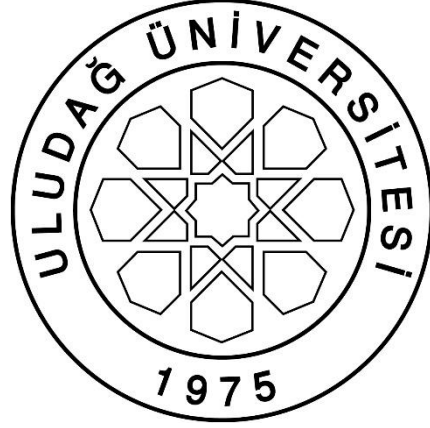




**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI UYGULANAN FARKLI
ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

SEDAT ARAS



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI UYGULANAN FARKLI ÇELİKLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Sedat ARAS

Doç. Dr. Rukiye ERTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


BURSA - 2016


TEZ ONAYI

Sedat ARAS tarafından hazırlanan "Nokta Direnç Kaynağı Uygulanan Farklı Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

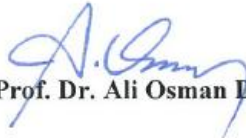
Danışman : Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Başkan:  Doç. Dr. Rukiye Ertan
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fak. Otomotiv Müh. Anabilim Dalı

Üye:  Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız
Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri Mimarlık ve Müh.
Fakültesi Makine Müh. Anabilim Dalı

Üye:  Yrd. Doç. Dr. Hande Güler
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fak. Otomotiv Müh.
Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

20.08.2016
.../.../....(Tarih)

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.**

.././2016

Sedat ARAS

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI UYGULANAN FARKLI ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sedat ARAS

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Bu çalışmada üç farklı yüksek dayanımlı çelik malzemeye farklı akım değerleri altında direnç nokta kaynağı uygulanmıştır. Tez kapsamında birbirlerinden farklı özellikteki Usibor 1500, Ductibor 500 ve DP800 malzeme grupları incelenmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kaynak edilen numunelerden birer adedi uygun büyüklükte kaynak bölgelerinden bakalite alınıp uygun yüzey parlatma işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra Vickers sertlik ölçümleri yapılmış bunun sonucunda kaynak bölgesi ve çevresindeki sertlik değişimleri görülmeye çalışılmıştır. Numuneler uygulanan akım değerlerine göre gruplandırılmıştır ve çekme testleriyle dayanımları ölçülmeye çalışılmıştır. Başlıca üç malzeme grubu kendi aralarında ve birbirleri arasında kaynak işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmada kullanılan farklı çeliklerin nokta direnç kaynak edilebilirliği, farklı metallerin birbirleri ile kaynak edilebilirlikleri, farklı kaynak akım değerleri altında gösterdikleri mekanik değişimler incelenmeye çalışılmıştır. Mekanik özelliklerdeki değişimler bu çalışmada sertlik ölçümleriyle ve çekme deneyleriyle gösterilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bakalite alma, DP800, Ductibor 500, Nokta direnç kaynağı, Usibor 1500, Vickers sertlik ölçümleri, Yüzey parlatma işlemleri

2016, x + 107 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT STEELS THAT APPLIED SPOT RESISTANCE WELDING

Sedat ARAS

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Rukiye ERTAN

In this study, spot resistance welding was applied to three different high-strength steel materials with different current values. Usibor 1500, Ductibor 500 and DP800 material groups that have different material species, was investigated in this thesis.

The aim of this thesis is investigation of mechanical property of spot resistance-welded samples. Suitable surface polishing was performed to one set of welded samples in the mounting unit. After surface polishing applied, Vickers hardness measurement was done and hardness change was observed in the welded and surrounding area of materials. Samples were classified according to current value and material strength was measured with tensile strength test. Three material groups (Usibor 1500, Ductibor 500 and DP800) were welded each other and in addition to this, welding process was also applied each material groups separately.

In this study, applicability of spot resistant welding to steels, possibility of welding three materials groups each other and also practically of welding of these materials separately issues were discussed. Beside this, change of material properties of steels with different current values was also discussed with this thesis. In this study, change of mechanical property of materials was investigated with the measurement of hardness and tensile strength of materials.

Key Words: Bakelite process, DP800, Ductibor 500, Spot resistance welding, Surface polishing process, Usibor 1500, Vickers hardness measurement

2016, x + 107 pages

TEŞEKKÜR

Bana bu tez konusunda çalışma olanağı verip, her zaman ve her konuda destek olan, bilgi ve deneyimi ile çalışmalarımı yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Rukiye ERTAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım sırasında benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Hande GÜLER 'e gösterdiği yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Numune temini ve kesimi esnasında bana yardımcı olan; BEYÇELİK GESTAMP firmasından Serdar DUMAN'a ve tez çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Cem YENİDÜNYA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Nokta direnç kaynağı yapımı esnasında yardımcı olan; GÜNGÖR OTOMOBİL A.Ş firmasından babam Ergün ARAS'a ve Özkan AKTAŞ'a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan kuzenim Vedat ARAS'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Merve GÜNDOĞDU'ya teşekkürlerimi sunarım

Tez esnasında karşılaştığım tüm sıkıntı ve problemleri aşmamda yardımcı olan ve bana büyük sabır gösteren sevgili annem Sultan ARAS, sevgili babam Ergün ARAS'a en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında en büyük destek ve motivasyon kaynağım olan hayat arkadaşım ve nişanlım Elif KEYİF'e en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Sedat ARAS

.././2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Elektrik Direnç Kaynağı	3
2.1.1. Elektrik direnç kaynağının prensip ve özellikleri	6
2.1.2. Elektrik direnç kaynağı çeşitleri.....	7
2.1.2.1. Dikiş kaynağı yöntemi	9
2.1.2.2. Kabartı kaynağı yöntemi	11
2.1.2.3. Nokta (Punta) direnç kaynağı yöntemi	12
2.1.2.3.1. Nokta direnç kaynağı oluşumu.....	15
2.1.2.3.2. Nokta direnç kaynağı kabiliyeti	16
2.1.2.3.3. Kaynak sırasında sıcaklık dağılımı	18
2.1.2.3.4. Kaynak çevrimi	20
2.1.2.3.5. Kaynak parametrelerinin etkisi	22
2.1.2.3.6. Nokta direnç kaynağında kullanılan elektrotların özellikleri.....	28
2.1.2.3.7. Kaynak çekirdeği	28
2.1.2.3.8. Isıl denge	29
2.1.2.3.9. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB).....	30
2.1.2.3.10. Isı kaybı.....	31
2.1.2.3.11. Nokta kaynak makinelerinin sınıflandırılması	33
2.1.2.3.12. Kaynak hataları ve nedenleri.....	33
2.2. Çelikler.....	41
2.2.1. Dual fazlı çelikler.....	42

2.2.1.1. Dual fazlı çelik üretimi ve ısıl işlemleri	46
2.2.1.2. Dual fazlı çeliklerde mekanik özellikler	50
2.2.1.3. Dual fazlı çeliklerin avantajları	57
2.2.1.4. Dual fazlı çeliklerin eksiklikleri	58
2.2.1.5. Dual fazlı çeliklerin uygulama alanları	58
2.2.1.6. Dual fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağı	62
2.2.2. Ultra yüksek dayanımlı çelikler	64
2.2.2.1. Ultra yüksek dayanımlı çeliklerin karayolu taşıtlarında uygulamaları	66
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	70
3.1. Materyal	70
3.1.1. Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) ve Ductibor 500 çelik malzeme	70
3.1.2. Dual fazlı (DP800) çelik malzeme	71
3.2. Yöntem	71
3.2.1. Numune hazırlama işlemleri	71
3.2.2. Direnç nokta kaynağı	73
3.2.3. Vickers sertlik ölçümleri	74
3.2.4. Kaplama kalınlığı ölçümleri	77
3.2.5. Çekme deneyleri.....	77
4. BULGULAR	79
4.1. Vickers Sertlik Ölçümleri	79
4.2. Kaplama kalınlığı ölçümleri.....	91
4.2.1. Usibor 1500 Kaplama Kalınlığı Ölçümleri	91
4.2.2. Ductibor 500 Kaplama Kalınlığı Ölçümleri.....	92
4.3. Çekme Deneyleri.....	93
5.SONUÇ	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Ac ₁	Östenit dönüşümünün başlangıç sıcaklığı
Ac ₃	Tamamen östenite dönüşümün başladığı sıcaklığı
B	Beynit
C	Martenzitin akma mukavemetinin ferrit akma mukavemetine oranı
F	Elektrot kuvveti
Fe	Demir
HV	Vickers sertliği
I _k	Kaynak akımı
J	Joule
Q	Isı
K _t	Isı iletme katsayısı
M	Martenzit
P	Perlit
R	Ohmik direnç
S	Kaynak kabiliyeti
S _{y 0,M}	Martenzitin akma mukavemeti
T _{em}	Metalin ergime sıcaklığı
t _k	Kaynak süresi
α _t	Isı iletkenliği
α	Ferrit
γ	Ostenit

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Havada soğuma
ASHH	İleri yüksek mukavemetli çelikler
ASTM	American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
AVC	Advanced Vehicle Concept (Geliştirilmiş Araç Konsepti)
CP	Kompleks fazlı çelikler
DP	Çift Fazlı
FC	Fırında soğutma
HSLA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler
HSS	Yüksek dayanımlı çelikler
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
LSS	Düşük dayanımlı çelikler
Mart	Martenzitik çelikler
MHO	Martenzit hacim oranı
UHSS	Ultra yüksek dayanımlı çelikler
ULSAB	Çok Hafif Çelik Araç Gövdesi
YMDA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Elektrik direnç kaynağıyla kaynatılmış malzemeler.....	4
Şekil 2. 2 Direnç kaynağı aşamaları	4
Şekil 2. 3 Nokta kaynak donanımı gösterimi	6
Şekil 2. 4 Direnç kaynağı uygulama çeşitleri	9
Şekil 2. 5 Dikiş kaynağı uygulamaları.....	10
Şekil 2. 6 Kabartılı kaynak şematik resmi; a) tekli kabartılı kaynak, b) çoklu kabartılı kaynak	12
Şekil 2. 7 Nokta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi	12
Şekil 2. 8 Nokta direnç kaynağının prensibi	13
Şekil 2. 9 Nokta direnç kaynağının boyutları	15
Şekil 2. 10 Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi	16
Şekil 2. 11 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı	18
Şekil 2. 12 Nokta direnç kaynağının çevrimi.....	21
Şekil 2. 13 Uygulanabilir akım aralığı şeması	23
Şekil 2. 14 Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek yapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri	23
Şekil 2. 15 Kaynak kabiliyeti diyagramı.....	24
Şekil 2. 16 Kaynak süresini çekirdek oluşumuna etkisi a) kısa kaynak zamanı b)orta kaynak zamanı c) uzun kaynak zamanı.....	24
Şekil 2. 17 TS EN 2582 göre nokta kaynağı elektrot başlıkları.....	25
Şekil 2. 18 Standart elektrot uç şekilleri	26
Şekil 2. 19 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı	28
Şekil 2. 20 Nokta direnç kaynağı ile oluşan kaynak çekirdeği	29
Şekil 2. 21 Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş yapının sıcaklık dağılımı metalürjik yapısı	31
Şekil 2. 22 Artan mekanik özelliklere bağlı olarak çeliklerin gelişimi 3. Nesil ASHH (ASHH: İleri yüksek mukavemetli çelikler)	43
Şekil 2. 23 Dual fazlı yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) ve az karbonlu çeliklere ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	44
Şekil 2. 24 Dual fazlı yapıda martenzit ve ferrit görünüşü	44
Şekil 2. 25 Otomotiv parçaları olarak çeliklerin kullanımları (Dual phase: Dual fazlı çelik, BH: Fırında sertleştirilen çelikler, Mart: Martenzitik çelikler, HSLA: Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler)	45
Şekil 2. 26 Kalite/çelik kullanım dağılımı	46
Şekil 2. 27 Fe-C denge diyagramı.....	47
Şekil 2. 28 Dual faz mikro yapısının elde edilmesinin şematik gösterimi	48
Şekil 2. 29 Dual-faz ısıtma işlemleri için sıcaklık aralıkları.....	49

Şekil 2. 30 Dual faz ve klasik yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik (YMDA) gerilme uzama ilişkisi.....	50
Şekil 2. 31 %1.5 Mn çeliğinde ferrit-martensit oranına göre akma ve çekme mukavemetleri.....	52
Şekil 2. 32 AC: havada soğuma, FC: Fırında soğutma, (a) kalıntı östenit (gr) miktarındaki değişim, P:perlit, M:Martenzit (b) Akma (SY) ve çekme (ST) mukavemetlerindeki değişimi (c) Toplam birim şekil değişiminde (Et) ve homojen birim şekil değişiminde (Eu) ve Luders üzerinde olan değişim.	54
Şekil 2. 33 1 saat süreyle 200 C’de temperlemenin, farklı oranlarda martensite sahip %15 Mn içeren %0,06 ve %0,06 ve %0,20 C çeliklerinin gerilme-birim değişimine etkisi.....	57
Şekil 2. 34 Soğuk haddelenmiş, sade karbonlu ve çift fazlı çeliğe ait mukavemet-yüzde uzama grafikleri.....	60
Şekil 2. 35 Preste sertleştirme sonra dayanım artışının şematik gösterimi.....	66
Şekil 2. 36 Isıl işlem öncesi (a) ve sonrası (b) mikroyapı görüntüleri (22MnB5).....	66
Şekil 2. 37 Otomobillerde kullanılan çok yüksek dayanımlı parçalar.....	67
Şekil 2. 38 Araç gövdesindeki UHSS’lerin kullanımındaki artışlar.....	68
Şekil 2. 39 Usibor 1500P çeliğinin araç gövdesindeki kullanım yerleri.....	69
Şekil 3. 1 Streurs marka abrasif kesme cihazı.....	72
Şekil 3. 2 Metkon Ecopress-100 marka bakalite alma cihazı.....	72
Şekil 3. 3 Metkon-Forcimat marka otomatik parlatma cihazı.....	73
Şekil 3. 4 Vickers sertlik deneyinde kullanılan ucun şematik gösterimi.....	74
Şekil 3. 5 Malzeme yüzeyinde oluşturulan Vickers izleri.....	75
Şekil 3. 6 Duroline-Metkon marka sertlik ölçüm cihazı.....	75
Şekil 3. 7 Sertlik ölçümleri için bakalite alınmış numuneler.....	76
Şekil 3. 8 Bakalite alınmış numunelerin ölçüm noktalarının temsili gösterimi.....	76
Şekil 3. 9 Bakalite alınmış numunelerin kaynak çekirdeği ve ITAB bölgeleri gösterimi.....	76
Şekil 3. 10 MiniTest 2100 Elektro Physik marka kaplama kalınlığı ölçüm cihazı.....	77
Şekil 3. 11 Utest marka 25 tonluk universal çekme cihazı.....	78
Şekil 3. 12 Deney numunelerinin ölçümleri.....	78
Şekil 4. 1 (a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	81
Şekil 4. 2 (a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	84
Şekil 4. 3 (a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	87
Şekil 4. 4 DP800 – USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	88

Şekil 4. 5 DUCTIBOR 500 - DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	89
Şekil 4. 6 USIBOR 1500 – DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri.....	90
Şekil 4. 7 Çekme Deneyi Yapılmış Numune Örnekleri.....	93
Şekil 4. 8 (a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri	94
Şekil 4. 9 (a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	96
Şekil 4. 10 (a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	98
Şekil 4. 11 DP800 – DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	99
Şekil 4. 12 DUCTIBOR 500 – USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri...	99
Şekil 4. 13 USIBOR 1500 – DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları.....	20
Çizelge 2. 2 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları	26
Çizelge 2. 3 Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları	27
Çizelge 2. 4 Üretim yöntemine göre ticari dual fazlı çelik kimyasal bileşimler.....	47
Çizelge 2. 5 Çift Fazlı Çeliklerin Uygulama Alanları	62
Çizelge 3. 1 Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) malzemenin kimyasal analizi (%kütle).....	70
Çizelge 3. 2 Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) malzemenin mekanik özellikleri	70
Çizelge 3. 3 Ductibor 500 malzemenin mekanik özellikleri	71
Çizelge 3. 4 DP800 malzemenin kimyasal bileşimi (% kütle)	71
Çizelge 3. 5 DP800 malzemenin mekanik özellikleri.....	71
Çizelge 3. 6 Punta kaynak makinesi özellikleri	73
Çizelge 4. 1 Usibor 1500 kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.....	91
Çizelge 4. 2 Ductibor 500 kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.....	92
Çizelge 5. 1 Çekme deneyleri özet tablo	102

1. GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında temel olarak nokta direnç kaynağı yapılan üç farklı metalin mekanik özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında nokta direnç kaynağı yöntemi seçilmiştir. Bunun nedeni geniş uygulama alanına sahip olan bu yöntemin otomotiv sanayisinde de oldukça geniş kullanım alanına sahip olmasındandır.

Otomotiv üreticileri araçlar üzerinde güvenlik, emisyon, yakıt tüketimi performanslarını iyileştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu iyileştirmeler araç yapılarının birçok gereksinimini artırmaktadır. Araç yapılarının gereksinimlerini karşılamak amacı ile yüksek mukavemetli çelikler (AHSS), çift fazlı çelikler (DP), TRIP çelikleri (Transformed Indused Plasticity), kompleks fazlı çelikler (CP), ve martenzitik (MS) çelikler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada çift fazlı çelik olan DP800 malzemesi, sıcak şekillendirilebilir ultra yüksek dayanımlı çelikler olan Usibor 1500 ve Ductibor 500 malzemeleri kullanılmıştır. Bu üç malzeme grubu da geliştirilmekte olan ve otomotiv endüstrisi başta olmak üzere birçok sektörde dayanım ve hafiflik gerektiren alanlarda kullanımı yaygınlaşan çeliklerdir. Bu çelik malzemelerin nokta direnç kabiliyetleri bu çalışmada incelenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada tercih edilen nokta direnç kaynağı işlemi özellikle otomobil yapılarında olmak üzere sanayide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çelik sacların birbirlerine birleştirilmesinde basitliği ve ucuzluğu ile tercih edilen bir yöntemdir. Nokta direnç kaynağı yöntemi ucuz ve etkin bir birleştirme yöntemidir. Bir otomotiv gövdesinde 3000 - 5000 arasında nokta direnç kaynağı mevcuttur. Bundan dolayı nokta direnç kaynağı otomotiv endüstrisi için büyük öneme sahiptir.

