



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

ÜÇLÜ SAC ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA
KAYNAK BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Levent SELOVA

Yüksek Lisans Tezi



**ÜÇLÜ SAC ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAK BİRLEŞİMLERİNDE
KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Levent SELOVA



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇLÜ SAC ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAK BİRLEŞİMLERİNDE
KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Levent SELOVA
Orcid No: 0000-0003-2400-0542

Doç. Dr. Hakan AYDIN
(Danışman)
Orcid No: 0000-0001-7364-6281

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2019

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Levent SELOVA tarafından hazırlanan "Üçlü sac birleşimlerinde punta kaynak parametrelerinin incelenmesi adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hakan AYDIN
Orcid No: 0000-0001-7364-6281

Başkan : Doç. Dr. Hakan AYDIN
Orcid No: 0000-0001-7364-6281
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Betül Gülçimen Çakan
Orcid No: 0000-0003-1739-1143
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



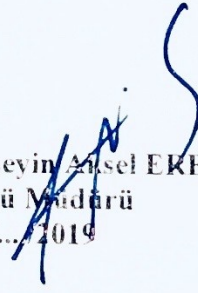
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mümin Tutar
Orcid No: 0000-0002-7286-3433
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin Aysel EKEN
Enstitü Müdürü
...../2019



U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

..../..../2019
İmza

Levent SELOVA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇLÜ SAC ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAK BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Levent SELOVA

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan Aydın

Günlük yaşantımızda ince metallere üretilmiş pek çok ürün kullanılmaktadır. Farklı kalınlıkta, farklı metallere bağlantılarının hızlı bir şekilde, ekstra malzeme kullanılmadan ve en az deformasyonla gerçekleştirilmesi için uygulanabilecek kaynak yöntemi elektrik direnç kaynağıdır. Bu kaynak yöntemini başarılı bir şekilde uygulamak için kaynak mikro yapısı ve mekanik özelliklerini anlamak önemlidir.

Bu çalışmada amaç, farklı kaynak parametreleri ile punta kaynakları oluşturularak kaynak parametrelerinin etkilerinin araştırılması olmuştur.

Bu çalışmada farklı malzemelerin 1 adet 0,7 mm FEPO5 ve 2 adet 2mm FE600 DP levhaların, farklı kaynak parametreleri kullanılarak yapılan elektrik direnç kaynağında çekme dayanımı, çekme uzaması, çekirdek çapı ve kaynağın çökme miktarları, kaynak bölgesi makro yapıları ve mikro sertlikleri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre çekme dayanımı, çekme uzaması, çekirdek çapı ve çökme miktarları birden fazla parametreye bağlı olduğu ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Punta kaynağı, üçlü sac birleşimi, Mekanik Özellikler, elektrik direnç kaynağı, nokta kaynağı, elektrot kuvveti, kaynak zamanı, kaynak akımı, çökme

2019, viii + 59 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THREE STEEL SHEETS RESISTANCE SPOT WELDS

Levent SELOVA

Uludağ University
Graduate School of Natural Sciences and Applied
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Hakan AYDIN

In the daily life, we use many products which made of different sheet metals. Resistance spot welding is used to weld two or three sheets that have different thickness and mechanic featured, with lowest deformation and time, by not using additional material. It is important to understand spot-weld microstructure and mechanical properties in order to apply spot welding successfully.

In this study, it was aimed to determine the effect of welding time, current, electrode force on tensile shear load, elongation, nugget diameter and indentation depth of triple welded sheet joints by resistance spot welding (FEP05 sheet + FE 600 DP sheet + FEP05 sheet). Using different materials which has different thicknesses, it was made resistance spot welding and was observed tensile strength, elongation, welding diameter, indentation, microstructure and microhardness of welding zones. The thicknesses of FE 600 DP and FEP05 steel sheets were 2 mm and 0.7 mm, respectively.

According to results, it was observed that the tensile strength, elongation, welding diameter, indentation were correlated with more than one parameter.

Key words: Spot Welding, parameter optimization, tensile strength, Tensile Shear Load, welding diameter, indentation, elongation, welding current, electrode force, welding time.

2019, viii + 59 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması ve lisansüstü eğitimim boyunca beni yönlendiren, tez çalışmasının her safhasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Hakan AYDIN 'a teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında her zaman deneysel çalışmalarda yanımda olan, karşılaştığımız problemlerin çözümünde katkı sağlayan, yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübelerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi Celalettin Yüce'ye, Arş. Gör. Oğuz Tuncel'e ve Oktay Çavuşoğlu'na teşekkür ederim.

Deneysel numunelerin hazırlanmasında bana destek olan iş arkadaşlarıma ve değerli TOFAS ailesine teşekkür ederim.

Bu çalışmaya katkısından ötürü değerli iş arkadaşlarım Özgür Şengör'e, Ramiz Volkan Bulut'a ve Ercan Pehlivan'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan, desteğini esirgemeyen eşime ve beni büyüten, bugünlere getiren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Levent SELOVA

...../...../2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Elektrik Direnç Nokta Kaynağı.....	3
2.2 EDNK Kullanım Alanları.....	3
2.3 Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kullanılan Parametreler.....	6
2.4 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	7
2.5 Otomotiv Çelikleri	8
2.5.1 FE 600 DP çeliği.....	10
2.5.2 FEP05 Çeliği.....	13
2.5.3 Alaşım Elementlerinin Çeliklerin Özelliklerine Etkisi.....	14
2.6 EDNK Üzerine Yapılmış Literatürdeki Diğer Çalışmalar.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Materyal.....	21
3.2 Yöntem.....	22
3.2.1. Kaynak Yöntemi.....	23
3.2.2. Deney Numunelerinin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Kaynaklı Numunelerde Çekirdek Çapı ve Çökme.....	31
4.2. Kaynak Bölgesi Makro Yapı İncelemeleri.....	39
4.2.1. Kaynak Bölgesi Sertlik Değerleri.....	46
4.2.2 Çekme Deneyi Sonuçları.....	47
5.SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
I:	Kaynak Akımı (kA)
F_e:	Elektrot kuvveti (kN)
Q:	Kaynak Enerjisi (Joule)
R:	Rezistans Direnci (Ohm)
T_s:	Kaynak zamanı (çevrim)
($\alpha + \gamma$):	Ferrit + Östenit

Kısaltmalar	Açıklama
Al:	alüminyum
C:	karbon
Cu:	bakır
Co:	kobalt
Cr:	krom
DP:	Dual Phase (Çift Fazlı)
EDNK:	Elektrik direnç nokta kaynağı
He:	helyum
HSLA:	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım
HV:	Vickers sertlik değeri
Mg:	magnezyum
Mn:	mangan
Mo:	molibden
Ms:	Martenzit son bulma sıcaklığı
Nb:	niobyum
Ni:	nikel
P:	fosfor
S:	kükürt
Si:	silisyum
Sn:	kalay
Ti:	titanyum
V:	vanadyum
TRIP :	Transformation Induced Plasticity (Dönüşümle Plastikliği Arttırılmış)
ITAB:	Isı tesiri altındaki bölge

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Üretilirken bir araç üzerine atılan EDNK'ları	1
Şekil 2.1. Elektrik direnç nokta kaynağı.....	3
Şekil 2.2. EDNK proses aşamaları.....	5
Şekil 2.3. EDNK'da Kullanılan Parametreler.....	6
Şekil 2.4. Direnç Kaynağında Parametrelerin etkisi	7
Şekil 2.5. Direnç kaynağına etki edecek girdiler	8
Şekil 2.6. Renk kodlarına göre kullanılan malzemelerin araç şeması üzerinde gösterimi.....	10
Şekil 2.7. DP (çift fazlı) ve HSLA çelikleri için şekil değiştirme/gerilme grafiği	11
Şekil 2.8. DP (Çift fazlı) çelikler ve diğer tip çeliklerin karşılaştırma grafiği.....	12
Şekil 2.9. DP (Çift Fazlı) çelikler için alaşım miktarı ile soğuma hızı grafiği	12
Şekil 3.1. Manuel Kaynak Pensesi ile kaynak işlemi.....	22
Şekil 3.2. Deneyleerde kullanılan kaynak konfigürasyonu	23
Şekil 3.3. Oluşturulan deney numunesi.....	23
Şekil 3.4. Kaynaklı numuneler için ultrasonik kontrol rapor örneği.....	25
Şekil 3.5. Çekme deneyinde kullanılan numune örneği.....	25
Şekil 3.6 Çekme deney cihazı.....	26
Şekil 3.7. Kullanılan numune kesme cihazı ve çekirdek bölgelerinden kesit alınan numuneler.....	27
Şekil 3.8. Kalıplama makinası	28
Şekil 3.9. Kaynak bölgesi incelemesi için hazırlanan kesitler.....	28
Şekil 3.10. Deneyleerde kullanılan mikroskop	29
Şekil 3.11. Vickers sertlik ölçüm cihazı.....	30
Şekil 4.1. Elektrot kuvveti değişimine göre ultrason kontrol örnekleri.....	31
Şekil 4.2. Kaynak akımı değişimine göre ultrason kontrol örnekleri	32
Şekil 4.3. Kaynak zamanı değişimine göre ultrason kontrol örnekleri.....	33
Şekil 4.4 Kaynak akımının çekirdek çapı üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 4.5. Elektrot kuvvetinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 4.6. Kaynak zamanının çekirdek çapı üzerindeki etkisi	36
Şekil 4.7. Kaynak akımının çökme miktarı üzerindeki etkisi	37
Şekil 4.8 Elektrot kuvvetinin çökme miktarı üzerindeki etkisi.....	38
Şekil 4.9. Kaynak zamanının çökme miktarı üzerindeki etkisi.....	39
Şekil 4.10. Makro yapısı incelenen numuneler	40
Şekil 4.11. 1/3 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	40
Şekil 4.12. 1/3 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	40
Şekil 4.13. 7/1 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	41
Şekil 4.14. 7/1 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	41
Şekil 4.15. 8/1 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	412
Şekil 4.16. 8/1 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	412
Şekil 4.17. 13/2 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	423
Şekil 4.18. 13/2 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	423
Şekil 4.19. 14/2 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	434
Şekil 4.20. 14/2 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	434
Şekil 4.21. 19/3 numunesi kaynak birleşim bölgesi.....	445

Şekil 4.22. 19/3 numunesi alınan ölçüm değerleri.....	445
Şekil 4.23. Sertlik ölçüm değerlerinin alındığı bölgeler	46
Şekil 4.24. Kaynak akımının çekme yükü üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 4.25. Elektrot baskı kuvvetinin çekme yükü üzerindeki etkisi	50
Şekil 4.26. Kaynak zamanının çekme yükü üzerindeki etkisi	50
Şekil 4.27. Kaynak akımının uzama miktarı üzerindeki etkisi	51
Şekil 4.28. Elektrot kuvvetinin uzama miktarı üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 4.29. Kaynak zamanının uzama miktarı üzerindeki etkisi.....	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

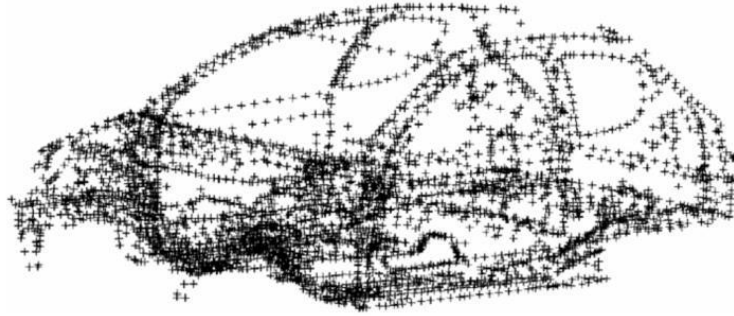
Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli Markalara ait Araçlardaki Nokta Kaynak Sayıları	4
Çizelge 2.2. Araçlarda kullanılan malzemeler ve renk kodları.....	9
Çizelge 3.1. FEP05 çelik sacın mekanik özellikleri	21
Çizelge 3.2. FEP05 çelik sacın kimyasal bileşimi	21
Çizelge 3.3. FE 600 DP çelik sacın mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 3.4. FE 600 DP çelik sacın kimyasal bileşimi	22
Çizelge 3.5. EDNK’da yaygın olarak kullanılan parametre seviyeleri.....	23
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.....	24
Çizelge 4.1. Nokta kaynağındaki farklı kaynak zamanlarına göre çökme miktarı ve çekirdek çapı.....	34
Çizelge 4.2. Nokta kaynağındaki farklı kaynak akımlarına göre çökme miktarı ve çekirdek çapı.....	34
Çizelge 4.3. Nokta kaynağındaki farklı elektrot kuvvetlerine göre çökme miktarı ve çekirdek çapı.....	35
Çizelge 4.4. Ölçülen sertlik ölçüm değerlerinin (HV) ortalama ve standart sapması.....	46
Çizelge 4.5. Nokta kaynağındaki farklı kaynak zamanlarına göre uzama miktarı ve çekme yükü.....	48
Çizelge 4.6. Nokta kaynağındaki farklı kaynak akımlarına göre uzama miktarı ve çekme yükü.....	48
Çizelge 4.7. Nokta kaynağındaki farklı elektrot kuvvetlerine göre uzama miktarı ve çekme yükü.....	49

1.GİRİŞ

Günümüzde üretilen araç modelleri incelendiğinde, araç gövdelerinde ortalama 5.000 adet elektrik direnç nokta kaynağının olduğunu ve yıllık üretim adetlerini düşündüğümüzde ise milyonlarca elektrik direnç nokta kaynağının yapılmakta olduğunu görmekteyiz. Bir araç gövdesi üzerindeki elektrik direnç nokta kaynakları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir (Béal 2009). Araç gövdesinin birleştirilmesi için kaynak işçiliğinin yaklaşık %85'ini elektrik direnç kaynağı oluşturuyor.

Elektrik direnç nokta kaynağı (EDNK), herhangi bir ilave materyal kullanılmadan sac parçaların basınç altında elektrotlar arasından akım geçirilmesi ve parçaların yüksek ısı ile ergiyerek birbirine kaynatılması esasına dayalıdır. İlave malzeme gerektirmemesi en önemli avantajlarından biridir. Bu metot çelik, alüminyum alaşımları ve titanyum alaşımları kaynakları için ideal bir metottur. Sac malzemeler için çok efektif ve kullanılabilir olduğu için, özellikle seri üretim yapan otomotiv fabrikalarında kullanılan başlıca kaynak tipidir.



Şekil 1.1. Üretilirken bir araç üzerine atılan EDNK'ları

İyi bir kaynak kalitesi araç gövdesi ve yolcu güvenliği için oldukça önemlidir. Bu nedenle kaynak kalitesini artırma çalışmaları hızla artmaktadır (Tamizi ve ark 2017). Nokta kaynakların kaliteli olabilmesi için uygun çekirdek çaplarının olduğundan emin olunmalıdır. Oluşan çekirdek çapının yanı sıra kaynağın çökme yüzdesi de, özellikle de araçların görünür yüzeylerinde estetik olarak ayrıca bir öneme sahiptir. Kaynakların mukavemete dayanımları araç üzerindeki kaynak nokta sayıları üzerinde etkilidir. Dolayısı ile optimize edilmiş kaynak parametreleri ile daha az sayıda nokta kaynağı yapabilmek mümkün olup, kaynak nokta sayısı araç maliyetlerinin düşürülmesinde etkili

olacaktır. Yapılan çarpışma testlerinde sadece bir nokta kaynağının yapısal olarak zayıf olması, çarpışma sırasında bağlı tutmaya çalıştığı saclarda yırtılmayı kolaylaştırabilmektedir.

Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemeti ve iyi sünekliği nedeni ile gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSSs) genel olarak kullanılmaktadır. Özellikle çift fazlı (DP) çelikler iyi şekillenebilirliği, sünekliği ve yüksek mukavemeti özellikleri nedeni ile tercih edilir. Bununla beraber farklı tiplerdeki çelikler en yüksek verimliliğe ulaşmak için araç gövdesinde bir araya getirilir. Bu nedenledir ki farklı kalınlıkta ve farklı tipteki çeliklerin birbirleri ile kaynak yapılabilirliği üzerine birçok çalışma yapılmaya devam etmektedir.

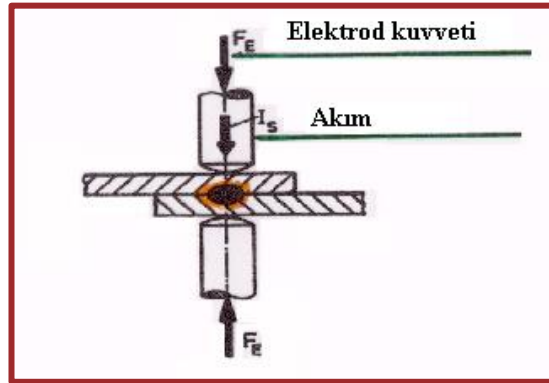
Bu noktada direnç kaynağında önemli parametrelerin birbirleri ile olan ilişkisi optimum kaynak kalitesi için önem arz etmektedir. Bu ilişkiyi irdelemek için kaynak parametrelerinin birbirleri ile ilişkisi bu çalışmada incelenmiştir. İncelenecek kaynak parametreleri olarak, elektrik direnç nokta kaynağında en etkili parametreler olan kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti seçilmiştir. Tekil parametrelerin makro yapı ve mekanik özelliklerine etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışmada kaynaklı malzemelerin mekanik özelliklerinin incelemek için çekme testleri ve mikro sertlik ölçümleri yapılarak incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

EDNK, kaynaklanabilir malzemelerin iki adet bakır elektrot arasına yerleştirilerek elektrik akımının elektrotlar arasından geçirilmesi ile oluşturulan kaynak tekniğidir. Büyük oranda sac malzemelerin kaynak yapılmasında çok kullanışlı olduğundan, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Tel örme işlemlerinde de tercih edilir. Bir diğer adı direnç kaynağıdır. Direnç nokta kaynağı otomotiv, kamyon, tren, demiryolu, uçak ve havacılık endüstrisinde geniş bir şekilde kullanılan birleştirme metodudur (Akkaş 2017).

