda çekirdek çapı artış gösterirken, çekirdek yüksekliği azalır. Netice olarak çekirdek boyut oranı düşer. Çekirdek boyut oranının yüksek olmasını sağlıyan düşük kaynakzamanı ve kaynak akım şiddetinde düşük ısı girdisine bağlı olarak çekme-makaslama kuvvetide düşük olur.

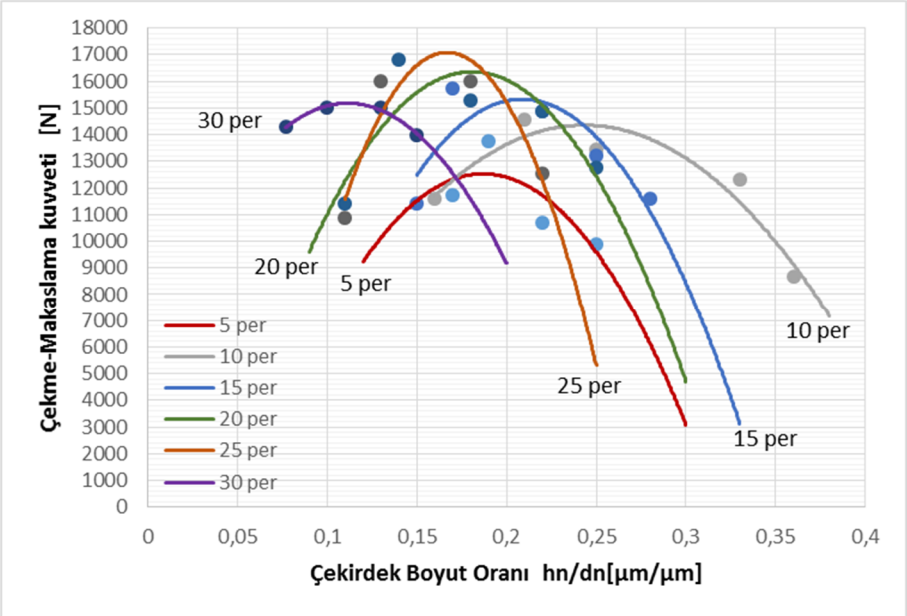
En yüksek çekme-makaslama kuvveti 5 per 0,19 çekirdek boyut oranında; 10 per 0,25 çekirdek boyut oranında; 15 per 0,22 çekirdek boyut oranında; 20 per 0,18 çekirdek boyut oranında; 25 per 0,17 çekirdek boyut oranında; 30 per 0,11 çekirdek boyut oranında (12000-17000N)olarak, 8,2 kA 0,1 çekirdek boyut oranında; 9,6 kA 0,11 çekirdek boyut oranında; 11,1 kA 0,15 çekirdek boyut oranında; 12,5 kA 0,15 çekirdek boyut oranında; 14 kA 0,15 çekirdek boyut oranında (11500-16000 N) olarak ulaşılmıştır. Bu belli bölgeden sonra çekirdek boyut oranında artış gözlemlenmesine rağmen kuvvet azalmaktadır. Bunun sebebi kaynak bölgesinde oluşan ısı miktarının artması ile çekirdek yüksekliğinin azalması buna mukabil çekirdek çapının artması ve buna bağlı olarak kaynak çekirdeğindeki fışkırmaların neden olduğu malzeme kayıplarıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [16], [17].

5.5.4. DP800 bağlantıların elektrot dalma derinliklerinin(t_1) çekme-makaslama kuvvetine etkisi

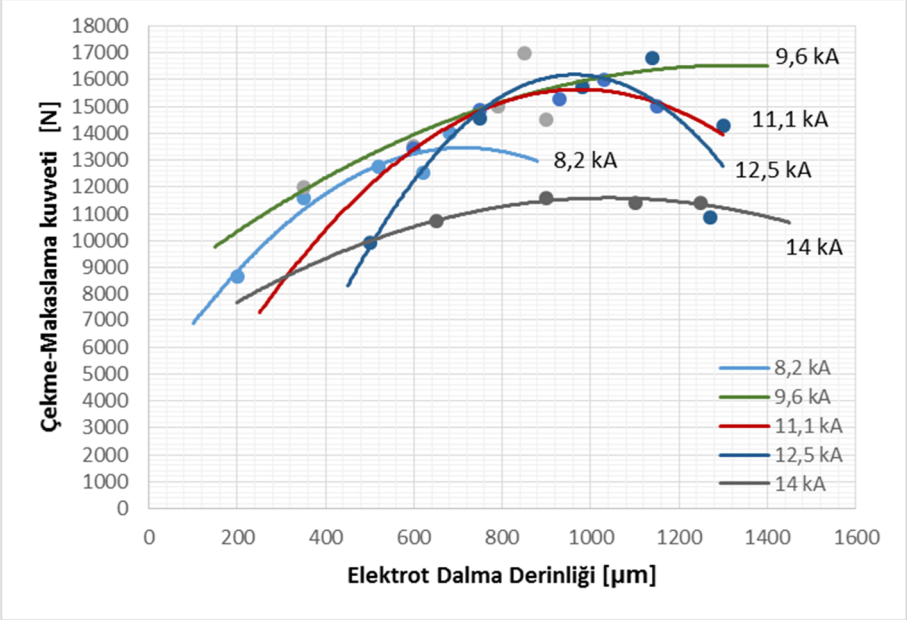
Elektrot dalma derinliklerinde artış meydana gelmesi ile birlikte bağlantının çekme-makaslama kuvvetindede artışın meydana geldiği Şekil 5.27. ve 5.28.'de görülmektedir. Fakat belli bir kısımdan sonra kaynak çekirdeğine ulaşan ısının yükselmesi sebebiyle malzeme ara bölgelerinde oluşan fışkırma bağlantının makaslama kuvvetini düşürür.



Şekil 5.25. Çekirdek boyut oranının DP800 bağlantılarda çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)

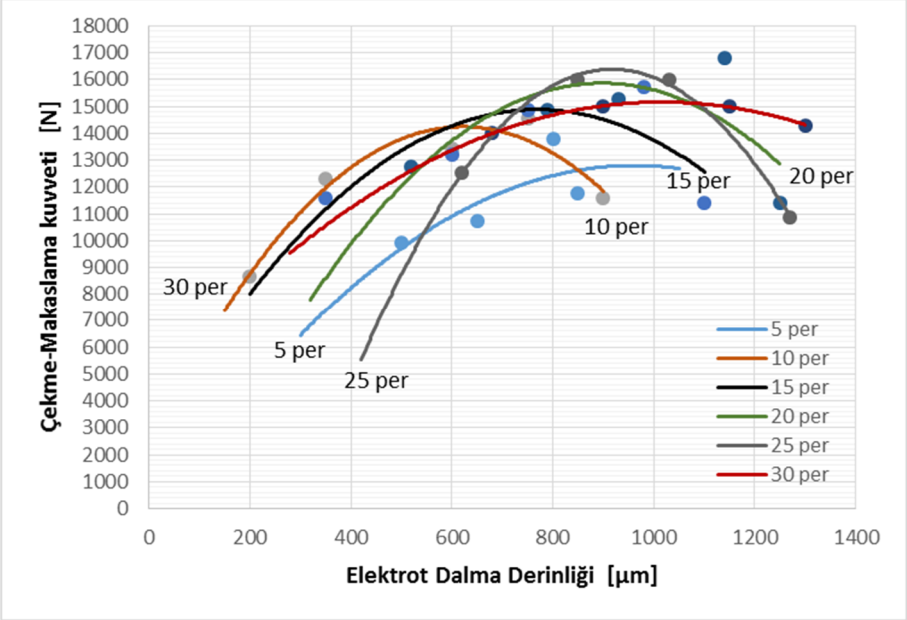


Şekil 5.26. Çekirdek boyut oranının DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit - kaynak akım şiddeti değişken)



Şekil 5.27. Elektrot dalma derinliğinin DP800 bağlantılarda çekme-makslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)

En yüksek çekme-makaslama kuvveti 5 per kaynak zamanında 1,0 mm elektrot dalma derinliğinde ;10 per kaynak zamanında 0,6 mm elektrot dalma derinliğinde; 15 per kaynak zamanında 0,75 mm elektrot dalma derinliğinde; 20 per kaynak zamanında 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 25 per kaynak zamanında 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 30 per kaynak zamanında 0,6 mm elektrot dalma derinliğinde (12000-16500N)olarak; 8,2 kA 0,7mm elektrot dalma derinliğinde; 9,6 kA 1,2mm elektrot dalma derinliğinde; 11,1 kA 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 12,5 kA 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 14 kA 1,0 mm elektrot dalma derinliğinde (11500-16500 N) olarak ulaşılmıştır. Bu bölgeden sonra elektrot dalma derinliklerinde artış gözükmesine rağmen kuvvete azalma oluşmuştur. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine erimiş haldeki elektrodun dalma miktarının artması, fışkırmaların, malzeme kayıplarının artmasından ve bunun sonucunda kesit alanının azalmasıdır.



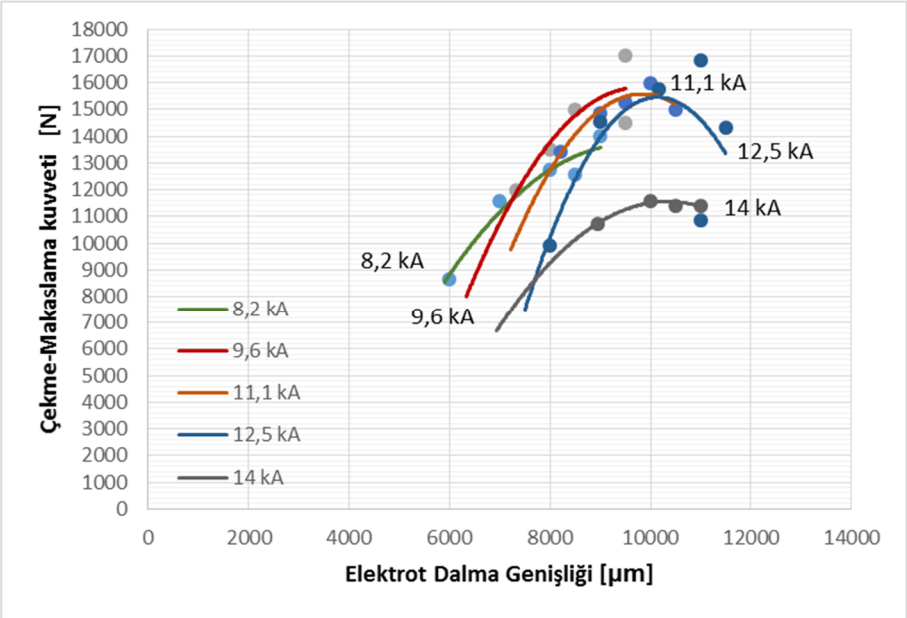
Şekil 5.28. Elektrot dalma derinliğinin DP800 bağlantılarda çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit -kaynak akım şiddeti değişken)

5.5.5. DP800 bağlantıların elektrot dalma genişliğinin(l_1,l_2) çekme-makaslama kuvvetine etkisi

Elektrot dalma genişliğinin artaması ile bağlantının çekme-makaslama kuvvetininde artığı Şekil 5.29. ve 5.30.'de görülmektedir. Fakat belli bir bölgeden sonra kaynak bölgesine iletilen yüksek ısı sebebiyle çekirdek çapının artması, çekirdek yüksekliğinin azalması, buna bağlı olarak elektrot dalma derinliğinin artması sonucunda ve malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak fışkırma meydana gelmesi çekme- makaslama kuvvetinin azalmasına sebebiyet vermektedir.

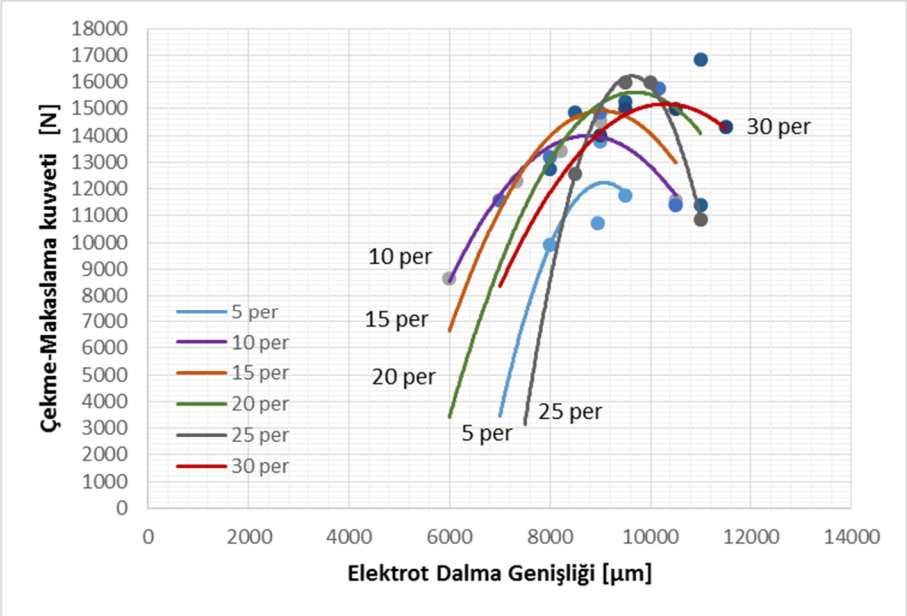
Maksimum çekme-makaslama dayanımı 5 periyotta 9,0 mm elektrot dalma derinliğinde ;10 periyotta 8,2 mm elektrot dalma genişliğinde; 15 periyotta 8,5 mm elektrot dalma genişliğinde; 20 periyotta 9,4 mm elektrot dalma genişliğinde; 25 periyotta 9,5 mm elektrot dalma genişliğinde; 30 periyotta 10,5 elektrot dalma genişliğinde (11000-16500N); 8,2 kA 9 mm elektrot dalma genişliğinde; 9,6 kA 9,2mm elektrot dalma genişliğinde; 11,1 kA 10 mm elektrot dalma genişliğinde; 12,5 kA 10 mm elektrot dalma genişliğinde; 14 kA 10,5 mm elektrot dalma genişliğinde

(11500-16000 N) ulaşılmıştır. Bu noktalardan sonra elektrot dalma genişliğinin artma meydana gelmesine rağmen makaslama kuvveti düşmektedir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine erimiş haldeki elektrodun dalma miktarının artması, fışkırmaların, malzeme kayıplarının artmasından ve bunun sonucunda kesit alanının azalmasıdır.