Çalışmada nokta direnç kaynağı yapılan üç malzeme grubu uygun şartlar altında hazırlanmış Vickers sertlik değerleri ölçülüp yorumlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca kaynak edilen numunelere çekme deneyleri yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında ulaşılmak istenen amaç gelişen ve geliştirilmeye devam edilen yüksek dayanımlı DP800, Usibor 1500 ve Ductibor 500 çeliklerinin nokta direnç kaynağı kabiliyetlerini ölçmek. Nokta direnç kaynağı sonucunda bu çeliklerin mekanik özelliklerini incelemek ve değerlendirmelerde bulunmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan serlik ölçümleri ve çekme deneyleri ile belirtilen çeliklerin mekanik özellikleri incelenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Elektrik Direnç Kaynağı

Elektrik akımı ile bir iletkende elektron hareketi oluştuğunda iletken bu elektronların geçmesine karşı zorluk, bir bakıma direnç ortaya koyar. İletken maddenin gösterdiği direnç, iletkende elektron sayısıyla bağlantılı olarak bir ısı enerjisi çıkmasına sebep olur. ıkan ısı, uygun donanımlar ile birçok kaynaklı birleştirme işleminde kullanılır. (Anonim 2012)

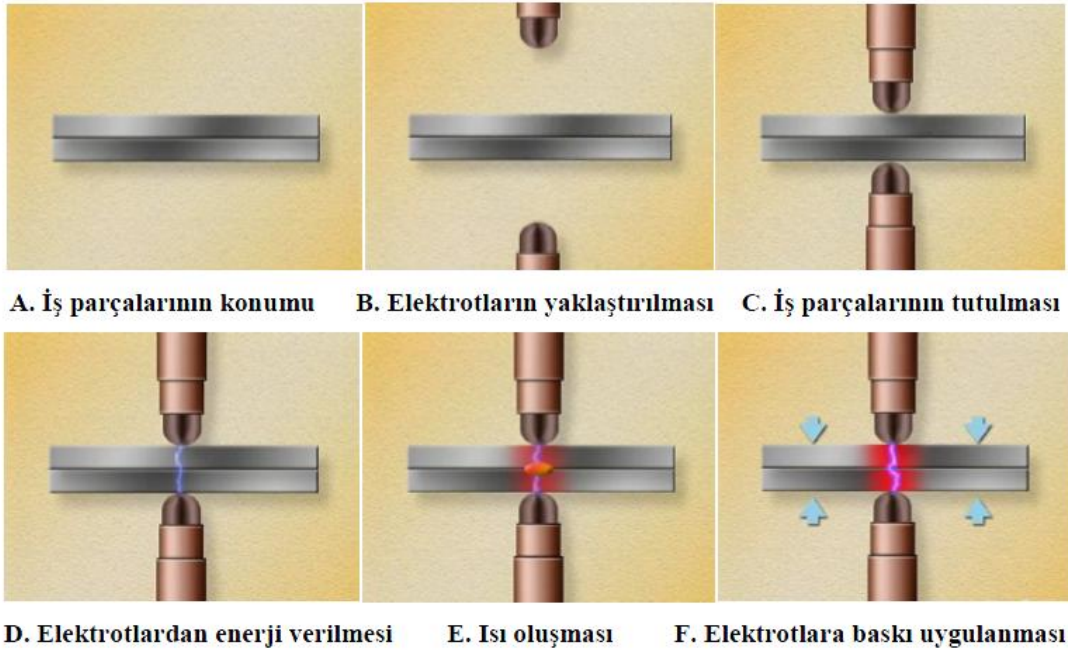
Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, elik eşya imalatı, hassas cihazların imalatı, boru üretimi, makine sektörü gibi birçok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini zemin hazırlamıştır. İnce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı Şekil bozukluklarına uğramaktadırlar. Bu sebeple kaynaklama işleminin en az ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme durumu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı Şekilde en az deformasyonla yapılabilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk tercih olarak karşımıza çıkmaktadır. (Anonim 2007)

Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten kaynaklanan ısı yardımı ile oluşan birleştirmelerdir. Parçalar kısmi ergitilerek kaynak için gerekli kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşumundan sonra elektrik akımı kesilip iş parçalarına basınç uygulanır. Bu basınç altında soğuma gerçekleştirilip ayrılmaz türden bir birleşim sağlanmış olur. Bu yöntem ile yapılmış olan kaynak işleminin genel adı elektrik direnç kaynağı olarak isimlendirilir. (Anonim 2007)



Şekil 2. 1 Elektrik direnç kaynağıyla kaynatılmış malzemeler (Anonim 2012)

Direnç kaynağına geçmeden önce, elektrik akımının bir elektron hareketi olduğu hatırlanmalıdır. Bu hareketlerden biri de direnç kaynağı olarak anılan uygulamadır. (Anonim 2012)



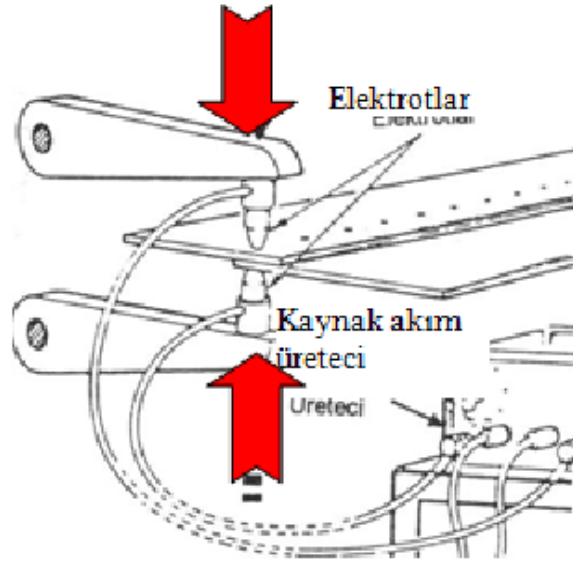
Şekil 2. 2 Direnç kaynağı aşamaları (Anonim 2012)

Elektrik akımı, elektrik ark kaynak yönteminde olduğu şekilde direnç kaynaklarında da kaynak akımına dönüştürülür. Bunun nedenleri;

- Şebeke gerilimi olan 220 ya da 380 volt kaynak işlemi için çok yüksek değerlerdir.
- Bu gerilimin doğrudan kaynak işleminde kullanılması öldürücü etkisi sebebiyle tehlike arz etmektedir.
- Bu gerilim ile kaynak arkı oluşturulduğu takdirde elektrot uç kısmından iş parçasına elektron geçişleri sırasında patlamalar ve çevreye metal sıçramalarının tehlikeli bir şekilde artması olarak sıralamak mümkündür.

Metaller, cinslerine göre değişiklik göstermelerine rağmen iyi birer iletken özellik gösterirler. Bu nedenle direnç makinelerinde üretilen akımın üzerlerinden geçirilmesiyle sıcaklıklarında önemli farklılıklar oluşturulması mümkündür.

Ortaya çıkan sıcaklık farklılıkları metalin ergimesine olanak tanır ama ortaya çıkan ısı, kaynaklı bir birleştirme ortamının ortaya çıkarılması için yeterli değildir. Çünkü ergiyik durumda metalik özelliklere sahip iki parçanın birleşmesi için eriyiklerinin iç içe geçmesi zorunludur. Bu sebeple ısı ile birlikte basınç uygulanması gereği de ortaya çıkar. Hem ısının hem de basıncın oluşturulmasında etkin olarak elektrotlardan faydalanılır ama direnç kaynağının en önemli parçalarından biri olan elektrotlar, elektrik ark kaynağında olduğu şekilde eriyerek kaynak metalini oluşturmaz. Görevleri, kaynak bölgesine ısı oluşumunu sağlayan kaynak akımını ve başka donanımlar ile ortaya çıkarılan basıncı iletmekle sınırlandırılmıştır. (Anonim 2012)



Şekil 2. 3 Nokta kaynak donanımı gösterimi (Anonim 2012)

Basınç ve kaynak akımı yardımı ile oluşturulan kaynaklı birleştirme, direnç kaynağı olarak adlandırılır. Tanımdan esinlenerek direnç kaynağının elektrik akımından ve basınçtan yararlanmak suretiyle bir kaynaklı birleştirme olduğu sonucuna varmak mümkün olmaktadır. Direnç kaynağı üç aşamada uygulanır.

- Sıkıştırma
- Akım uygulama
- Basınç

Basınç ve akımı temel aldığımız takdirde bunlara dokunmadan donanımlarında değişiklikler ile direnç kaynağının çeşitlenmesi olanağına kavuşulabilir. Zaten direnç kaynağının çeşitleri olarak karşımıza çıkan nokta, alın ve dikiş kaynak uygulamaları, aynı prensipten yola çıkılarak değişik amaçlara hizmet etmek için geliştirilmiş kaynak yöntemleridir. (Anonim 2012)

2.1.1. Elektrik direnç kaynağının prensip ve özellikleri

Direnç kaynağı, iş parçalarının üzerinden elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten elde edilen ısıdır bununla birlikte elektrot basıncının

uygulanmasıyla meydana gelen birleştirme bir yöntemidir. Bu yöntemde ilave olarak ısı kaynağı kullanılmaz.

Kaynak işlemi, bir düğmeye ve ya pedala basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran operatörler tarafından hızla gerçekleştirilen bir işlemdir. Bu sebeple, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik masrafı elektrik direnç kaynağında oldukça düşük olmaktadır. Diğer taraftan, direnç kaynağı makineleri, diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleriyle karşılaştırıldığında daha pahalı olduğu görülür. Elektrik direnç kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmayan bir yöntem olduğundan, sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel kaynak beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde otomotiv ve uçak endüstrisinde ve metal eşya imalatında kullanımı fazladır.

Elektrik direnç kaynağı için gerekli olan akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen elde edilir. Gereken basınç ve elektrot kuvveti ise hidrolik, pnömatik ya da mekanik donanımlarla elde edilir.

Direnç kaynağı ısı işlem uygulanabilen tüm metal ve metal alaşımlarına uygulanabilir. Çoğunlukla aynı iki metalin kaynağında kullanılır. Millerin alın kaynakları, boru imalatları, ince sacların kaynakları, bağlantı elemanlarının kaynakları bu yöntemle kaynak edilebilmektedir. Kara ve hava taşıtlarında ince saclar için nokta kaynak robotları geliştirilmekte ve aktif olarak kullanılmaktadır. (Hayat 2005)

2.1.2. Elektrik direnç kaynağı çeşitleri

Elektrik direnç kaynağı yönteminin çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerde temelde lokal olarak yüksek bir direnç meydana getirmek ve böylece de bağlantı noktalarında ısıyı yoğunlaştırabilmek için farklı teknikler uygulanır. Meydana gelen direnç, iletkenin öz direncine ve geometrisine bağlı olmaktadır. İşlem esnasında birleştirilecek parçalar arasında sınırlı bir akım yolu oluşturularak, lokal yüksek bir direnç yaratma yoluna gidilir (kabartılı nokta kaynağı). Bu yöntem akım yoğunlaştırılması olarak bilinmektedir. Tüm direnç kaynağı yöntemlerinde, akım

taşıyan elektrotlar ile birleştirilecek parçalar arasında fiziksel bir temasın olması gerekmektedir.

Tüm elektrik direnç kaynağı metotları, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesi gerektirmektedir. Akım kapalı bir devre boyunca geçişini sürdürür. Uygulanan akımın sürekliliği, kullanılan yönteme uygun olarak şekillendirilmiş elektrotların uyguladığı basma kuvveti ile gerçekleşmektedir. Kaynak esnasında çeşitli işlemlerin sırası en genel halde şöyle ifade edilir; öncelikle sınırlı bir metal hacminin ergimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve aynı zamanda metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına olanak sağlamaktır. Üzerinde çalışılan parçanın ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün mertebe yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek olursa, kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir ısıtma işlemi gerektirir. (Kaya 2010)

Elektrik direnç kaynağı metotları, uygulama şekillerine göre aşağıdaki gibi gruplandırılır:

1. Dikiş kaynağı yöntemi

2. Kabartılı kaynağı yöntemi

3. Nokta kaynağı yöntemi

Tüm direnç kaynağı yöntemleri, uygun akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesini gerektirmektedir. Kaynak bölgesinin ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğu kadar yüksek düzeyde tutulmalıdır. Demir esaslı malzemelerde bu hız gevrek bir kaynak dikişi oluşturacak kadar yüksek düzeyde ise ayriyeten bir temperleme işlemi gerektirmektedir. (Anonim 2012)



A. Dikiş

B. Nokta

C. Kabartı

Şekil 2. 4 Direnç kaynağı uygulama çeşitleri (Anonim 2012)

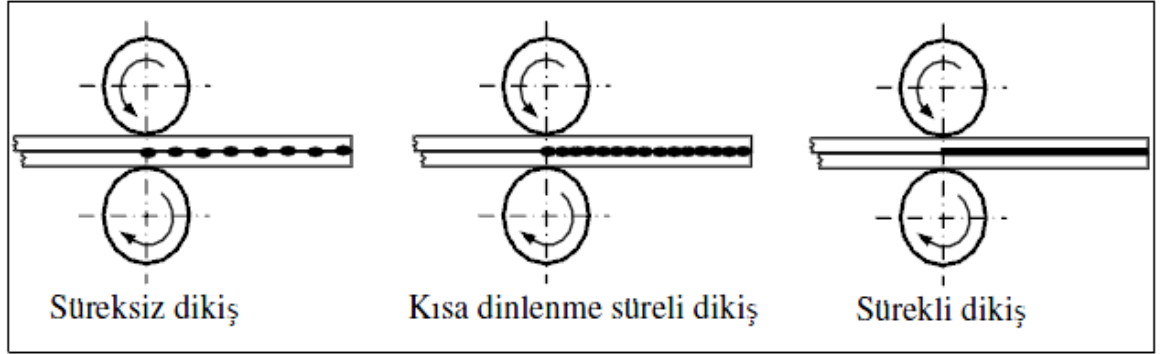
2.1.2.1. Dikiş kaynağı yöntemi

Dikiş kaynağı yöntemi, dönel elektrotlarla uygulanan, seri bir nokta kaynağı olarak tanımlanır. Birbirlerinin üzerine konulan parçalar temas eden yüzeylerde elektrik akımı ve malzemenin bu akıma gösterdiği direnç nedeniyle oluşan ısı yardımıyla ergitilerek birleştirilmektedir. Dikiş kaynağı yönteminin diğer direnç kaynak yöntemlerinden üstün olan tarafı, sürekli bir şekilde dikişler sağlanması ve bazı uygulamalarında sızdırmazlığın elde edilmesidir. Donanım olarak farklı tarafı ise elektrot formlarındandır. Bütün dünyada kullanılmakta olan standart direnç dikiş kaynak makinelerinin yanı sıra, özel ihtiyaçlardan kaynaklanan tasarımlara göre kaynak makineleri de üretilmiş ve bu yöntemin faydaları arttırılmıştır. (Esendir 2008)

Dikiş kaynağı yöntemin en önemli uygulamalarından biri de, benzin tanklarının bu yöntemle üretilmesidir. Otomobil sanayiinde yakıt tanklarına sızdırmazlık özelliğini kazandırmak, emniyet açısından birinci derecede önemli bir konudur. Dikiş kaynağı yöntemi, parçalar birbirlerine tek parçaymış gibi kaydığı için ve seri üretimde otomatikleştiği zaman büyük kolaylıklar sağlaması sebebiyle otomobil sanayiinde tercih edilen bir yöntemdir. (Esendir 2008)

Dikiş kaynağı yöntemin uygulama alanları oldukça fazladır. Uygulama konusunda etkili tekniğinden ve alınan sonuçlar ile birlikte bu üretim metodu genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Kaynak dikişinin sürekli olması kaynak akımının uygulama süresine bağlı olmaktadır. Birleştirilecek iş parçaları, üst üste konulmuş bir şekilde iki bakır elektrod

arasına yerleştirilir. Elektrodların uygun bir kuvvetle baskı uygulamasından sonra kaynak akımı geçirilmiş olur. Uygulanan süre boyunca bu akım bir elektrodan diğerine aktarılır, iki sac arasındaki temas noktası, en yüksek dirence sahip olan kısımdır ve ısınan malzemeler bu bölgede ergimektedir. Elektrik akımının uygulanma süresine bağlı farklı dikişler elde edilmektedir. Şekil 2.5’de de farklı impulslar da yapılmış dikiş kaynağı uygulama yöntemleri görülmektedir. (Esendir 2008)



Şekil 2. 5 Dikiş kaynağı uygulamaları (Kaya 2010)

Kullanımda olan elektrod çapları 50-600 mm arasında değişiklik göstermektedir. Elektrod malzemesi olarak, soğuk çekilmiş bakır ya da ısıl işlem geçirmiş sert nitelikteki bakır alaşımları olabilir (bakır-kadmiyum, bakır-krom, bakır-tellür). Kaynak işlemi sırasında elektrodların iş parçalarına temas eden yüzeylerin genişliği, kaynatılacak iş parçasının kalınlığına göre değişiklik göstermektedir. Kaynak genişliği de, kaynatılan parçaların en incisinin kalınlığının 1,5-3 katı kadar olması gerekmektedir. Kaynak genişliği ince metal kalınlığından daha büyük olmalıdır. Bu da elektrodun kaynak esnasında yıpranma değerini en aza indirir. Elektrodların soğutulması merkezi kanallardan su dolaştırılarak ve ya elektrod tekerlerinin yüzeylerine su püskürtülmesi ile yapılabilmektedir. Çelik malzemelerin kaynatılmasında da soğutma sıvısı olarak %5 oranında bor yağı, %95 oranında su kullanımı gerekmektedir. (Esendir 2008)