Şekil 1 incelendiğinde görüleceği gibi parçalar elektrotlar ile birbirlerine bastırıldığında kısmi geçiş direnci oluşmaktadır. Bu dirence elektrik akımı verildiğinde, kısmi geçiş direnci oluşan kısımda ısı oluşur. Bu ısı, birleşen malzemenin ergiyip daha sonra tekrar soğuyarak katılaşmasından oluşur. Bu işleme elektrik direnç nokta kaynağı denir. EDNK kalitesi, kaynak akımı, tabakalara uygulanan elektrot baskı kuvveti, kalınlık, tabaka malzemesi, kaynak süresi ve elektrot çapı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Eshraghi ve ark. 2014). Şekil 2.1’de EDNK’na yer verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrik direnç nokta kaynağı (Tofaş Akademi 2013)

2.2. EDNK Kullanım Alanları

Otomotiv sektöründe güvenlik standartlarının iyileştirilmesinin yanında araç hafifletme gereksinimleri farklı malzeme kullanımı ve farklı birleştirme yöntemlerine araştırmacıları

yöneltmiştir. Üretilen binek tipi sedan bir araçta ortalama 4000 ile 6000 arasında punta kaynağı bulunmaktadır. (Doruk ve ark. 2016). Modeller bazında araçlardaki punta sayıları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Araç gövdesinin ve yolcuların güvenliği için iyi kaynak kalitesi önemlidir. Bu nedenle, kaynak kalitesini artırma çabaları hızla artmaktadır (Sun ve ark. 2008). Yüksek operasyon hızlarına ihtiyaç duyulan endüstriyel alanlarda aynı zamanda robotik uygulamalar için de uyumlu olması nokta direnç kaynağı prosesinin en önemli özellikleri arasındadır (Pouranvari ve ark. 2013).

Çizelge 2.1. Çeşitli Markalara ait Araçlardaki Nokta Kaynak Sayıları (Doruk ve ark.2016)

Model	Punta kaynak sayıları
Model 1	3676
Model 2	3966
Model 3	3938
Model 4	4250
Model 5	4254
Model 6	4533
Model 7	5011
Model 8	5031
Model 9	5208
Model 10	5600
Model 11	5800

Bu yöntem pek çok malzeme birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen, özellikle alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları ile yüksek-düşük mukavemetli paslanmaz çeliklerde oldukça yaygındır.

Nokta direnç kaynağı işlemi beş ana süreçte anlatılabilir.

1) Yaklaşma: Kaynak pensesi üzerindeki hareketli ve sabit elektrotun parça üzerine yaklaşma süresidir. Elektrotun sacı deforme etmemesi için farklı kaynak pensesi markalarında dengeleme görevini yapan farklı mekanizmalar vardır.

2) Baskı: Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir. Bu aralık, selonoid hareketli silindirik valfinin çalışması ve üst elektrot tutucunun üst elektrotu iş parçasıyla temas haline getirmesi ve elektrot kuvvetinin

tamamını uygulaması için zaman sağlar. Bu zaman, parçanın yakın temasını sağlamaya yetecek kadar olmalıdır.

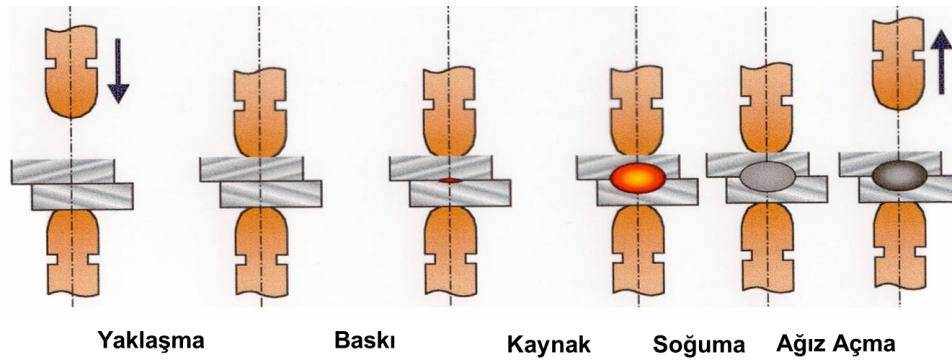
3) Kaynak: Kaynak akımının devreden geçtiği zaman aralığıdır. İnce taneli yapı çeliklerinin birçoğunda, basit karbonlu çeliklere normal olarak uygulanandan biraz daha uzun kaynak süresinin kaynak kabiliyeti eğrisini genişlettiği ve böylece kabul edilebilir kaynak akım sınırlarını arttırdığı görülmüştür.

4) Soğuma: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşıncaya kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır. 25 ila 50 arasındaki periyot sayılarında (1/2 ila 1 sn), bu malzemeler soyma deneylerinde ara yüzeyde yırtılma eğilimi gösterir.

5) Ağız açma: Kaynak pensesi üzerindeki hareketli ve sabit elektrotun parça üzerinden uzaklaşma için kaynak pensesinin açılma süresidir.

Ağız açma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrotların iş parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığına da ölü zaman denir. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve iş parçasının kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Manuel yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır (Erik 2010).

EDNK proses süreçleri ise yaklaşma, baskı, kaynak, soğuma, ağız açmadır. Kaynak süreci Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

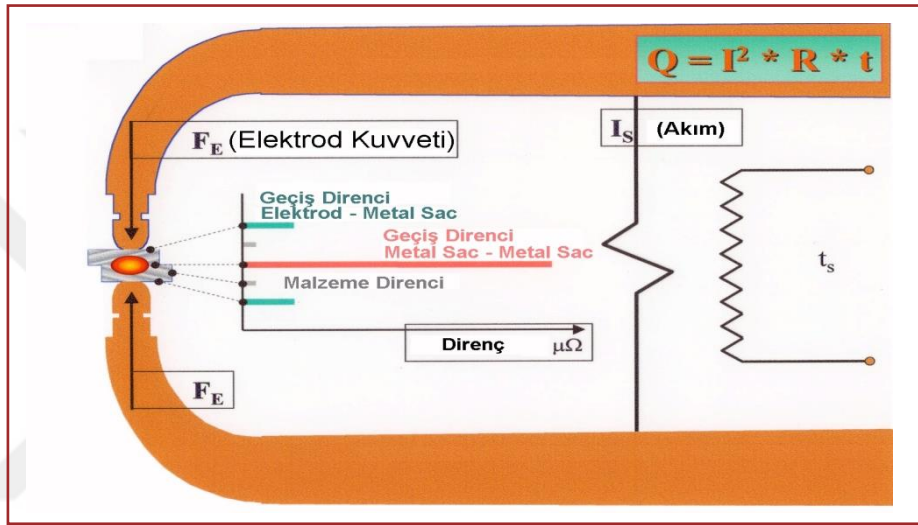


Şekil 2.2. EDNK proses aşamaları (Kanlı ,2013)

2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kullanılan Parametreler

Elektrik direnç nokta kaynaklarında ısı değerini bulmak için **Joule yasası** kullanılmaktadır. EDNK; akım(I), rezistans direnci (R) ve kaynak zamanı (t) yoluyla yapılmaktadır.

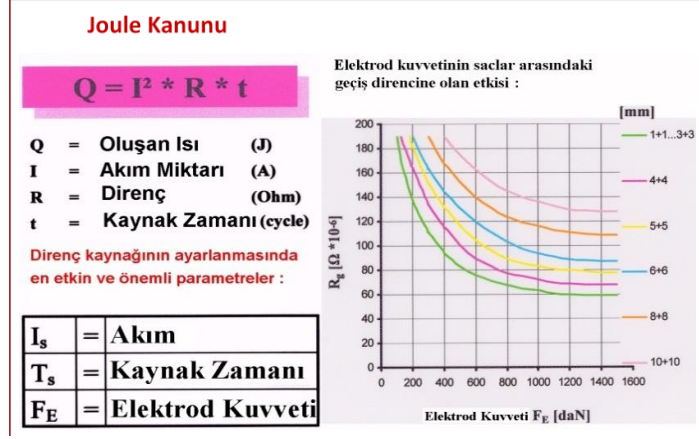
Şekil 2.3’de, direnç kaynağında kullanılan ve kaynağı etkileyen parametreler verilmiştir.



Şekil 2.3. EDNK’da Kullanılan Parametreler (Kanlı 2013)

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi elektrik direnç nokta kaynak oluşumunda Joule kanunu kullanılmaktadır. Joule kanunu formülü ise, $Q = I^2 * R * t$ olarak kullanılır.

Direnç kaynağını oluşturan ısı; akım, direnç ve kaynak zamanı parametreleri kullanılarak oluşmaktadır. Şekil 2.4’de kaynağın grafiğe dökülmüş hali verilmektedir.



Şekil 2.4. Direnç Kaynağında Parametrelerin etkisi

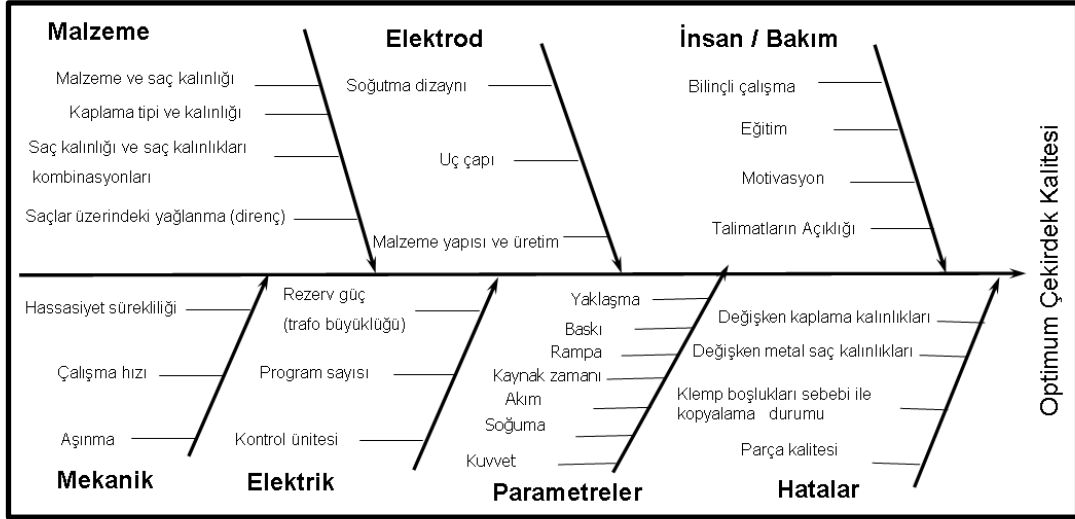
Kaynak esnasında oluşan ısı değeri, Şekil 2.4'de belirtilen Joule yasasına göre bulunmaktadır (Kanlı ,2013).

2.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler

Elektrik iletim ve dağıtım hatlarında, elektrik tesislerinde ve elektronik devrelerde kullanılan iletkenlerin bir direnci vardır. İletkenlerin direnci, iletkenin boyuna, kesitine, yapıldığı malzemenin öz direncine bağlıdır. Bu değerlerin değişmesiyle iletkenin direnci değişir. İletkenin direncinin yükselmesiyle iletken üzerindeki gerilim düşümü de artar. Bu nedenle, iletkenin direncinin belirlenmesi ve belirli sınırlar dâhilinde tutulması önemlidir.

Direnç kaynağını etkileyen birçok etken vardır. Bunları balık kılçığı metodunun üzerinde inceleyebiliriz. Balık kılçığı yöntemi ile kaynağa etki eden faktörlerin tümü gösterilmiştir. (Tofas Akademi, Punta kaynağı,2013).

Bu faktörlerin her biri kaynağımıza olumsuz etki etmektedir. Örneğin, nokta kaynak kopması, nokta kaynak deformasyonu, kaynak çapağı vb. (Tofas Akademi, Punta kaynağı,2013).



Şekil 2.5. Direnç kaynağına etki edecek girdiler

Otomotiv endüstrisinde, gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler (AHSS'ler) genellikle yüksek dayanım ve iyi süneklik özellikleri nedeniyle kullanılır. Özellikle, iyi biçimlenebilirlik, süneklik ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle çift fazlı (DP) çelikler tercih edilir. Ayrıca, en yüksek verimi elde etmek için farklı tip çelikler de bir otomobil gövdesinde birleştirilir (Bouaziz 2013)

EDNK yapılmış geleneksel çeliklerin mekanik özelliklerinin detaylı incelenmesi için geçmiş yıllarda bir çok çalışma yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen ileri dayanımlı çelikler (AHSS) kullanılarak uygulanan EDNK'larında proses ve yapısal özellikleri arasındaki ilişki mevcut bilgiler sınırlı kalmaktadır. AHSS çeliklerinin en verimli şekilde kullanılması için mikro yapı incelemeleri ve mekanik özellikleri açısından mevcut bilginin geliştirilmesi önemlidir. Bu alanda yapılan güncel çalışmalar incelenmiştir

Punta kaynağının etkilendiği en önemli faktörlerden biri de sac kalınlıklarıdır. Aracın farklı bölgelerinde dizayn ve mukavemet gereksinimleri nedeni ile farklı sac kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu da kaynak parametrelerinin kombinasyonlarını arttırmak anlamına gelir.

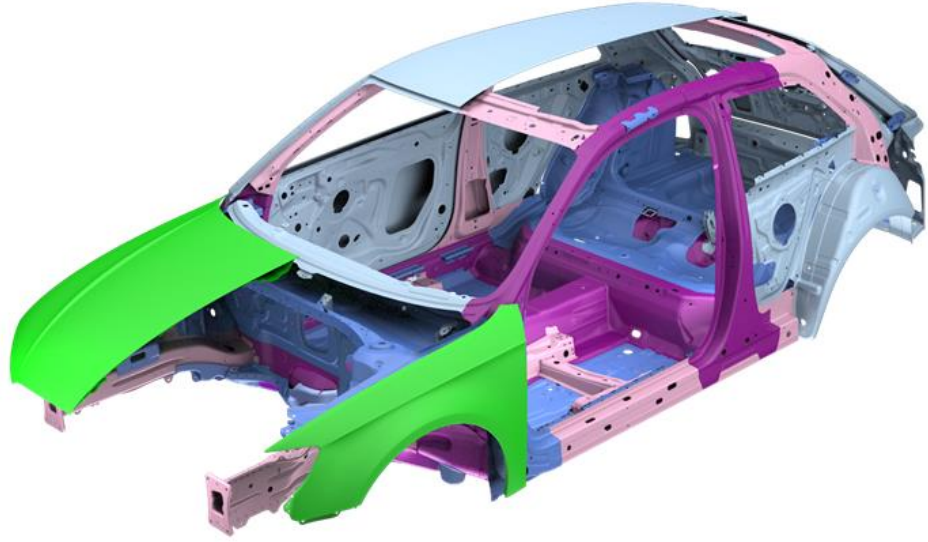
2.5. Otomotiv Çelikleri

Bu bölümde, tez kapsamında araştırılan konuyla ilişkili olarak literatürde yapılmış olan çalışmalar incelenmiş, özellikle tez kapsamında kullanılan malzemelerin detay mekanik,

özetlenmiştir. Düşük karbonlu soğuk şekillendirmeye uygun galvaniz kaplı FeP05 ile yüksek mukavemetli çift fazlı FE 600 DP malzemeleri özelliklerine alaşım elementlerinin etkileri de belirtilmiştir. Çizelge 2.2 ve Şekil 2.6’da günümüzde kullanılan sac kalınlıklarının dağılımlarını da bulabilirsiniz (Anonim 2013).

Çizelge 2.2. Araçlarda kullanılan malzemeler ve renk kodları

Malzemeler: sınıflarına göre karşılaştırma tablosu		RGB renk tonu	%
Çelikler	Düşük mukavemetli çelikler: Yumuşak çelikler	R 153, G 204, B 255	
	Yüksek mukavemetli çelikler (HSS): Yüksek mukavemetli IF çelikler (HSIF), Fırında sertleşebilen çelikler (BH), Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA)	R 051, G 102, B 255	
	Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS): Çift fazlı çelikler (DP), Dönüşüm etkili yoğruklu (TRIP)	R 255, G 153, B 204	
	Paslanmaz çelikler: ostenitli paslanmaz çelikler	R 051, G 051, B 153	
	Çok yüksek mukavemetli çelikler (UHSS): Kompleks fazlı çelikler (CP), martensitik çelikler (MS)	R 204, G 153, B 255	
	Pres sertleştirilmiş çelikler (PHS)	R 128, G 000, B 128	
	Alüminyum	Alüminyum: 7xxx serisi	R 051, G 204, B 153
Alüminyum: 6xxx serisi		R 000, G 255, B 000	
Alüminyum: 5xxx serisi		R 204, G 255, B 204	
Alüminyum ekstrüzyon profilleri		R 153, G 204, B 000	
Döküm alüminyum		R 051, G 153, B 102	
Magnezyum		R 255, G 255, B 000	
Plastik	Elyaf takviyeli plastikler	R 255, G 000, B 000	
	SMC	R 255, G 153, B 000	
	Termoplastikler	R 153, G 051, B 000	
Diğer malzemeler		R 192, G 192, B 192	



Şekil 2.6. Renk kodlarına göre kullanılan malzemelerin araç şeması üzerinde gösterimi

2.5.1. FE 600 DP çeliği

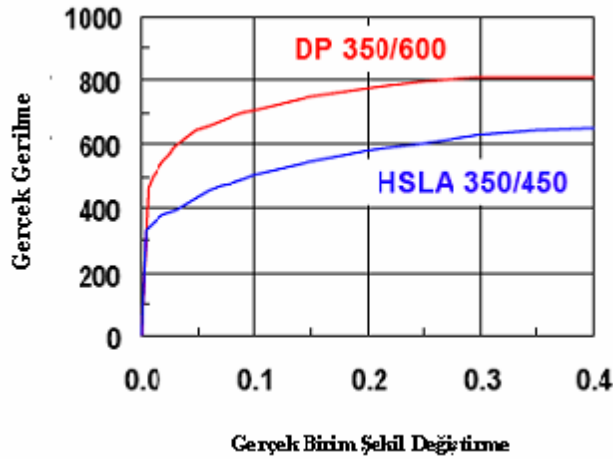
Çevreye karşı duyarlı olmanın sorumluluğu neticesinde birçok yeni düzenleme yapılmaktadır. Bu düzenlemelerin bir örneği de otomotiv endüstrisinde araç ağırlıklarının azaltılmasıdır. Böylece havaya salınan sera gazını azaltmak mümkündür. Hafif araç üretebilme teknolojisi bu işi temelini oluşturmaktadır. Bun nedenle üreticiler muhteşem mekanik özelliklere sahip daha hafif malzemeleri araştırmaktadır. Bugünün araçları çeşitli fonksiyonel gereksinimleri de göz önüne alındığında ileri dayanımlı çelikler mikro yapıları ve metalürjik özellikleri ile bu ihtiyaca cevap vermektedir (<https://www.worldautosteel.org>, 2014).