Şekil 5.29. Elektrot dalma genişliğinin DP800 bağlantılarda çekme-makaslama kuvvetine etkisi (kaynak zamanıdeğişken -kaynak akım şiddeti sabit)

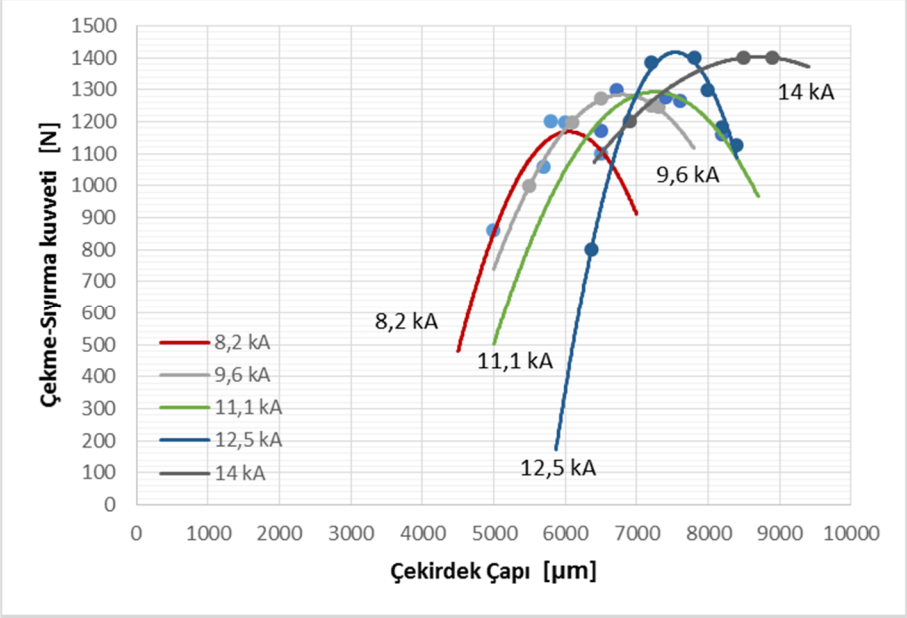
)



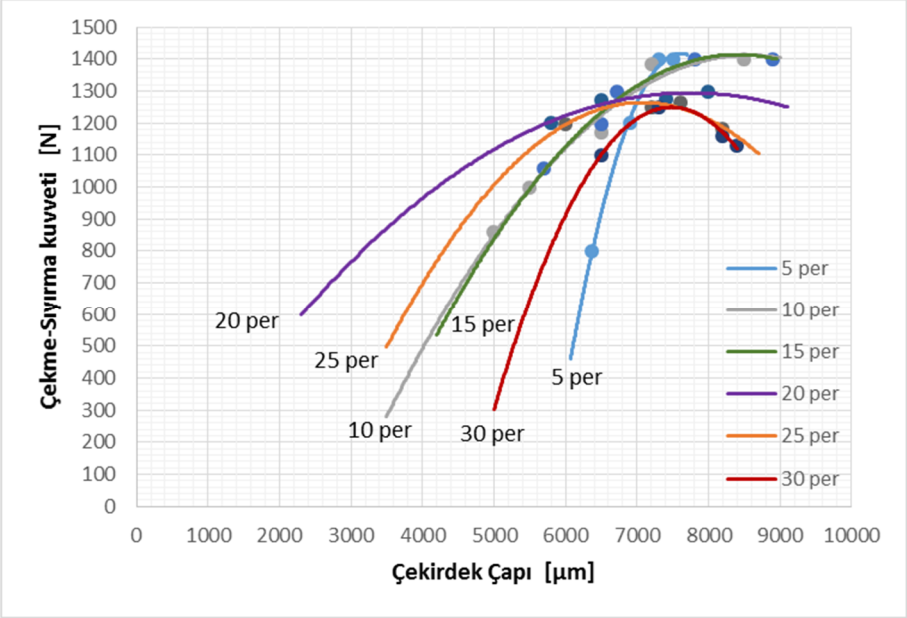
Şekil 5.30. Elektrot dalma genişliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit -kaynak akım şiddeti değişken)

5.5.6. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek çapının(d_1) çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Kaynak çekirdek çapının artmasına bağlı olarak, kaynak çekirdeğinin çekme-sıyırma kuvveti de artığı Şekil 5.31. ve 5.32.'de görülmektedir. Fakat belirli bir yerden sonra çekme-makaslama grafiklerinde de olduğu gibi elektrotların artan dalma derinliklerine ve kaynak çekirdek bölgesinde oluşan fışkırma sebebiyle çekme-sıyırma kuvveti de düşmeler gözükmektedir. En yüksek çekme-sıyırma kuvveti 5 per kaynak zamanında 7,5 mm çekirdek çapında; 10 per kaynak zamanında 8,5 mm çekirdek çapında; 15 per kaynak zamanında 8,5 mm çekirdek çapında; 20 per kaynak zamanında 7 mm çekirdek çapında; 25 per kaynak zamanında 6,75 mm çekirdek çapında; 30 per kaynak zamanında 7,5 mm çekirdek çapında (1200-1400 N); 8,2 kA 6 mm çekirdek çapında; 9,6 kA 6,3mm çekirdek çapında; 11,1 kA 7,2 mm çekirdek çapında; 12,5 kA 7,5 mm çekirdek çapında; 14 kA 8,5 mm çekirdek çapında (1180-1420 N) olarak ulaşılmıştır. Çekme-makaslama diyagramında görüldüğü gibi belli bir yerden sonra çekirdek çapının yükselmesine rağmen çekme-sıyırma kuvvetinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine ulaşan ısının yükselmesi ve sonucunda kaynak çekirdeğinde fışkırmaların meydana gelmesidir. Bundan dolayı erimiş metal miktarı yükseliyor ve elektrot baskı kuvveti sebebiyle kaynak çekirdek çapının yükselmesine rağmen çekme-sıyırma kuvvetinde azalma meydana gelmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [16], [17].



Şekil 5.31. Çekirdek çapının DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken - kaynak akım şiddeti sabit)



Şekil 5.32. Çekirdek çapının DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit -kaynak akım şiddeti değişken)

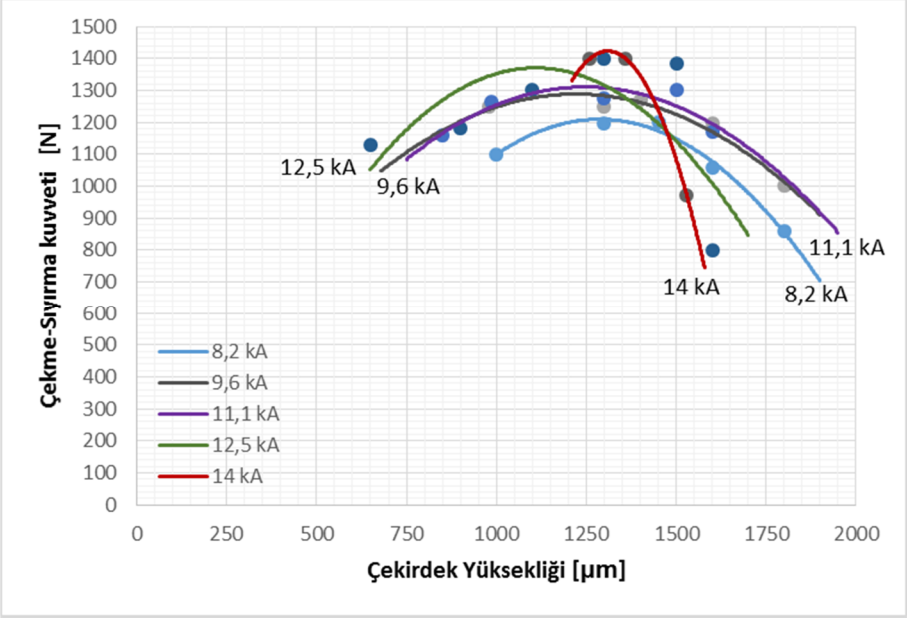
5.5.7. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Çekirdek yüksekliği arttığının ve buna bağlı olarak kaynak çekirdeği çekme-sıyırma kuvvetinin azaldığı Şekil 5.33. ve 5.34.'de görülmektedir.Bunun sebebi çekme-

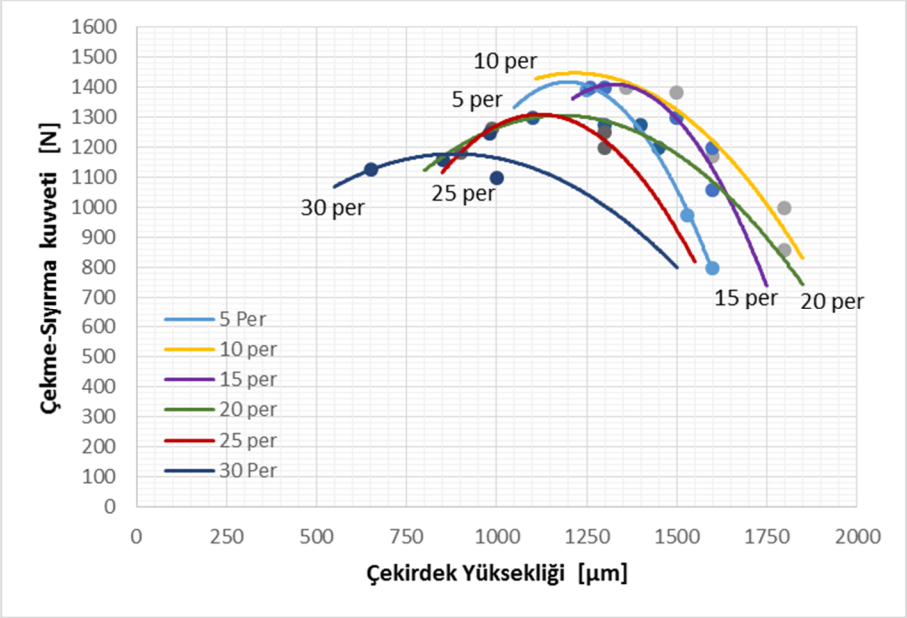
makaslama kuvvet diyagramlarında tespit edildiği gibi kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin yükselmesine rağmen çekirdek yüksekliğinde düşmenin olmasıdır. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile birlikte artan ısı iletimi nedeni elektrotların dalma derinliklerinin artmasına ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliğinin azalmasına sebebiyet verir.

Dolayısıyla düşük kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetlerinde düşük ısı iletimine bağlı olarak çekirdek yüksekliği artar, çekirdek çapı düşer ve çekme-sıyırma kuvveti azalır.

En yüksek çekme-sıyırma kuvveti 5 per kaynak zamanında 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde;10 per kaynak zamanında 1,25 mm çekirdek yüksekliğinde; 15 per kaynak zamanında 1,2 mm çekirdek yüksekliğinde; 20 per kaynak zamanında 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde; 25 per kaynak zamanında 1,1 mm çekirdek yüksekliğinde; 30 per kaynak zamanında 0,8 mm çekirdek yüksekliğinde(1180-1450 N) ; 8,2 kA 1,35 mm çekirdek yüksekliğinde; 9,6 kA 1,3 mm çekirdek yüksekliğinde; 11,1 kA 1,25 mm çekirdek yüksekliğinde; 12,5 kA 1,15 mm çekirdek yüksekliğinde; 14 kA 1,3 mm çekirdek yüksekliğinde (1200-1420 N) ulaşılmıştır. Çekme-makaslama kuvveti diyagramında görüldüğü gibi belli bir seviyeden sonra kaynak çekirdek yüksekliğinin yükselmesine rağmen çekme-sıyırma kuvvetinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine iletilen ısının artması ve bunun sonucunda fışkırmaların kaynak çekirdeğinde meydana gelmesidir. Yüksek akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak zamanlarında kaynak çekirdeği yassılaşmakta belli bir değerden sonar ise malzeme delinmektedir. Bu delinmeleri önlemek için kullanılan elektrot baskı kuvvetinin azaltılması gerekmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [16], [17].