2.1.2.2. Kabartı kaynağı yöntemi

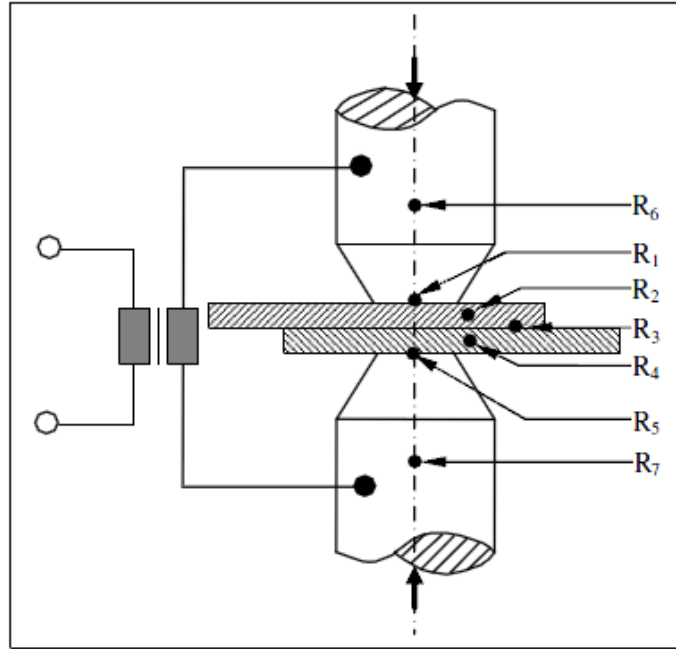
Elektrik direnç nokta ve dikiş kaynağının ikisinde de ara yüzeydeki akım yoğunlaşması elektrodları şekillendirilerek yapılmakta ya da temas halindeki yüzey alanını sınırlandırarak gerçekleştirilmektedir. Kabartılı kaynak yönteminde, kaynağın konumu, saclardan birinin yüzeyinde yükselen bir kabartı yoluyla belirlenmektedir. (Şekil 2.6.a).Kabartı kaynağı yapılacak olan parçalar, sadece kabartının bulunduğu noktadan birbirlerine temas etmektedirler. Ara yüzeyler boyunca iletilen akım kabartı boyunca yoğunlaşmakta ve bu nedenle kabartı hızla ısınmaktadır. Kabartı plastik duruma gelmeye başlar ve sonuç olarak da ergidiğinden çöker. Böylelikle ara yüzeyde ergimiş bir bölge meydana gelir. Ulaşılan sonuç nokta kaynağına benzer şekildedir. (Kaya 2010)

Genelde iki veya üç kabartı zamanda kaynatılmaktadır. Kaynak makinaları temel olarak nokta kaynağı için kullanılmakta olan makinalara benzerlik gösterir. Ama elektrodların yerine bağlantı bölgesine düzenli bir basınç uygulayan, düz şekilde, bakır tablalar yerleştirilir. Kabartıların şekil ve boyutları daha önce yaşanan deneyimlere bağlı olarak veya deneyerek seçilmektedir. Kabartılı kaynak yöntemi, uzun bağlantılar için tercih edilmez. (Kaya 2010)

Kabartı kaynağı yöntemi küçük bağlantı parçalarının sac yapılarına birleştirilmesi sırasında çok daha fazla tercih edilir. Bu metot otomobil gövdelerinin, ev cihazlarının, büro mobilyalarının ve makina parçalarının üretilmesinde genellikle daha fazla kullanılır. Örneğin; sabit somunların araba şasisine kaynatılabilmesi için yüzeyde oluşturulan küçük kabartıların üretilmesiyle gerçekleştirilir (Şekil 2.6.b).

Kaynak makinesi üzerinde bulunan şalter ve zaman sayacı ile ayarlanan sürede, akım bir elektrottan diğerine iletilirken (1mm sac için bu süre yaklaşık 0,2 saniyedir) bu akıma karşı direnç, iki sac arasındaki temas noktasında maksimuma ulaşır ve iş parçası bu temas noktasında ergimeye başlar. Elektrik akımının otomatik bir şekilde kesilmesinin ardından kaynak banyosu, uygulanan basınçla birlikte soğuyarak katılaşır ve iki malzeme sökülemez bir biçimde birleştirilir. Standart bir nokta kaynak makinesinin temel bileşenleri, bakır elektrodla yük uygulamak için kullanılan mekanik bir sistem, şebekeden gelen gerilimi düşüren transformatör, bazı makinelerde olan akım kontrolünü sağlayan cihazlar ile birlikte bir zaman sayacından oluşmaktadır. (Anonim 2012)

Nokta kaynak yönteminin temel prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarının üzerinden geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç sebebiyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak metodudur (Şekil 2.8). Kaynak için gerekli akım değeri, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinasından temin edilir. Uygun basınç veya elektrod kuvveti, pnömatik veya mekanik donanımlarla sağlanmaktadır. (Esendir 2008)



Şekil 2. 8 Nokta direnç kaynağının prensibi (Kaya 2010)

J akımı, R ohmik direncinden, t süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı bir şekilde, J birim ısı açığa çıkmaktadır.

$$Q = I^2.R.t \quad (2.1)$$

$$\text{Burada, } R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

Yani sekonder devredeki toplam direnci ifade eder. Bu dirençler (Şekil 2.8)

- Malzeme dirençleri;

R_6, R_7 : Elektrot direnci

R_2, R_4 : İş parçası dirençleri

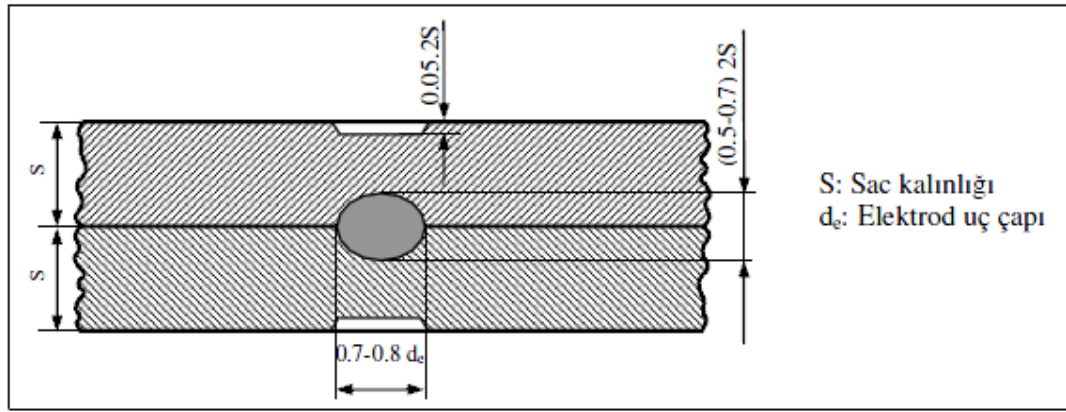
- Temas dirençleri;

R_1, R_5 : Elektrod ve malzeme arasındaki temas direnci

R_3 : Malzeme ve arasındaki malzeme temas direnci

Malzemede meydana gelen direnç, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır ve değişken bir özellik değildir. Temas dirençleri ise malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kaynak esnasında R_3 , maksimum ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilmektedir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük değerlerde olması gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için, I_k kaynak akımı, t_k kaynak süresi ve F elektrot kuvveti uygun değerlerde belirlenmelidir. R_1, R_3 ve R_5 temas dirençleri kaynak kalitesine direkt olarak etki eder. R_3 kaynak bölgesindeki sıcaklık, malzemenin t_c ergime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık değerine ulaşır. Bu bölgede sıvı hale gelen malzeme, kaynak işlemi sonrasında kaynak çekirdeğini oluşturmaktadır. R_1 ve R_5 temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu durum da, iyi ısı ileten elektrod ve malzeme yüzeyleriyle sağlanmış olur. Malzeme yüzeylerindeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması veya temizlenmiş olması gereklidir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte olan ısı miktarlarına bağlıdır. Aynı zamanda bu bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açabilir. (Esendir 2008)

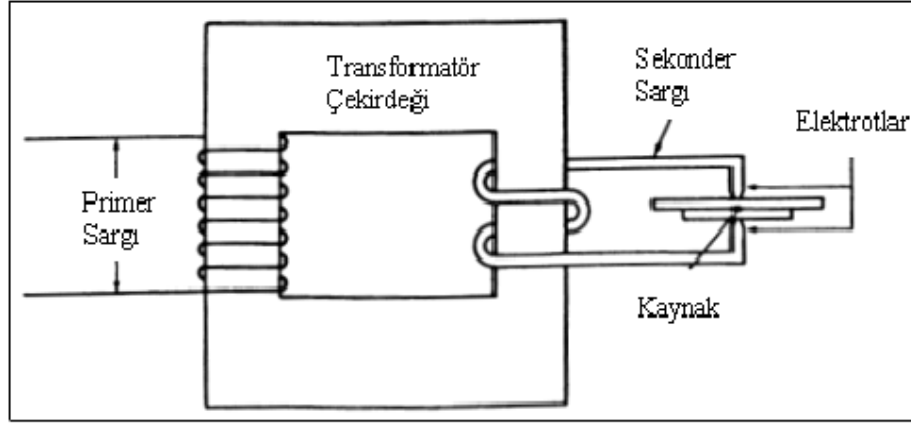
Nokta direnç kaynağı yönteminde, hatalı kaynak dikişlerinden kaçınmak adına, elektrod kuvveti, akım uygulaması sonunda artırılır. Kaynakta kullanılan nokta çapının büyüklüğü kullanılan elektrodun çapına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Kusursuz kabul edilecek bir birleşmede bu çap 0.7-0.8 aralığında verilir. Temel olarak bu çapın, elektrod çapına eşit olması gerekir. Kaynak noktasının diğer boyutları, alabilecekleri maksimum değerler Şekil 2.9'da verilmiştir. (Esendir 2008)



Şekil 2. 9 Nokta direnç kaynağının boyutları (Esendir 2008)

2.1.2.3.1. Nokta direnç kaynağı oluşumu

Nokta direnç kaynağı yöntemi, elektrotlar ile uygulanan kuvvet altında bir arada tutulan iş parçalarında, iletilen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısıyla birlikte parçaların tek ya da daha çok noktada bölgesel olarak ertirilip basınç altında birleştirilmesine dayanır. Akım konsantrasyonu ile ısıtılıp kaynak metalinde erimiş çekirdek meydana getirilir. Elektrik akımı kesildiğinde, kaynak metali hızla soğuyup katılaştıkça elektrot kuvveti uygulanmaya devam etmektedir. Daha sonrasında elektrotlar çekilerek iş parçasını serbest bırakır. Kaynak işlemi genelde 1sn'den daha kısa bir sürede tamamlanmış olur. Şekil 2.10'da nokta direnç kaynak makinesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 10 Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi (Kaya 2010)

Nokta direnç kaynağı yönteminde kullanılan makineler, şebeke elektrliğini bünyesinde mevcut olan transformatörden geçirerek voltajını düşürür. Bununla birlikte akım şiddetini artırır. Kaynak makinesinin kapasitesine göre akım, 2000 ile 120.000 kA arasında değişebilmektedir. Elektrotlar iş parçalarına önceden ayarlanmış uygun zaman aralıklarında yaklaşır ve daha sonra uzaklaşır. İş parçasına baskı uygulayan elektrotlar pnömomatik, hidrolik veya mekanik cihazlar yardımı ile hareket etmektedir. (Kaya 2010)

2.1.2.3.2. Nokta direnç kaynağı kabiliyeti

Nokta direnç kaynak kabiliyeti kesin ve belirgin ifade edilebilen bir özellik olmasa bile metalik malzemelerin birleşebilme kabiliyetini gösteren bir durumdur. Metal malzemeler için yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir şeklinde bahsedildiğinde, kaynak sırasında hiçbir tedbir almadan kaynak şartları geniş bir aralıkta uygun bir kaynak kalitesine ulaşabileceği anlaşılır. Bunun dışında düşük dereceli kaynak kabiliyeti de vardır. Bu kaynakta iyi bir sonuç almak için özel önlemlere ihtiyaç olduğu anlamına gelir ve kaynak şartlarının çok dar sınırlar arasında tutulması gerektiğini belirtir. (Esendir 2008)

Metal malzemelerin nokta direnç kaynak kabiliyeti üç faktör ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.

- 1- Metal malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı
- 2- Metal malzemelerin ısı direnci
- 3- Metal malzemelerin ergime sıcaklığı

Metal malzemelerin nokta direnç kaynak kabiliyetleri yükseldikçe kaynak hataları azalır kaynak kalitesi ve mukavemeti de artmaktadır. Metal malzeme ne kadar safsa o metalin kaynak kabiliyeti o kadar fazla olmaktadır. Ancak saf metaller endüstride nadir olarak kullanılmaktadırlar. Bir metal malzemenin kaynak kabiliyetinin yüksek olması onun kaynak makine ve teçhizatını sadeleştirebilmektedir. Bundan dolayı kaynağın ekonomik olmasını da sağlayabilmektedir. Metal malzemelerde alaşıma karışan malzeme sayısı ve % miktarları arttıkça nokta kaynak kabiliyeti azalmaktadır. (Esendir 2008)

Metal malzemelerin akıma karşı göstermiş oldukları direnç yüksek, ısı iletme yeteneği ve ergime sıcaklığı düşük ise bu malzeme bir dereceye kadar kaynak edilebilir. Çelikler de belirtilen bu tanıma girerler. Isıl direnci düşük olan ancak ısı iletme katsayısı fazla olan düşük sıcaklıkta eriyen metal malzemelere zor kaynak yapılır. Bunlar demir dışı hafif metal malzemelerdir. Açıklanan kaynak kabiliyeti faktörünün hesaplanması aşağıda görülen şekilde olur.

(2.3)

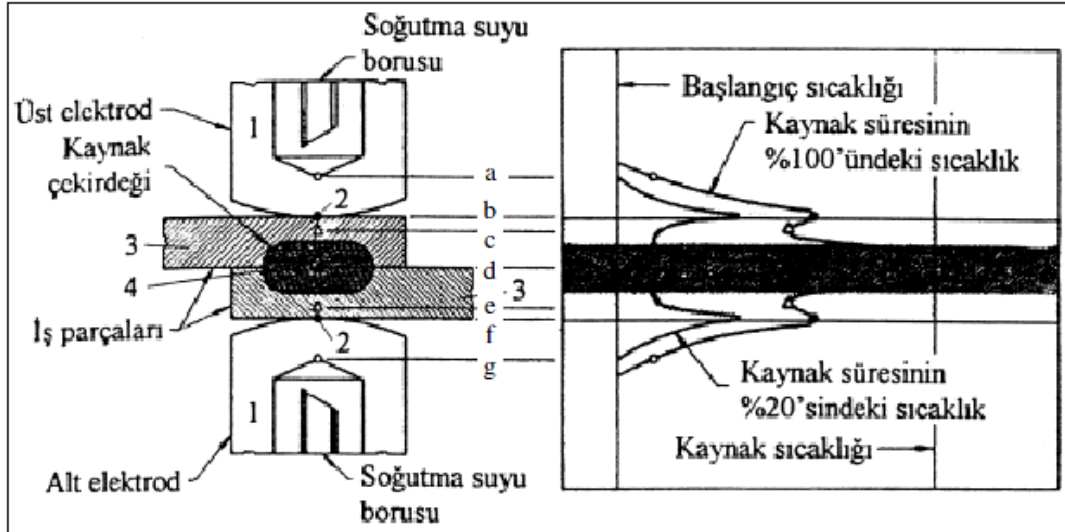
$$S = \frac{\alpha_t}{T_{em} \times K_t} \times 100$$

- S : Kaynak kabiliyeti
 α_t : Isı iletkenliği
 T_{em} : Metalin ergime sıcaklığı
 K_t : Isı iletme katsayısı

Nokta direnç kaynağı yöntemi, birleştirilen malzemeler açısından diğer kaynak yöntemlerine göre daha fazla serbestliğe sahip olan bir yöntemdir. Nokta direnç kaynağı yöntemiyle birçok farklı metal ve metal çiftlerini değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak kaynak etmek olanaklıdır. Aynı zamanda kaplamalı malzemeleri de nokta direnç kaynağı yöntemi ile birleştirmek mümkün olmaktadır. (Esendir 2008)

2.1.2.3.3. Kaynak sırasında sıcaklık dağılımı

Nokta direnç kaynağı makinelerinin sekonder devreleri, kaynak edilecek parçalar da dâhil olmak üzere bir seri dirençten meydana gelen devrelerdir. Bu dirençlerin toplamı elektrik akım şiddetini belirler. Elektrik akımı (A) devrenin her noktasında dirençten bağımsız olarak aynıdır. Bununla birlikte herhangi bir noktada oluşan ısı, direkt olarak o noktadaki direnç ile orantılı olur. Sekonder devreyi oluşturan elektriksel sistem, istenen noktada ısı meydana getirir ve sistemin kalan elemanlarının nispi olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Şekil 2.11’de elektrotlar arasındaki iş parçasında bulunan çeşitli bölgelerinin direnç noktaları gösterilmektedir. Uygulanan akımla beraber ısı bir noktada oluşmaz, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi bölgenin dirençleri doğrultusunda ısı üretilmiş olur. İstenen ısı bölgesi Şekil 2.11’de gösterilen 4 nolu alandır. 4 nolu alan dışındaki noktalarda oluşan ısının engellenmesi gerekir. Başlangıçtaki sıcaklık düşey çizgiyle gösterilmiştir. Maksimum direnç 4 düzleminindedir. Bu sebeple en yüksek ısı bu bölgede oluşmaktadır. Ayrıca 2 ve 6 noktalarında ikinci derece etkili olan dirençler de bulunur. Bunlara paralel olarak 2 ve 6 bölgelerinde ısı hızla artmaktadır.