Çelik endüstrisi, mukavemet ve şekillendirilebilirlik özelliklerini artırmak için çalışmalarını sürdürmektedir. Bu amaçla, DP ve TRIP çelikleri geliştirilmiştir. DP çeliklerinin çekme dayanımları 600-1200 MPa aralığında dayanana sahip ve uzama oranları ise %15-25 dir. İleri dayanımlı çeliklerin (AHHS) bir çeşidi olan DP çeliği sahip olduğu çekme dayanımı, iyi şekillendirebilme özellikleri ile otomotiv endüstrisinde hafif bileşen olarak kullanıma elverişlidir (Elitaş ve ark. 2017).

DP (Çift fazlı) çelikler, yumuşak ferrit matris içinde ve adacıklar şeklinde %15-20 martenzit fazı içeren çelikler olarak adlandırılmışlardır. Çift faz terimi, çeliklerin mikro

yapılarından dolayı kullanılmaktadır. Bu çeliklerin mikro yapılarında, Ferit ve Martensit'e ek olarak beynit, perlit ve kalıntı östenit bulunabilir. Çift fazlı çeliklerden aşağıdaki beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir (Speich ve ark. 1981);

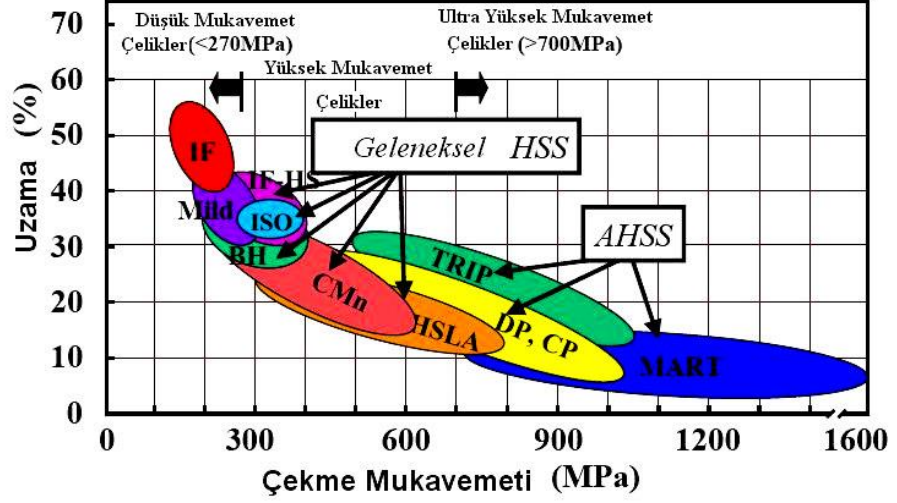
- Çift fazlı çelikler sürekli akma göstermelidir.
- %0,2 akma mukavemeti maksimum 340 – 500 MPa aralığında olmalıdır.
- Çekme mukavemeti 620 – 1250 MPa aralığında olmalıdır.
- %5'den düşük deformasyon oranlarında deformasyon sertleşmesi hızı yüksek olmalıdır.
- Toplam uzama yüzdesi %20'den büyük, sekillenebilirlikleri yüksek ve aynı zamanda akma/çekme mukavemeti oranı düşük olmalıdır.



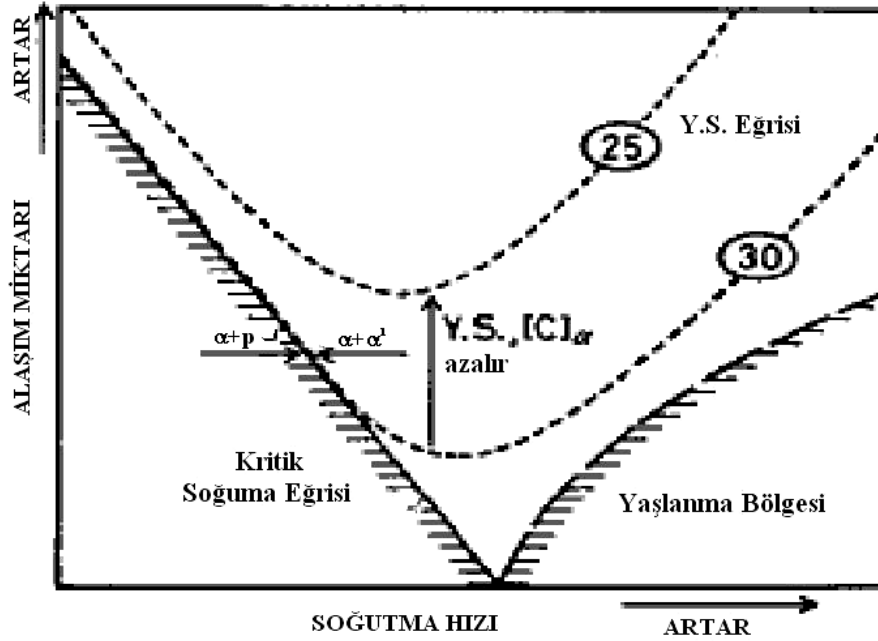
Şekil 2.7. DP (çift fazlı) ve HSLA çelikleri için şekil değiştirme/gerilme grafiği

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelik ile çift fazlı (DP) çeliğe ait gerilme/birim şekil değişme eğrileri Şekil 2.7.'de görülmektedir (Dual-ten 2004). Eşit uzama değerleri göz önünde bulundurulduğunda çift fazlı çelikler, HSLA çeliklerinden daha yüksek mukavemete sahiptirler. 650 MPa çekme mukavemetine sahip çift fazlı çelik ile 450 MPa çekme mukavemetine sahip HSLA çeliğin eşit sekillenebilme kabiliyetine sahiptirler (Speich ve ark. 1981).

Eşit çekme mukavemetine sahip çift fazlı çelikler ile mikro alaşımlı çelikler kıyaslandığında, çift fazlı çeliklerin daha düşük akma mukavemeti, daha yüksek şekillenebilirlik ve toplam uzama (%) gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. DP (Çift fazlı) çelikler ve diğer tip çeliklerin karşılaştırma grafiği



Şekil 2.9. DP (Çift Fazlı) çelikler için alaşım miktarı ile soğuma hızı grafiği

2.5.2. FEP05 Çeliği

Şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çelikler sınıfındadır. Galvaniz kaplı olması suya ve korozyona karşı direncini sağlamaktadır. Demir ve çeliğin paslanmaya karşı korunmasında en akılcı ve kesin çözüm, malzemenin elektro yöntemi ile galvaniz kaplanmasıdır.

Demir ve çelik malzemeler buldukları atmosferik ortamdan etkilenerek zaman içinde fiziksel, kimyasal, elektriksel ve diğer özelliklerini kaybederek korozyona uğrarlar. Bu değişikliğe, “metalin paslanması” denmektedir. Paslanma sadece görüntü bozukluğu olmayıp aynı zamanda metali aşındıran bir kimyasal reaksiyondur. Metali, paslanmayı oluşturan dış etkenlerden uzak tutabilmek amacı ile metal yüzeylere koruyucu yöntemler uygulanır. Bu koruyucu yöntemlerden bazıları boya, plastik, nikel, krom, bakır ve çinko kaplamadır. Ancak; bütün bu kaplama yöntemleri arasında çinko kaplama en güvenli ve uzun ömürlü olanıdır. Çinko kaplama (galvaniz) yöntemi ile muamelenin diğer yöntemlere nazaran avantajları şöyle sayılabilir: Kalın ve nüfuziyeti yüksek ve homojen bir yüzey filmi oluşturur, diğer yöntemlerle ulaşılamayan kritik noktalar (iç hacimler, keskin köşeler, kesim yerleri, delik yüzeyleri, boşluklar) vs. korunmuş olur.

Diğer yöntemler, ufak zedelenmelere karşı çok hassastır ve genelde korozyon bu zedelenmelerde baş gösterir. Oysa galvaniz kaplama çiziklere karşı dirençlidir ve hatta kendi kendini onarma özelliğine sahiptir. Buna “self healing effect” ve “katodik koruma” denir. Aynı nedenlerle, elektro galvanizle kaplanmış yüzeyler, darbelere karşı da görece korunmalıdır. Kaplanan malzeme ile çinko metalürjik bir bağ oluşturur ve malzeme yüzeyinde meydana gelen aşım tabakaları dış etkilere karşı dayanıklı bir kaplama sağlar. Galvaniz, yüzey kaplama yöntemleri arasında en uzun ömürlü olanıdır ve hiçbir bakım gerektirmez. Belli bir estetik cazibesi vardır. İlk başları parlak ve iki boyutlu kristalin bir görünüşe sahip olan kaplama yüzeyi, zamanla matlaşarak homojen mat gri renkte bir yüzeye dönüşür. Ekonomik bir yöntemdir (Aydın ve ark 2003).

2.5.3. Alaşım Elementlerinin Çeliklerin Özelliklerine Etkisi

Çift fazlı (DP) çeliklerde alaşım elementlerinin rolü, martensitik dönüşümü kolaylaştırmak, dolayısı ile ısıtım işlem esnasında sertleşme kabiliyetini arttırmaktır. Alaşım elementlerinin diğerk bir etkisi de ferriti katı eriyik veya çökeltme sertleştirme mekanizmaları ile sertleştirmektedir. Tüm bunların yanında ek olarak alaşım elementlerinin miktarları soğuma hızlarını ve östenit-martensit dönüşümlerini de etkilerler. Bu bölümde bazı alaşım elementlerinin çeliklerin özelliklerine etkisi incelenmiştir (Koh ve ark 1998).

Karbon

Ferrit ve martensit fazlarındaki karbon miktarını kontrol etmek için, çift fazlı çeliklerdeki karbon miktarının %0,1 veya daha az olması istenir. Martensit fazının gevrek olmaması için bu faz içindeki karbon miktarının düşük olması gereklidir (maksimum %0,3-0,4) (www.Key-to-Steel.com., 2004). Çift fazlı çeliklerin sünekliği yapıda %80 ferritin bulunması durumunda yüksektir denilebilir. Ferritteki karbon içeriğinin az olmasına dikkat ederek, Lövyeye kuralı uygulanırsa, çeliğin karbon miktarı %0,06-0,09 olarak hesaplanır. ($\alpha + \gamma$) bölgesindeki tavlama sıcaklığı arttırıldığında, östenitin karbon içeriği azalır ve dönüşümün daha dikkatli kontrol edilmesi gerekir. Çünkü östenitte ki karbon miktarının azalması sertleşme kabiliyetinin azalmasına neden olur. Bunun yanında çelikteki karbon miktarının artması hem kaynak kabiliyetini hem de darbe direncini azaltmaktadır ve Ms sıcaklığını düşürerek östenitin kararlılığını arttırmaktadır (Zeytin 2013).

Manganez

Manganez, çeliğin A1 ve A3 sıcaklıklarını düşürür ve dönüşüm ürünlerinin tane boyutunu küçültür. Manganezin çözeltide bulunması, mukavemeti artırırken sünekliği azaltmaz. Manganez östenitin sertleşme kabiliyetini arttırdığı için çift fazlı çeliklerde istenen alaşım elementi olarak karşımıza çıkar. Buna karşın Ms sıcaklığını düşürerek östeniti kararlı hale

getirir. Manganez, kaynak kabiliyeti açısından sınırlı olarak kullanılır ve korozyon, darbe direncinin artmasına da yardımcı olur. Manganez miktarındaki artış, deformasyon yaşanmasını geciktirici bir etken olan ince karbür dağılımına yol açar. Çift fazlı çeliklerde bulunan manganez miktarı %1-1,5 mertebesindedir (www.Key-to-Steel.com., 2004).

Silisyum

Silisyum çeliğin dönüşüm sıcaklıklarını artırır ve tavlama işlemlerinde ferrit tanelerinin irileşmesine yol açar. Silisyum katı eriyik sertleşmesine fayda sağlayarak, mukavemet/süneklik ilişkisini iyileştirir. Çift fazlı çeliklerde sünekliğin artması, silisyumun ferritteki karbon miktarını azaltarak ferriti temizlemesi ile sağlanır. Fakat genel olarak, silisyumun transiyon sıcaklığını artırdığı bilinmektedir.

Silisyum sürekli soğutma diyagramında ferrit oluşum burnunu sola kaydırır ve östenitin sertleşme kabiliyetini artırarak martensit dönüşümü kolaylaştırır. Silisyum sementit çökeltme hızını ve temperleme sırasındaki yumuşama hızını yavaşlatır ve ototemperlemeyi engeller. Silisyum içeriğindeki azalma, çeliğin ana yapısal özelliğini değiştirmemesine rağmen, ferrit/martensit ara yüzeyinde gevrek karbürlerin oluşmasına sebep olur. Genel olarak silisyumun, çeliklerin soğuk deformasyonu esnasında şiddetle deformasyon sertleşmesine yol açtığı bilinmektedir. Çift fazlı çeliklerde bulunan silisyum %0,5-0,2 mertebesindedir (Aydın 2007).

Molibden

Molibden, ($\alpha + \gamma$) bölgesinde tavlama ile oluşan östenitin sertleşme kabiliyetini artırır ve martensitik dönüşümü teşvik eder. Aynı ısıl işlem koşulları olduğunu düşündüğünüzde, molibden içeren çelik, vanadyum içeren çelikten daha yüksek sertleşme kabiliyetine sahiptir. Molibdenin çeliğin tane boyutuna etkisi yoktur, yani tane küçültücü bir element değildir. Molibden, ferrit fazında karbür oluşturur ve ancak tavlama sıcaklığında bu karbürler çabuk çözünür. Katı eriyikteki molibdenin sertlik üzerine çok önemli etkisi vardır. Çift fazlı çeliklerde % 0,1- 0,5 mertebesinde molibden bulunur (Speich 1981).

Vanadyum

Vanadyum, ferrit tane boyutunu küçültür ve çözeltide iken östenitin sertleşme kabiliyetini artırır. Vanadyum, ferrit içinde ince çökeltilerin oluşmasına ve ferrit ikinci faz ara yüzeyinde süreksiz çökelmeye sebep olur ve ferrit içinde titanyum ve niyobyum gibi ara yer elementlerinin çözünürlüğünü azaltır (www.Key-to-Steel.com., 2004). Vanadyumun östenit fazındaki çözünürlüğü titanyum ve niyobyumdan daha fazladır. Çift fazlı çeliklerde vanadyumun kesin rolü bilinmemekle beraber, ferrit ve perlit oluşumunu engellediği bilinmektedir. Çift fazlı çeliklerin vanadyum içeriği, karbonitrür oluşumunu engellemek amacıyla mümkün olduğu kadar az olmalıdır ve çözeltide %0,03 mertebesinde vanadyum bulunması yaslanmayı engeller. HSLA çeliklerinde %0,01 ile %0,012 arasında bulunan vanadyum akma mukavemetini artırır. Darbe direnci ile kaynak kabiliyetini fazla etkilemez, ancak geçiş sıcaklığının artmasını önlediği gibi düşmesini de sağlar.

Krom

Krom, östenitin sertleşme kabiliyetini artırır. Martensit adacıklarının birbiri ile temasını/bağlantısını artırır. SSD diyagramında beynit oluşumunu (başlama ve bitme) geciktirir (Koh ve ark. 1988). Krom, küçük oranlarda bulunduğu zaman düşük karbonlu çeliğe genellikle iyi etkide bulunur. Fakat fazla miktarda kullanıldığında derin çekme özelliğini azaltır. Genel olarak kromun çelikteki bakır ve fosfor elementleriyle birlikte korozyon direncini arttırdığı bilinmektedir (Zeytin ve ark 2013).

Niyobyum

Niyobyum, A3 sıcaklık eğrisinin eğimini artırır ve yapının küçük taneli olmasını sağlar. Niyobyum karbür oluşturarak ferritin ara yer içeriğini azaltır. Bu elementin oluşturduğu karbonitrürler tavlama sıcaklığında çözeltiye girmezler. Niyobyum, çeliğin mekanik özelliklerini çok fazla etkileyen bir elementtir. Örneğin; %0,02 Nb ilavesi akma mukavemeti 70 – 100 N artmasına neden olur. Akma gerilmesi önemli derecede tane

küçülmesi ve bunun yanında katı eriyik sertleşmesi ile çökelme sertleşmesi sonucu artar. Darbe direncindeki azalma ve transiyon sıcaklığındaki artma, alüminyum ilavesi ile giderilebilir (Zeytin ve ark 2013). Ayrıca karbon oranının mümkün mertebe düşük olması bu iki sakıncanın oluşmasına büyük ölçüde önler.

Alüminyum

Alüminyum, karbonu aktive eder ve ferritin sünekliğini artırır. Ferrit/martensit ara yüzeyinde karbür oluşumunu önler. Alüminyum tane küçültücü bir element olup, ferrit fazındaki azotu AlN şeklinde bağlar. Çeliğin darbe direncini artırır, geçiş sıcaklığının düşmesini sağlayan alüminyumun akma mukavemetini etkisi farklı şekillerde olur. Tane küçültücü etkisinden dolayı alüminyum akma mukavemetini artırır. Ancak AlN oluşumu ile ferrit fazındaki eriyik azot atomları azalacağından, ferritin mukavemeti ve dolayısıyla akma mukavemetini azalır (Koh ve ark. 1988).

Titanyum

Titanyum çelikte ince karbürlerin şekillenmesinde çok faydalı bir elementtir. Ayrıca çeliğin mekanik özelliklerinin gelişmesinde, mikro yapının oluşmasında faydalıdır. Böylece çeliğin mukavemeti de artmış olacaktır. Buna karşın N ve O gibi elementler ile bileşik yaparak çelikte inklüzyon olarak bulunurlar ve şekillendirilmeyi kötü etkileyebilirler. Bu yüzden tavsiye edilen oran %0,02-0,01 arasındadır (Ayдын 2007).

2.6. EDNK Üzerine Yapılmış Literatürdeki Diğer Çalışmalar

Bu bölümde, tez kapsamında araştırılan konuyla ilişkili olarak literatürde yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir.