Şekil 5.33. Çekirdek yüksekliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)

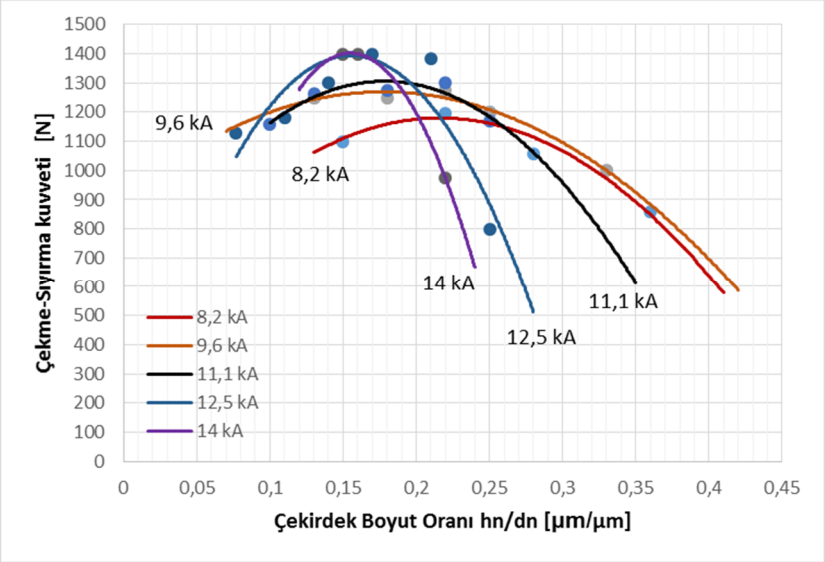


Şekil 5.34. Çekirdek yüksekliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit - kaynak akım şiddeti değişken)

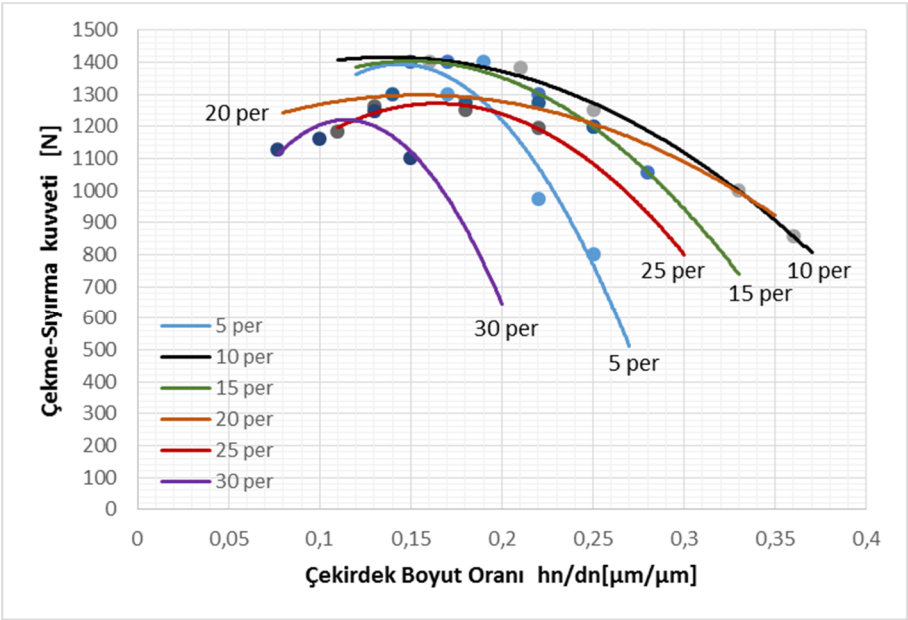
5.5.8. DP800 bağlantıların kaynak çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

Çekirdek boyut oranı artması ile bağlantının çekme-sıyırma kuvvetinin azaldığı Şekil 5.35. ve 5.36.'da görülmektedir. Çekme-makaslama kuvvetinde olduğu gibi kaynak

süresinin ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile birlikte fazlalaşan ısı girdisi nedeniyle elektrotların dalma derinlikleri artış ve bunun sonucunda çekirdek yüksekliği azalma gösterirken çekirdek çapı artış gösterir. Diğer bir tanımlamayla çekirdek boyut oranında azalma meydana gelir. Çekirdek boyut oranının yüksek oluşmasına neden olan düşük kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değerlerinde ise düşük ısı oluşumuna bağlı olarak çekme-sıyırma kuvveti de düşük olur.



Şekil 5.35. Çekirdek boyut oranının DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)



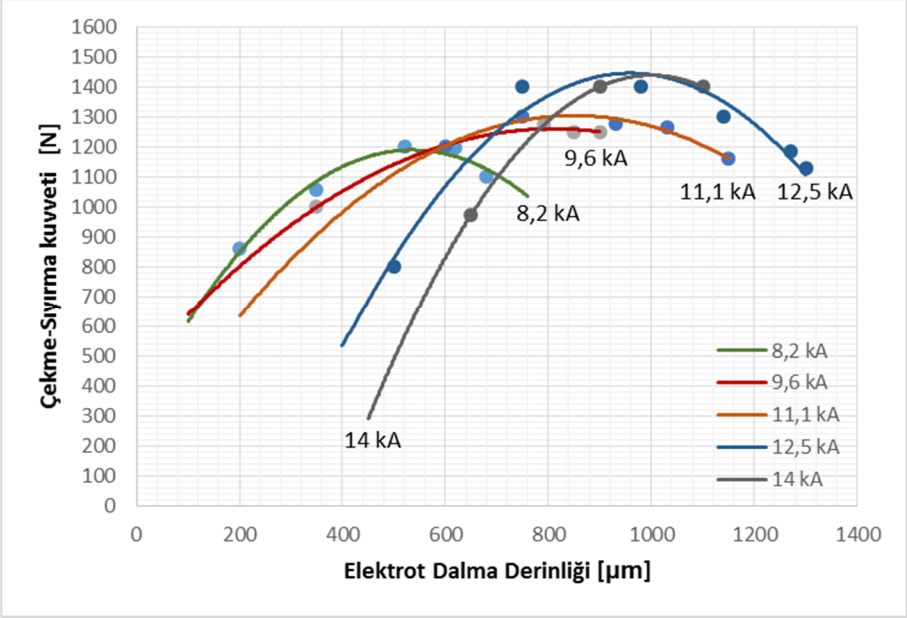
Şekil 5.36. Çekirdek boyut oranının DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit - kaynak akım şiddeti değişken)

Maksimum çekme-sıyırma kuvveti 8,2 kA 0,21 mm çekirdek boyut oranında; 9,6 kA 0,18 mm çekirdek boyut oranında; 11,1 kA 0,18 mm çekirdek boyut oranında; 12,5 kA 0,16 mm çekirdek boyut oranında; 14 kA 0,16 mm çekirdek boyut oranında (1180-1400 N); 5 per kaynak zamanında 0,15 çekirdek boyut oranında; 10 per kaynak zamanında 0,16 çekirdek boyut oranında; 15 per kaynak zamanında 0,16 çekirdek boyut oranında; 20 per kaynak zamanında 0,14 çekirdek boyut oranında; 25 per kaynak zamanında 0,16 çekirdek boyut oranında; 30 per kaynak zamanında 0,11 çekirdek boyut oranında (1210-1410 N) elde edilmiştir. Çekme-makaslama kuvvetinde tespit edildiği gibi bu noktalardan sonra çekirdek boyut oranının yükselmesine rağmen çekme-sıyırma kuvvetinde de azalmalar tespit edilmiştir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğine iletilen ısı miktarının yükselmesi ve sonucunda kaynak çekirdeğinden fışkırmaların olması ve delinmelerin meydana gelmesidir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [16], [17].

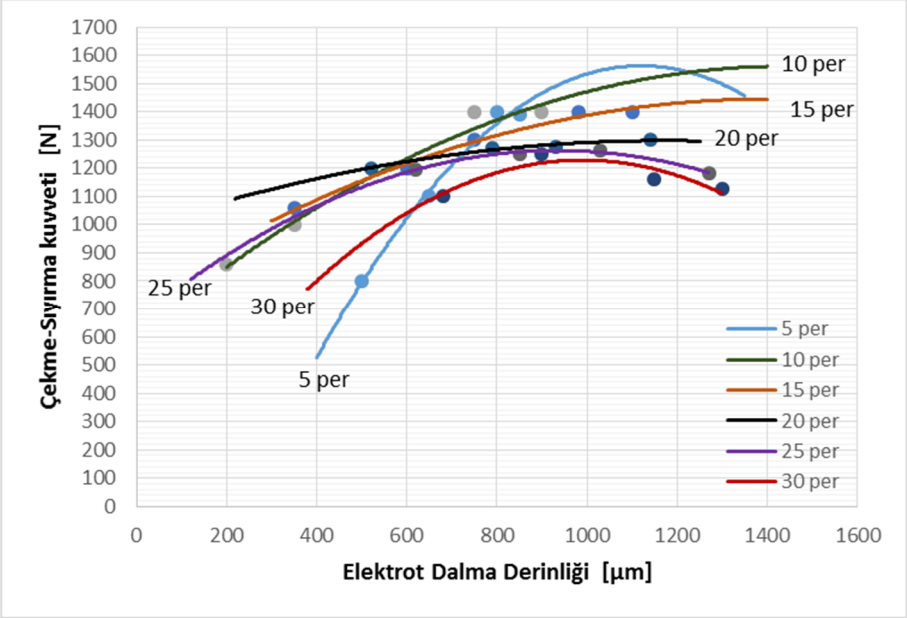
5.5.9. DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Üst ve alt elektrot dalma derinliklerinin artması, belli bir değere kadar bağlantının çekme-sıyırma dayanımınıda artığını Şekil 5.37. ve 5.38.'de görülmektedir. Fakat çekme-makaslama kuvvet diyagramında olduğu görüldüğü gibi belli bir noktadan sonra malzemede oluşan fışkırma sebebiyle çekme-sıyırma kuvvetindede azalma meydana gelir.

En yüksek çekme-sıyırma kuvveti 8,2 kA 0,5 mm elektrot dalma derinliğinde; 9,6 kA 0,7 mm elektrot dalma derinliğinde; 11,1 kA 0,81 mm elektrot dalma derinliğinde; 12,5 kA 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 14 kA 1,0 mm elektrot dalma derinliğinde (1190-1430 N); 5 per 1,15 elektrot dalma derinliğinde; 10 per 1,21 mm elektrot dalma derinliğinde; 15 per 1,2 mm elektrot dalma derinliğinde; 20 per 1,15 mm elektrot dalma derinliğinde; 25 per 0,9 mm elektrot dalma derinliğinde; 30 per 1,0 mm elektrot dalma derinliğinde elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.37. Elektrot dalma derinliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)



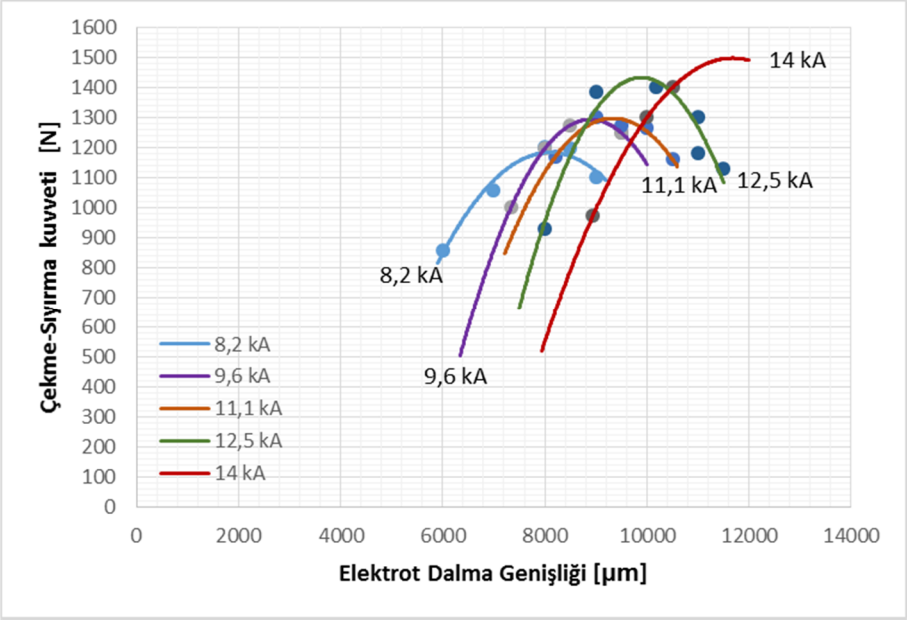
Şekil 5.38. Elektrot dalma derinliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit -kaynak akım şiddeti değişken)

Çekme-makaslama kuvvet diyagramlarında olduğu gibi bu noktalardan sonra dalma derinliği yükselmesine rağmen dayanım düşmektedir. Bunun sebebi kaynak çekirdek bölgesine iletilen ısı miktarının oldukça yükselmesi ve bunun sonucunda elektrot kuvvetinin etkisi ile çekirdek bölgesinde sıçrantıların ve fişkırmaların artmasıdır.

Bundan dolayı elektrot kuvveti sebebiyle elektrot dalma derinliğinin artmasına ve eriyen metal miktarının artmasına rağmen çekme-sıyırma kuvveti azalmaktadır.