Şekil 2. 11 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı (Kaya 2010)

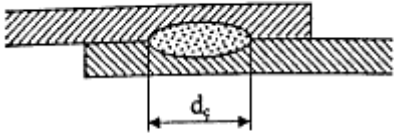
Gösterilen dirençler;

- 1- Elektrotun direnci,
- 2- Elektrot ve levha arasındaki temas direnci,
- 3- Levhanın direnci,
- 4- Levhalar arasındaki temas direncidir.
 - a) Üst elektrotun direnci
 - b) Üst elektrot ve üst levha arasındaki temas direnci
 - c) Üst levhanın direnci
 - d) Üst levha ve alt levha arasındaki temas direnci
 - e) Alt levhanın direnci
 - f) Alt levha ve alt elektrot arasındaki temas direnci
 - g) Alt elektrot direnci

Şekil 2.11’de gösterilen kaynak süresindeki % 20’ye karşılık gelen çizgi, kaynak akımının uygulandığı ilk anlarda oluşur. Kaynak süresinin % 100’ündeki sıcaklık çizgisi en yüksek noktadaki ısıyı görür. Bu sebeple 2 ve 6 düzlemlerindeki ısı bu yüzeylere temas eden 1 ve 7 düzlemindeki su soğutmalı elektrotlara doğru hızlı bir şekilde iletilmektedir. Bunların dışındaki bölgelerdeki ısılardan 4 düzleminde oluşan ısı her zaman daha fazladır. İş parçalarının birleştirilmesi 4 bölgesinde oluşacaktır. Sonuç olarak ergimeyle birlikte kaynak çekirdeği oluşacaktır.

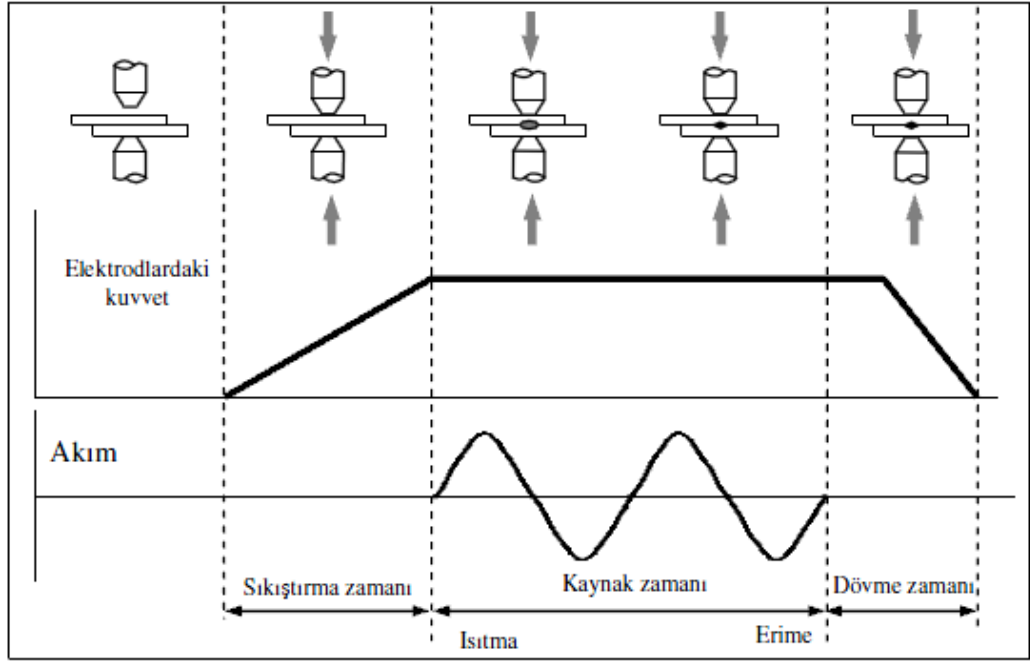
Kaynak noktaları iş parçalarının elektrot kuvveti tarafından çarpılması sonucu kaynak edilen noktadan ergiyik metal malzemenin kıvılcım şeklinde sıçrama önlemek için kenarlardan yeterince uzak bir şekilde konumlandırılmalıdır. Buna ek olarak iş parçası üzerinde kaynak edilen noktanın dışında paralel akım geçişlerini önlemek adına ardışık kaynak noktaları arasındaki mesafe yeterince fazla olması gerekir. Kaynak çekirdeklerinin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına göre boyutları değişir. Çizelge 2.1’de değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları gösterilmiştir. (Kaya 2010)

Çizelge 2. 1 Farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları (Kaya 2010)

Tek sacın kalınlığı	mm		0,5	1,0	1,5	2,0
		Çekirdek Çapı (d_c)	En Büyük	6,0	9,0	10,0
En Küçük			2,5	4,0	5,0	7,0

2.1.2.3.4. Kaynak çevrimi

Tüm direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti ve kaynak zamanı ayarlaması gerektirir. Kaynak bölgesinin ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi açısından mümkün olduğunca fazla olmalıdır. Genel anlamda nokta kaynağı, üç periyottan oluşmaktadır. Bunlar sıkıştırma, kaynak ve dövme zamanları olarak belirtilir. Belirtilen zamanlara bağlı bir şekilde direnç nokta kaynağı safhaları Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 12 Nokta direnç kaynağının çevrimi (Kaya 2010)

Çevrim Aşamaları şu şekildedir;

- 1- Kaynatılacak iş parçaları elektrodlar arasına konulur. Kaynağın doğru pozisyonda olduğundan emin olmak için iş parçasını elektrodlarla hizalarken dikkatli olunmalıdır. Kaynak çevrimi aşamaları genelde bir ayak anahtarı veya pedalı yoluyla başlatılmaktadır.
- 2- Elektrodlar birbirine yaklaştırılır, iş parçasını sıkıştırır ve sacları temaslı hale sokar.
- 3- Sıkıştırma zamanı olarak isimlendirilen uygun bir süre aralığında basınç optimum bir değere çıkarılır.
- 4- Akım verilmeye başlanır ve ergimenin olduğu önceden belirlenmiş bir süre içinde devrede kalır ve kaynak dikişi gerekli boyuta ulaşınca kadar büyümektedir. Genel anlamda kaynak zamanları bir saniyeden önemli ölçüde daha kısadır. Bu da periyotlarla (cycle) gösterilir. Bir periyot 1/50 saniyeye denktir.
- 5- Elektrodların üzerinde olan basınç, kaynak katılaşırken dövme veya tutma zamanı adı verilen süre boyunca uygulanmaya devam edilir.
- 6- Basınç son bölümde kaldırılır, elektrodlar birbirinden uzaklaşır. Sonunda da iş parçası makineden uzaklaştırılır.

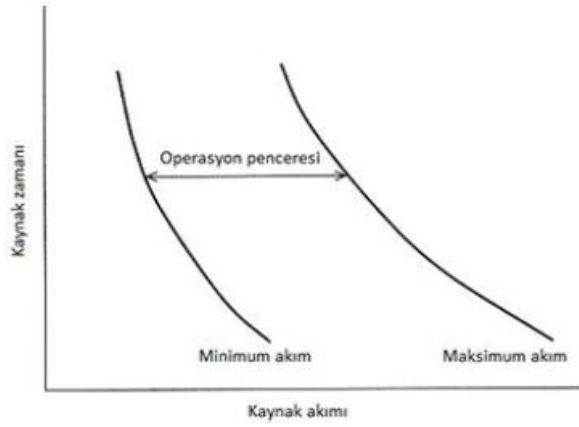
2.1.2.3.5. Kaynak parametrelerinin etkisi

Nokta direnç kaynağı yönteminde kaynak işlemini etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

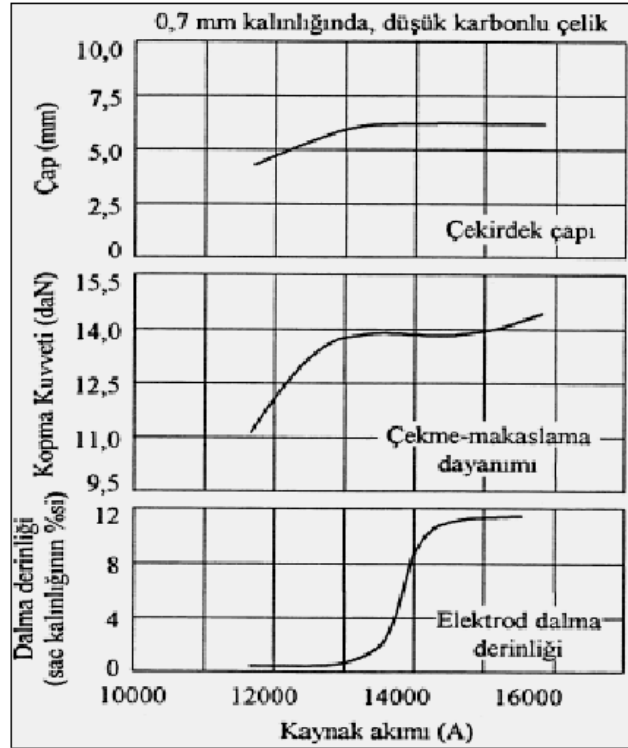
1. Kaynak akımının etkisi
2. Kaynak süresinin etkisi
3. Kaynak basıncının etkisi
4. Elektrotların etkisi
5. Yüzey durumunun etkisi
6. Metal bileşiminin etkisi

Kaynak Akımının Etkisi;

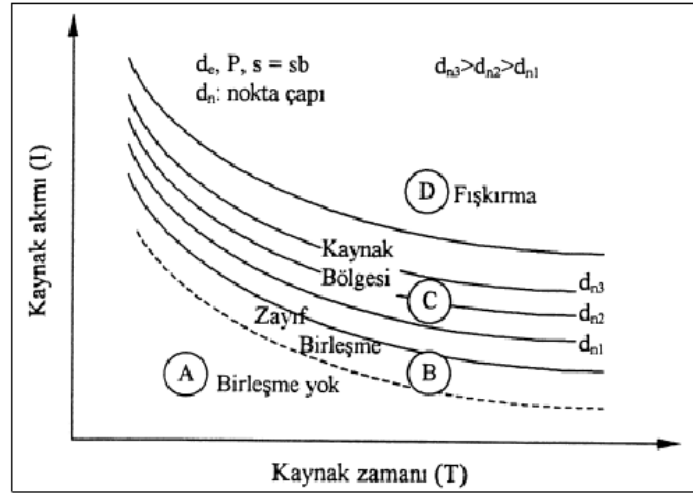
Direnç nokta kaynağı yönteminde ısı Joule yasasına göre oluşur. Buna göre yasada akımın karesi yer almaktadır ve bu durum akımı en önemli kaynak parametresi haline getirmiştir. Teorik olarak hesaplandığında en küçük akım değeri kayıplardan dolayı işlevsel olarak görülmemektedir. Uygulanan akım zamana göre düşük olursa bu durumda uzun süreli kaynak durumu meydana gelir. Bunun sonucunda ısıtılan bölge genişlemiş olur. Bahsedilen bölgenin genişlemiş durumda olması ince kalınlıktaki malzemelerde çeşitli deformasyonlara yol açma ihtimalini ortaya çıkarır. Ama bu akımın çok yüksek tutulması durumunda ise akım malzeme üzerinden rahat bir şekilde geçemediğinden dolayı çatlaklara ya da ark oluşumuna neden olabilir. Şekil 2.13'de uygulanabilir akım aralığı grafiği gösterilmiştir. (Yavuz 2015)



Şekil 2.13 Uygulanabilir akım aralığı şeması (Yavuz 2015)



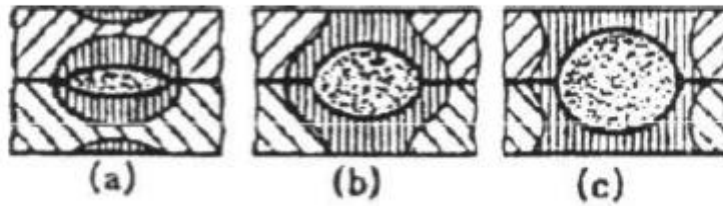
Şekil 2.14 Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek yapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri (Kaya 2010)



Şekil 2. 15 Kaynak kabiliyeti diyagramı (Kaya 2010)

Kaynak süresinin etkisi;

Kaynak süresi ortaya çıkan ısı miktarını etkileyen parametrelerden biridir. Aynı zamanda kaynak süresi uygulanacak akım değerine, malzeme kalınlığına ve malzeme bileşimine göz önüne alınarak belirlenir. Eğer kaynak süresi kısa tutulursa yetersiz bir kaynak oluşumu görülür. Böyle bir durumda zamanla kaynağın kopmasına ya da yetersiz kaynak oluşumuna sebebiyet verebilir. Fakat süre uzun tutulursa da ergimiş bölge büyümesi ve uygulanan elektrot kuvveti ile patlama ya da diğer tipte hasarların oluşumu görülebilir. Kaynak çekirdeğinin oluşumunda sürenin etkisinin nasıl olduğu Şekil 2.16'de gösterilmiştir. (Yavuz 2015)



Şekil 2. 16 Kaynak süresini çekirdek oluşumuna etkisi a) kısa kaynak zamanı b) orta kaynak zamanı c) uzun kaynak zamanı (Yavuz 2015)

Kaynak Basıncının Etkisi;

Kaynak sırasında oluşacak baskı kuvveti kaynak çekirdeğini doğrudan etkiler. Uygulanan baskı kuvvetinin az olması durumunda iş parçaları arasındaki direnç değeri

artacaktır. Bu artış kaynak işlemi esnasında patlamalara sebep olabilir. Aksi durum olarak uygulanan yüksek baskı kuvveti sonucunda akım yoğunluğu ve direnç değeri azalır. Bu durum da kaynak çekirdek çapında azalmaya neden olur. (Yavuz 2015)

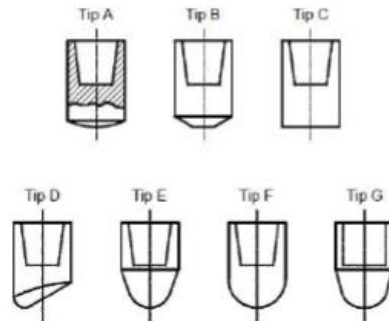
Akım iletimi esnasında oluşacak baskı azalması ısı üretim hızında yükselmeye, daha yüksek miktarda metal fışkırmasına sebep olabilir. Çok fazla ısı artışının sebep olabileceği durumlar şöyle sıralanabilir;

- 1) Kaynak dikişi dış yüzeylere doğru eriyebilir.
- 2) Elektrotların ömrü azalabilir.
- 3) Karıncalanma ve yüzeyin korozyon direncinde azalma meydana gelebilir.

Uygulanan çok yüksek basınç değerleri iş parçasında istenmeyen distorsiyonlara sebep olabilmektedir.

Elektrotların Etkisi;

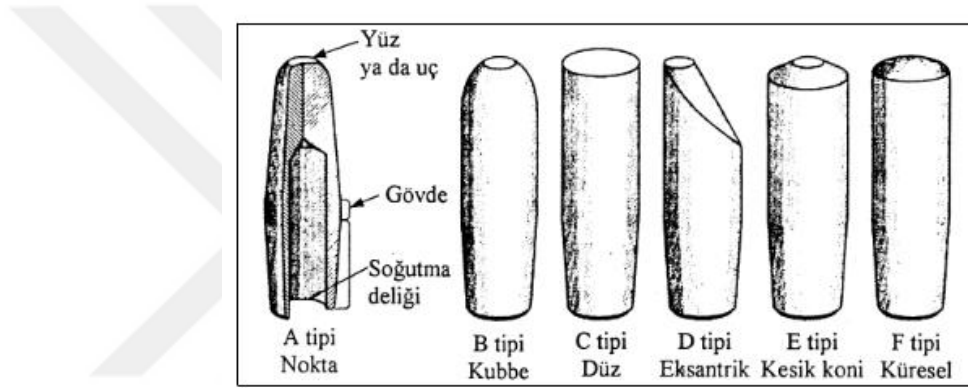
İlk olarak kullanılan elektrotlar saf bakırdan imal edilmiştir. Fakat sahip oldukları düşük elektriksel iletkenlik ve mekanik özellikler sebebiyle daha sonra çeşitli bakır alaşımli elektrotlar kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan alaşımın sertliğinin yükselmesi genel anlamda elektrotun ısıl ve elektriksel direncini yükseltir. Ayrıca yapılacak kaynak işlemine göre uygun geometriye sahip elektrotlar tercih edilmektedir. Şekil 2.17’de TS EN 2582 ye göre bazı elektrot geometrileri gösterilmiştir. (Yavuz 2015)



Şekil 2. 17 TS EN 2582 göre nokta kaynağı elektrot başlıkları (Doruk ve ark. 2015)

Çizelge 2. 2 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları (Doruk ve ark. 2015)

Alaşım	Sertlik (HRB)	İletkenlik (% Cu)	Yumuşama Sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı Yer
Bakır (soğuk çekilmiş)	95	90	150	Alüminyum
Tellür-Bakır	100	90	175	Alüminyum
Kadmiyum-Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom-Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten-Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve bakır alaşımları



Şekil 2. 18 Standart elektrot uç şekilleri (Doruk ve ark. 2015)

Yüzey Durumunun Etkisi;

Kaynak yapılan malzemelerin yüzey durumu oluşturduğu dirençten dolayı ısı üretimini büyük ölçüde etkilemektedir. Temiz bir yüzeyde düzgün bir kaynak çekirdek oluşumu gözlenmesi daha olasıdır. (Yavuz 2015)

Çizelge 2. 3 Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları (Esendir 2008)