Chen ve arkadaşları, A5052 alüminyum ve DP 600 çelik malzemelerin elektrik direnç kaynağının optimum mekanik özelliklerinin hangi kaynak parametrelerinde

gerçekleştirildiğini araştırmışlar ve ayrıca sertlik ölçümü, mikro yapı analizi, kırılma yüzeylerinin incelemesini yapmışlardır (Chen ve ark. 2016).

Aynı malzemelerin birbirleri ile elektrik direnç kaynağı uygulanan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Y. Kaya ve N. Kahraman ASTM grade 2 titanyum sacların elektrik direnç kaynaklarını farklı kaynak parametreleri için gerçekleştirmiş ve bu parametrelerin çekirdek çapı, elektrot dalma derinliği, kopma tipi, sertlik ve mikro yapı üzerine etkilerini incelemişlerdir (Kaya ve ark. 2011).

Diğer bir çalışmada ise Çalışmada kaynak zamanının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini galvaniz kaplanmış kromatlı mikro alaşımlı çelikler için inceleyip maksimum çekme mukavemetinin ulaşıldığı parametreyi belirlemişlerdir (Aslanlar ve ark. 2008).

Östenitik paslanmaz çeliklerin elektrik direnç kaynağını farklı kaynak parametreleri ve farklı kaynak atmosferlerinin incelenmesi için de bir çalışma yapılmıştır (Özyürek 2008).

Magnezyum alaşımlı sacların elektrik direnç kaynağının mekanik özellikler ve mikro yapı üzerindeki etkilerini Sun ve arkadaşları incelemişlerdir (Sun ve ark 2007).

Wang ve arkadaşları, 1mm kalınlığında düşük karbonlu Q235 çelik ile paslanmaz SUS304 çeliği EDNK ile çalışmasında birleştirmiştir. Kaynaklar 0,06 mm kalınlığında nikel katmanlı ve katmansız olduğu durumda gerçekleştirildi. Kaynak zamanı 5,10,15 ve 20 çevrim olacak şekilde uygulandı. Kaynak zamanının çekirdek çapına ve çekme yüküne etkisi araştırıldı. Her iki nokta kaynağında da çekme yükü ve çekirdek çapının kaynak zamanının uzaması ile artışı tespit edildi.

Tuncel ve arkadaşları, kaynak akımının FEP05 ve FE 600 DP çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır.

Tutar ve arkadaşları, TWIP çeliklerinde uyguladığı EDNK çalışmasında kaynak parametrelerini Taguchi metodunu uygulayarak optimize etmiştir. Kaynak zamanının %8,9 etki oranı ile en etkili parametre olarak bulmuştur.

Kaplamasız düşük karbonlu çelik sacların kaynak akımı, kaynak zamanı, elektrot basıncı ve tutma süresi parametrelerinde kaynak statik mukavemeti ve kaynak kopma tipinin

belirlenmesi ve kopma modunun tahmini için analitik model oluşturulması Pouranvari ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Pouranvari ve ark 2007).

Holovenko ve arkadaşları çalışmalarında, benzer çekme dayanımı değerine sahip iki ileri dayanımlı çeliğe nokta direnç kaynağı ve lazer kaynağı ile birleştirme işlemi uygulamıştır. Bu çalışmada, %18 Mn içeren çok iyi dayanım-süneklik ilişkisine sahip östenitik TWIP çeliği, yüksek sıcaklıkta ısıl işleminden sonra hızlı soğutma ile elde edilen bu yüzden ferrit ve martenzit fazlarından oluşan geniş kullanım alanına sahip DP çeliği ile karşılaştırılmıştır. Boyut ve biçim, bozukluklar ve her bir kaynaklı birleştirmenin mikro yapısı metalografik incelemelerle delillendirilmiştir. İlâveten hem fabrikasyon durumundaki hem de kaynak işlemine tabi tutulan numunelerin çekme özellikleri ve yorulma davranışı karşılaştırılmıştır (Holevenko 2013).

X.Q. Zhang vd. kaynak akımlarının kaynak zamanına göre kaynak dayanımı üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu belirtmiştir. Fakat daha düşük akımlarda daha yüksek akımlara göre kaynak süresinin kaynak dayanımı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elektrot girinti oranının, sac kalınlığının %30 değerinden daha büyük olmaması gerektiği aksi taktirde nokta kaynağının yorulma dayanımının, dayanım gereksinimlerini karşılamadığı ifade edilmiştir (Zhang ve ark 2008).

Khan vd. çalışmalarında, nokta direnç kaynaklı 590R, DP600, DP780 ve TRIP780 ileri dayanımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. HSLA malzemesi, geleneksel yüksek mukavemetli çelikleri temsil etmek ve AHSS performansını kıyaslamak için dahil edilmiştir. Standart optimizasyon teknikleri kullanılarak, kaynakların optimal kaynak koşullarında gerçekleştirilmesi ve sonuç yapı ve özellikleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Her malzeme için farklı kaynak bölgelerindeki mikroyapısal gözlemler sunulmuştur. İlâveten, mikroyapısal gözlemler ve sertlik testi ileri dayanımlı çeliğin kaynak metalinde daha yüksek sertliğe sahip olduğunu göstermiştir ve daha zengin kimyasal bileşime sahip çeliklerde orantılı olarak artmıştır. Sonuçta, nokta direnç kaynağında kaynak metalinin sertliğinin yaklaşık değerinin bulunması ile ilgili eşitlik sunulmuştur (Khan ve ark. 2008).

Choi ve arkadaşları DP780/22MnB5 arasında nokta direnç kaynağı işlemini gerçekleştirerek kaynak edilebilirliğini araştırmıştır. Sonuç olarak; çekirdek sınırındaki

çentiklerde meydana gelen yüksek gerilim konsantrasyonu ve kaynağın yüksek sertlik ve kırılğan mikro yapısından dolayı ara yüzey kırılması meydana gelmiştir (Choi ve ark. 2011).

Marashi ve arkadaşları, farklı kalınlıktaki nokta direnç kaynağının aşırı yükleme hatası davranışını araştırmıştır. Sonucunda, nihai katılaştırmanın saclar arasındaki ara yüzeyden birleşimin toplam kalınlığının geometrik merkezine doğru hareket ettiği ve bunun, gerilme testi sırasında farklı kalınlıktaki nokta kaynağının ara yüzey kırılmasında hata eğilimini azalttığı ifade edilmiştir (Marashi ve ark 2010).

Hayat ve Sevim çalışmalarında, nokta direnç kaynaklı galvanizlenmiş DP600 çeliğinin kırılma tokluğunu incelemiştir. Nokta kaynağı pnömatik, faz kaydırma kontrollü, 0-9 kA aralığında etkili kaynak akımı kabiliyetine sahip AC nokta kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri ile numunelerin kırılma tokluğu hesaplanmıştır. Kaynak akımı, kaynak zamanı ve kaynak metali sertliği parametrelerine bağlı olarak kırılma tokluğundaki değişim incelenmiştir (Hayat 2012).

Literatürde güncel olarak gerçekleştirilen çalışmalarda görüldüğü gibi ileri dayanımlı çeliklerin nokta direnç kaynaklı birleştirmelerinde kaynak akımı, kaynak süresi, elektrotlar tarafından uygulanan sıkma kuvveti, sıkma süresi vb. kaynak parametreleri kaynağın kalitesine kuvvetli bir şekilde etki etmektedir. Otomotiv dünyasında dizayn gerekliliği nedeni ile kalınlık farkları yüksek fazla olan çeliklerin de birleştirilme ihtiyacı çıkmaktadır. Bir diğer ihtiyaç ise üçlü sacların birbirleri ile kaynatılmasıdır. Farklı sac kalınlıklarının üçlü olarak birleştirilmesi ile alakalı literatürde çok fazla kaynak bulunmamaktadır. Bu tez çalışması ile farklı kalınlıklara sahip üçlü sacların kaynak edilebilirliği, ortaya koyulan parametre setleri ile denenmiştir. Numuneler üzerinde çekme kuvveti, çökme yüzdeleri, çekirdek çapları ve uzama miktarları incelenmiştir. Çalışmalara başlamadan, daha önce gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiş ve öneriler dikkate alınmıştır.

3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneyleerde EDNK yönteminde kullanılmak üzere 0,7 mm FEPO5 ve 2mm FE600 DP çelik levhalar temin edilmiştir. Bu levhalar EDNK numuneleri için 60x140mm levhalar halinde kesilerek kullanılmıştır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.3’ de kullanılan sacların mekanik özellikleri verilmiştir. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4’ de ise kullanılan sacların kimyasal bileşimleri de verilmiştir.

FE600 DP çeliği yüksek mukavemetin gerekli olduğu, aracın tabanını oluşturan şasi görevi gören parçalar için kullanılmaktadır. FEP05 çeliği ise şekillendirme özelliğinin yüksek olmasına ihtiyaç duyulan, aracın stil hatlarının olduğu dış panellerde kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. FEP05 çelik sacın mekanik özellikleri (Anonim 2017)

Mekanik Özellikler										
Standart karşılığı			Re N/mm ² (kg/mm ²)	Rm N/mm ² (kg/mm ²)	Re/Rm max.	A80 (%) min.		r90 min.	r ort.	n80 min.
Standart	Kalite	Benzer Standart / Kalite				d<0,7	d>=0,7			
52806/9.52873	FEP05-ZNT/F/2S	EN 10346 / DX56D+Z	140-180 (14,3-18,4)	270-330 (27,5- 33,7)	-	36	40	1,90	-	0,20

Çizelge 3.2. FEP05 çelik sacın kimyasal bileşimi (Anonim 2017)

Kimyasa Bileşim (%)											
Standart karşılığı			C max.	Mn max.	P max.	S max.	Si max.	Al	Ti max.	Nb max.	CE max.
Standart	Kalite	Benzer Standart / Kalite									
52806/9.52873	FEP05-ZNT/F/2S	EN 10346 / DX56D+Z	0,008	0,30	0,025	0,020	0,03	0,02 min	0,09	0,035	-

Çizelge 3.3. FE 600 DP çelik sacın mekanik özellikleri (Anonim 2017)

Mekanik Özellikler									
Standart karşılığı			Rp0,2/Re N/mm ² (kg/mm ²)	Rm N/mm ² (kg/mm ²) min.	BH2 N/mm ² (kg/mm ²) min.	A60 (%) min.	A80 (%) min.	n 10-20 %	n 4-6 % min.
Standart	Kalite	Benzer Standart / Kalite							
52815/9.52873	FE 600 DP F ZNT/F/2S	EN 10346 / HCT600X+Z (DP600)	340-400 (34,7-40,7)	590 (60,1)	30 (3,1)	-	20	0,14	0,18

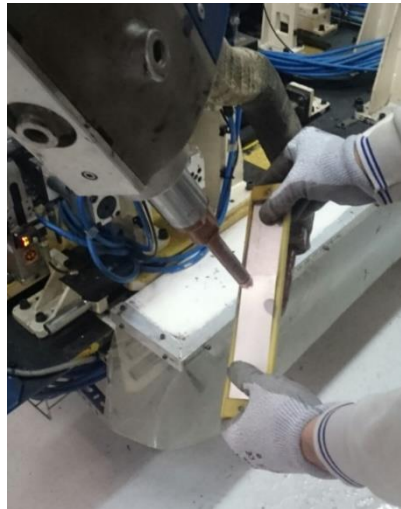
Çizelge 3.4. FE 600 DP çelik sacın kimyasal bileşimi (Anonim 2017)

Kimyasal Bileşim (%)											
Standart karşılığı			C max.	Mn max.	P max.	S max.	Si max.	Al	Cu max.	B max.	Cr max.
Standart	Kalite	Benzer Standart / Kalite									
52806/9.52873	FE 600 DP F ZNT/F/2S	EN 10346 / HCT600X+Z (DP600)	0,23	3,30	0,090	0,015	2,00	0,01	0,20	0,006	-

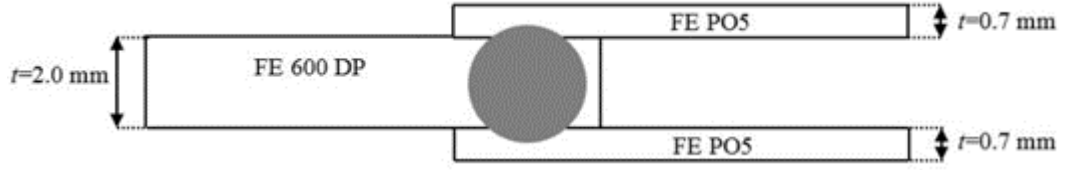
3.2. Yöntem

3.2.1. Kaynak Yöntemi

0,7 mm FEPO5 ve 2mm FE600 DP levha 60x140mm'lik ölçülerde kesilmiştir. Kaynaklı numunelerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için kaynak esnasında kaynak noktalarının numunelerinin hep aynı yerine gelebilmesi önem arz etmektedir. Deney numunelerinin aynı noktadan EDNK yapılabilmesi için kestamid malzemedan mastar yapılmıştır (Şekil 3.1). Manuel EDNK makinası ile de kaynak işlemleri yapılmıştır.

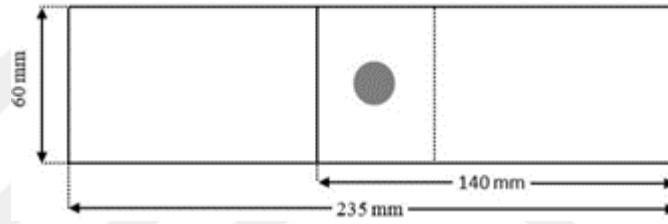


Şekil 3.1. Manuel Kaynak Pensesi ile kaynak işlemi



Şekil 3.2. Deneysel kaynak konfigürasyonu

Bu tez çalışmasında Şekil 3.2’de gösterilen şekilde kaynak konfigürasyonu kullanılmıştır. Pouranvari ve ark. yaptıkları çalışmada bu tipteki kaynak konfigürasyonun daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir



Şekil 3.3. Oluşturulan deney numunesi

Bu konfigürasyonda tecrübeye istinaden yaygın olarak kullanılan parametrelerin yanı sıra alternatif parametreleri bulmak için çalışıldı. Deney numunelerinde uygulanacak olan parametreler Çizelge 3.5’de belirtilmiştir. Parametrik bir çalışma yapılarak, kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot kuvveti etkilerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Çizelge 3.5. EDNK’da yaygın olarak kullanılan parametre seviyeleri

	Alternatif Parametreler			Yaygın olarak kullanılan	Alternatif Parametreler		
	1	2	3	4	5	6	7
Akım (kA)	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Kaynak Zamanı (cycle)	18	21	24	27	30	33	36
Kuvvet (daN)	150	190	230	270	310	350	390

Deney numuneleri için kullanılacak parametre değerleri izelge 3.6'da gösterilmiştir. Toplam 19 deney seti gerçekleştirilecektir.




Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri

	Akım (kA)	Kuvvet (daN)	Kaynak Zamanı (evrim)
Numune 1	7	270	27
Numune 2	7,5	270	27
Numune 3	8	270	27
Numune 4	8,5	270	27
Numune 5	9	270	27
Numune 6	9,5	270	27
Numune 7	10	270	27
Numune 8	8,5	150	27
Numune 9	8,5	190	27
Numune 10	8,5	230	27
Numune 11	8,5	310	27
Numune 12	8,5	350	27
Numune 13	8,5	390	27
Numune 14	8,5	270	18
Numune 15	8,5	270	21
Numune 16	8,5	270	24
Numune 17	8,5	270	30
Numune 18	8,5	270	33
Numune 19	8,5	270	36

3.2.2. Deney Numunelerinin zelliklerinin Belirlenmesi

Ultrasonik İnceleme

Elektrik direnç kaynağı kalitesinin belirlenmesinde (ekirdek çapı ve çökme miktarı) TESSONICS RSWA ultrasonik punta kaynak kontrol cihazı kullanılmıştır. Cihaz ile 3 er adet kaynak numuneleri test edilmiş, çekirdek çapı ve çökme miktarlarının değerleri bu 3 değerin ortalaması olarak alınmıştır. şekil 3.4'de kullanılan ultrasonik cihazının raporlama rneği gösterilmiştir.

2016-01-05 15:01:22		Inspection 04.01.2016 23:43:25; 1												Page 2						
Id	Weld C-Scan	Sfrv	3T	Decision		Diameter			Indentation		Robot		Front Plate	Stack	Custom	Time	Operator	Comments	Route	Inspection Description
				Decision	Reason	Measured	Min.	Nom.	Measured	Reoured	Name	Schedule								
		No	Yes	Pass		4,6	2,9	3,9	0,33	0,07...0,43			0,71	1,22	-	04.01.2016 23:43:00	Volkan		DENEY PARÇALARI 1 (3)	
		No	Yes	Pass		5,1	2,9	3,9	0,1	0,07...0,43			0,7	1,73	-	04.01.2016 23:43:09	Volkan		DENEY PARÇALARI 1 (4)	
		No	Yes	Pass		4,7	2,9	3,9	0,38	0,07...0,43			0,72	1,17	-	04.01.2016 23:43:17	Volkan		DENEY PARÇALARI 1 (5)	

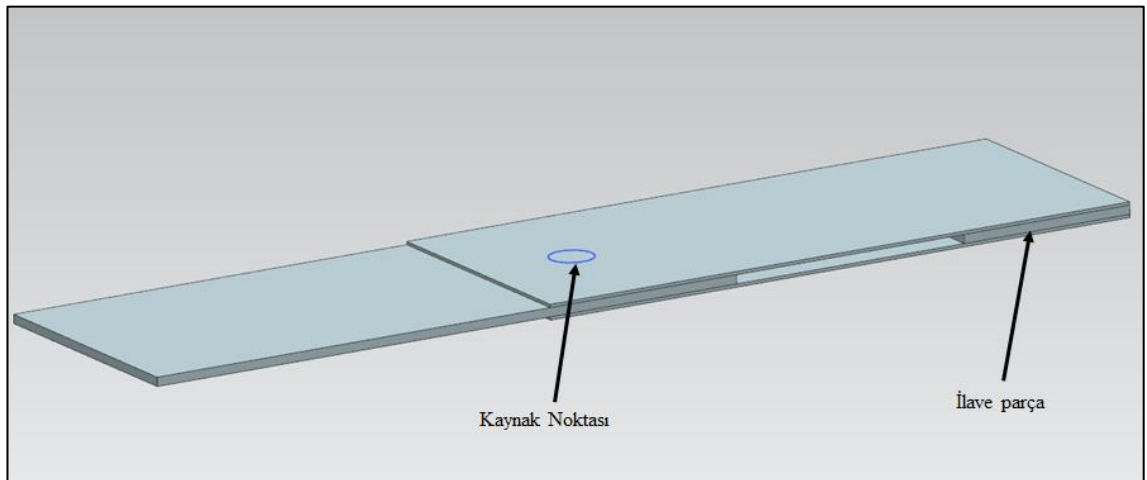
Şekil 3.4. Kaynaklı numuneler için ultrasonik kontrol rapor örneği

Çekme deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan vazgeçilmez bir muayene yöntemidir. Çekme deneyinde, malzeme statik bir yükü yüklenir ve o malzemeye ait göz önüne alınması gereken mekanik özellik değerleri elde edilir.