5.5.10. DP800 bağlantıların elektrot dalma genişliklerinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

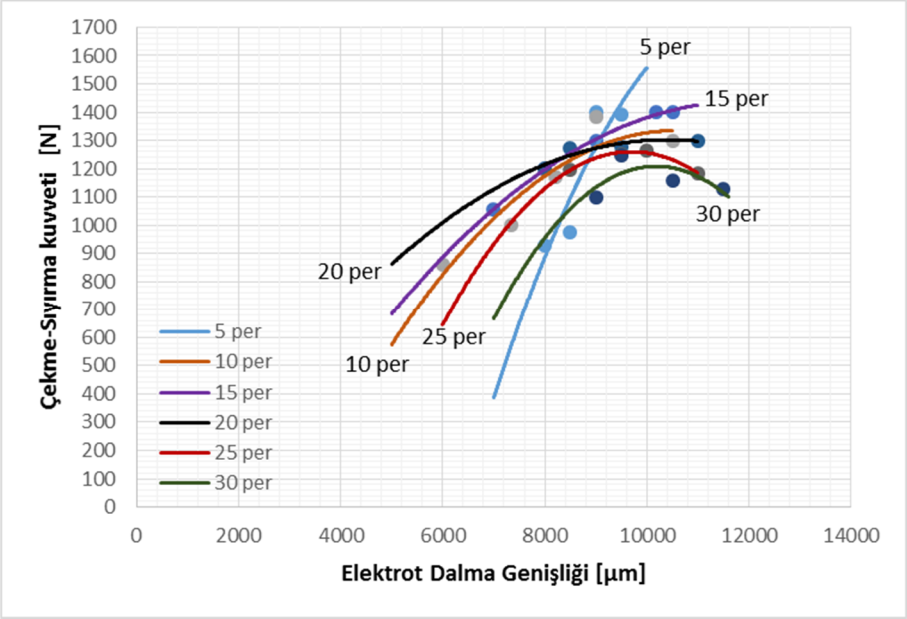
Alt ve üst elektrot dalma genişliklerinin artması ile, bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde artığı Şekil 5.39. ve 5.40.'da görülmektedir. Fakat belli bir noktadan itibaren kaynak bölgesine giren yüksek ısı sebebiyle çekirdek çapının artması, çekirdek yüksekliğinin azalması, buna bağlı olarak elektrot dalma derinliğinin artması sonucunda ve malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak fışkırma meydana gelmesi çekme- makaslama kuvvetinin azalmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 5.39. Elektrot dalma genişliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı değişken -kaynak akım şiddeti sabit)

En yüksek çekme-sıyırma kuvveti 8,2 kA 8 mm elektrot dalma genişliğinde; 9,6 kA 9,0 mm elektrot dalma genişliğinde; 11,1 kA 9,3 mm elektrot dalma genişliğinde; 12,5 kA 9,8 mm elektrot dalma genişliğinde; 14 kA 11,5 mm elektrot dalma

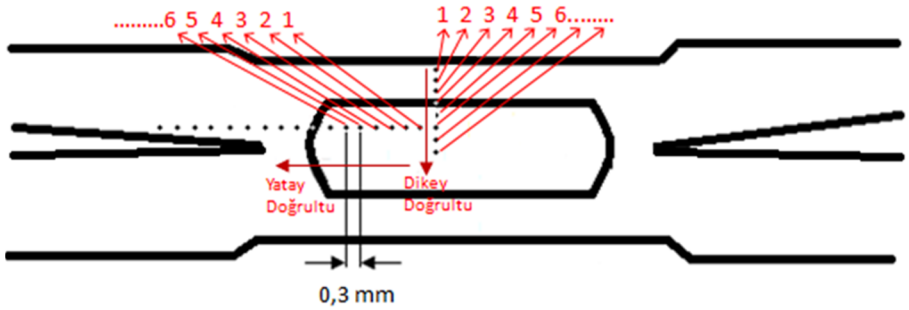
genişliğinde (1200-1500 N); 10 periyotta 10,2 mm elektrot dalma genişliğinde; 15 periyotta 8,5 mm elektrot dalma genişliğinde; 20 periyotta 11,0 mm elektrot dalma genişliğinde; 25 periyotta 9,6 mm elektrot dalma genişliğinde; 30 periyotta 10,3 elektrot dalma genişliğinde (1200-1430N); elde edilmiştir. Bu noktalardan sonra elektrot dalma genişliğinin artmasına rağmen sıyırma kuvvetleri azalma tespit edilmiştir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğinde erimiş haldeki metale elektrot kuvvetinin etkisi ile elektrodun dalma miktarının artması, fışkırmaların, malzeme kayıplarının artmasından ve bunun sonucunda kesit alanının azalmasındandır.



Şekil 5.40. Elektrot dalma genişliğinin DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma kuvvetine etkisi (kaynak zamanı sabit -kaynak akım şiddeti değişken)

5.6. Kaynak Ayar parametrelerinin Bağlantıların Sertliğine Etkisi

DP800 çelik saçlardan oluşturulmuş bağlantılarda mikro vickers sertlik değerleri Şekil 5.41.'de gösterildiği şekilde ana metalden başlayarak, ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeği bölgesinden dikey ve yatay doğrultularda 0,2 mm aralıklarla ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri EN ISO 14271 standartına gore yapılmıştır [89].



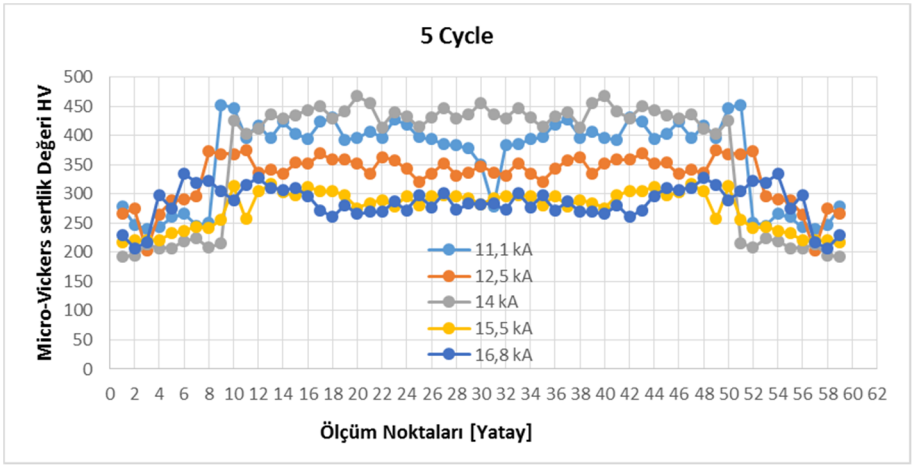
Şekil 5.41. Sertlik ölçüm doğrultuları

DP800 çelik saçlardan oluşturulmuş bağlantıların sertlik grafikleri değerlendirildiğinde aşağıda ifade gibi üç değişik bölgeden oluştuğu görülmektedir:

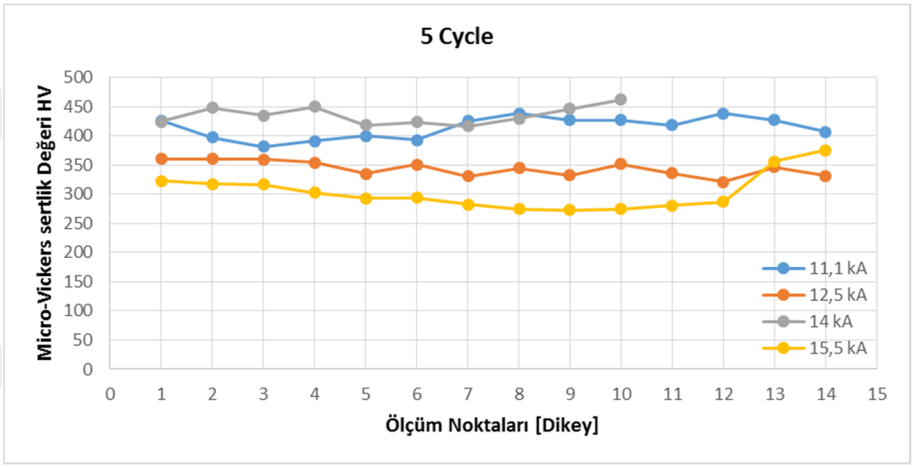
- Ama metal
- Isının tesiri altındaki bölge
- Kaynak çekirdek bölgesi

Esas metalden kaynak çekirdeğine doğru gidildiğinde sertlik değerlerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. DP800 malzemesinden oluşan ana metalin sertliği takriben 250 HV civarında iken kaynak çekirdeğine doğru ilerledikçe bu değer artmış ve 450 HV olarak yaklaşık olarak ölçülmüştür. Kaynak çekirdeği bölgesinin sertlik değeri ana metalin sertlik değerinin yaklaşık olarak 2 katıdır. Bunun sebebi kaynak çekirdek bölgesinin çok kısa bir süre zarfında ısınıp soğumasına bağlı olarak meydana gelen martenzit yapıdır [14], [16], [42], [61].

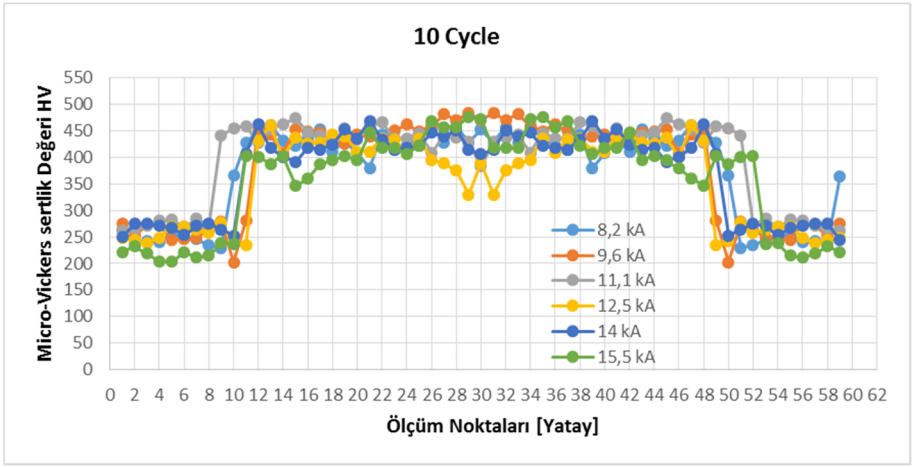
Şekil 6.42.-Şekil 6.47.'de 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanlarında değişik kaynak akım şiddetlerinde elde edilen DP800 bağlantılara ait sertlik grafikleri gösterilmiştir.



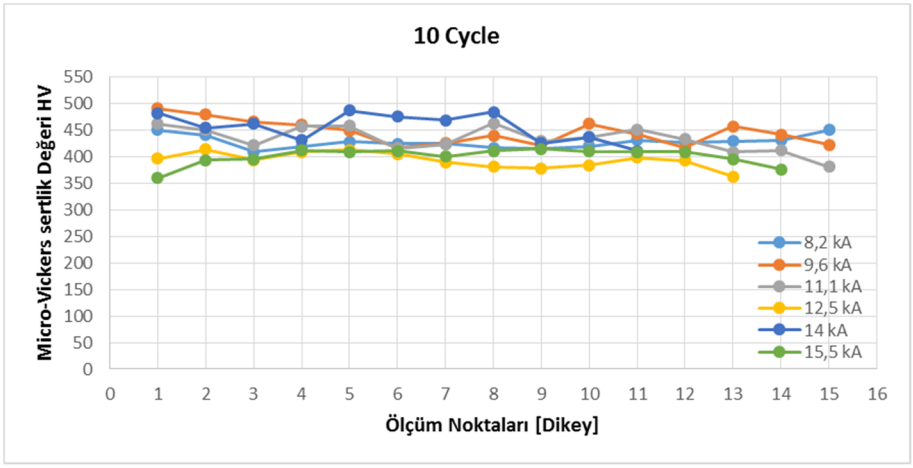
Şekil 5.42. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 5 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)



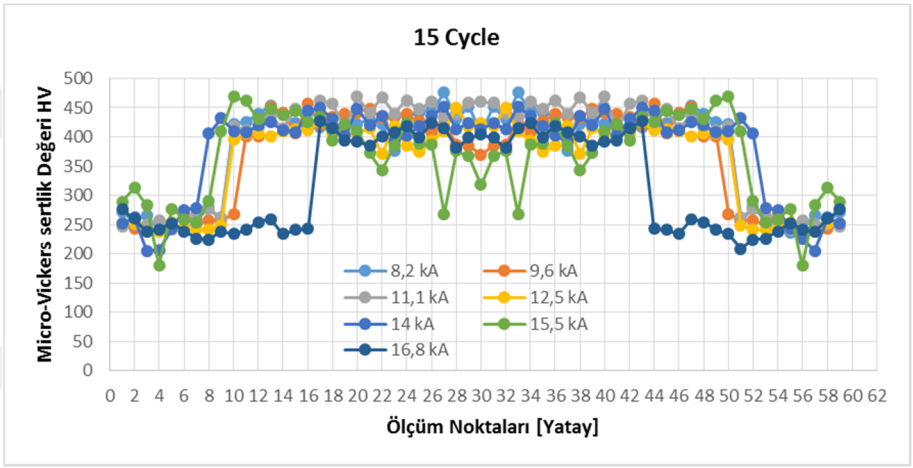
Şekil 5.43. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 5 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (Dikey)