Yüzey Koşulu Tipi	Sebeup	Sonuç
Derin elektrod izi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uygun seçilme miş elektrod yüzeyi 2. Elektrod kuvvetinin kontrol edilememesi 3. Yüksek temas direnci (düşük elektrod kuvveti) nedeniyle çok hızlı ısı üretimi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kaynak alanı çevresindeki metal kalınlığının azalması nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Kötü görüntü
Yüzey ergimesi (genellikle derin elektrod izi ile birlikte)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Curuflu veya kirli yüzey 2. Düşük elektrod kuvveti 3. Parçaların kaymış olması 4. Yüksek kaynak akımı 5. Elektrodların düzgün şekilli olmaması 6. Basınç ve akım sırasının uygun olmaması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ergimiş metalin fişkırması nedeniyle çekirdek boyutlarının küçülmesi 2. Kaynak bölgesinde büyük boşluklar 3. Parçanın dış yüzeyinden yanıkların temizlenmesi nedeniyle maliyet artması 4. Elektrodların sık sık değiştirilmesi nedeniyle üretim zamanının harcanması
Kötü şekilli kaynak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parçaların ayarsızlığı 2. Elektrodların aşırı aşınmış olması veya düzgün olmayan elektrod formu, elektrodların kayması 3. Elektrodların yüzey temizliğinin kötü olması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ara temas yüzeyinin değişmesi nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Ergimiş metalin fişkırması
Parça üzerinde elektrod kopması (genellikle yüzey ergimesi ile birlikte)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Curuflu veya kirli olması 2. Düşük elektrod kuvveti veya yüksek kaynak akımı, 3. Elektrod temas yüzeylerinin bakımının yetersiz olması 4. Elektrod kuvveti ve kaynak akımının sırasının bozuk olması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kötü görüntü 2. Korozyon direncinin düşmesi 3. Ergimiş metal fişkırması varsa, kaynak mukavemetinin düşmesi 4. Elektrod ömrünün kısılması
Çatlaklar, derin boşluklar veya küçük delikler	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kaynak çekirdeği katılaştırmadan önce elektrod kuvvetinin kaldırılması 2. Ergimiş metalin fişkırmasına neden olacak şekilde aşırı ısı üretimi 3. Parça yüzeylerinin birbirine yaklaşmaması ve dolayısıyla elektrod kuvvetinin artırılması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Çatlak veya süreksizliğinin kaynak alanının dışına uzaması sonucu veya gerilme altında yorulma dayanımının düşmesi 2. Çatlak veya boşluklarda korozif maddelerin birikmesi nedeniyle korozyonun artması

Metal Bileşimin Etkisi;

Metal malzemeye ait olan özgül elektrik direnci Joule kanunundaki direnç değerini etkilediğinden dolayı oluşacak ısı miktarını da direkt olarak etkilemektedir. Genel anlamda malzemenin bileşimi kaynak işlemi için gerekli olan ısı değerini etkilemektedir. (Esendir 2008)

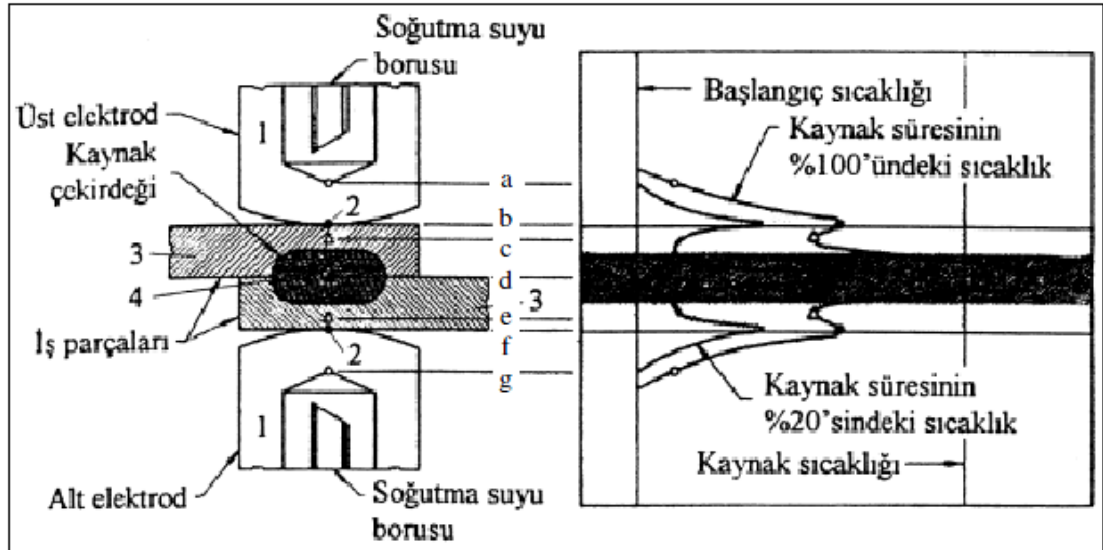
2.1.2.3.6. Nokta direnç kaynağında kullanılan elektrotların özellikleri

Nokta direnç kaynağında kullanılan elektrotlar uygulanan yüksek basınç değerlerine göre uygun mekanik özellikleri karşılayacak düzeyde olmalıdır. İlaveten elektrik iletkenlik katsayısı yüksek olmalı ve ısıl iletim katsayısı değerleri fazla olmalıdır. Bunların dışında düşük elektriksel direnç özelliği de göstermelidir. (Esendir 2008)

2.1.2.3.7. Kaynak çekirdeği

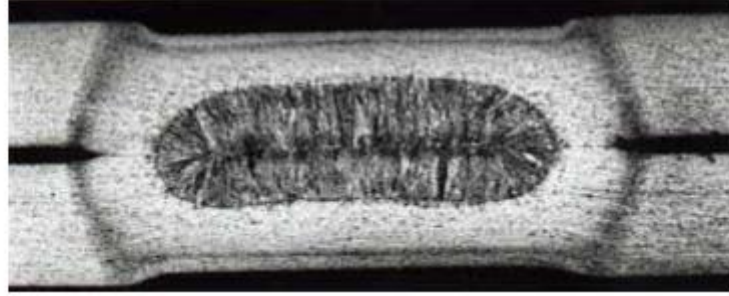
Nokta direnç kaynağında amaçlanan iki metal malzemenin birleşme noktasında bir kaynak çekirdeği oluşturabilmektir. Kaynak işleminde Joule kanunu gereği olarak ısı oluşmaktadır. Bu ısı öncelikle iki metal malzemenin temas ettikleri yüzeyde oluşacaktır. Temas eden yüzeyde ısıdan dolayı ergiyen ve birbiri içinde karışan küçük parçalar birleşerek çekirdeği meydana getirir.

Elektrotlar su ile soğutuldukları, düşük elektrik direnci ve yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahip olduklarından dolayı elektrotun iş parçası ile temas ettiği noktalarda ergime oluşumu görülmez. Şekil 2.19'da nokta direnç kaynağındaki dirençler ve ısı dağılımı gösterilmeye çalışılmıştır. (Hayat 2005)



Şekil 2. 19 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı (Kaya 2010)

Ortaya çıkan ısı ile ergiyen ve birbiri içine geçen metal malzemeler Şekil 2.20’de gösterilen kaynak çekirdeğini oluşturmaktadırlar. Kaynak işleminin sonucunda kaynak bölgesinin dengeli olarak soğuması tane yönlenmesini etkilemektedir ve kaynağın daha kaliteli olmasını sağlayan bir etkidir.



Şekil 2. 20 Nokta direnç kaynağı ile oluşan kaynak çekirdeği (Yavuz 2015)

Ayrıca uygulanan elektrik akımından sonra elektrot baskı kuvvetinin devam etmesi de oluşan bu çekirdeğin kalitesini etkilemektedir.

2.1.2.3.8. Isıl denge

Aynı özellikte ve kalınlıkta iki malzeme, aynı şekle ve kütleyle sahip elektrotlar ile kaynak ediliyorsa ısı birleşim noktasında eşit olarak dağılacaktır. Aynı zamanda çekirdek oval bir kesite sahip olur. Belirtilen şartların sağlandığı koşullarda ısıl denge de bulunmaktadır. Eğer iş parçalarından biri daha yüksek elektriksel dirence sahip ise burada ısı daha çabuk üretilecektir ve böyle bir durumda ısıl dengeyi ortadan kaldıracaktır. Örneğin; paslanmaz çelik malzeme ile orta karbonlu çelik malzeme kaynak yapılırsa, ısıl dengeyi sağlamak için ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanı arttırılmalıdır, ya da düşük dirençli karbonlu çelik tarafında daha yüksek dirençli elektrot kullanılmalıdır. Ancak bu şekilde ısıl denge sağlanabilir. Benzer durum aynı tipteki farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynağı sırasında da geçerli olmaktadır. (Yavuz 2015)

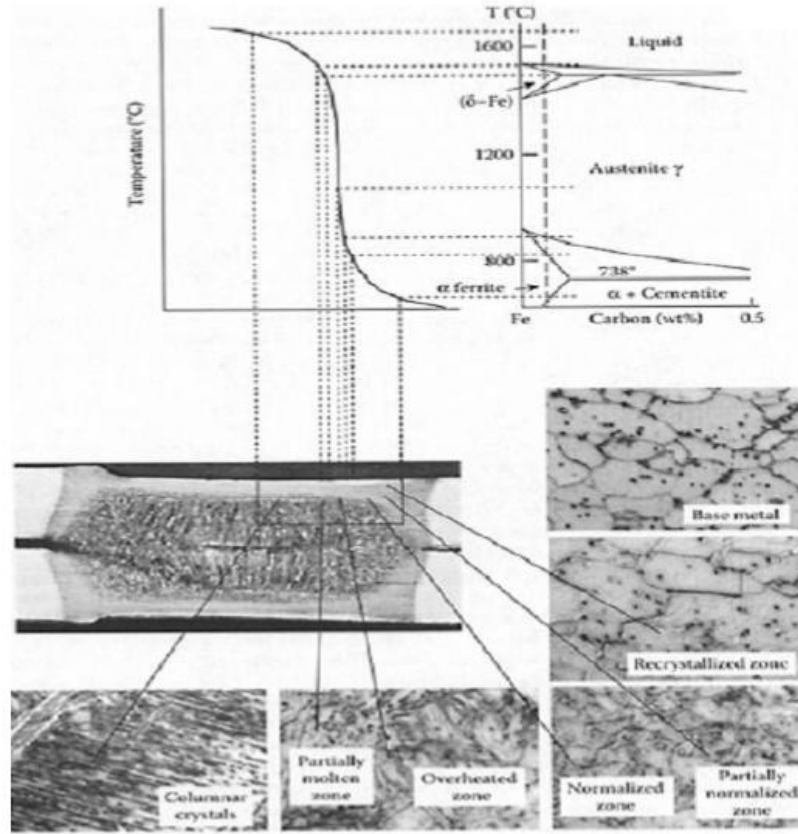
Isıl dengeyi etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1) Kaynağı yapılacak malzemelerin özgül ısıları ile elektriksel iletkenlikleri
- 2) Kaynak edilecek iş parçalarının geometrik yapıları
- 3) Elektrotların ısı ve elektriksel iletkenlikleri
- 4) Elektrotların geometrisi

2.1.2.3.9. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB)

Teorik olarak ITAB olarak adlandırılan bölge ortam sıcaklığının üstünde kalan bölgeyi tanımlamakla birlikte genel anlamda kaynak ısısından etkilendiği ölçülebilen bölgeyi açıklamak adına kullanılmaktadır. Genel anlamda ITAB 3 ana bölgeye ayrılmıştır. Birincisi süper kritik bölge olarak adlandırılır. Bu bölge kaynak çekirdeğine bitişik olan bölgedir ve tane irileşmesinin görüldüğü kısımdır. İkinci kısım ise orta bölgedir. Bu alandaki sıcaklık süper kritik bölgenin sıcaklığından daha düşük değerdedir. Bu kısımda kısmi dönüşüm gözlenmektedir. Üçüncü bölge kritik altı bölgedir. Bu kısımda ısının etkisi görülmemektedir.

Eğer ısı etkisi altındaki bölge üzerinde sıcaklık dağılımı ve soğuma hızı bilinirse kaynak çekirdeğin soğuma sonrasındaki içyapısı belirlenebilir. Şekil 2.21'de ısı tesiri altındaki bölgenin metalürjik yapısı gösterilmiştir. (Yavuz 2015)



Şekil 2. 21 Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş yapının sıcaklık dağılımı metalürjik yapısı (Yavuz 2015)

2.1.2.3.10. Isı kaybı

Kaynak işlemi sırasında ısı kaybı, akımın uygulanmaya başladığı andan, kaynağın oda sıcaklığına soğumasına kadar geçen zaman aralığında değişen hızlarla devam etmektedir.

Isı kaybı 2 aşamada incelenmelidir.

- 1- Akımın uygulama sırasındaki ısı kaybı
- 2- Akımın kesilmesinden itibaren olan ısı kaybı

Birinci aşamadaki ısı kaybının derecesi aşağıdaki faktörlere bağlı olmaktadır.

- 1-Metalin bileşimi
- 2-Parçaların kütlesi
- 3-Kaynak süresi

4-Dış soğutma aracı

Bu faktörlerden iş parçasının bileşimi ve kütlesi kontrol edilememektedir. Uygulanan bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Isıl iletkenlik, ısının kaynak alanından kayıp veya iletirme hızını belirleyen bir faktördür. Belirtilen bu iki faktör metal malzemelerde aynı yönde paralel olarak görülür. Örneğin, bakır bir malzeme gibi yüksek iletken bir metal malzemede üretilen düşük miktardaki ısı yüksek bir hızla çevre metal malzemeye ve elektrotlara doğru kaybolmaktadır. Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iş parçaları ile temasta kalırsa, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletimi nedeniyle, kaynak bölgesinde hızlı bir soğuma meydana gelir. Elektrotların etkin bir şekilde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırmaktadır. Kaynak alanından iş parçalarına doğru olan soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanılarak azaltılabilmektedir. Bu şekilde bir uygulama, çevre metal malzemeye daha fazla ısı iletimine izin verir. Aynı zamanda çevre metal malzemenin sıcaklığını artırarak kaynak bölgesi ile çevre metal arasındaki sıcaklık farkını azaltmış olur. Sıcaklık farkı soğuma hızlarını kontrol etmede oldukça önemli bir durumdur. Genelde uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda soğuma hızı düşüktür, kısa kaynak zamanının kullanıldığı ince levhalarda ise soğuma hızı yüksektir. Elektrotlar kaynak alanından hemen kaldırılırsa, ısı kaynak bölgesini çevreleyen metal malzemeye ve atmosfere geçebilir. Böyle bir durumda soğuma hızı bir miktar azalacaktır. İnce parçalar göz önüne alındığında, distorsiyon nedeniyle bu yöntem sakıncalı olabilmektedir. Kalın parçalarda, mukavemet sebebiyle, daha geniş olan kaynak bölgesinin, ergimiş halden itibaren soğumasına imkân vermek için ekstra bir zaman gereklidir. Bu nedenle, ısının büyük bir bölümünün çevre metal malzemeye iletilmesine müsaade etmeden, elektrotları, kaynağın soğumasına imkân verecek kadar yeterli bir zaman yerinde tutmak uygun bir durum olacaktır. Ayrıca kaynak bölgesini her zaman soğutmak uygun bir durum değildir. Su almaya karşı hassas olan malzemeler düşünüldüğünde, elektrotları kaynak akımının kesilmesini takip eden mümkün olduğu kadar hızlı uzaklaştırmak gereklidir. Bu şekilde ısının çevre metale yayılması mümkün olacaktır. Böylelikle Dik soğuma gradyanı da oluşmaz.

2.1.2.3.11. Nokta kaynak makinelerinin sınıflandırılması

Nokta kaynak makinelerinin kullanıldığı sektörlerde sürekli değişen farklı isteklere göre farklı tipte, kapasitede ve donanımda kaynak makineleri olabilmektedir. (Anonim 2016f)

1) Mekanik nokta kaynak makinesi;

Mekanik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip olan bu model maksimum 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapma kabiliyetine sahiptir.

2) Pnömatik nokta kaynak makinesi;

Pnömatik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sisteme sahip olan bu model ile en fazla 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapılabilir.

3) Kaportacı kaynak makinesi;

Kaporta düzeltme, tek ve çift taraflı nokta kaynağı, vida saplama, çektirme işlerinde kullanıma uygun bir modeldir. Elle sıkmalı veya hava sıkmalı özellikte olan bu model en fazla 2+2 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapılabilir.

4) Elde taşınabilir nokta kaynak makinesi;

Elle veya hava sıkmalı özellikte olan bu model ile en fazla 1+1 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapılabilir.

5) Özel tasarımlı tam otomatik nokta kaynak makinesi;

Genellikle otomobil sektöründe kaporta imalatı seri üretiminde kullanılmaktadır.

6) Nokta kaynak robotu

2.1.2.3.12. Kaynak hataları ve nedenleri

Sürekli ve yüksek kaliteli nokta kaynaklarının sağlanabilmesi tabakaların kalınlık, birleşim oranları, iş parçalarının yüzey durumları ve kaynak yapılacak malzemelerin temperlenmesinin; teçhizatın elektrik-mekanik münasebetinin, elektrot bakımının,

kaynak programı seçiminin iyi bir şekilde kontrolüne bağılı bir durumdur. Yapılacak bu kontrollerin en iyi şekilde yapılabilmesi için kaynak hatalarının çeşitlerini ve bu hataları meydana getiren sebepleri tamamıyla bilmek gereklidir. (Almus 2006)

Kaynak hataları genel olarak dış ve iç hatalar olmak üzere iki şekilde incelenir.