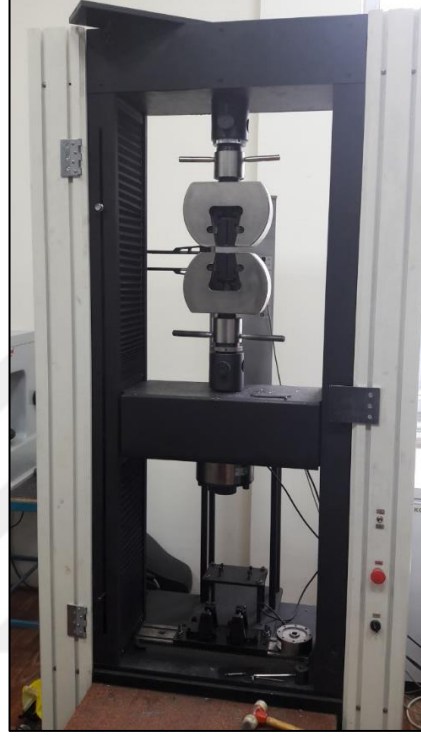
Kaynaklı numunelere UTEST-7014 çekme cihazında oda sıcaklığında 10 mm/dk çene hareket hızı ile çekme işlemleri uygulanmıştır. Her bir parametre için 3 adet çekme örneği test edilmiş ve deney sonuçları olarak ortalamaları alınmıştır.

Çekme işlemleri sırasında ortaya çıkabilecek eğilme momentlerinden kaçınmak için çekme deneylerinden önce çekilecek kaynaklı parçaların uç kısmına 1 adet 2mm kalınlığında ve 60 mm x 40 mm boyutlarında ilave parçalar yapıştırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Çekme deneyinde kullanılan numune örneği

Hazırlanan numuneler çekme deney cihazı (Şekil 3.6) kullanılarak çenelerin tutma yüzeyi 40mm olacak şekilde ayarlandı ve her numune de bu ölçünün aynı olmasına dikkat edildi.



Şekil 3.6. Çekme deney cihazı

Makro yapıların incelenmesi

Seçilen kaynaklı numuneler (her bir parametre grubuna ait en iyi, en düşük ve orta mukavemet değerlerine sahip numuneler), Struers marka metalografik numune kesme cihazı ile kesilmiştir. Şekil 3.7’de kullanılan makinayı ve test numuneleri gösterilmiştir.



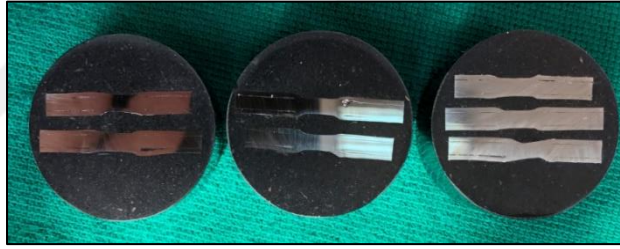
Şekil 3.7. Kullanılan numune kesme cihazı ve çekirdek bölgelerinden kesit alınan numuneler

Sonrasında, Metkon ECOPRESS 100 marka numune kalıplama cihazı ile bakalite alınmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kalıplama makinası

Metalografik taşlama ve parlatma cihazı ile $0,25\ \mu\text{m}$ 'ye kadar elmas solüsyon ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Parlatma sonrası kaynak bölgesi %3 Nital dağılayıcısı ile dağlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kaynak bölgesi incelemesi için hazırlanan kesitler

Kaynak kesitinin görüntüleri Nikon Eclipse MA100 ters metal mikroskobu ile alınmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan mikroskop

Mikrosertlik Ölçümleri

Her bir numunenin kaynak bölgesinden sertlik değerleri alınmıştır. Bu ölçümde vikers sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.11). Kaynak kesitinden beş farklı bölgeden sertlik değerleri alınmıştır. Bunlar FEP05 temel malzeme, FE600 DP temel malzeme, FEP05 ısı tesir bölgesi, FE600 DP ısı tesir bölgesi, FE600 DP ergime bölgeleridir. Statik yükleme süresi 10 saniye alınmıştır. 2 Newton yük uygulanmıştır.



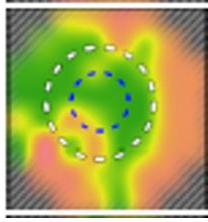
Şekil 3.11. Vickers sertlik ölçüm cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

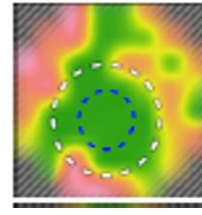
4.1. Kaynaklı Numunelerde Çekirdek Çapı ve Çökme

Ultrasonik ölçüm sonuçlarından her bir parametre grubu deney için detay örnekler Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de belirtilmiştir.

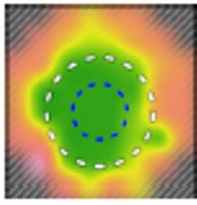
Elektrot kuvveti



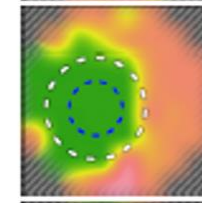
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	1,5 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,4 mm
Çökme (%=x100)	0,435



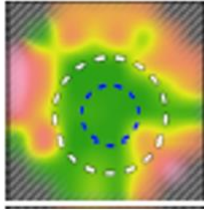
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	3,1 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,9 mm
Çökme (%=x100)	0,393



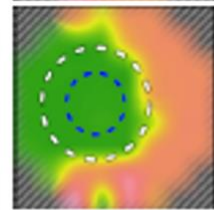
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	1,9 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,7 mm
Çökme (%=x100)	0,445



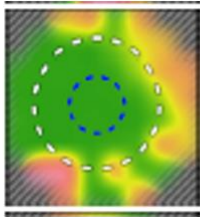
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	3,5 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,63 mm
Çökme (%=x100)	0,39



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,3 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,9 mm
Çökme (%=x100)	0,4



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	3,9 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	5,37 mm
Çökme (%=x100)	0,39



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	6,3 mm
Çökme (%=x100)	0,395

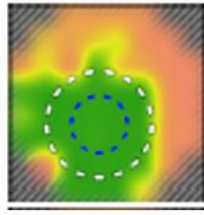
Şekil 4.1. Elektrot kuvveti değişimine göre ultrason kontrol örnekleri

Kaynak akımı

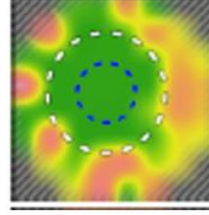


Şekil 4.2. Kaynak akımı değişimine göre ultrason kontrol örnekleri

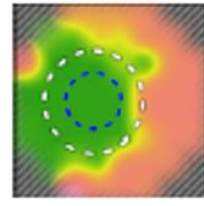
Kaynak Zamanı



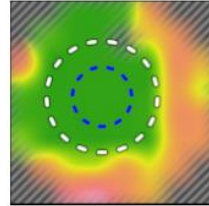
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	18 çevrim
Çekirdek Çapı	5,33 mm
Çökme (%=x100)	0,341



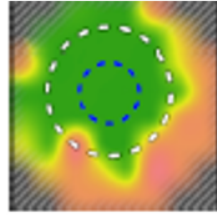
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	30 çevrim
Çekirdek Çapı	5,83 mm
Çökme (%=x100)	0,39



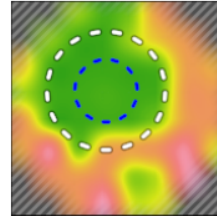
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	21 çevrim
Çekirdek Çapı	5,37 mm
Çökme (%=x100)	0,343



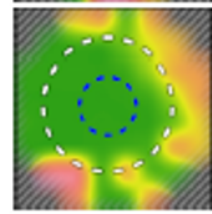
Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	33 çevrim
Çekirdek Çapı	5,57 mm
Çökme (%=x100)	0,445



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	24 çevrim
Çekirdek Çapı	5,9 mm
Çökme (%=x100)	0,36



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	36 çevrim
Çekirdek Çapı	5,13 mm
Çökme (%=x100)	0,47



Numune Özellikleri	
Elektrot Kuvveti	2,7 kN
Akım	8,5 kA
Kaynak Zamanı	27 çevrim
Çekirdek Çapı	6,3 mm
Çökme (%=x100)	0,395

Şekil 4.3. Kaynak zamanı değişimine göre ultrason kontrol örnekleri

Yapılan deneylerde farklı akım, kuvvet ve kaynak zamanları karşısında elde edilen çekirdek çapları ve çökme seviyeleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de kullanılan parametrelerdeki değişkenliklere göre elde edilen çökme ve çekirdek çapı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nokta kaynağındaki farklı kaynak zamanlarına göre çökme miktarı ve çekirdek çapı

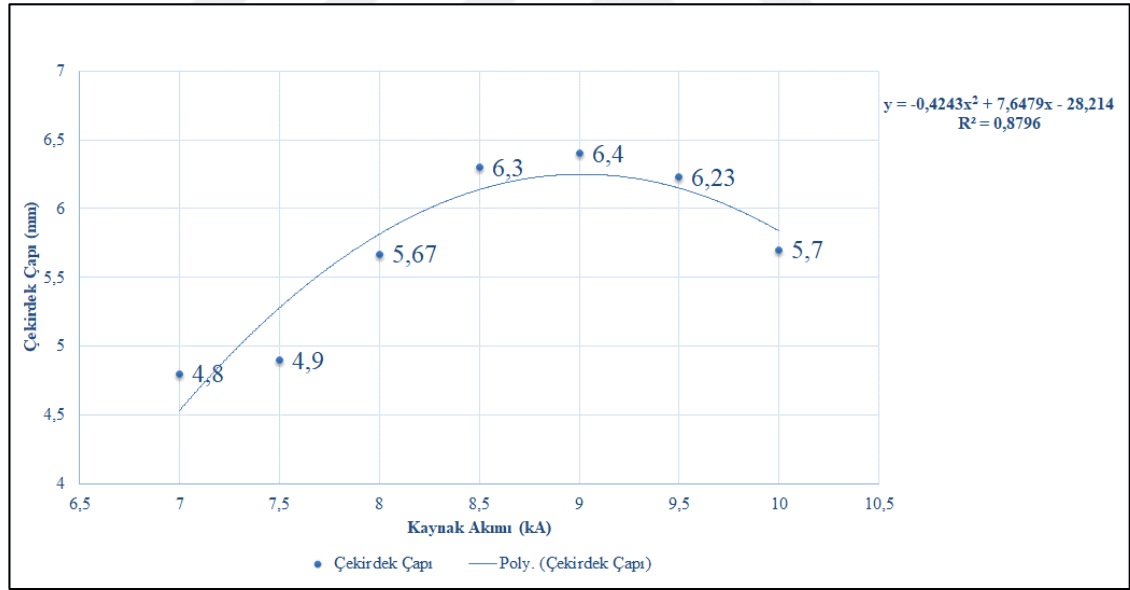
Kaynak zamanı (çevrim)	Çökme miktarı (%)	Çekirdek çapı (mm)
18	34.1	5.33
21	34.3	5.37
24	36	5.9
27	39.5	6.3
30	39	5.83
33	44.5	5.57
36	47	5.13

Çizelge 4.2. Nokta kaynağındaki farklı kaynak akımlarına göre çökme miktarı ve çekirdek çapı

Kaynak Akımı (kA)	Çökme miktarı (%)	Çekirdek çapı (mm)
7	27	4,8
7,5	31	4,9
8	36	5,67
8,5	39,5	6,3
9	44,3	6,4
9,5	52,3	6,23
10	64,7	5,7

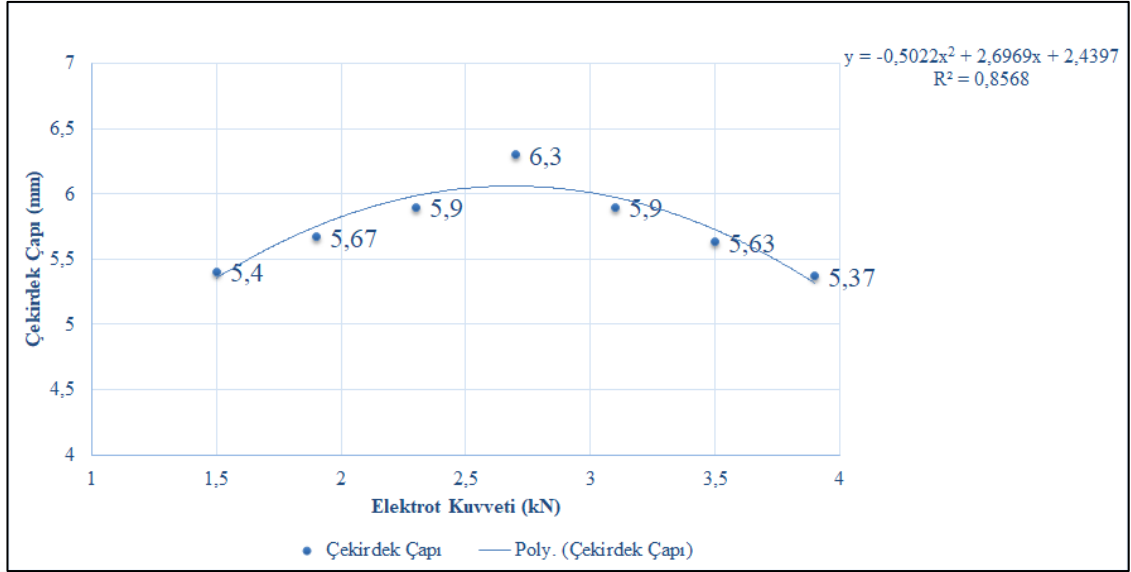
Çizelge 4.3. Nokta kaynağındaki farklı elektrot kuvvetlerine göre çökme miktarı ve çekirdek çapı

Elektrot kuvveti (kN)	Çökme miktarı (%)	Çekirdek çapı (mm)
1,5	43,5	5,4
1,9	44,5	5,67
2,3	40	5,9
2,7	39,5	6,3
3,1	39,3	5,9
3,5	39	5,63
3,9	39	5,37



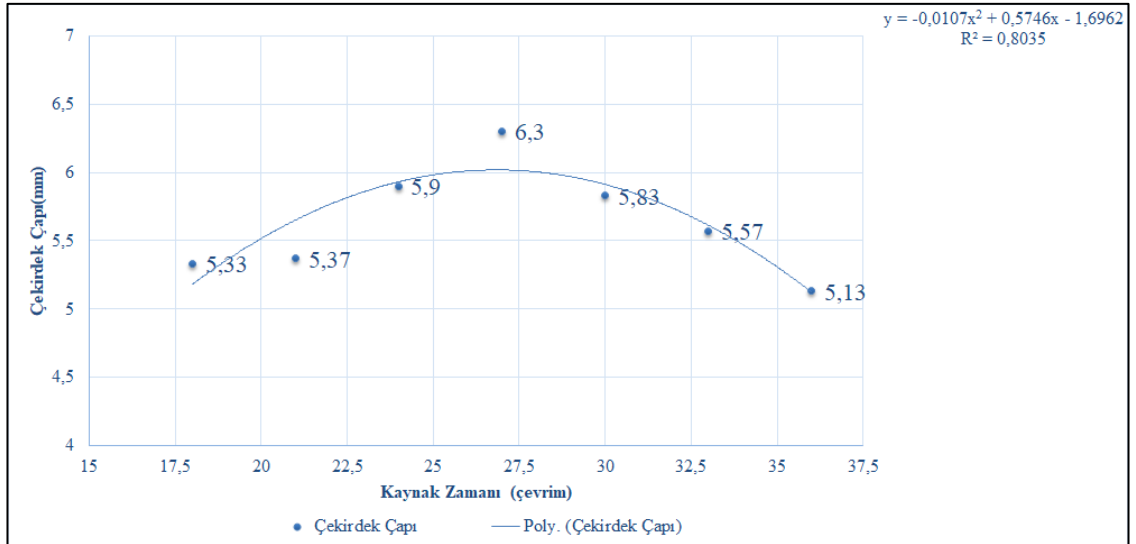
Şekil 4.4. Kaynak akımının çekirdek çapı üzerindeki etkisi

Çekirdek çapı akım ile beraber 9 kA'lık akım değerine kadar artmıştır. 9 kA'den sonra çekirdek çapı küçülmeye başlamıştır. Çekirdek çapı 9 kA'lık akım değerinde 6,4mm olarak en büyük çap değerine ulaşmıştır (Şekil 4.4).