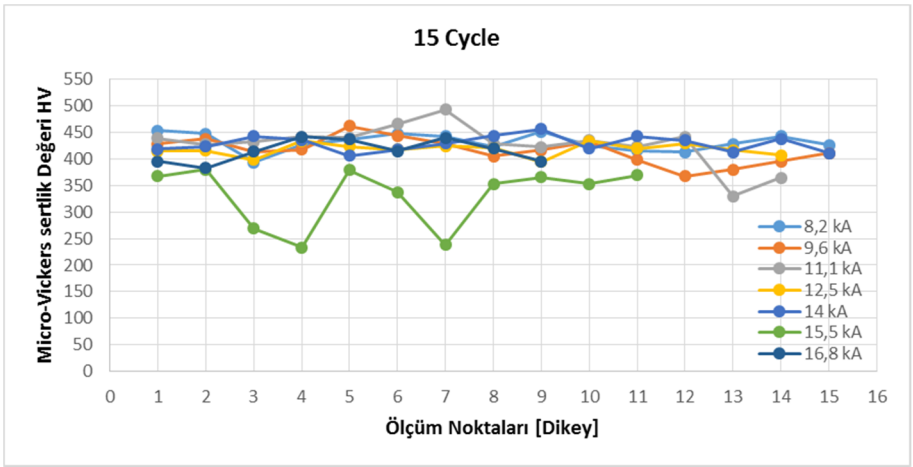
Şekil 5.44. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 10 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)



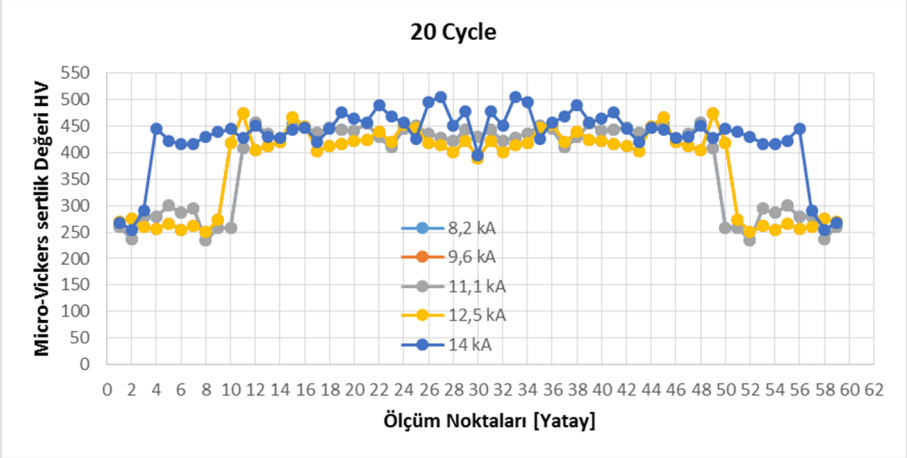
Şekil 5.45. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 10 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (Dikey)



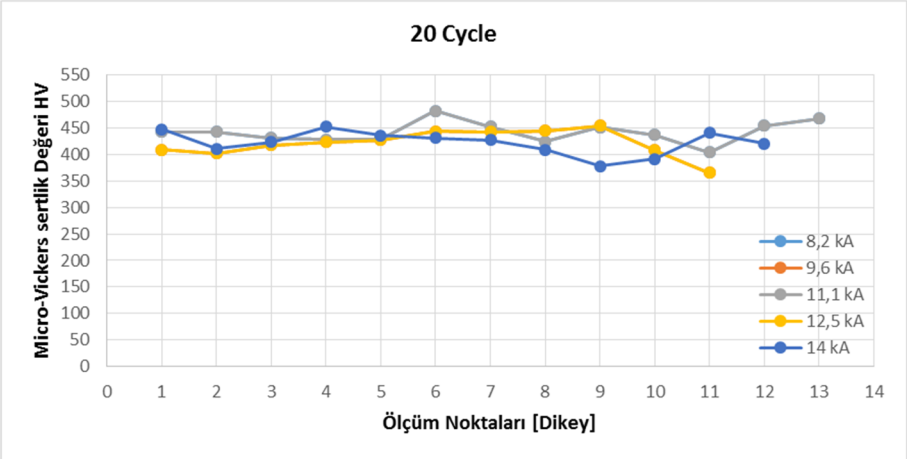
Şekil 5.46. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 15 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)



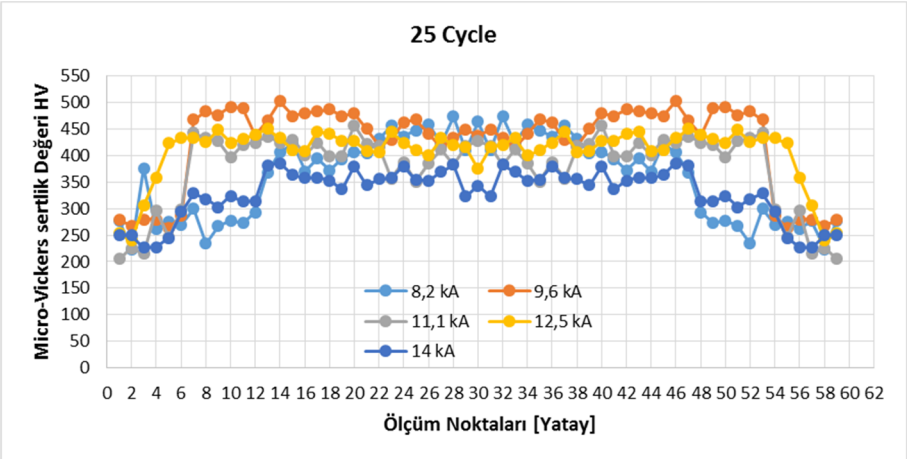
Şekil 5.47. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 15 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (Dikey)



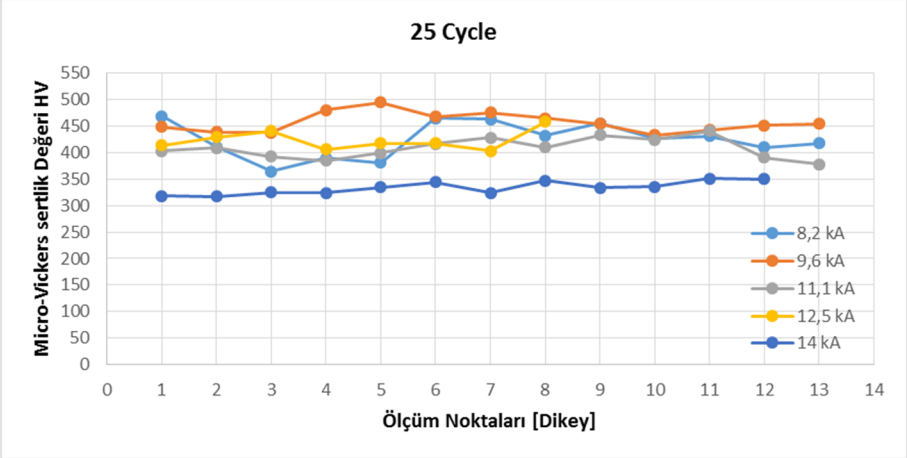
Şekil 5.48. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 20 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)



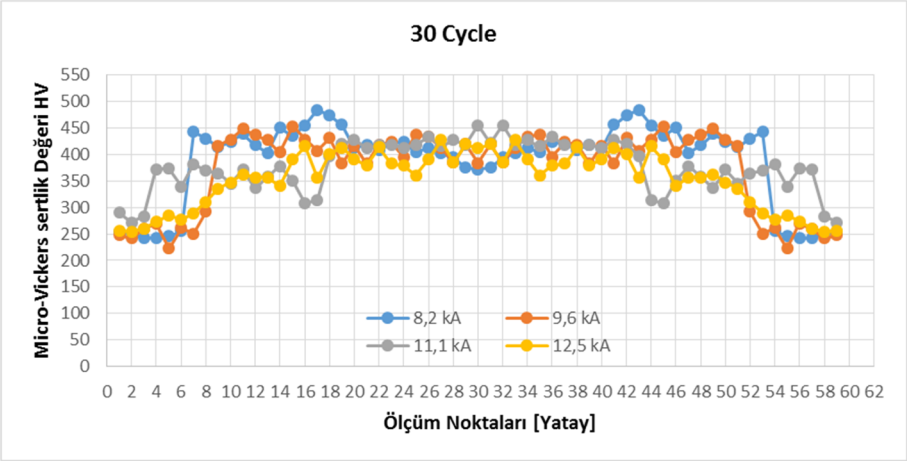
Şekil 5.49. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 20 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (dikey)



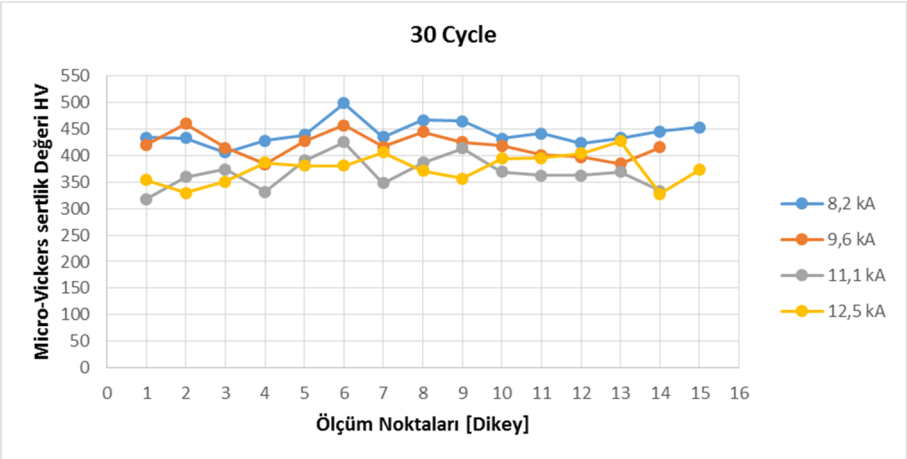
Şekil 5.50. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 25 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)



Şekil 5.51 DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 25 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (dikey)



Şekil 5.52. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 30 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (yatay)

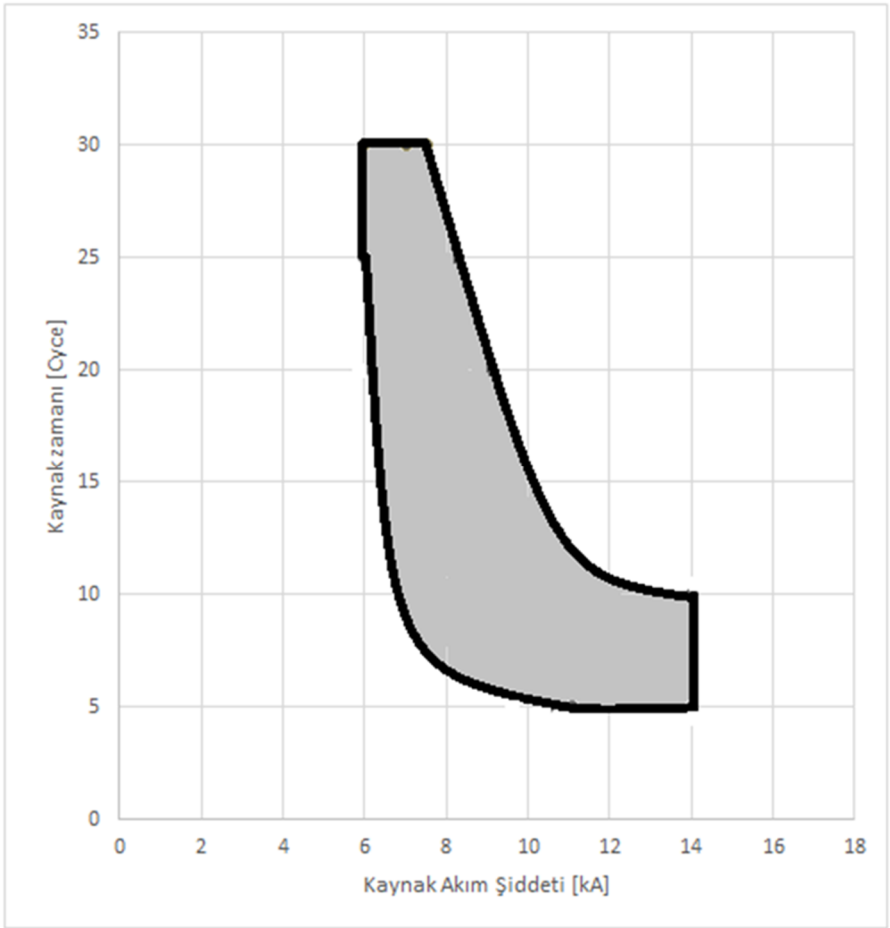


Şekil 5.53. DP800 bağlantıların kaynak akım şiddetinin 30 per kaynak zamanında sertliğe etkisi (dikey)

5.7. DP800 Çelik Saçların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)

Çekirdek boyutları elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerin kalitesini belirlemede kullanılan önemli özelliklerdendir. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti çekirdek boyutlarına tesir eden önemli parametrelerdir. Diğer parametreler sabit kalma kaydıyla kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin değiştirilmesiyle elde edilen uygun bağlantıların oluştuğu bölge kaynak edilebilir bölge grafiklerinde verilmiştir.