İç hatalar;

İç hatalar levhaların içerisinde oluşan ve özellikle kaynak çekirdeği ile direkt ilgili olan hata çeşididir. İç hataların dayanım üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. (Almus 2006)

Kaynak nüfuziyeti;

Nokta kaynağında nüfuziyet, erimenin parçalar içinde uzanabildiği derinlik olarak ifade edilir. Bu da levha kalınlığının yüzdesi olarak açıklanabilir. Nüfuziyet sınırının kaba şekilde % 20 – 80 arasında değişimine izin verilebilir. En az ve maksimum sınırları aşan kaynak işlemleri, kaynak mukavemetinde istenmeyen değişmelere sebebiyet verebilir. (Almus 2006)

Yetersiz nüfuziyet;

Nüfuziyeti % 20'den az olacak biçimde yapılan kaynak işlemleri akım zaman ve elektrot kuvvetindeki normal değişmeler nedeniyle zayıf olarak teşekkül edebilir. Yetersiz nüfuziyete aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Yetersiz kaynak akımı
- b) Aşırı kaynak basıncı
- c) Uygun olmayan ısıl denge
- d) Çok büyük elektrot ucu
- e) Uygun olmayan yüzey durumu

Aşırı nüfuziyet;

Nüfuziyeti % 80'den fazla olan kaynak işlemlerinde aşırı nüfuziyet görülür. Bu durum fişkıma, çatlaklar ve gözenekler gibi hataları meydana getirebilir. Aşırı nüfuziyete aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Uygun olmayan yüzey durumu
- b) Çok küçük elektrot ucu
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
- d) Yeterli olmayan kaynak basıncı
- e) Yeterli olmayan elektrot soğutulması

Simetri;

İyi oluşturulmuş bir kaynak noktası yatay ve düşey eksenlere göre simetrik simetrik bir konumda olmalıdır. Sabit bir kaynak kalitesi sağlamak için üniform olarak oluşturulmuş, uygun olarak konumlanmış, birleşme içinde düzgün olan noktalar istenmektedir. Simetrik olmayan kaynak noktalarına aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Elektrotların yanlış hizalanması
- b) Çok küçük elektrot ucu
- c) Uygun olmayan yüzey durumu
- d) Uygun olmayan kaynak programı
- e) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi

Kaynak akımının ve basıncının uygun olmayan bir şekilde uygulanması gözenekli bir kaynak yapısına neden olabilir. Gözeneklilik durumunda ise normal olarak eksik bir kaynak basıncının sonucudur. Gaz kabarcıklarının oluşmasına ve gözenekliliğe aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

Gaz kabarcıkları ve gözeneklilik;

- a) Fıçkırma gaz kabarcıkları genellikle fıçkırma şiddetli olduğu zaman medyana gelir
- b) Uygun olmayan kaynak basıncı
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
- d) Uygun olmayan kaynak akımı yükselme hızı

İç çatlaklar;

Kaynak sırasında oluşan iç çatlaklar birkaç şekilde tespit edilebilirler. Radyografi ile tahribatsız olarak, kaynaktan kesit almak suretiyle de tahribatlı olarak incelenebilmektedirler. Çatlaklar kaynak içinde enine ya da boyuna doğru konumlanmış olabilir. Bu çatlaklar kaynak bölgesinde ısı tesiri altında kalan bölgeye kadar uzanabilirler ya da kaynak bölgesi ile sınırlanabilirler. İç çatlaklara aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Yetersiz kaynak basıncı
- b) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
- c) Elektrotların aynı hizada olmamaları
- d) Aşın kaynak akımı
- e) Elektrotların yana kayması
- f) Yetersiz elektrot soğutulması

Dış hatalar;

Dış hatalar genellikle gözle görülebilen tipteki hata grubudur. Kaynak mukavemeti üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. (Almus 2006)

Yüzey yanması;

Yüzey yanması, elektrotlarla temasta olan metal malzeme yüzeyinin erimesi olarak ifade edilmektedir. Bu durum yüksek akım, yüksek basınç ve uzun süreli kaynak işlemlerinde kaynak metalinin yüzeyinde oluşan yanma durumlarıdır. Kaynak kalitesi ve görünüşü, büyük ölçüde yüzey yanması durumundan olumsuz şekilde etkilenir. Yüzey yanmasına aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Çok seyrek elektrot temizlenmesi
- b) Uygun olmayan yüzey durumu
- c) Yetersiz kaynak basıncı
- d) Aşırı kaynak akımı
- e) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
- f) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
- g) Elektrotların yana kayması
- h) Yetersiz elektrot soğutulması
- ı) Uygun olmayan elektrot malzemesi

Levha ayrılması;

Levha ayrılması kaynak noktası etrafında parça yüzeylerinin ayrılması olarak ifade edilir. Ayrılma, iki dış levhanın ortalama kalınlığının %10'unu geçmiyorsa normal olarak kabul edilir. Makaslama kuvveti uygulandığında birleşme bölgesindeki eğilme momentini arttırdığından, aşırı ayrılma olumsuz bir durum olarak görülür. Levha ayrılmasına aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Aşırı kaynak basıncı
- b) Bir hizada olmayan elektrotlar
- c) Çok küçük elektrot ucu
- d) Fıskırma
- e) Aşırı kaynak akımı
- f) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
- g) Aşırı kaynak zamanı

Fıskırma;

Kaynak bölgesinde fıskırma, genellikle aşırı ısınmanın ve uygun olmayan basıncın neden olduğu bir durumdur. Ergimiş metalin kaynak bölgesinden taşması durumudur. Fıskırma olmaması için, elektrot kuvveti ve şekli kaynak bölgesi çevresinde bir basınç çemberi temin edecek şekilde olmalıdır. Aynı zamanda kayma yüzeyleri temizlenmiş durumda iyi bir durumda olmalıdır. Ayrıca fıskırma, derin bir yüzey ezilmesi, levha ayrılması gaz kabarcıkları ve kaynak mukavemeti kayıplarına sebep olabilecek bir hatadır. Fıskırmaya aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir.

(Almus 2006)

- a) Uygun olmayan yüzey şartları
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı
- c) Aşırı kaynak akımı
- d) elektrot ucunun çok küçük olması
- e) Elektrotların bir hizada olmamaları
- f) Elektrotların yana doğru kaymaları

Distorsiyon;

Distorsiyon, kaynakların levha kenarına çok yakın bir şekilde yapıldığı zaman oluşma riski çok fazla olan bir hata çeşididir. Deformasyona karşı uygun seviyede mukavemet sağlamak ve ısı ile kenar çatlamlarını azaltmak amacı ile kenar mesafesi uygun bir şekilde ayarlanmalıdır. Yüzey distorsiyonuna aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Elektrodun yana kayması
- b) Aşırı kaynak basıncı
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
- d) Uygun olmayan kenar mesafesi
- e) Fıskırma
- g) Aşırı kaynak akımı

Aşırı ezilme;

Aşırı ezilme, kaynak yüzeylerinde derin çukurlaşmaların oluşması anlamına gelir. Elektrot basıncı kaynak metalinin düşey genişlemesine engel olduğundan bir miktar ezilme meydana gelmesi kaçınılmaz bir durum olur. Kabul edilebilir sınırlar genel olarak ezilmenin olduğu levhanın kalınlığının % 10-20'si arasında değişebilir. Derin olan bir ezilme, kaynak noktası çevresindeki metal malzemenin kalınlığının azalmasına sebep olur. Bu da mukavemet kaybına neden olan bir etkidir. Aşırı ezilmeye aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Çok küçük elektrot ucu
- b) Aşırı kaynak basıncı
- c) Aşırı kaynak akımı

- d) Fıskırma
- e) Aşırı nüfuziyet
- f) Aşırı yüzey ısınması
- g) Uygun olmayan dövme periyodu

Dış çatlaklar;

Dış çatlaklar nokta kaynağının yüzeyine doğru ilerleyen çatlaklar normal olarak uygun olmayan bir kuvvet ve akım ilişkisine işaret eder. Kaynak basıncı, aşırı sıcaklığın oluşmasını önlemek adına yeteri kadar büyük olmalıdır. Düşük değerlerde olan kaynak basıncı temas direncinin büyük olmasına sebebiyet verecektir. Ayrıca ergimiş bölgeyi uygun bir şekilde soğutmak için, basıncın yeteri kadar uzun bir süre uygulanması gerekmektedir. Yüzey çatlakları aynı zamanda nokta kaynağının korozyona karşı direncini azaltan önemli etkenlerden biridir. Dış çatlaklar fazla miktarda isenoktaa kaynağının mukavemetini azaltacaktır. Dış çatlaklara aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da bir kaç neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Elektrotların yanlış hizalanması
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
- d) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
- e) Aşırı nüfuziyet
- f) Aşırı kaynak akımı
- g) Yetersiz elektrot soğutulması

Bakır Birikmesi;

Bakır birikmesi durumu, nokta kaynağının korozyona karşı hassasiyetini arttıran önemli bir husustur. Bakır birikmesini engellemek için bakır döküntüleri tel fırça ile

temizlenerek ortadan kaldırılmalıdır. Kum püskürtme işlemi de temizlemede kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca temizlemeyi kontrol altına almak için % 10'luk asetik asit eriyiği kullanımı da mevcuttur. Bakır birikmesine aşağıda belirtilen faktörlerden biri ya da birkaçı neden olabilir. (Almus 2006)

- a) Uygun olmayan yüzey hazırlama seçimi
- b) Çok seyrek elektrot temizliği
- c) Elektrot uçlarındaki rutubet
- d) Aşırı kaynak akımı
- e) Yeterli olmayan kaynak basıncı

2.2. Çelikler

Çelikler, bir demir (Fe) ve karbon (C) alaşımı olarak oluşmuşlardır. Bunlardan başka farklı oranlarda alaşım elementleri de bulundurabilirler. Çeliklere farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısındaki farklılıklardır. Çeliklere farklı oranlarda alaşım elementleri eklenebileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da değiştirilip kontrol edilerek kullanım amacına uygun olarak özellikler kazandırılabilir. (Çalışoğlu 2009)

Çelikler demir cevherinden ya da hurdadan geri dönüşüm ile iki şekilde elde edilebilmektedir. Sıvı çelikler üretildikten sonra döküm ile ingot olarak ya da sürekli döküm yöntemiyle kütük olarak farklı şekillere sokulabilirler. (Çalışoğlu 2009)

Çeliklerin temel özellikleri;

- 1) Çeliklerin çoğu ısıtılmalara karşı duyarlı malzemelerdir. Kimyasal bileşimlerinin yanında uygulanan ısıtılmalara sonucunda istenen sertlik, mekanik ve elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri elde edebilirler.

- 2) Çelikler yapılarına göre uygun sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşabilen malzemelerdir (Haddeleme, Presleme, Dövme).
- 3) Kimyasal bileşim ve içyapı olarak uygun olan çelikler haddeleme, presleme gibi yöntemlerle soğuk olarak da şekillendirilme özelliğine sahiptirler.
- 4) Ayrıca talaş kaldırıcı tezgâhlarda işlenerek, istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne kavuşturulabilirler. (Çalışoğlu 2009)

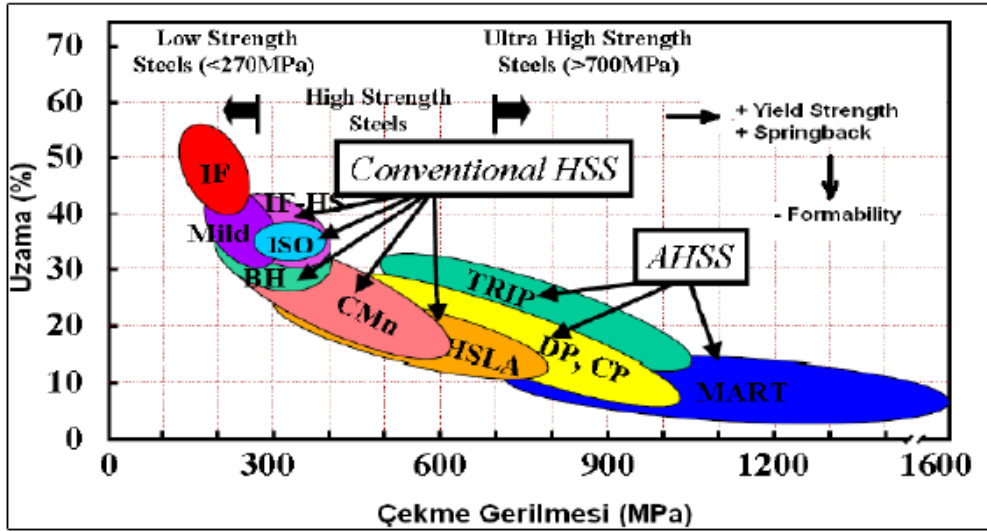
2.2.1. Dual fazlı çelikler

1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi, otomobillerde yakıt tüketimini azaltıcı yönde tedbirler alınmasına neden olmuştur. Bu sebeple daha hafif otomobillerin imal edilmesinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı ortaya çıkmıştır ve önem kazanmıştır. Bundan dolayı yüksek mukavemetli az alaşımlı (H.S.L.A) çelikler, diğer karbon çelikleri ile karşılaştırıldığında şekil verilebilirlik özelliklerinin iyi olmadığını farkına varılmıştır. Böylelikle yeni bir malzeme arayışına başlanmıştır. Bu arayışlar doğrultusunda dual fazlı çelikler geliştirilmeye başlanmıştır. (Çalışoğlu 2009)

Dual fazlı çelik malzemelerin tarihsel gelişimini şu şekilde açıklamak mümkündür; dual fazlı çelikler ilk kez 1937'de Grabe tarafından, yatak malzemesi üretmek amacıyla % 0,25 C içeren çeliği kritik bölgeden soğutarak dual fazlı bir yapının oluşturulmasıyla yeni bir patent aldığında tanınır hale gelmiştir. 1960'lı yıllarda, Williams ve Davies, kalay kaplama çalışmaları için yeniden fosforlanmış çeliklere bir alternatif olarak ferrit martenzit şerit gelişimi üzerine bir çalışma ortaya çıkarmışlardır. Bu çalışma dual fazlı çeliklerin temel inceleme periyodu olarak bilinir. Cairns ve Charles tarafından yapılan çalışmalar da bu tip çelikler üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri olarak literatüre geçmiştir. Ancak asıl araştırmalar, bu çeliklerin gelişmesine ve anlaşılmasına önemli bir yardım sağlandığı 1970'ler boyunca gelişimini sürdürmüştür. Özel olarak, Tamura ve arkadaşları martenzitin mukavemeti ve hacim oranı arasında bir ilişki bulmuşlardır. Hayami ve Furukawa ise sürekli tavlama ile işlenen ferrit-martenzit çeliklerinin özellikleri üzerine çalışmışlardır. Rashid standart bir vanadyumlu HSLA kalite (GM

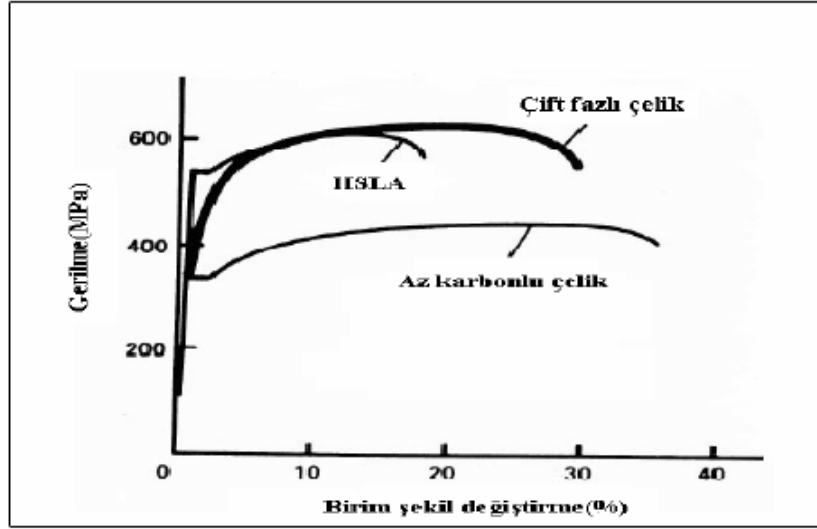
980 X) kullanarak ticari dual fazlı çeliklerin üretimi üzerine yayınlar çıkarmıştır. Böylelikle bu malzemelerin gelişimine katkı sağlamıştır. (Aydın 2006)

Dual fazlı çelikler yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin bir türüdür. Dual fazlı çeliklerin mikro yapılarında, ferrit matris içinde adacıklar şeklinde martenzit fazı bulundurmaktadırlar. Dual fazlı çelikler yumuşak ferrit ve sert martenzit (M) fazını bir arada içerdikleri için hem yüksek mukavemet hem de yüksek süneklığe sahip çelik türüdür. Soğuma hızına bağlı olarak dual faz mikro yapısında ferrit ve martenzitin yanı sıra arzu edilmeyen; beynit, perlit ve kalıntı östenit fazları da bulunabilir. Ancak bu yapıların oluşumu mümkün olduğunca önlenmeye çalışılmaktadır. (Hayat 2009)



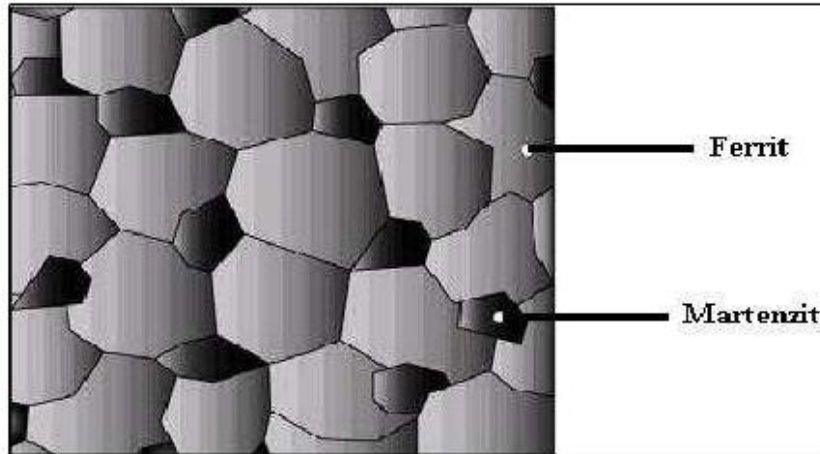
Şekil 2.22 Artan mekanik özelliklere bağlı olarak çeliklerin gelişimi 3. Nesil ASHH (ASHH: İleri yüksek mukavemetli çelikler) (Hayat 2009)