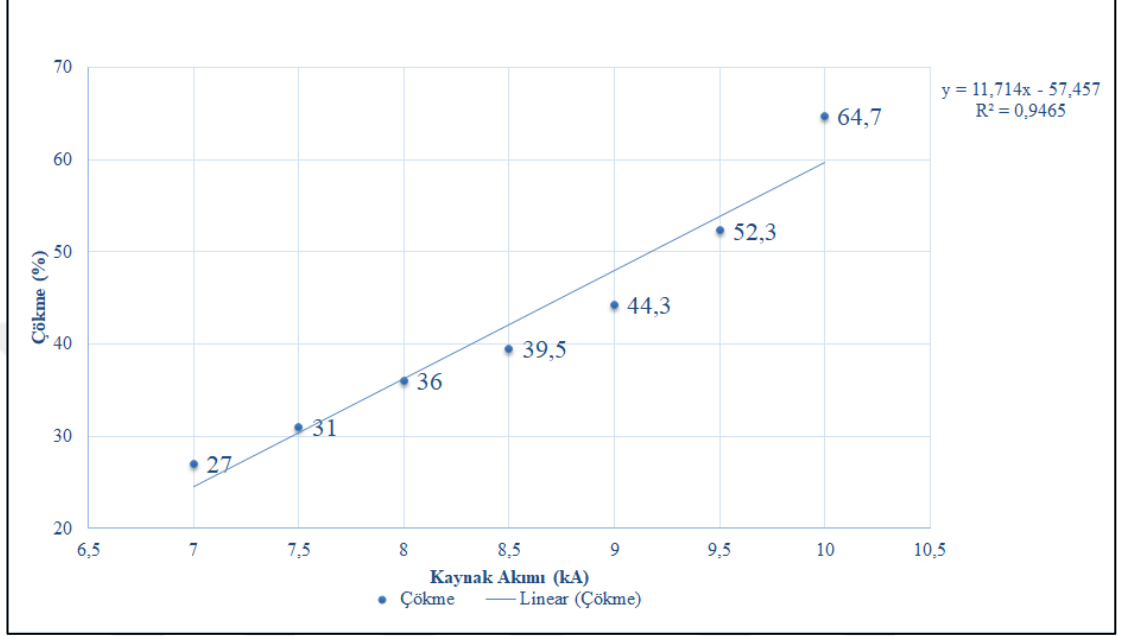
Şekil 4.5. Elektrot kuvvetinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi

Çekirdek çapı elektrot kuvveti ile beraber 2,7 kN elektrot kuvvet değerine kadar artmıştır. 2,7 kN'dan sonra çekirdek çapı küçülmeye başlamıştır. Çekirdek çapı 2,7 kN'luk elektrot kuvvetinde 6,3 mm olarak en büyük çap değerine ulaşmıştır (Şekil 4.5).



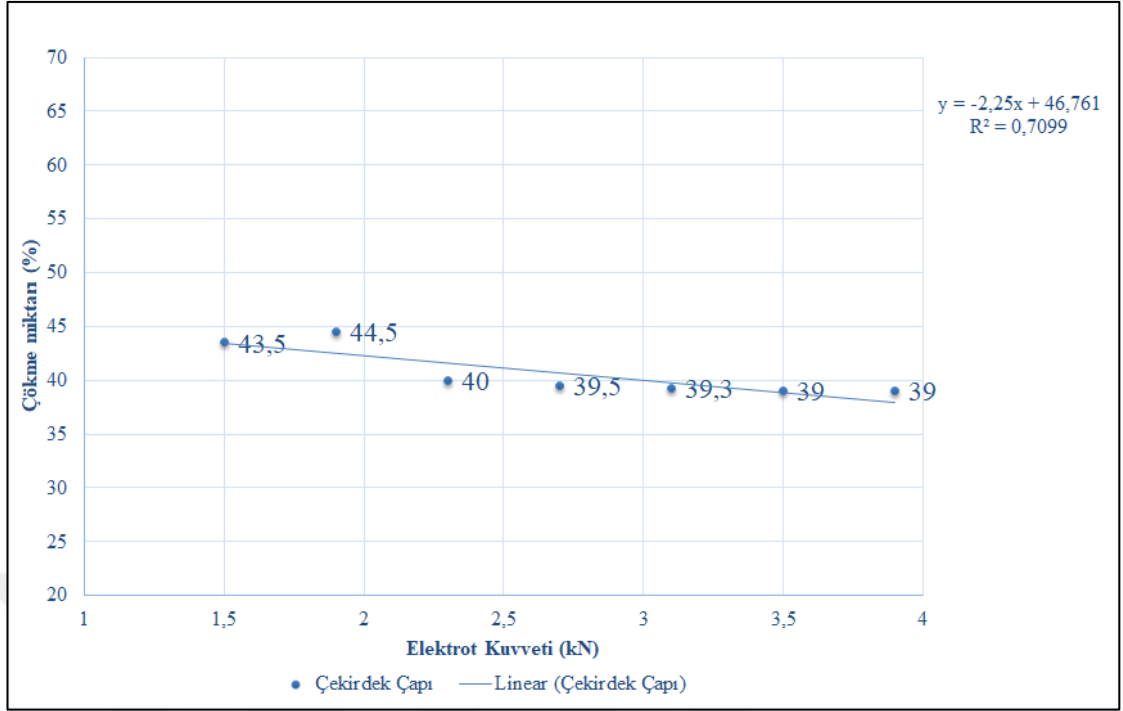
Şekil 4.6. Kaynak zamanının çekirdek çapı üzerindeki etkisi

Çekirdek çapı kaynak zamanı ile beraber 27 çevrim kaynak zamanına kadar artmıştır. 27 çevrim sonrasında çekirdek çapı küçülmeye başlamıştır. Çekirdek çapı 27 çevrimlik kaynak zamanında 6,3mm olarak en büyük çap değerine ulaşmıştır (Şekil 4.6).



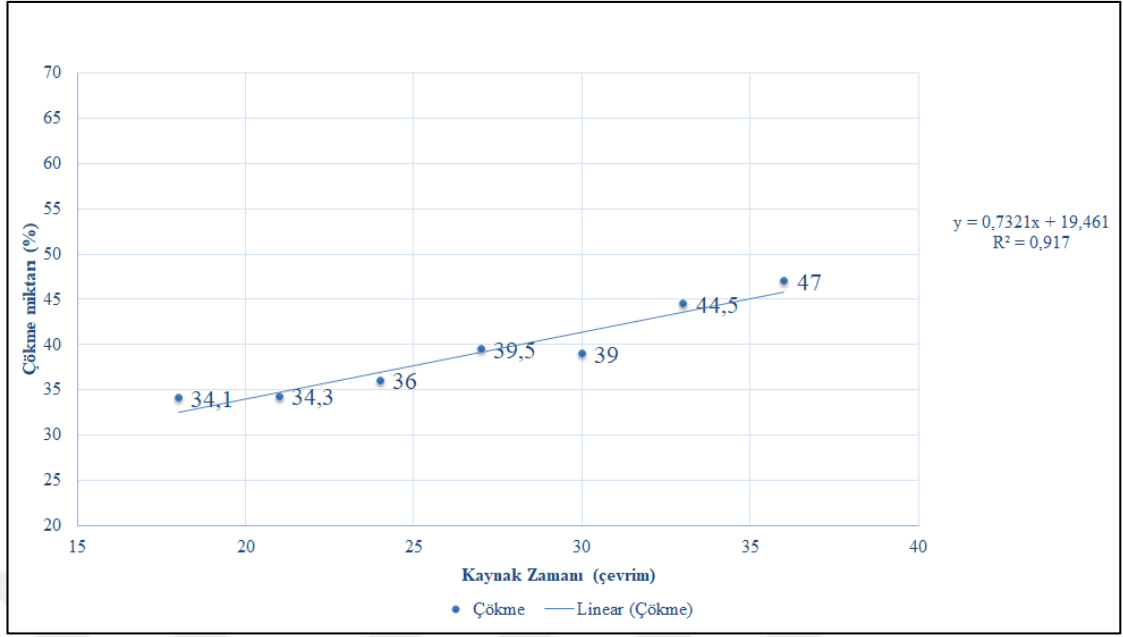
Şekil 4.7. Kaynak akımının çökme miktarı üzerindeki etkisi

Nokta kaynağındaki çökme oranı kaynak akımı ile beraber yaklaşık olarak doğru orantılı arttığı gözlemlenmiştir. 7 kA elektrik akımında %27 çökme oranı tespit edilmiştir. Elektrik akımı 10 kA değerine ulaştığında ise bu çökme oranı %64,7 olmuştur. Şekil 4.7'de %40 üzerindeki çökme değerleri otomotiv sektöründeki kabul koşullarını zorlaştırabileceğini vurgulamak gerekir.



Şekil 4.8. Elektrot kuvvetinin çökme miktarı üzerindeki etkisi

Nokta kaynağındaki çökme oranı kaynak elektrot kuvveti ile beraber azaldığı gözlemlenmiştir. 1,5 kN elektrot kuvvetinde %43,5 çökme oranı tespit edilmiştir. Elektrot kuvveti 3,9 kN'a ulaştığında ise bu çökme oranı %39 olmuştur (Şekil 4.8).



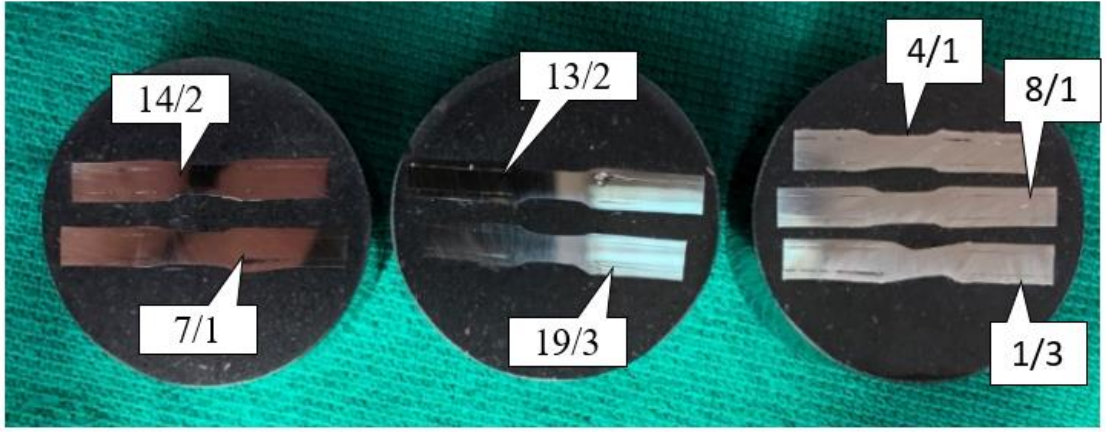
Şekil 4.9. Kaynak zamanının çökme miktarı üzerindeki etkisi

Nokta kaynağındaki çökme oranı kaynak kaynak zamanı ile beraber yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. 18 çevrim kaynak zamanında %34,3 çökme oranı tespit edilmiştir. Kaynak zamanı 36 çevrim'e ulaştığında bu çökme oranı %47 olmuştur (Şekil 4.9).

4.2. Kaynak Bölgesi Makro Yapı İncelemeleri

Bakalit hazırlanan numunelerin makro yapıları incelenmiştir. Aşağıda şekil 28'de incelenen örneklerin hangi numunelere ait olduğu gösterilmiştir (Ör: 14/2 14.parametre setinin 2. Numunesi gibi.)

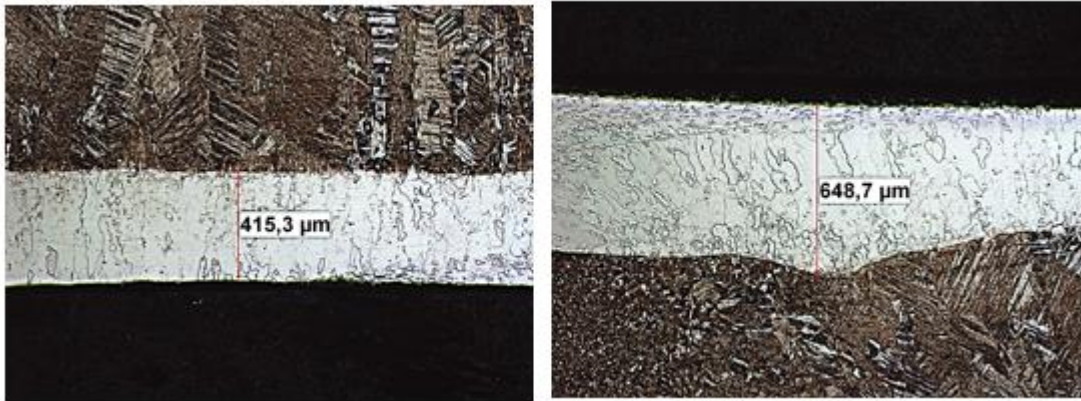
Makro yapı görüntülerinde kaynak merkezlerinde martenzit yapılar olarak görülmektedir. FEP05 çeliği ise ısı tesiri altında kalmadığı gözlemlenebiliyor. Bununla beraber DP600 çeliğinde ısı tesiri altında kalan bölgede mikroy apısal değişikliğin (martenzitik ve beynitik yapıların oluşması) olduğu belli olmaktadır. Bazı numunelerde parametre farkları itibari ile üst ve allta bulunan FEP05 çeliğinde daha fazla veya daha az erime olduğu gözlemlenebiliyor (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Makro yapısı incelenen numuneler



Şekil 4.11. 1/3 numunesi kaynak birleşim bölgesi

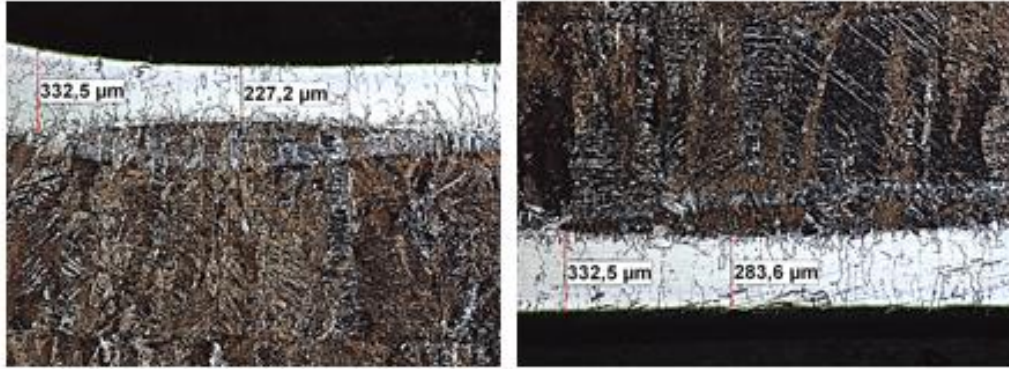


Şekil 4.12. 1/3 numunesi alınan ölçüm değerleri

Makro yapı incelendiğinde 1/3 (Şekil 4.11) numunesinde FEP05 çeliğinin kalınlığının 0,415 mm mm'ye kadar düştüğü gözlemlenmektedir.0,7 mm FEP05 çeliğinin EDNK sonrası en fazla kalınlığı ise 0,649 mm olmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.13. 7/1 numunesi kaynak birleşim bölgesi

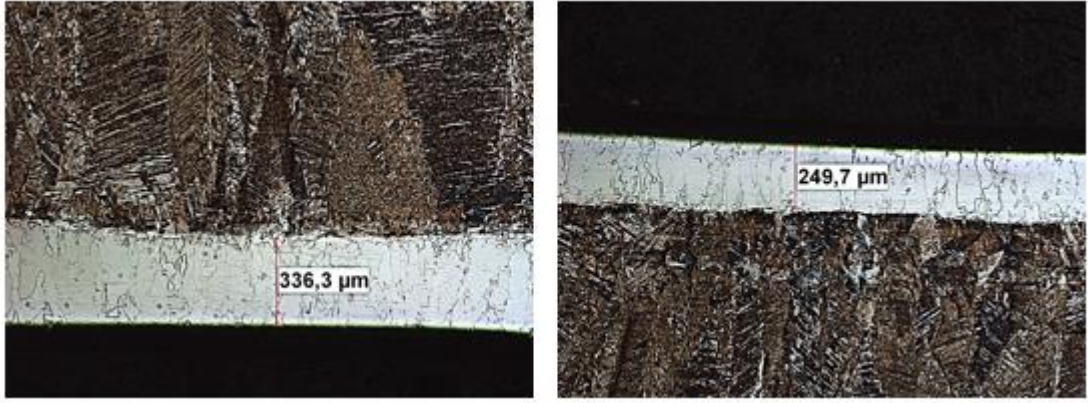


Şekil 4.14. 7/1 numunesi alınan ölçüm değerleri

7/1 numunesi (Şekil 4.13) incelendiğinde kaynak akımının artırılarak 10kA uygulanması kaynak bölgesini genişletmiştir. FEP05 sac kalınlığı 0,227 mm'ye kadar düşmüştür. En fazla ölçülen FEP05 kalınlığı ise 0,332 mm olmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.15. 8/1 numunesi kaynak birleşim bölgesi

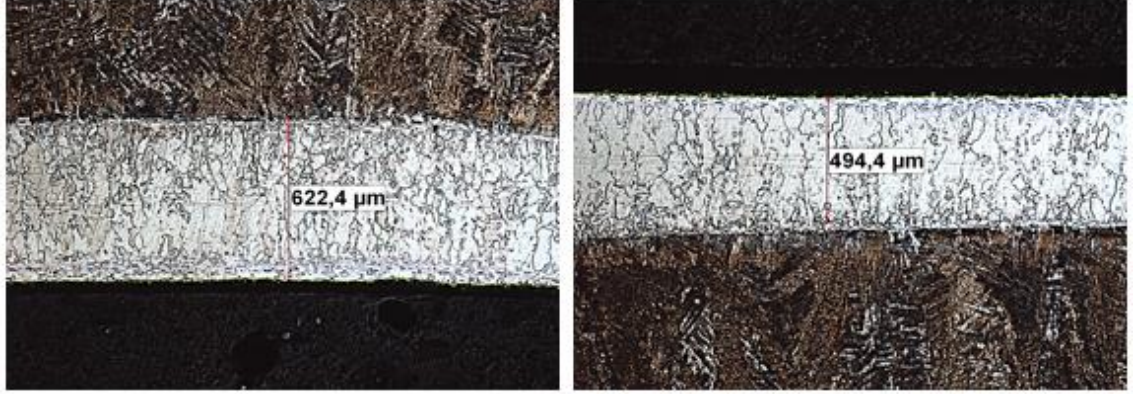


Şekil 4.16. 8/1 numunesi alınan ölçüm değerleri

8/1 numunesinde (Şekil 4.15) kaynak akımı 8,5 kA ve elektrot kuvveti ise 1,5kN uygulanmıştır. FEP05 sac kalınlığının en düşük değeri 0,249 mm'dir. En yüksek bölgesinde de kalınlık 0,336 mm ölçülmüştür (Şekil 4.16)



Şekil 4.17. 13/2 numunesi kaynak birleşim bölgesi

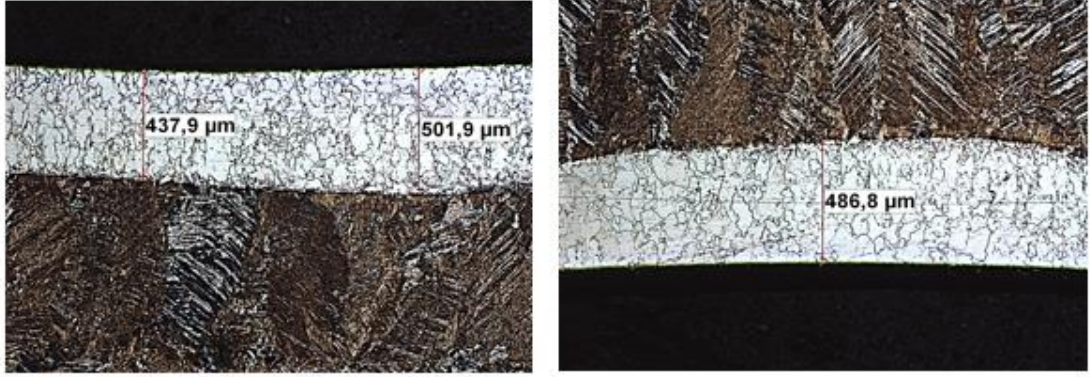


Şekil 4.18. 13/2 numunesi alınan ölçüm değerleri

13/2 numunesine (Şekil 4.17) ise 8,5 kA'lık kaynak akımı ile beraber 3,9 kN elektrot kuvveti uygulanmıştır. Elektrot kuvvetinin artması kaynak bölgesini daraltmıştır denilebilir. Sac kalınlıklarının en düşük değeri 0,494mm'dir. En yüksek değeri ise 0,622 mm'dir (Şekil 4.18).