Elektrik direnç nokta kaynağında DP800 çelik saclardan elde edilen ve kabul edilebilir kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının gösterildiği kaynak eğrisi Şekil 5.54.'da gösterilmiştir.

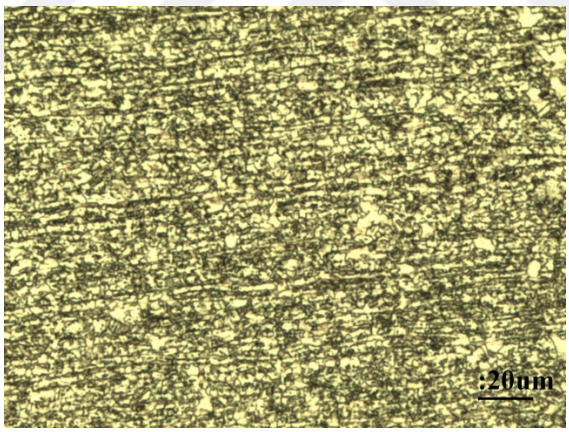


Şekil 5.54. DP800 bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe)

5.8. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Mikro Yapısına Etkisi

DP800 bağlantılarda esas metale ait mikro yapı Şekil 5.55.'de gösterilmiştir. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin değiştirilmesiyle elde edilen DP800 nokta kaynaklı bağlantılara ait ana metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak çekirdek bölgelerine ait değişik büyütmelerde çekilen mikro yapı görüntüleri Tablo 5.3.'de gösterilmiştir.

DP800 bağlantılara ait mikro yapılar incelendiğinde çeliğin karbon miktarına bağlı olarak (% 0,0997) yapı büyük oranda ferrit ve düşük bir oranda perlit fazından oluşmaktadır. ITAB'da oluşan yapının da ferrit ve perlit tanelerinden oluştuğu görülmektedir [14], [42]. Bununla birlikte kaynak çekirdek bölgesine iletilen ısının tesiri ile ITAB'da tane irileşmesi oluşmuş [16] ve kaynak çekirdek bölgesinde hızlı soğumanın tesiri ile martenzit bir yapı meydana gelmiştir [14], [42].

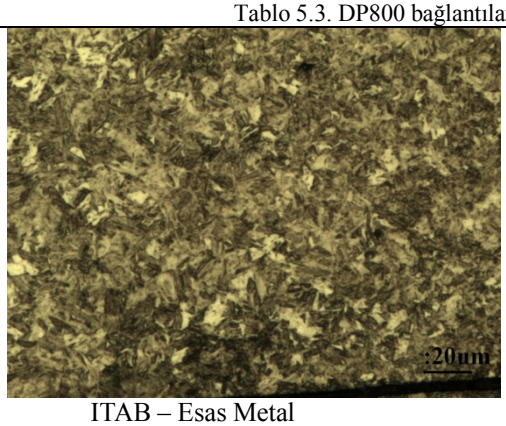
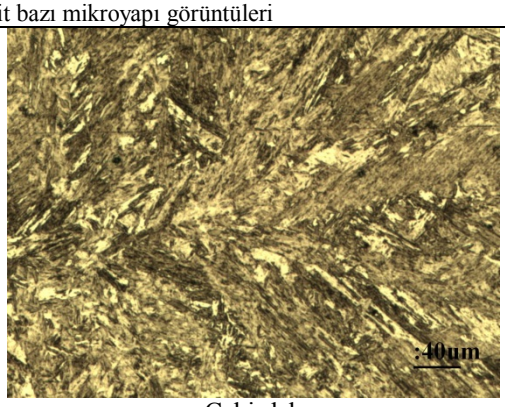
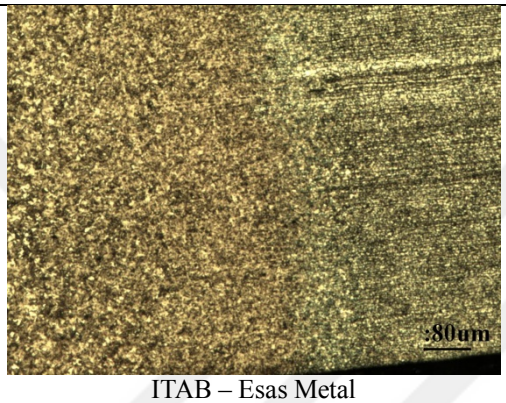
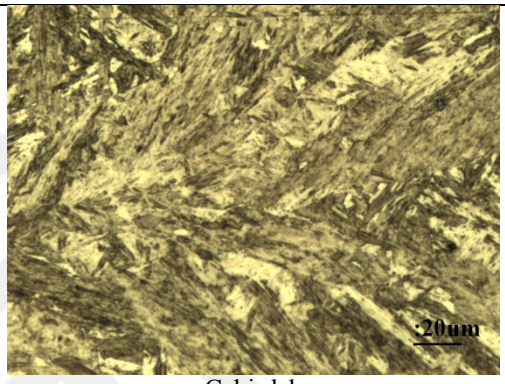


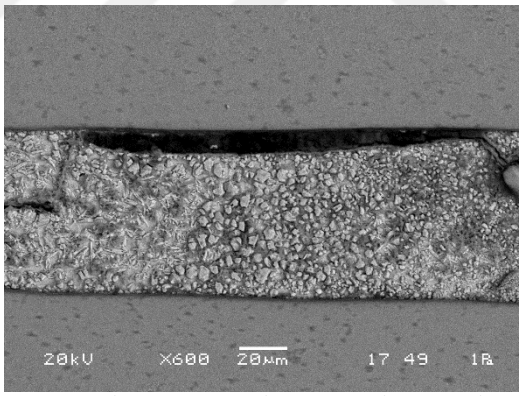
Şekil 5.55. DP800 bağlantılarda esas metale ait mikro yapı fotoğrafı

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

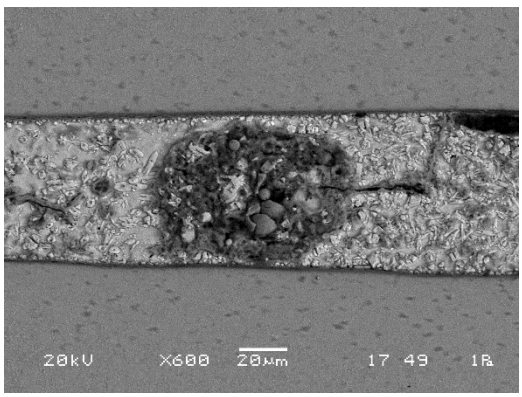
DP800 çelik saçlardan kaynağı yapılmış malzemenin ana metal, kaynak çekirdeğine ve ısının tesiri altındaki bölgeye ait SEM fotoğrafları Şekil 5.56., Şekil 5.57. ve Şekil 5.58.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. DP800 bağlantılara ait bazı mikroyapı görüntüleri

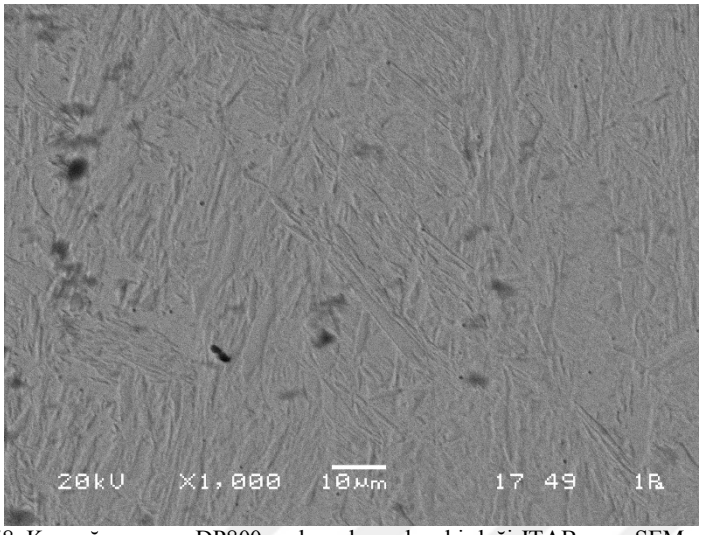
 ITAB – Esas Metal	 Çekirdek
 ITAB – Esas Metal	 Çekirdek



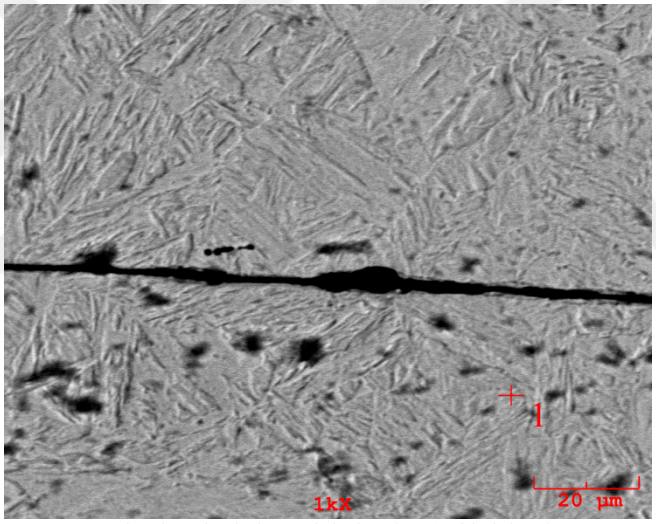
Şekil 5.56. Kaynağı yapılmış DP800 saçların ana malzemeye ait SEM görüntüsü



Şekil 5.57. Kaynağı yapılmış DP800 saçların ITAB'a ait SEM görüntüsü

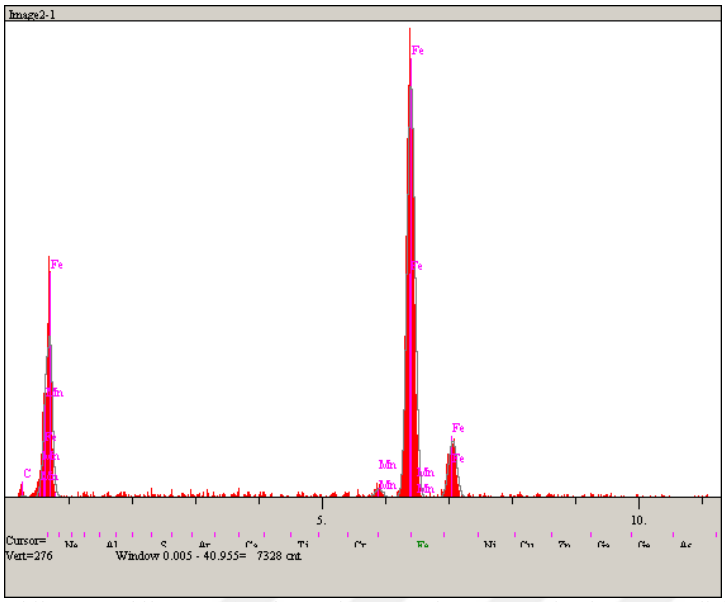


Şekil 5.58. Kaynağı yapımış DP800 saçların kaynak çekirdeği-ITAB arası SEM görüntüsü



Şekil 5.59. DP800 bağlantılarda kaynak bölgesine (çekirdek) ait SEM görüntüsü

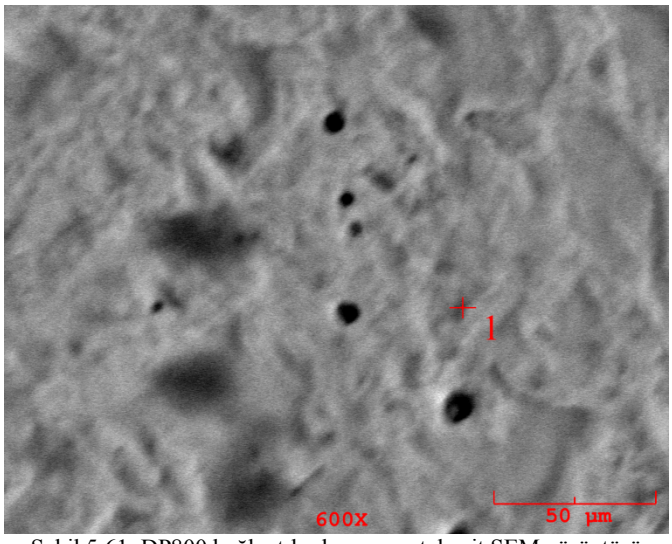
Şekil 5.59.'da esas metal ait SEM görüntüsü üzerinde işaretlenen (1) nolu noktadaki element miktarının belirlenmesi amacıyla EDS analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda bölgede ağırlıkça % 1.63 oranında mangan tespit edilmiştir.