Ayrıca dual fazlı çeliklerin, devamlı akma davranışı, %0.2 düşük akma gerilmesi, yüksek çekme gerilmesi ve daha yüksek toplam (%) uzama gibi temel özelliklere de sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. (Çetin 2014)



Şekil 2. 23 Dual fazlı yüksek mukavemetli az alaşımlı (HSLA) ve az karbonlu çeliklere ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri (Çetin 2014)

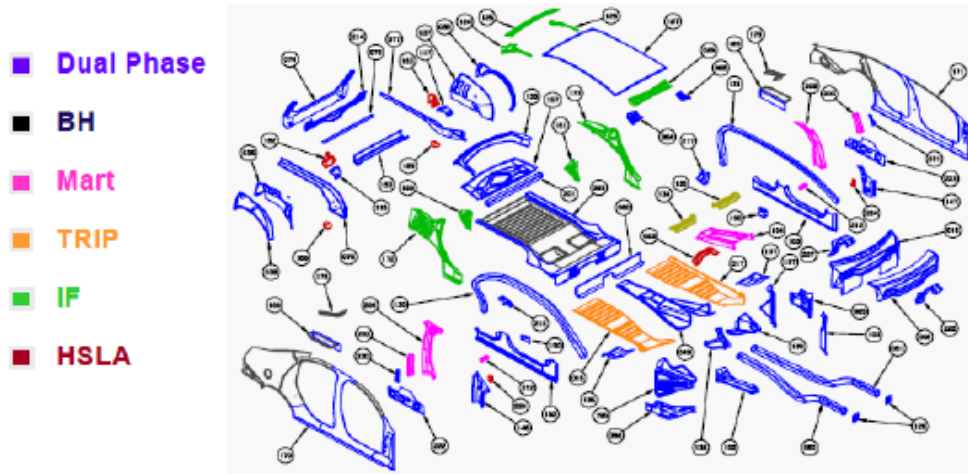
Genel olarak ideal dual fazlı çelik özelliklerinin sağlanması için %15-20 martenzit hacim oranı seçilmektedir. Dual fazlı çeliklerin yapısında bulunan martenzit miktarı tavlama sıcaklığı, soğuma hızı ve çeliğin karbon içeriğine bağlı şekilde farklılık göstermektedir. Martenzit miktarının fazlalaşması dual fazlı çeliğin mukavemetini artırıcı bir etki gösterirken sünekliğin azalmasına sebebiyet vermektedir. (Çetin 2014)



Şekil 2. 24 Dual fazlı yapıda martenzit ve ferrit görünüşü (Çetin 2014)

Dual fazlı çelikler tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri, şasi, jant kapakları, kayış kasnakları gibi temel otomotiv parçalarında kullanılır. Aynı zamanda

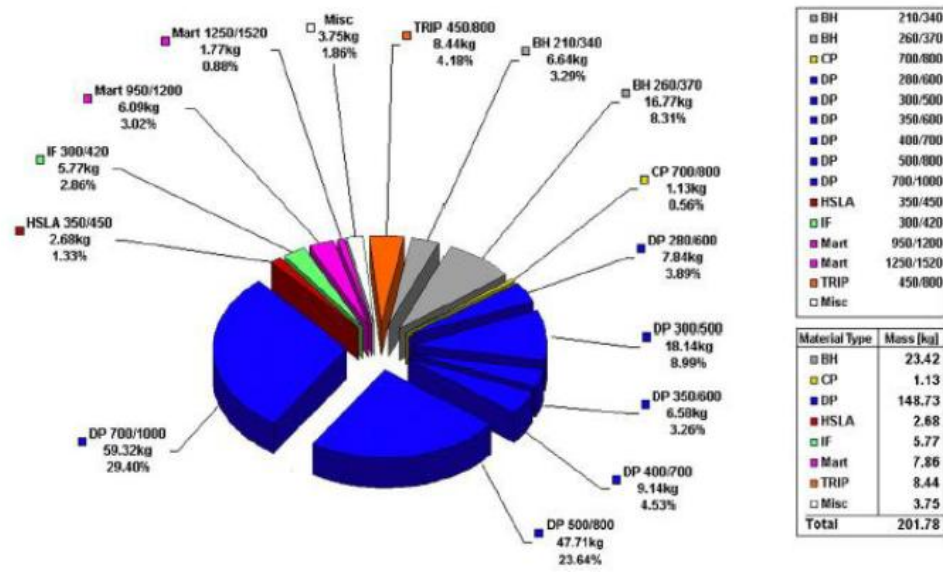
bazı bağlantı elemanları yapımında kullanılan dual fazlı çelikler, 1980 yılından sonra ticari olarak büyük miktarlarda üretimine önem verilmiştir. Günümüzde ticari olarak dual fazlı çelik üreten ülke sayısı artmaktadır. Dual fazlı çelik üretimleri genellikle sürekli tavlama hatlarında yapılmaktadır. Dual fazlı çelik yapısı temel olarak, söz konusu çeliklerin Fe-Fe₃C denge diyagramında Ac₁-Ac₃ sıcaklık aralığında (ferrit-östenit bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp bir süre bekleme sonrasında östenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla birlikte oluşturulurlar. Benzer özellikteki çeliklerle karşılaştırıldıklarında, düşük akma mukavemeti, yüksek pekleşme oranı, çekme mukavemeti, eşdeğer uzama ve toplam uzama değerleri göstermektedirler. Pekleşme oranlarının yüksek olması şekillendirme sonrası mukavemetlerinin artmasını sağlar. Bununla birlikte benzer çelik malzemelere oranla parça ağırlığını %15-20 miktarında azaltarak taşıt ağırlığının düşürülmesini sağlaması oldukça büyük önem arz etmektedir. Günümüze kadar üretilen otomobillerin ağırlıklarının ortalama %63'ü çelik malzemeden üretilmekteydi. Şekil 2.25'de otomotiv parçalarında kullanılan farklı özellikteki çelikler gösterilmiştir. (Bilir 2014)



Şekil 2. 25 Otomotiv parçaları olarak çeliklerin kullanımları (Dual phase: Dual fazlı çelik, BH: Fırında sertleştirilen çelikler, Mart: Martenzitik çelikler, HSLA: Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler) (Bilir 2014)

ULSAB AVC araştırma sonuçlarına göre, otomotiv gövdesinde %85 oranında AHSS kullanılması üretim maliyetlerini arttırmadan yaklaşık %25'lik bir ağırlık azalması meydana gelmektedir. ULSAB-AVC' de belirlenen gövde yapısında yüksek

mukavemetli çelik (HSS) kullanımı %15'e kadar düşürülmüştür. Bununla beraber AHSS kullanımı % 82'ye oranına kadar çıkarılmıştır. Bu araştırmalarda dual fazlı çelik kullanımı %74 olarak yüksek bir oranda belirlenmiştir. Şekil 2.26'da C sınıfı gövde yapısında çelik kalitesine göre kullanım dağılımı gösterilmiştir. Dual fazlı çelik elde edilmesi teorik olarak tüm ötektoidal çeliklerde mümkün olmaktadır. Orta karbonlu dual fazlı çeliklerin karbon oranından dolayı iyi kaynak edilebilirlik sağlayamayacağı belirlenmiştir. Fakat kaynak gerektirmeyen maden ve mineral işleme alanlarında kullanılan çeliklerde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. (Bilir 2014)



Şekil 2. 26 Kalite/çelik kullanım dağılımı (Bilir 2014)

2.2.1.1. Dual fazlı çelik üretimi ve ısı işlemleri

Dual fazlı çeliklerin imal edilmesi farklı metotlarla gerçekleştirilebilmektedir. (Çizelge 2.1). Kimyasal bileşim seçimi üretimde en önemli parametredir. Bu seçim maliyet açısından da önem arz etmektedir. (Çalışoğlu 2009)

Ticari olarak dual fazlı çelikler;

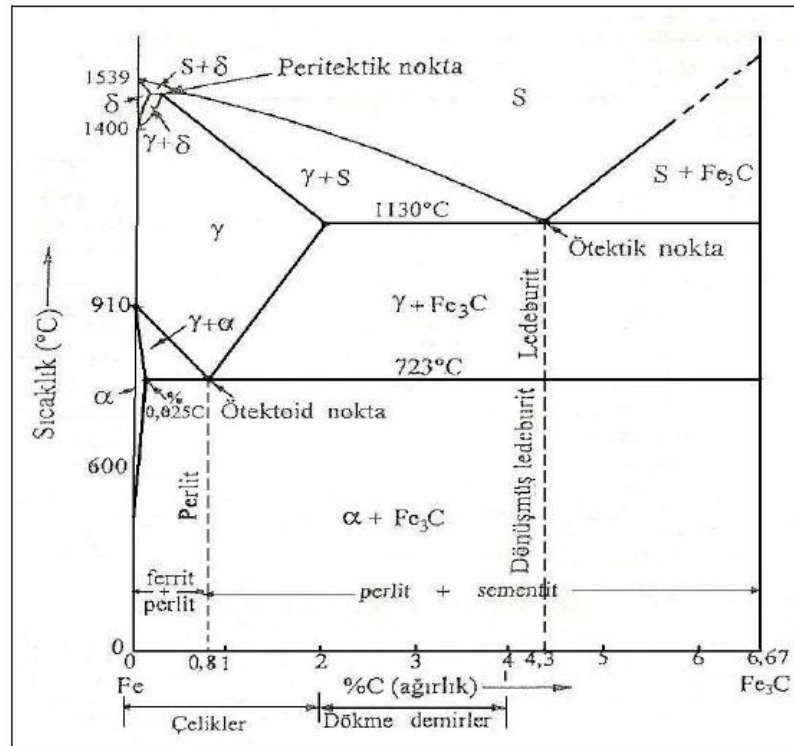
- Sürekli tavlama-sıcak haddeleme,
- Sürekli tavlama soğuk-haddeleme,
- Kutu tavlama,

d) Sıcak haddeleme yöntemleri ile üretilebilmektedir.

Çizelge 2. 4 Üretim yöntemine göre ticari dual fazlı çelik kimyasal bileşimler (Çalışoğlu 2009)

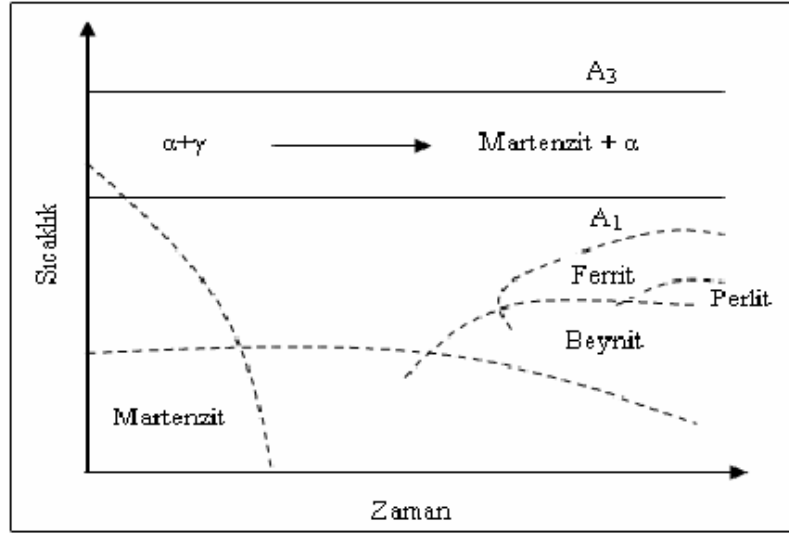
Üretim Yöntemi	Bileşim, % Ağırlık						
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	N
Sürekli tavlama, sıcak haddeleme	0.11	1.43	0.61	0.12	0.08	0.06	0.01
Sürekli tavlama, soğuk haddeleme	0.11	1.20	0.40	-	-	-	-
Kutu tavlama	0.12	2.10	1.40	-	-	-	-
Hadde esnasında	0.06	0.90	1.35	0.50	0.35	-	-

Dual fazlı çeliklerin esas olarak, düşük alaşımlı ya da alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin Fe-C denge diyagramındaki (Şekil 2.27) A₁-A₃ sıcaklık aralığında (ferrit+östenit bölgesinde) bir süre bekletilip, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin belirli bir hızdaki soğutma ile birlikte martenzite dönüştürülmesiyle oluşturulurlar. (Çalışoğlu 2009)



Şekil 2. 27 Fe-C denge diyagramı (Çalışoğlu 2009)

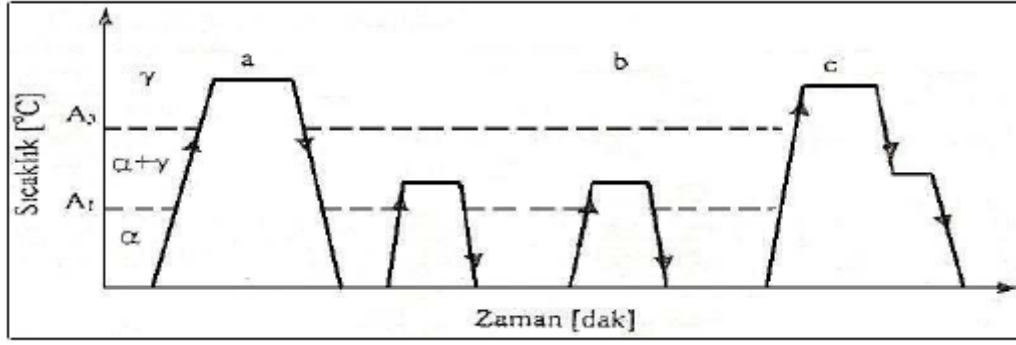
Çeliklerde dual fazın mikro yapısı, Şekil 2.28’de gösterildiği gibi, A_1 - A_3 kritik sıcaklıklar arasında ısıtılıp, çeliğin sertleşme kabiliyetine bağlı olarak, uygun bir hızda soğutulmasıyla üretilirler. (Aydın 2006)



Şekil 2. 28 Dual faz mikro yapısının elde edilmesinin şematik gösterimi (Çalışoğlu 2009)

Bu üretim safhasında kritik sıcaklıklar arasında oluşan östenitin, perlit veya beynite dönüşmeden, martenzit yapısının ortaya çıkmasına imkân verecek şekilde soğutma hızı belirlenir. Martenzit dönüşümü devam ederken östenitin bir kısmı kalıntı östenit olarak dönüşmeden kalmış olur. Elde edilen mikro yapıda östenit, martenzit ve ferrit birlikte olurlar. Östenit ve martenzit ikinci faz olarak kabul edilip martenzit fazı olarak isimlendirilmektedir. Bununla birlikte dual faz çelik mikro yapısının ferrit ve martenzitten ibaret olduğu kabul edilir. (Türkmen ve Gündüz 2013)

Genel olarak düşük karbonlu olarak üretilen bu çeliklerde ferrit ve martenzitin dışında mikro yapıda perlit, beynit, sementit ve kalıntı östenit de olabilir. Dual fazlı çelikler; ferrit+östenit bölgesinde bir süre bekletilmeyi içeren üç farklı ısıl işlem metoduyla elde edilirler. (Türkmen ve Gündüz 2013)



Şekil 2.29 Dual-faz ısıl işlemleri için sıcaklık aralıkları (Türkmen ve Gündüz 2013)

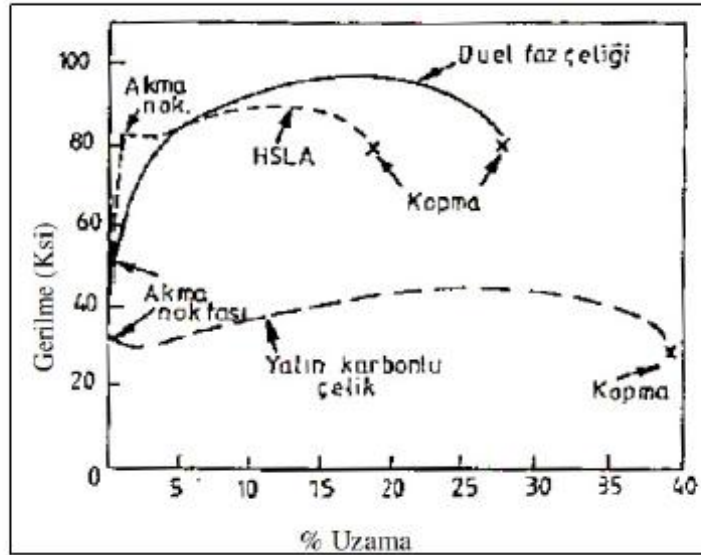
Şekil 2.29(a)'da önce östenit bölgesinde tavlama yapıp hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Burada oluşan yapı martenzittir. Daha sonra tekrar (+) bölgesinde tavlanirsa martenzit tane sınırlarında östenit çekirdeklerinin oluşumu görülür. Bu sıcaklıkta su verilirse ferrit matrisi içerisinde dağılmış ince fiberli martenzit oluşumu meydana gelir (Ara su verme). Şekil 2.29(b)'de, başlangıçta ferrit ve perlitten ibaret olan yapı (+) bölgesinde tavlanişmaktadır. Ferrit+sementit arayüzeyinde oluşan östenit çekirdekleri zamanla büyümeye başlar. Su verildikten sonraki mikroyapı, ferrit sınırları boyunca ince küresel martenzitten ibaret bir hal alır. (Direkt su verme). Şekil 2.29(c)'de önce östenitleme yapıp, daha sonra (+) bölgesine soğutulmuştur. Östenit tane sınırlarında ferrit çekirdekleri oluşumu vardır. Ferrit-östenitten ibaret yapı, hızla soğutulduğunda ferrit yapı tarafından çevrelenmiş kaba martenzit partikülleri oluşur (Kademeli su verme). (Türkmen ve Gündüz 2013)