Şekil 4.19. 14/2 numunesi kaynak birleşim bölgesi

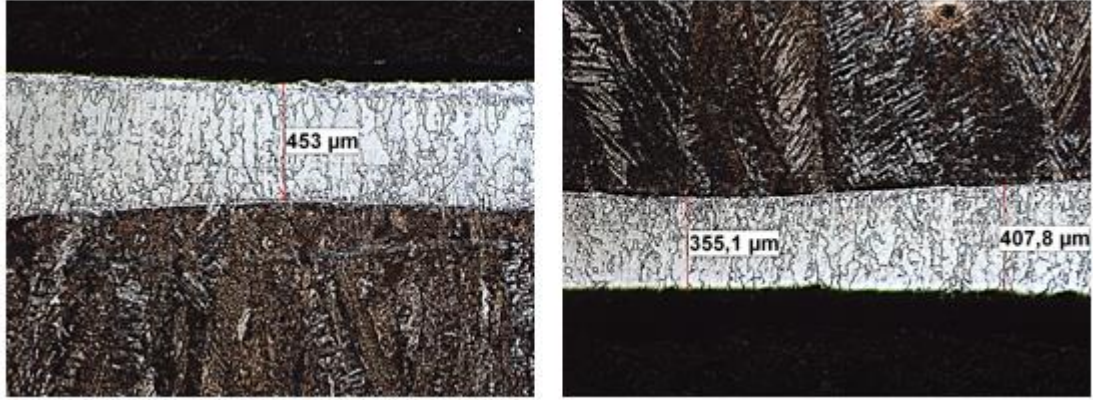


Şekil 4.20. 14/2 numunesi alınan ölçüm değerleri

14/2 numunesi (Şekil 4.19) kaynak zamanının diğer numunelere göre düşük tutulduğu numunedir. Uygulanan kaynak zamanı 18 çevrimdir. FEP05 çeliğinin kalınlığının 0,438 mm'ye kadar düştüğü gözlemlenmektedir. 0,7 mm FEP05 çeliğinin EDNK sonrası en fazla kalınlığı ise 0,487 mm olmuştur (Şekil 4.20).



Şekil 4.21 19/3 numunesi kaynak birleşim bölgesi

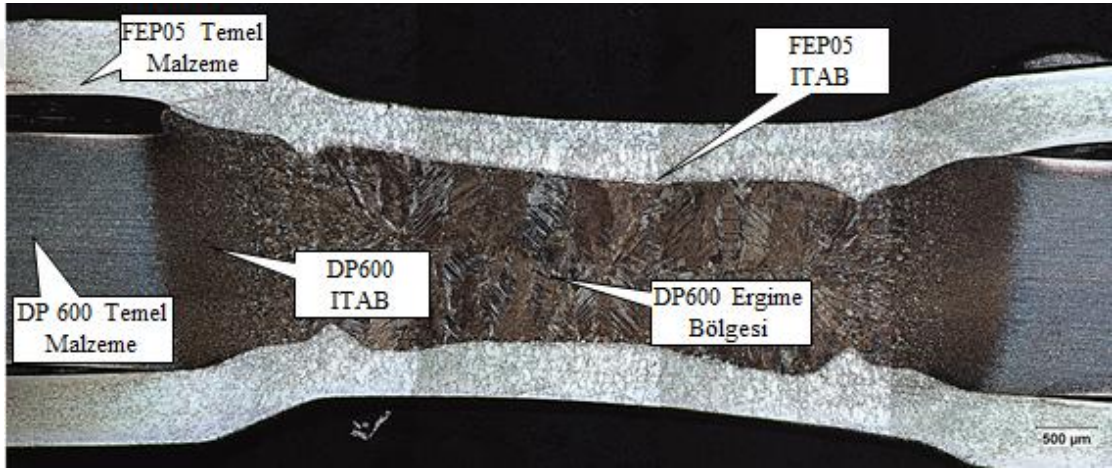


Şekil 4.22. 19/3 numunesi alınan ölçüm değerleri

19/3 numunesinde (Şekil 4.21) kaynak zamanı maksimum olarak 36 çevrim uygulanmıştır. Kaynak zamanının uzaması kaynak merkezini genişletmiştir. FEP05 çeliğine nüfuziyet artmıştır. FEP05 çeliğinin kalınlığının 0,355 mm'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. En fazla kalın olduğu bölgedeki kalınlık değeri ise 0,453mm'dir (Şekil 4.22).

4.2.1. Kaynak Bölgesi Sertlik Değerleri

İncelenen kaynak numunelerinden bölgesel sertlik değerleri alınmıştır. Bu sertlik değerleri DP600 temel malzeme, FEP05 temel malzeme, DP600 haz ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), FEP05 ITAB, DP600 ergime bölgesinden altışar adet olarak alınmıştır. Bu bölgeler Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Her bölgeye ait sertlik değerleri bu sertlik değerlerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Çizelge 4.4’de alınan sertlik ölçüm değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Sertlik ölçüm değerlerinin alındığı bölgeler

Çizelge 4.4. Ölçülen sertlik ölçüm değerlerinin (HV) ortalama ve standart sapması

	Numune No	DP600 Ergime Bölgesi	DP600 ITAB	FEP05 ITAB	DP600 Temel Malzeme	FEP05 Temel Malzeme
Ortalama	1-3	480,0	517,0	180,5	237,7	210,3
Standart Sapma		10,2	16,0	4,3	7,1	4,0
Ortalama	7-1	450,6	454,8	193,7	237,7	210,3
Standart Sapma		8,3	26,0	6,1	7,1	4,0
Ortalama	8-1	429,2	453,7	191,4	237,7	210,3
Standart Sapma		7,5	15,7	10,2	7,1	4,0
Ortalama	13-2	433,1	362,6	203,7	237,7	210,3
Standart Sapma		11,3	9,4	7,2	7,1	4,0
Ortalama	14-2	463,2	416,6	194,7	237,7	210,3
Standart Sapma		8,6	8,3	6,3	7,1	4,0
Ortalama	19-3	434,7	362,0	197,2	237,7	210,3
Standart Sapma		11,9	6,1	6,2	7,1	4,0

Çizelge 4.4'teki sertlik değerleri incelendiğinde kaynak akımının değişmesi ile sertliklerin değiştiği görülmektedir. DP600 sacının kimyasal kompozisyonu itibariyle martenzit (erime bölgesinde) ve martenzit-beynit (ITAB'da) mikroyapılarının oluşması kaynak bölgesindeki sertlik artışlarına sebep olmuştur. Erime bölgesi sertlik değerleri martenzit oluşumuyla temel malzemelere oranla önemli ölçüde artmıştır. Düşük kaynak akımı ve düşük kaynak zamanında erime bölgesindeki ve DP600 ITAB'daki sertlik değerleri daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu husus düşük ısı girdisine istinaden daha hızlı soğuma şartlarından kaynaklanmış olabilir. Diğer taraftan elektrot baskı kuvveti erime bölgesi sertlik değerleri üzerinde önemli bir etki göstermezken, yüksek elektrot baskı kuvveti DP600 ITAB bölgesindeki sertlik değerlerini düşürmüştür. Kaynak bölgesinde, DP600 sacında sertlik değerleri önemli ölçüde değişirken FEP05 sacındaki sertlik değişimleri çok düşük düzeyde kalmıştır. Genel itibariyle, FEP05 sacının ITAB bölgesinde sertlik değerleri az da olsa düşmüştür. Bu düşüş de bu bölgedeki faz değişiminden ziyade tane büyüklüğünün değişimi ilişkili olduğu düşünülmelidir.

4.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de kullanılan parametrelerdeki değişkenliklere göre elde edilen çekme yükü ve uzama verileri-verilmiştir.

Çizelge 4.5. Nokta kaynağındaki farklı kaynak zamanlarına göre uzama miktarı ve çekme yükü

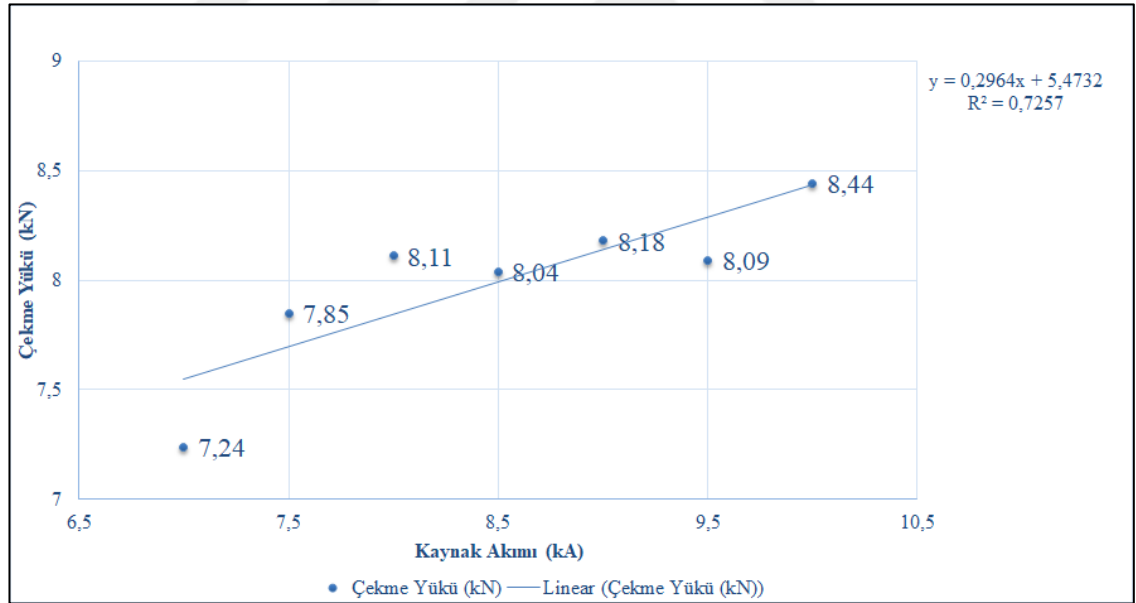
Kaynak zamanı (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Uzama (mm)
18	8,15	4,68
21	7,96	4,35
24	8,11	4,44
27	8,04	4,17
30	7,9	4,36
33	8,05	4,38
36	7,93	5,17

Çizelge 4.6. Nokta kaynağındaki farklı kaynak akımlarına göre uzama miktarı ve çekme yükü

Kaynak Akımı (kA)	Çekme yükü (kN)	Uzama (mm)
7	7,24	4,61
7,5	7,85	4,29
8	8,11	4,5
8,5	8,04	4,17
9	8,18	4,09
9,5	8,09	4,17
10	8,44	4,16

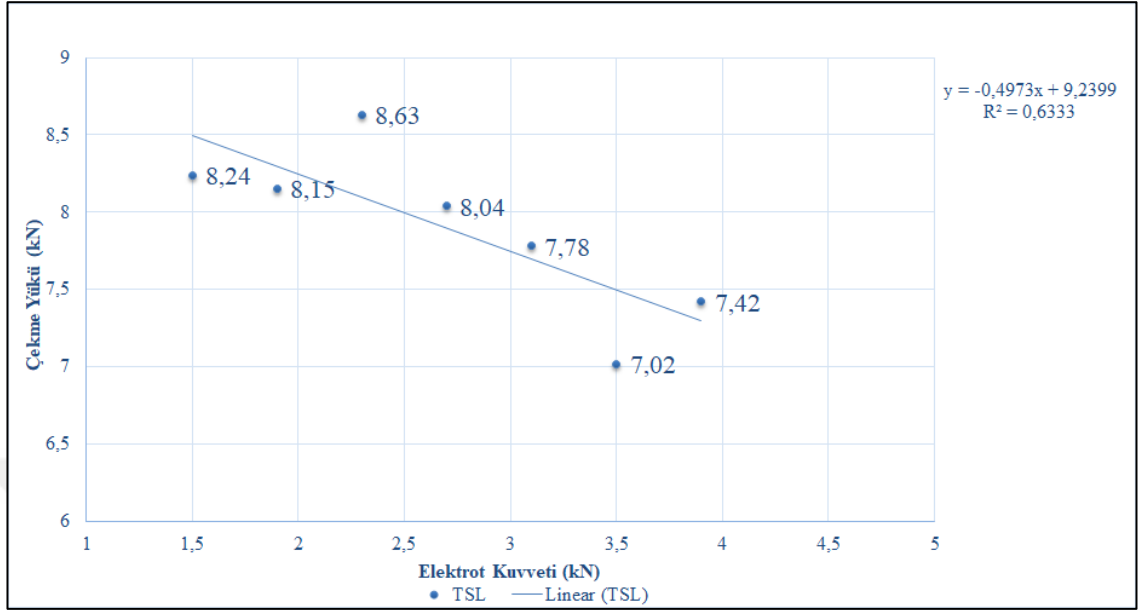
Çizelge 4.7. Nokta kaynağındaki farklı elektrot kuvvetlerine göre uzama miktarı ve çekme yükü

Elektrot kuvveti (kN)	Çekme yükü (kN)	Uzama (mm)
1.5	8.24	4.32
1.9	8.15	4.32
2.3	8.63	4.93
2.7	8.04	4.17
3.1	7.78	4.26
3.5	7.02	3.64
3.9	7.42	3.79



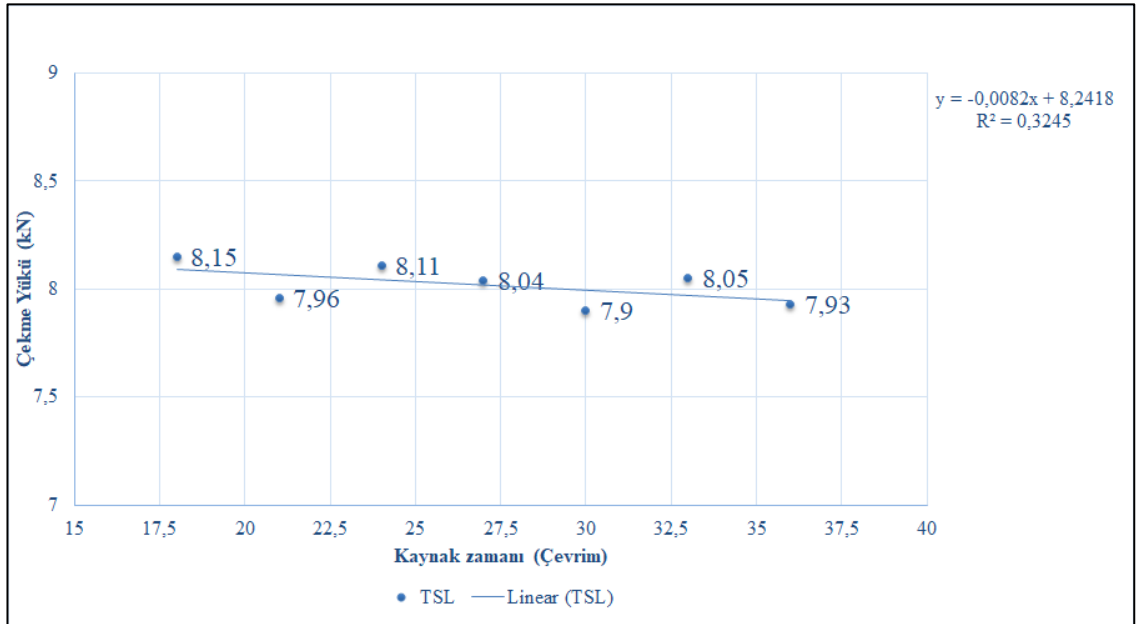
Şekil 4.24. Kaynak akımının çekme yükü üzerindeki etkisi

Nokta kaynağındaki çekme yükü kaynak akımı ile beraber yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. 7 kA kaynak akımında 7,24 kN'luk çekme yükü elde edilmiştir. Kaynak akımı 10 kA'e ulaştığında 8,44 kN'luk çekme yüküne ulaşılmıştır (Şekil 4.24).