Şekil 5.60. Şekil 5.59. (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

Tablo 5.4. Şekil 5.59. (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	**Line**	**Intensity (c/s)**	**Error 2-sig**	**Conc**	**Units**	
C	Ka	1.23	0.701	1.206	wt.%	
Mn	Ka	8.07	1.796	1.634	wt.%	
Fe	Ka	376.83	12.273	97.160	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

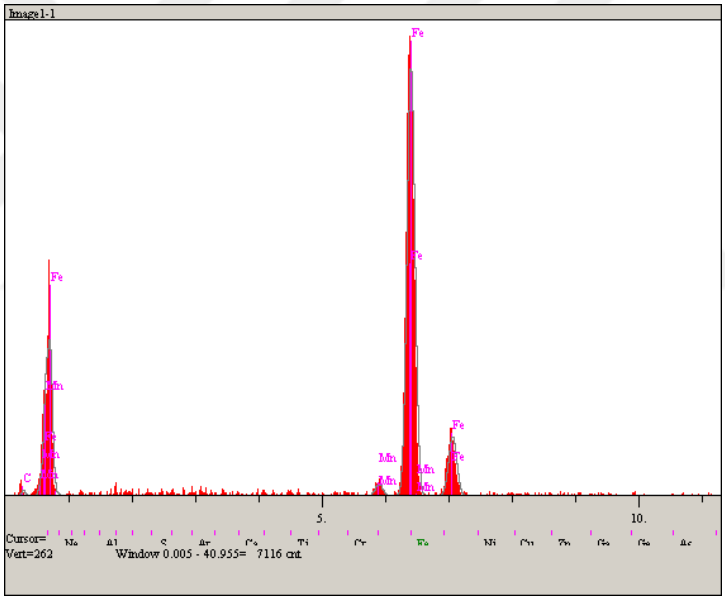


Şekil 5.61. DP800 bağlantılarda esas metale ait SEM görüntüsü

Tablo 5.5. Şekil 5.61'de (1) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	**Line**	**Intensity (c/s)**	**Error 2-sig**	**Conc**	**Units**	
C	Ka	2.61	1.022	2.523	wt.%	
Mn	Ka	9.74	1.973	1.983	wt.%	
Fe	Ka	371.56	12.188	95.494	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.61 (1) noktasında görüldüğü gibi DP800 sacların nokta direnç kaynaklı bölgelerinde bağlantılarda tane sınırlarında oluşan gri renkli alanların EDS analizinde ağırlıkça % 1.98 oranında mangan içerdiği tespit edilmiştir. Mangan oranının % 1.63'ten, % 1.98'e yükseldiği görülmüştür.

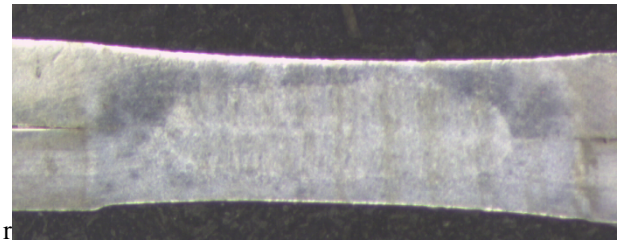


Şekil 5.62. Şekil 5.61'de (1) noktasında görüntülenen empüritenin EDS analizi

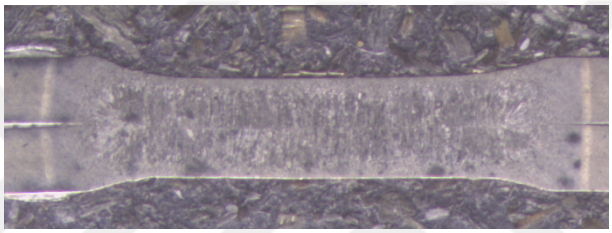
5.10. Bağlantıların Makro Yapı İncelemesi

DP800 çelik sac çiftlerine ait makroyapı fotoğrafları incelendiğinde 5 periyotda yüksek akim şiddetlerinde kaynak çekirdeğinin oluştuğu ve düşük akım şiddetlerinde oluşmadığı görülmektedir (şekil 5.63). 10 per, 15per, 20per, 25per ve 30 per kaynak zamanlarında akım şiddetinin artması ile beraber kaynak çekirdek boyutlarının da bir artışın olduğu tespit edilmiştir. (şekil 5.64, şekil 5.65, şekil 5.66). 10 periyotta 12,5

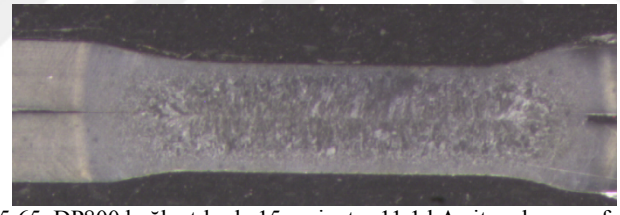
kA kaynak akım şiddetinden , 15 per 12,5 kA kaynak akım şiddetinden , 20 per 11,1 kA kaynak akım şiddetinden , 25 per 11.1 kA kaynak akım şiddetinden , 30 per 8,5 kA kaynak akım şiddetinden itibaren fışkırmalar ve aşırı dalma derinliklerinden dolayı arzu edilmeyen kaynak çekirdekleri meydana gelmiştir.



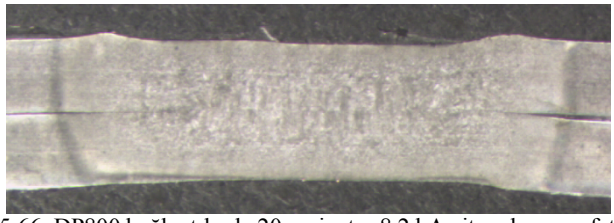
Şekil 5.63. DP800 bağlantılarda 5 periyot – 11.1kA ait makroyapı fotoğrafı



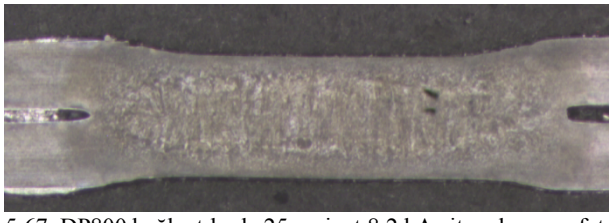
Şekil 5.64. DP800 bağlantılarda 10 periyot – 12,5 kA ait makroyapı fotoğrafı



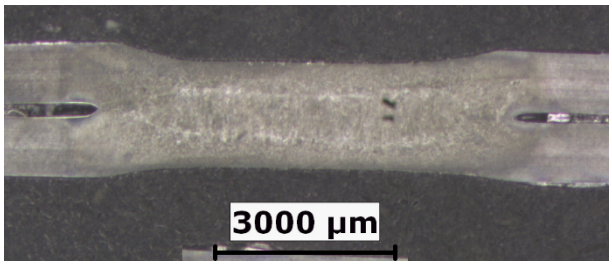
Şekil 5.65. DP800 bağlantılarda 15 periyot – 11,1 kA ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.66. DP800 bağlantılarda 20 periyot – 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.67. DP800 bağlantılarda 25 periyot 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı



Şekil 5.68. DP800 bağlantılarda 30 periyot 8,2 kA ait makroyapı fotoğrafı

DP800 bağlantılara ait aşırı dalma derinliği ve fişkırmanın oluştuğu makroyapı fotoğrafları Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. DP800 bağlantılara ait bazı makroyapı fotoğrafları

10 per – 15,5 kA	15 per – 16,8 kA
20 per – 14 kA	25 per – 12,5 kA
30 per – 14 kA	30 per – 12,5 kA

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçların İrdelenmesi ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kapı yan iskeletlerinde, taban takviye saçlarında ve tavan takviye saçlarında kullanılan DP800 çelikler elektrik direnç nokta kaynağı makinesinde kaynatılma neticesinde nokta kaynaklı numune serileri elde edilmiş ve testlerde elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmış, kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değiştirilmiştir. Ön testler malzemenin kaynak işleminin oluştuğu en ufak değerden malzemenin delinmeye başladığı en yüksek değere kadar kaynak zamanı ve akım şiddeti değiştirilerek yapılmıştır. Ön testlerin neticesine göre her deney şartlarında yedi seri elektrik direnç nokta kaynak atılmış numuneler elde edilmiştir. Bir, iki ve üçüncü seriler çekme- sıyırma dört, beş ve altıncı seriler çekme- makaslama deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro yapı, çekirdek geometrisini tespiti için makra yapı, mikro vickers sertlik ölçümleri ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) fotoğraflarının tespitinde kullanılmıştır.

Aşağıda deneyler sonucunda elde edilen veriler maddeler halinde aktarılmıştır.

- DP800 çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında en yüksek çekme-makaslama kuvvetinin 10 kA kaynak akım şiddetinde ve 25 per kaynak süresindeki kaynak parametrelerinde (16500 N) elde edildiği tespit edilmiştir.
- DP800 çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında en yüksek çekme çekme-sıyırma kuvveti 12 kA kaynak akım şiddetinde ve 15 per kaynak süresinde (1350 N) ulaşıldığı görülür. Bu elde edilen veri en yüksek çekme-makaslama kuvvetinin aşağı yukarı on iki katından azdır. Bundan dolayı bu tür bağlantıların mukavemet hesapları yapılırken bu durumun göz önünde

bulundurulması gerekir veya sıyırmaya karşı ek tasarım tedbirlerinin alınması gerekir.

- Maksimum çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına 7-8 mm çekirdek çapı, 1,2-1,5 mm çekirdek yüksekliği, 0,15-0,2 çekirdek boyut oranında, 9-10 mm elektrot dalma genişliğinde ve 0,8-0,9 mm elektrot dalma derinliği elde edilmiştir.
- Yüzey görünümünün önem arz ettiği durumlarda 11,1 kA kaynak akım şiddeti 10 periyot kaynak süresinde; 7 kA kaynak akım şiddeti 15 periyot kaynak süresinde; 6,5 kA kaynak akım şiddeti 20 periyot kaynak süresinde; 6 kA kaynak akım şiddeti 25 periyot kaynak süresinde; 5,5 kA kaynak akım şiddeti 30 periyot kaynak süresinde kaynak parametrelerinin kullanılması önerilmektedir.
- DP800 çelik saçlarından oluşturulmuş bağlantılarda düşük kaynak süresi ve kaynak akım şiddetinden dolayı kaynak çekirdeğine iletilen ısı miktarı düşük olacağından çekirdek boyutlarında azalma meydana gelecektir. Bu bağlantıların yapılan deneylerinde çekme- sıyırma ve çekme- makaslama kuvvetleri düşük elde edilmiştir. Bu dolayı bu tip DP 800 çelik saç bağlantılarının çekme-sıyırma ve çekme- makaslama testlerinde ayrılma tipi kopmalar meydana gelmiştir.
- Kaynak süresi ve kaynak akım şiddetinin artması neticesinde çekirdek boyutlarındada artma gözlenmekte ve bunun sonucunda elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları ve çekme- makaslama dayanımlarınında artığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı bu tip bağlantıların çekme-sıyırma ve çekme-makaslama testlerinde yırtılma ve düğmelenme tipi kopmalar oluşmuştur.
- Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetinin aşırı yüksek olması halinde ise ısı girdisinin aşırı artması sebebiyle ve elektrot kuvvetinin etkisi ile birleştirilecek malzemelerin ara bölmelerinde erimiş metal miktarı artmaktadır. Buna bağlı olarak alt ve üst elektrotların malzemeye dalma derinlikleri de bu tesirin neticesinde artar ve malzemede delinmeler, kaynak çekirdeğinde fışkırmalar meydana gelir. Bundan dolayı kaynak çekirdeğinin kesitinde azalmalar meydana gelir ve sonuç olarak çekme- sıyırma dayanımıda ve çekme-

makaslama dayanımıda hızla azalır. Malzemede derin elektrot izleri, malzemeye elektrotların yapışması ve malzemede aşırı renk değişimleride oluşmaktadır..

- DP800 bağlantılarda ana malzemeden kaynak çekirdek bölgesine doğru ilerledikçe sertlik verilerinde bir artma meydana gelmektedir (ortalama 250 HV-450HV). Kaynak çekirdeğinin sertliği ana malzemenin sertlik değerinin tahmini olarak 2 katı civarındadır. Bunun sebebi kaynak çekirdek bölgesinin kısa bir süre zarfında ısınıp soğumasına bağlı olarak meydana gelen martenzit yapıdır.
- DP800 kaynaklı birleştirmelerin (mikro yapı ve sem yorumlama sonuçları)

6.2. Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kapı yan iskeletlerinde, elektrik direnç nokta kaynağı ile taban takviye saçlarında ve tavan takviye saçlarında kullanılan DP800 çelik saclardan elde edilen nokta kaynaklı numune serileri elde edilmiştir. Deneylerde, tutma, sıkıştırma zamanları elektrot kuvveti sabit olarak alınırken kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değiştirililmiştir. Elde edilen bu nokta kaynaklı birleştirmelerde kaynak süresinin ve kaynak akım şiddetinin sertlik, çekme-sıyırma dayanımı, çekme-makaslama dayanımı, mikroyapı ve çekirdek geometrisi üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada elde edilen veriler ışığında, aşağıda belirtilen araştırmalarınyapılması planlanmaktadır.

- Elektrik direnç nokta kaynağında DP800 saç çiftlerinden elde edilen numunelerin yorulma davranışına etkisi incelenebilir.
- Elektrik direnç nokta kaynağında DP800 saç çiftlerinden elde edilen numunelerin korozyona karşı davranışları incelenebilir.
- DP800 elektrik direnç nokta kaynak yöntemi metal yapıştırıcılar ile birlikte kombine edilerek elde edilecek bağlantı araştırılabilir.
- Elektrik direnç nokta kaynağında DP800 çelik saçlardan elde edilmiş olan birleştirmelerde ortaya çıkan ısının bağlantının mekanik özeliklere, mikroyapı ve sertliğe etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Yükler, A., Alaşımsız dual fazlı çeliklerin mekanik ve nokta kaynağı özellikleri., 1983.