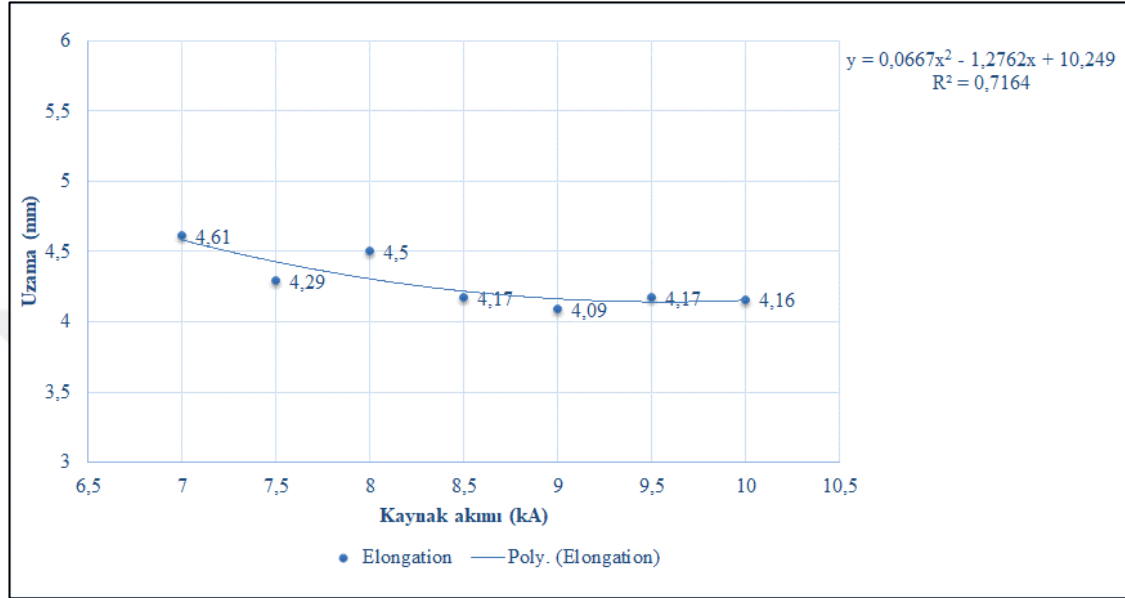
Şekil 4.25. Elektrot baskı kuvvetinin çekme yükü üzerindeki etkisi

Elektrot baskı kuvvetinin artması kaynak noktasında çekme yükünü azaltacak yönde etki etmiştir. Elektrot kuvveti 1,5 kN olduğunda çekme yükü 8,24 kN olarak ölçülmüştür. Elektrot kuvveti 3,5 kN olduğunda ise çekme yükü 7,02 kN ölçülmüştür (Şekil 4.25).



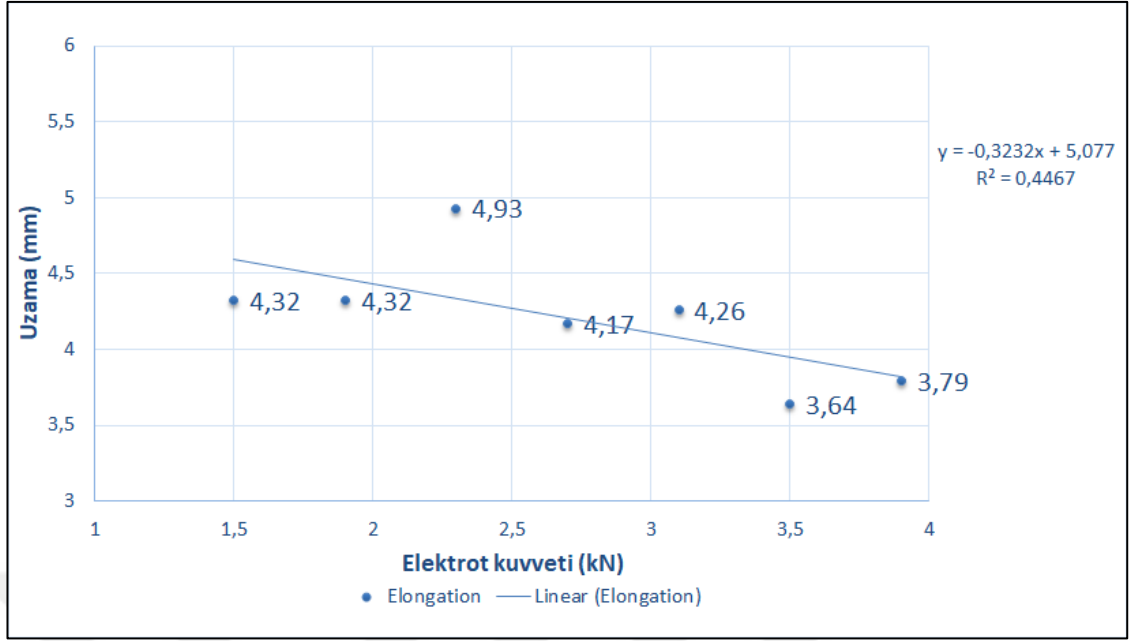
Şekil 4.26. Kaynak zamanının çekme yükü üzerindeki etkisi

Kaynak zamanının çekme yükü üzerinde Şekil 30'da da görüldüğü gibi az bir etkiye sahiptir. 18 çevrim kaynak zamanında 8,15 kN çekme yükü ölçülmüştür. 36 çevrim kaynak zamanında ise ölçülen çekme yükü 7,93 kN'dur (Şekil 4.26).



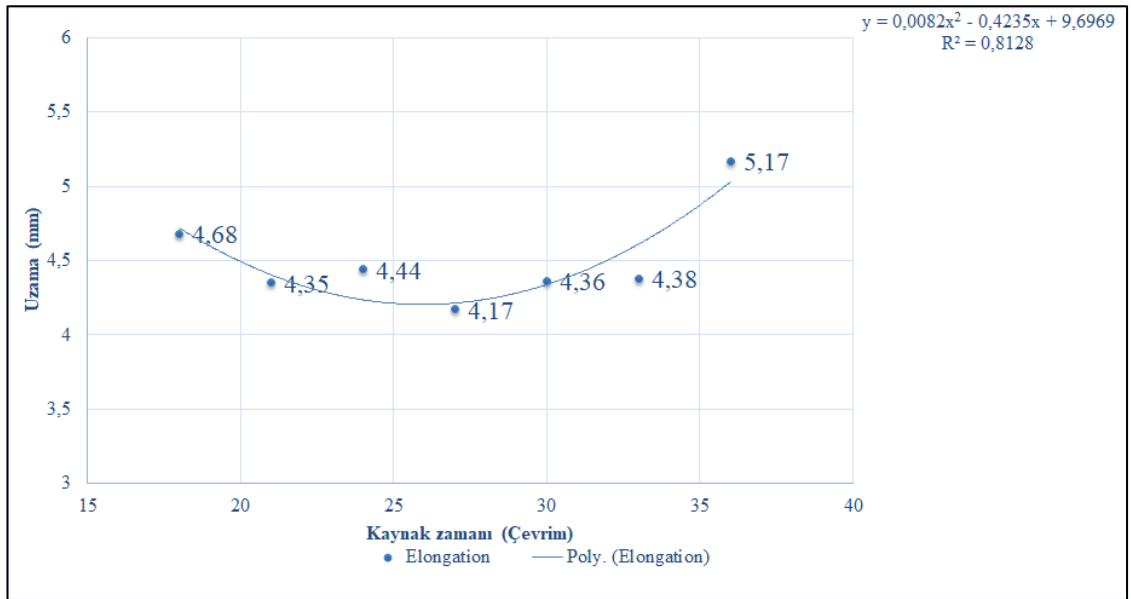
Şekil 4.27. Kaynak akımının uzama miktarı üzerindeki etkisi

Kaynak akımının artması uzama miktarını yaklaşık %10 azaltacak yönde etkisi olduğu görülmektedir. 7 kA'de 4,61 mm olan uzama miktarı, 10 kA elektrik akımı uygulandığında uzaman miktarı 4,16 mm'ye düşmüştür (Şekil 4.27).



Şekil 4.28. Elektrot kuvvetinin uzama miktarı üzerindeki etkisi

Elektrot kuvvetinin artması uzama miktarına negatif yönde etki ettiğini söyleyebiliriz. 1,5 kN kuvvet altında oluşan kaynakta uzama miktarı 4,32 mm iken 3,5kN kuvvet altında oluşan EDNK'daki uzama miktarı 3,64 mm'dir (Şekil 4.28).



Şekil 4.29. Kaynak zamanının uzama miktarı üzerindeki etkisi

Kaynak zamanının uzama üzerindeki etkisi ise net değildir. 18 çevrim kaynak zamanında uzama miktarı 4,68mm ölçülmüştür. 33 çevrimde 4,38 mm olan uzama değeri 36 çevrim kaynak zamanında ise uzama miktarı 5,17 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.29).



5.SONUÇ

Bu çalışmada farklı kalınlıktaki ve tipteki malzemelerin 1 adet 0,7 mm FEPO5 ve 2 adet 2mm FE600 DP saclar, farklı kaynak parametreleri kullanılarak elektrik direnç punta kaynağı ile kaynak edilmişlerdir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- EDNK çekirdek çapının boyutu kaynak akımının artması ile büyümüşür. 9kA'de 6,4mm çap büyüklüğüne ulaşmış, daha yüksek kaynak akımı değerlerinde ise çekirdek çapı küçülmeye başlamıştır.
- EDNK çekme yükü kaynak akımı ile beraber yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde artmıştır.
- Kaynak akımının artması uzama miktarını %10 azaltacak yönde etki etmiştir.
- Makro yapılar incelendiğinde kaynak akımının artması DP600 çeliğinin daha fazla erimesine neden olmuş ve nüfuziyet oranını arttırmıştır.
- Düşük kaynak akımında DP600 ITAB'nde ve ergime bölgesinde sertliğin düşük olduğu ölçülmüştür. FEPO5 ITAB'nde ise sertlik değerleri az miktarda düşmüştür.
- Elektrot baskı kuvvetinin artması ile çekirdek çapı artmıştır. 2,7 kN'luk elektrot kuvvetinde 6,3 mm çap değeri ölçülmüştür. Elektrot baskı kuvvetinin daha fazla arttığında çekirdek çapının küçüldüğü ölçülmüştür.
- Elektrot baskı kuvvetinin artması, kaynak noktasındaki çekme yükünü azaltacak şekilde etki etmiştir.
- Çökme miktarı, elektrot kuvvetinin düşmesi ile parabolik olarak azalmaktadır. 1,5 kN ve 1,9 kN 'da yapılan kaynaklar otomotiv endüstrisinin gereksinimlerini karşılamamaktadır.
- Elektrot kuvveti ile uzama miktarı arasında belirgin bir korelasyon tespit edilmemiş. Elektrot kuvveti arttıkça uzama miktarı azalma eğilimindedir.
- Makro yapılar incelendiğinde, elektrot baskı kuvvetinin artması kaynak bölgesini daraltmıştır, nüfuziyeti azaltmıştır.
- Elektrot baskı kuvveti erime bölgesinde sertlik değerlerinde bariz bir değişim göstermemiştir. Yüksek elektrot baskı kuvveti DP600 ITAB'nde sertlik değerlerini düşürmüştür.

- Çekirdek çapı, 27 çevrime kadar yükseldi ve ardından 27 çevrimin üzerinde küçüldü. Çekirdek çapı değeri 27 çevrimde maksimum değere ulaştı.
- Kaynak süresi çekme kayma yükünü önemli ölçüde etkilememiştir ve kaynak süresinin artmasıyla birlikte ihmal edilebilir bir azalma gözlenmiştir.
- Çökme miktarı, kaynak süresi arttıkça neredeyse doğrusal olarak artmıştır. 33 çevrimin üzerinde kaynak yapılmış üçlü bağlantılar otomotiv endüstrisinin gereksinimlerini karşılamamaktadır.
- Uzama miktarında 27 çevrime kadar bir azalma eğilimi gözlemlendi. 27 çevrim üzerinde, uzamada önemli bir artış tespit edildi.
- Kaynak zamanının sertlik üzerinde bariz bir etkisi gözlemlenmemiştir.
- Kaynak zamanının düşük tutulması FE DE600 ergime bölgesinde sertliğin daha yüksek oluşmasına neden olmuştur. Kaynak zamanının artırılması aynı bölgede sertliği yaklaşık %30 düşürmüştür.

KAYNAKLAR

- Anonim 2013.** Eurocar Body, 15th Global Car Body Benchmarking Conference, Car body benchmarking data summary.
- Anonim 2014.** World Auto Steel Organization, “Advanced High-Strength Steels Application Guidelines 5.0”, <https://www.worldautosteel.org/downloads/advanced-high-strength-steels-application-guidelines-v5/>.(Erişim tarihi: 20.05.2014).
- Anonim. 2004.** (Dual Phase) Applications The U.S. Steel Automotive Group, Dual-Ten®. <http://ussautomotive.com/auto/pubs/brochures/dualten.htm> (Erişim tarihi: 12.06.2004).
- Aydın, M., Gülenç, B., 2003.** Elektro ve Sıcak Daldırma Metodlarıyla Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Paslanmaz Çeliğe Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliği, Ankara, *G.Ü.-Fen Bil. Derg.* 16(1), 179-187.
- BÉAL, C. 2009.** Mechanical Behaviour of a New Automotive High Manganese TWIP Steel in the Presence of Liquid Zinc. Cette thèse est accessible à l'adresse : <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2011ISAL0029/these.pdf>.
- Choi, H. S., Park, G. H., Lim, W. S. and Kim, B. M. 2011.** Evaluation of weldability for resistance spot welded single-lap joint between GA780DP and hot-stamped 22MnB5 steel sheets, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25 (6): 1543–1550.
- D. Özyürek, 2008.** “An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel,” *Materials and Design*, vol. 29, pp. 597–603, 2008
- D.Q. Sun, B. Lang, D.X. Sun and J.B. Li, 2007.** Microstructures and mechanical properties of resistance spot welded magnesium alloy joints, *Materials Science and Engineering A*, vol. 460–461, pp. 494–498.
- D. Gmbh and A. Ag, Process Development for Multi-Disciplinary Spot Weld.**
- Doruk, E., Pakdil, M., Çam, G., Durgun, İ., Kumru, U. C., 2016.** Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları, *Mühendis ve Makina*, cilt 57, sayı 673, s. 48-53.
- German Iron and Steel Institute. 1993.** Steel - A Handbook for Materials Research and Engineering Vol.1: Fundamentals Springer-Verlag, Berlin.
- Hayat, F. ve Sevim, İ. 2012.** The effect of welding parameters on fracture toughness of resistance spot-welded galvanized DP600 automotive steel sheets, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (9-12): 1043–1050.
- H. Aydın, 2006.** Çelik sacların çift fazlı ısıl işlem sonrası mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişimi.
- H. T. Sun, X. M. Lai, Y. S. Zhang, and J. Shen. 2008.** Effect of variable electrode force on weld quality in resistance spot welding, *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 12, no. 8, pp. 718–724.

- H. Eisazadeh, M. Hamed, and A. Halvae.** 2010. New parametric study of nugget size in resistance spot welding process using finite element method, *Mater. Des.*, vol. 31, no. 1, pp. 149–157.
- J. Chen, X. Yuan, Z. Hu, C. Sun, Y. Zhang and Y. Zhang,** 2016. Microstructure and mechanical properties of resistance-spotwelded joints for A5052 aluminum alloy and DP 600 steel, *Materials Characterization*, vol. 120, pp. 45–52.
- Khan, M. I., Kuntz, M. L., Biro E. and Zhou, Y.**2008. Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded advanced high strength steels. *Materials Transactions*, 49 (7): 1629-1637.
- Koh, H. J., Lee, S. K., Park, S. H., Choi, S. J., Kwon, S. J. and Kim, N. J.,** 1998. Effect of Hot Rolling Conditions on the Microstructure and 56 Mechanical Properties of Fe-C-Mn-Si Multiphase Steels, *Scripta Materialia*, Vol. 38, No.5, pp. 763-768.
- Marashi, S. P. H., Pouranvari, M., Salehi, M., Abedi, A. and Kaviani, S.** 2010. Overload failure behaviour of dissimilar thickness resistance spot welds during tensile shear test, *Materials Science and Technology*, 26 (10): 1220–1225.
- M.Kanlı,** 2013. Punta kaynağı, *Tofas Akademi Punta kaynak eğitimi*
- M. Pouranvari, H. R. Asgari, S. M. Mosavizadch, P. H. Marashi and M. Goodarzi** 2007, Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12, no. 3, pp. 217–225.
- M. Eshraghi, M. A. Tschopp, M. Asle, and S. D. Felicelli,** 2014. *Effect of resistance spot welding parameters on weld pool properties in a DP600 dual-phase steel : A parametric study using thermomechanically-coupled finite element analysis*, J. Mater., vol. 56, pp. 387–397.
- M. Tamizi, M. Pouranvari, and M. Movahedi.** 2017. Welding metallurgy of martensitic advanced high strength steels during resistance spot welding, *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 22, no. 4, pp. 327–335.
- M. Tutar, H. Aydin and A. Bayram.**2018. Elektrik direnç punta kaynağı ile kaynak edilmiş TWIP çeliklerinde kaynak parametrelerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 24, no. 4, pp. 650–657.
- Murat Erik,** 2010. Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
- N. Akkaş,** 2017. Welding Time Effect on Tensile-Shear Loading in Resistance Spot Welding of SPA-H Weathering Steel Sheets Used in Railway Vehicles. *Acta Phys. Pol. A*, vol. 131, no. 1, pp. 52–54.
- N. N. Wang, R. F. Qiu, W. J. Peng, and H. X. Shi.**2014. Resistance Spot Welding between Mild Steel and Stainless Steel, *Appl. Mech. Mater.*, vol. 675–677, pp. 23–26.
- O. Bouaziz, H. Zurob, and M. Huang.** 2013. Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications. *Steel Res. Int.*, vol. 84, no. 10, pp. 937–947.

Pouranvari, M. and Marashi, S. P. H. 2013. Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties, *Science and Technology of Welding and Joining*, 18 (5): 361-403.

S. Aslanlar, A. Ogur, U. Ozsarac and E. Ilhan, 2008. Welding time effect on Mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding, *Materials and Design*, vol. 29, pp. 1427–1431

Speich, G.R., 1981. *Physical Metalurgy of Dual Phase Steels, Fundamentals of Dual Phase Steels*, Ed. By Kot R.A., p 3-45, AIME

S. Donders, M. Brughmans, L. Hermans, N. Tzannetakis, D. Gmbh, and A. Ag, 2005. The Effect of Spot Weld Failure on Dynamic Vehicle Performance, *LMS Int. Interleuvenlaan 68, no. April*, pp. 1–13.

Thyssen Krupp Steel, 2002. New Steels For The Technologies Of The Future, Thyssen Krupp Steel, Ag

Y. Kaya and N. Kahraman, 2011. Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin çekirdek oluşumuna etkisi. *Journal of Polytechnic*, vol. 14, no. 4, pp. 263–270.

Zhang, X. Q., Chen, G. L. and Zhang, Y. S. 2008. Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels, *Materials and Design*, 29: 279-283.

Zeytin, H.Z., 2003. Demir Çelik Malzemelerin Mikroyapısı, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Arastırma enstitüsü Kurs Notları, Gebze, 12-14 Mart.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Levent SELOVA
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa-1986
Yabancı Dili : İngilizce, İtalyanca
Eğitim Durumu (Kurum Yıl)
Lise : Çelebi Mehmet Lisesi, 2004
Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2009
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : TOFAŞ (2011-....)
FİGES (2009-2010),
İletişim (e-posta) : leventselova@hotmail.com