[2] Ghosh, P., Gupta, P., Avtar, R., and Jha, B., Weldability of intercritical annealed dual-phase steel with the resistance spot welding process., Welding journal, 1991.

[3] Jr, J. S., Watanabe, H., and Mitchell, J., Spot Weldability of Mn-Mo-Nb, VN and SAE 1008 Steels., Welding journal, 1977.

[4] Kimchi, M., Spot weld properties when welding with expulsion--a comparative study., Weld. J., 1984.

[5] Vogler, M., Investigation of resistance spot weld formation., 1993.

[6] Miller, K., Impact strength and failure mechanisms of sport welds in automotive materials., 2000.

[7] Pollard, B., Spot welding characteristics of HSLA steel for automotive applications., Welding journal, 1974.

[8] Han, Z., Indacochea, J., Chen, C., and Bhat, S., Weld nugget development and integrity in resistance spot welding of high-strength cold-rolled sheet steels., Welding Journal-New, 1993.

[9] Han, Z., Expulsion in resistance spot welding of a high strength cold rolled sheet steel., 1992.

[10] Chao, Y., Ultimate strength and failure mechanism of resistance spot weld subjected to tensile, shear, or combined tensile/shear loads., Transactions-American Society Of, 2003.

[11] Al-Mukhtar, A. and Doos, Q., The spot weldability of carbon steel sheet., in Materials Science and Engineering, 2013.

[12] Karagoulis, M., Control of materials processing variables in production resistance spot welding., 1991.

[13] Pouranvari, M. and Marashi, S., On the failure of low carbon steel resistance spot welds in quasi-static tensile–shear loading., Materials & Design, 2010.

[14] Marashi, P., Pouranvari, M., and Amirabdollahian, S., Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steels., Materials science and, 2008.

[15] Gould, J., An examination of nugget development during spot welding, using both experimental and analytical techniques., Welding journal, 1987.

[16] Aslanlar, S., Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti., Sakarya Üniversitesi, 1999.

[17] Aslanlar, S., The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry., Materials & design, 2006.

[18] Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U., Ilhan, E., and Demir, Z., Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding., Materials & design, 2007.

[19] Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U., and Ilhan, E., Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding., Materials & Design, 2008.

[20] Chao, Y., Failure mode of spot welds: interfacial versus pullout., Science and technology of welding and joining, 2003.

[21] Marya, M. and Gayden, X., Development of requirements for resistance spot welding dual-phase (DP600) steels Part 1—The causes of interfacial fracture., Welding Journal, 2005.

[22] Nieto, J., Guerrero-Mata, M., and Colas, R., Experimental investigation on resistance spot welding of galvannealed HSLA steel., Science and Technology, 2006.

[23] Goodarzi, M., Marashi, S., and Pouranvari, M., Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel., Journal of Materials Processing, 2009.

[24] Akkuş, A., Galvanizli Ve Ostenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması., 2015.

[25] Uwaba, T., Yano, Y., and Ito, M., Resistance spot weldability of 11Cr–ferritic/martensitic steel sheets., Journal of Nuclear Materials, 2012.

[26] Gülbahar, B., 17 kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin tanelerarası korozyon ve çekme makaslama dayanımı üzerindeki etkisinin …., 1989.

[27] Kaluç, E., Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve tanelerarası korozyona etkisi., 1988.

[28] Ceyhun, V., Ferritik ve ostenitik çeliklerin karbonlu çelik ile nokta kaynağında kaynak parametrelerin bağlantının çekme-makaslama ve tanelerarası korozyona etkisi., 1992.

[29] Vural, M., Galvanizli çelik saçların karbonlu ve fertik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına., 1992.

[30] Moshayedi, H. and Sattari-Far, I., Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels., Journal of Materials Processing Technology, 2012.

[31] Hasanbaşoğlu, A. and Kaçar, R., Resistance spot weldability of dissimilar materials (AISI 316L–DIN EN 10130-99 steels)., Materials & design, 2007.

[32] Vural, M., Akkuş, A., and Eryürek, B., Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets., Journal of Materials Processing Technology, 2006.

[33] Alenius, M., Pohjanne, P., and Somervuori, M., Exploring the mechanical properties of spot welded dissimilar joints for stainless and galvanized steels., Journal-New York-, 2006.

[34] Kocabekir, B., Kacar, R., Gündüz, S., and Hayat, F., An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel., Journal of materials processing, 2008.

[35] Özyürek, D., An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel., Materials & design, 2008.

[36] Karcı, F., Kacar, R., and Gündüz, S., The effect of process parameter on the properties of spot welded cold deformed AISI304 grade austenitic stainless steel., Journal of Materials Processing Technology, 2009.

[37] Pouranvari, M. and Marashi, S., Failure mode transition in AHSS resistance spot welds. Part I. Controlling factors., Materials Science and Engineering: A, 2011.

[38] Badheka, V. and Agrawal, S., Resistance spot welding of Martensitic Stainless Steel (SS420)-Part-I., Journal of Mechanical …, 2009.

[39] Durgut, E. and Kaçar, R., Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağina Akım Şiddeti ve Kaynak Zamanının Etkisi., Gazi Üniversitesi Mühendislik-, 2011.

[40] Aravinthan, A. and Nachimani, C., Analysis of spot weld growth on mild and stainless steel., Welding Journal, 2011.

[41] Pouranvari, M., Susceptibility to interfacial failure mode in similar and dissimilar resistance spot welds of DP600 dual phase steel and low carbon steel during cross-tension and., Materials Science and Engineering: A, 2012.

[42] Pouranvari, M., Marashi, P., and Goodarzi, M., Failure Mode of Dissimilar Resistance Spot Welds Between Austenitic Stainless and Low Carbon Steels., 2008.

[43] Jr, J. S. and Baker, J., Spot weldability of high-strength sheet steels., Welding Journal, 1980.

[44] Tumuluru, M., Resistance spot welding of coated high-strength dual-phase steels., Welding Journal, 2006.

[45] Sun, X., Stephens, E., and Khaleel, M., Effects of fusion zone size and failure mode on peak load and energy absorption of advanced high strength steel spot welds under lap shear loading conditions., Engineering Failure Analysis, 2008.

[46] Khan, M., Spot Welding of Advanced High Strength Steels (AHSS)., 2007.

[47] Pouranvari, M., Mousavizadeh, S., and Marashi, S., Influence of fusion zone size and failure mode on mechanical performance of dissimilar resistance spot welds of AISI 1008 low carbon steel and DP600 advanced., Materials & Design, 2011.

[48] Hayat, F. and Demir, B., The effect of the weld time on dept intensity factor and strength at RSW junctions of commercial DP600 sheet steel., 2009.

[49] Liao, X., Wang, X., Guo, Z., Wang, M., and Wu, Y., Microstructures in a resistance spot welded high strength dual phase steel., Materials Characterization, 2010.

[50] Pouranvari, M., Resistance spot welding characteristic of ferrite-martensite DP600 dual phase advanced high strength steel-part III: mechanical properties., World Applied Sciences, 2011.

[51] Dancette, S., Fabrègue, D., Massardier, V., and Merlin, J., Investigation of the tensile shear fracture of advanced high strength steel spot welds., Engineering Failure, 2012.

[52] Weishaupt, E., Effect of weld schedule variation on the weldability and durability of AHSS spot weld joints., 2012.

[53] Aktaş, S., Otomotiv Sektöründe Kullanılan Dual Faz Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin Incelenmesi., Sakarya Üniversitesi, 2008.

[54] Akkaş, N., İlhan, E., Varol, F., and Aslanlar, S., Welding time effect on mechanical properties in resistance spot welding of s235jr (Cu) steel sheets used in railway vehicles., Acta Physica Polonica A, 2016.

[55] Rasheed, K. and Khan, M., A Review on different optimization techniques used to optimize the process parameters of Resistance spot welding., International Journal of Engineering Technology, 2014.

[56] Davies, R., The deformation behavior of a vanadium-strengthened dual phase steel., Metallurgical Transactions A, 1978.

[57] Rashid, M., Relationship between steel microstructure and formability., Formable HSLA and Dual-Phase Steels, 1977.

[58] Hayami, S. and Furukawa, T., A Family of Strength Cold Rolled Steels., in MicroAlloying (International Symposium on HSLA) Washington D.C., 1975, 311–20.

[59] Avtar, R., Jha, B., Saxena, A., and Dwivedi, V., An As Hot Rolled Approach to Production of Molybdenum and Chromium Microalloyed Dual Phase Steels., Transactions of the, 1986.

[60] Speich, G., Demarest, V., and Miller, R., Formation of austenite during intercritical annealing of dual-phase steels., Metallurgical Transactions A, 1981.

[61] Ulu, S., Çift Fazlı Çelikler., Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, (3), 100–13, 2009.

[62] Sarwar, M. and Priestner, R., Influence of ferrite-martensite microstructural morphology on tensile properties of dual-phase steel., Journal of Materials Science, 1996.

[63] Marder, A., The effect of heat treatment on the properties and structure of molybdenum and vanadium dual-phase steels., Metallurgical and Materials Transactions A, 1981.

[64] Çimenoğlu, H. and Kayali, E., Yield effects in as-quenched, dual-phase steels., Scripta metallurgica et materialia, 1990.

[65] Mould, P. and Skena, C., Structure and Properties of Cold-Rolled Ferrite-Martensite(Dual-Phase) Steel Sheets., Formable HSLA and Dual-Phase Steels, 1977.

[66] Speich, G. and Miller, R., Mechanical Properties of Ferrite--Martensite Steels., Structure and Properties of Dual-Phase Steels, 1979.

[67] Güral, A., Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Hacim Oranı Ve Morfolojisinin Işlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkileri., Gazi Üniversitesi, 1999.

[68] Barnard, S., Smith, G., Sarikaya, M., and Thomas, G., Carbon atom distribution in a dual phase steel: An atom probe study., Scripta Metallurgica, 1981.

[69] Thomas, G. and Koo, J., Developments in Strong, Ductile Duplex Ferritic--Martensitic Steels., Structure and Properties of Dual-Phase Steels, 1979.

[70] Durmuş, A., Dual Fazlı Çeliklerde Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrilerinin Analizi., Uludağ Üniversitesi, 2000.

[71] Zhang, C., Cai, D., Zhao, T., Fan, Y., and Liao, B., Simulation of hot-rolled dual-phase weathering steel 09CuPCrNi., Materials characterization, 2005.

[72] Groover, M., Fundamentals of modern manufacturing: materials processes, and systems., 2007.

[73] Campbell, F., Joining: understanding the basics., 2011.

[74] O'brien, R. and Society, A. W., Jefferson's Welding Encyclopedia., 1997.

[75] Anık, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, yöntemler ve donanımlar. Gedik Eğitim Vakfı, 1991.

[76] Lui, A., Development of an Ultrasonic Linear Phased Array System for Real-time Quality Monitoring of Resistance Spot Welds., 2012.

[77] Karloff, A., Real-time Expulsion Detection and Characterization in Ultrasound M-scans of the Resistance Spot Welding Process., 2013.

[78] Weisman, C., Welding handbook., 1976.

[79] Senkara, J. and Zhang, H., Resistance Welding Fundamentals and Applications., 2006.

[80] Handbook, W., welding processes, Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes., 1980.

[81] Handbook, W., Welding science and technology., American Welding Society, 2001.

[82] Olson, D., ASM handbook: welding, brazing, and soldering., 1993.

[83] Aslanlar, S., Otomotiv sektöründe kullanılan kaynak yöntemleri ders notları., 2014.

[84] Society, A. W., Recommended Practices for Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior of Automotive Sheet Steel Materials., 1997.

[85] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14273, Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds., 2001.

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

[87] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14373, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels., 2007.

[88] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14329, Resistance welding-Destructive tests of welds - Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and projection welds., 2003.

[89] Türk Standardları Enstitüsü, EN ISO 14271, Resistance welding-Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds,., 2011.

[90] Akkas, N. and Ilhan, E., E ect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in SPA-C Steel Sheets in Resistance Spot Welding., 2014.

[91] Akkaş, N., İlhan, E., Aslanlar, S., and Varol, F., The Effect Of Nugget Sizes On Mechanical Properties In Resistance Spot Welding Of SPA-C Atmospheric Corrosion Resistant Steel Sheets Used In Rail Vehicles., Materials Testing, 2014.

[92] Ruukki - Steel construction and steel roofs. http://www.ruukki.com/. Erişim Tarihi: 12.06.2017.

[93] Arslan Kaynak. http://www.arslankaynakmetal.com/. Erişim Tarihi: 12.06.2017.

ÖZGEÇMİŞ

29.04.1972 Yılında Malatya Darende Ayvalı'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ayvalı'da, lise öğrenimini ise Darende'de tamamladı. Yükseköğrenimini Gazi Üniversitesi'nde bitirip Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı Mesleki ve Teknik Eğitim veren okullarda Metal Teknoloji alan öğretmeni olarak uzun yıllar çalıştı. Halen bu görevine devam etmektedir. Evli ve iki erkek çocuk babasıdır.