Her üç işlemde elde üretilmiş dual faz çeliklerin mekanik özellikleri birbirinden farklı olur. Örneğin aynı miktarda martenzit hacim oranı için ara su verilmiş yapının üniform ve toplam % uzama değerleri, kademeli su verilmiş yapının üniform ve toplam % uzama değerlerinden daha fazladır. Kademeli su verme yöntemiyle üretilen dual fazlı yapının, diğer metotlarla elde edilen dual fazlı yapılara göre sünekliğin daha az olmasına, deformasyonun erken safhalarında çatlak oluşması ve hızla ilerlemesi neden olur. Ticari olarak dual fazlı çeliklerin üretilmesinde, yukarıdaki ısıl işlemleri kapsayan genellikle sürekli tavlama ve haddeleme metotları kullanılır. Diğer bir üretim metodu olan ve soğuk haddelenmiş saclara uygulanan kutu tavı metodu ise, henüz gelişme aşamasındadır ve şuan için çok dar bir uygulama vardır. (Türkmen ve Gündüz 2013)

2.2.1.2. Dual fazlı çeliklerde mekanik özellikler

Akma mukavemeti;

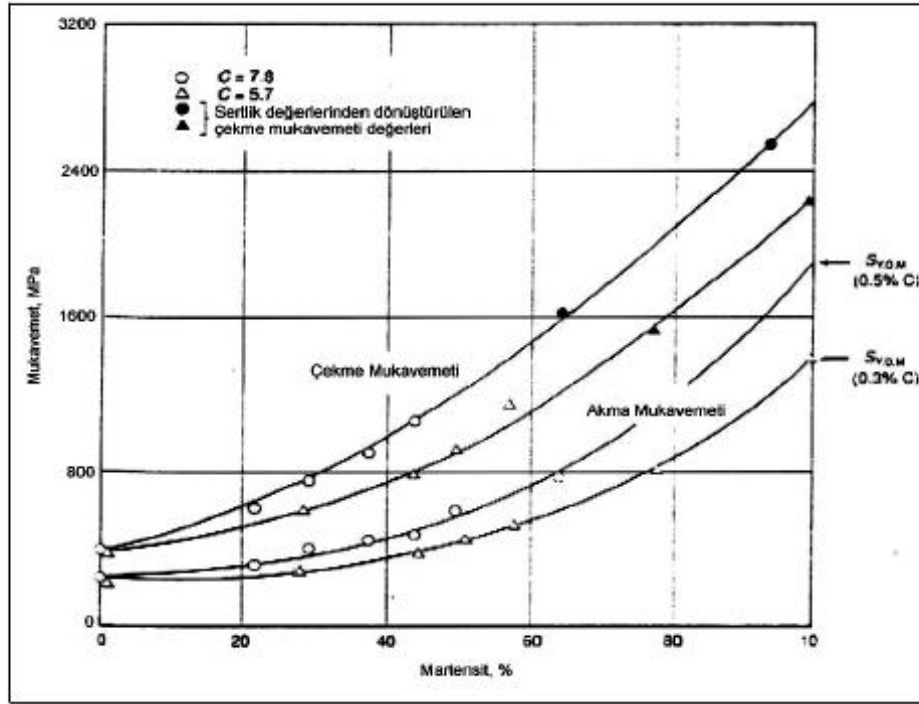
Dual fazlı çeliklerin çekme deneylerinde belirgin bir akma noktası görülmez. Dual fazlı çeliklerde martenzitik dönüşüm sebebiyle ferrit tane sınırlarında meydana gelen hareketli dislokasyonlar sürekli akmaya sebebiyet verirler. Fakat yüksek tavlama sıcaklığı sebebiyle martenzit partikülleri arasındaki mesafenin çok olması ya da yavaş soğutma sebebiyle yapıda martenzitin yanında perlitin de bulunması süresiz akmaya sebebiyet verebilir. Genel olarak dual fazlı çeliklerde akma mukavemeti nispeten düşük değerlerdedir. Ancak sadece temperleme ya da ön soğuk deformasyon işleminden sonra yapılacak temperleme ile birlikte akma mukavemetleri artırılabilir. Böylelikle bu çeliklerde akma mukavemetinin isteğe göre düşürülüp artırılabilceği durumu ortaya çıkar. Akma gerilmesi martenzitteki karbon oranına bağlı değildir. Akma gerilmesi martenzit hacim oranına bağlı farklılık gösterir. Dual faz çeliğinin tane iriliği arttıkça martenzit hacim oranının artışına paralel olarak akma gerilmesi de artma gösterebilmektedir. (Çalışoğlu 2009)



Şekil 2. 30 Dual faz ve klasik yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik (YMDA) gerilme uzama ilişkisi (Çalışoğlu 2009)

Dual fazlı çeliklerde, çekme deneyi sonuçlarından sağlanan gerilme-gerinim diyagramları incelendiğinde akma bölgesi belirgin olarak görülmemektedir. Bu çeliklerin akma dayanımı düşüktür. Dual fazlı çeliklerin bu özellikleri düşük alaşımli yüksek dayanımlı çeliklerle karşılaştırmalı bir şekilde Şekil 2.30'de gösterilmiştir. Dual fazlı çeliklerin belirgin akma bölgesi göstermemeleri ve akma dayanımlarının düşük değerlerde olmasının sebebi $\alpha + \gamma \rightarrow \alpha + M$ dönüşüm esnasında oluşan hacim büyümesi sonucunda ferrit tanelerinde ortaya çıkan iç uzama enerjileri ve oluşan serbest dislokasyonların varlığıdır. (Aydın 2006)

Dual fazlı çelikleri aantajlı kılan optimum dayanım-süneklik değerleri için MHO değerinin %15-25 civarında olması gereklidir. Bununla birlikte malzemenin karbon içeriğinin %0.3'ten az olması istenmektedir. Dual fazlı çeliklerin dayanımlarını artırabilmek için östenitin miktarını ve sertleştirilebilirliğini artırıcı alaşım elementlerinin (Mn, Cr, Mo, V, Ni vb.) yapılarına eklenmesi gereklidir. Ancak yapısında bulunan alaşım elemanları ferritin saflığını bozmayacak miktarlarda olmasına dikkat edilmelidir. Dual fazlı çeliklerin akma ve çekme dayanımları üzerine MHO, martenzit morfolojisi ve karbon içeriği baskın olmakla birlikte ferrit fazı özellikleri de etkili olmaktadır. Faz hacim oranları ve özellikleri kontrol edilerek, dual fazlı çeliklere arzu edilen dayanım değerleri kazandırmak mümkündür. (Çalışoğlu 2009)



Şekil 2. 31 %1.5 Mn çeliğinde ferrit-martensit oranına göre akma ve çekme mukavemetleri (Çalışoğlu 2009)

$S_{y0.5M}$: Martensitin akma mukavemeti,

C: Martensit akma mukavemetinin ferrit akma mukavemetine oranı

Martenzit fazının hacim oranı veya mukavemeti (sertliği) arttıkça dual fazlı çeliklerin mukavemeti de artmaktadır. %1.5 Mn içeren çeliklerden elde edilen değerler Şekil 2.31'de gösterilmiştir. Martenzitin mukavemeti, bu fazın interkritik tavlama koşullarına ve çeliğin orijinal karbon içeriğine bağlı olan karbon içeriği tarafından belirlenmektedir. Ferrit fazının mukavemetinin yüksek olması da çeliğin mukavemetini arttırıcı bir etkendir. Bu durum ferritin tane boyutuna ve alaşım elementlerinin yardımcı olacağı katı eriyik sertleşmesine bağlı olmaktadır.

Çekme Dayanımı;

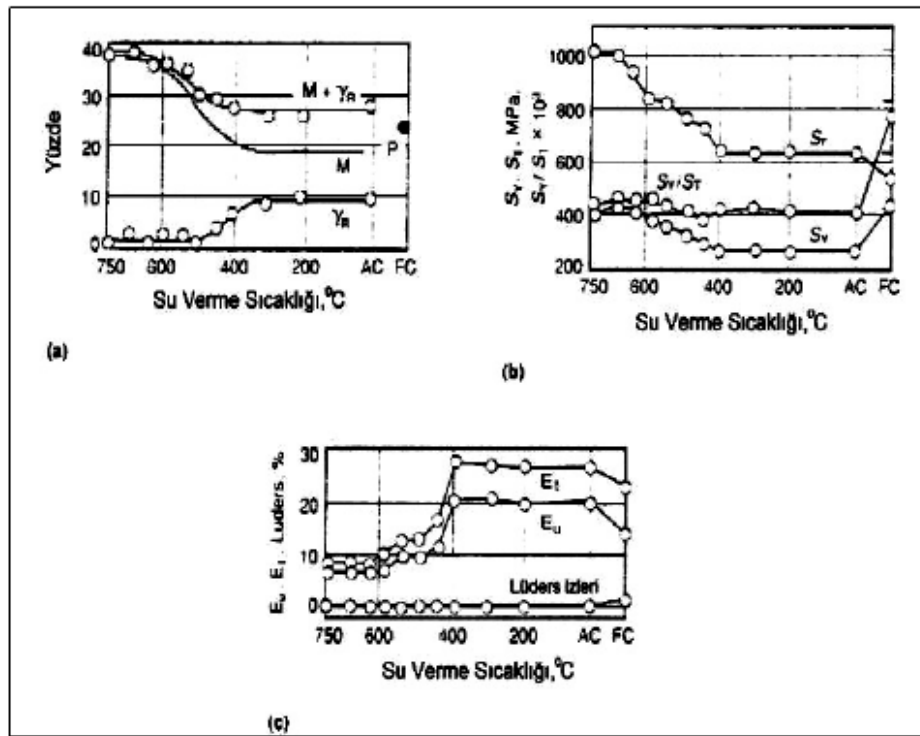
Dual fazlı çeliklerin çekme dayanımına etki eden mikro yapı elemanları, düşük dayanımlı ferrit ve yüksek dayanımlı martenzit fazları ve bu fazların morfolojileri olmaktadır. Dual fazlı çeliklerin dayanımına esas etkiyi martenzit fazının yaptığı görülmektedir. Çekme dayanımı martenzit hacim oranına bağlı olarak doğrusal olarak değişim göstermektedir. Martenzit hacim oranı ise, östenitleme sıcaklığının dışında, östenit fazının sertleşebilirliğine bağlı bir durumdur. Östenit fazının sertleşebilirliği bir tek karbon miktarına bağlı ise, A_3 sıcaklığına yaklaştıkça, östenit fazındaki karbon miktarı azalır. Bununla birlikte martenzit dışındaki östenit dönüşüm ürünleri ortaya çıkabilir. Bu ise çekme dayanımında azalmaya neden olabilir. Kim ve Thomas (1981) dual fazlı çeliklerin çekme özelliklerine etki eden faktörleri aşağıda belirtilen şekilde ifade etmişlerdir. (Aydın 2006)

- a. Ferrit ve martenzitin özellikleri
- b. Ferrit ve özellikle martenzit (ikinci faz) morfolojisi
- c. Martenzit hacim oranı ve martenzitin karbon içeriği

Bunların durumu ise, alaşım elementleri, kritik tavlama sıcaklığı, tavlama süresi ve soğutma hızı ile belirlenmektedir. Davies (1979) %0.2 P ve %2 Si alaşımlı çelikler üzerinde yaptığı çalışmada %2 Si katılmasını dual fazlı çeliklerde iyi düzeyde dayanım-süneklik özelliği kazandırdığını ifade etmiştir. %0.2 P ve %2 Si alaşımına sahip dual fazlı çelikler klasik yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerle karşılaştırıldığında daha fazla ve düzgün toplam uzamaya sahip durumdadırlar. Si ve P elementlerinin ferrit fazının saflığını bozmadan ferriti katı eriyik olarak mukavemetlendirmesi bunda etkili olmaktadır. Si ve P karbon atomlarının aktifliğini artırarak ferritten difüzyonu kolaylaştırmaktadır. Si aynı zamanda M/α ara yüzeyinde karbür oluşmasını önlemektedir. Sarwar et al.(2005) martenzit miktarı sabit tutulduğunda yeni ferritin malzemenin sünekliğini artıracığını ifade ederler. Ancak mukavemetini belirgin bir şekilde düşüreceğini ifade etmişlerdir. (Aydın 2006)

Tokluk;

Tokluk dual fazlı çeliklerin yüksek tokluğunun ferritin düşük karbon içeriği, martensitin plastisitesi ve kalıntı ostenit miktarı gibi etkenlere bağlı olduğu düşünülür. En çok kabul gören düşünce, kalıntı ostenitin miktarı ve plastik deformasyon sırasındaki dönüşümünün etkisi olduğu düşüncesidir. Tavlama sırasında yapılan müdahaleler sonucunda kalıntı ostenit miktarı değiştirildiğinde, tokluğun maksimum bir değere ulaştığı görülmektedir. (Çalışoğlu 2009)



Şekil 2. 32 AC: havada soğuma, FC: Fırında soğutma, (a) kalıntı östenit (gR) miktarındaki değişim, P:perlit, M:Martenzit (b) Akma (S_y) ve çekme (S_t) mukavemetlerindeki değişimi (c) Toplam birim şekil değişiminde (E_t) ve homojen birim şekil değişiminde (E_u) ve Lüders üzerinde olan değişim (Çalışoğlu 2009)

Şekil 2.32 750°C'den itibaren çeşitli sıcaklıklara soğutulmuş olan 0.1C - 0.2Si, 2Mn çeliğinin özelliklerindeki değişimleri göstermektedir.

Süneklik;

Dual fazlı çelikler, aynı mukavemet değerlerinde HSLA çeliklerine göre daha iyi bir süneklik değerine sahiptir. Bunun sebebini şu şekilde açıklamak mümkün olacaktır. Dual fazlı çeliklerde ferrit içinde ince dağılmış karbür ve nitrokarbür parçacıklarının bulunması süneklik açısından bir dezavantaj olmaktadır. Bununla birlikte bu çeliklerde perlit fazının yerini martenzit gibi sünekliği perlitte daha iyi olan bir faz almaktadır. Bu ise sünekliği artıran bir etkidir. HSLA çeliklerinin toplam uzama değerleri %18'e kadar artırılabilirken dual fazlı çeliklerin toplam uzama değerleri %28'e artırılmaktadır. Bu şekilde dual fazlı çeliklerin süneklik özelliği en seçkin özelliklerinden biri durumuna gelmiştir. Bu durum dual fazlı çeliklerin ticari olarak da ilgi çekmesine neden olmaktadır. (Aydın 2006)

Dual fazlı çeliklerde süneklik büyük oranda ferrit fazı hacim oranına ve karakterine bağlı olarak değişmektedir. İyi süneklik değerleri için ferritin saf ve hacim oranının %80'den fazla olması gereği ortaya çıkar. Dual fazlı çeliklerde toplam % uzama, artan martenzit hacim oranıyla azalmaktadır. Düşük karbonlu martenzit fazı, sünekliğin yüksek olmasına neden olabilir. Çünkü düşük karbonlu martenzitin çatlama veya ferrit/ martenzit ara yüzeyinin dekohezyonu zor olmaktadır. (Çalışoğlu 2009)

Sac numunelerde toplam birim şekil değişimi yani toplam % uzama, malzeme çeşidine ve sac kalınlığına göre değişen özelliklerdir. Numune kalınlığı azaldıkça, toplam % uzama azalmaktadır. Fakat üniform uzama sac kalınlığından bağımsız bir durumdur. Speich ve Miller (1979), toplam ve üniform % uzama arasındaki farkın, ikinci fazın karbon içeriği ve/veya martenzit hacim oranı arttıkça azaldığını ifade etmişlerdir. Çünkü bu durumda martenzit/ferrit ara yüzeyinde boşluklar kolayca oluşacaktır. Böylece aralarındaki mesafe kısa olduğu için kolayca birleşeceklerdir. Bu nedenle üniform olmayan % uzama, ikinci faz partikülleri etrafında boşluk oluşumuna ve boyun bölgesindeki hidrostatik gerilmelere bağlı bir durumdur. Sabit martenzit hacim oranında yapıda homojen olarak dağılmış küçük martenzit partikülleri sünekliği arttırmaktadır. Ferrit, dual fazlı çeliklerin sünekliğini etkileyen diğer bir yapıdır. Ferrit fazındaki karbon ve azot miktarının artması sünekliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple ara yer elementi içermeyen ferritin yapıda bulunması istenir. Dual fazlı çeliklerin

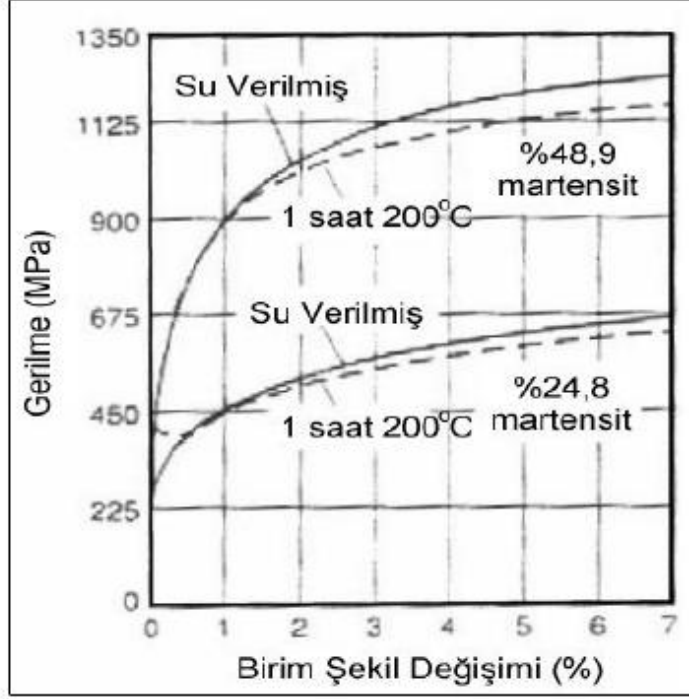
yapısında bulunan büyük miktardaki kalıntı östenitin deformasyon esnasında martenzite dönüşümü uniform % uzamanın artmasına neden olmaktadır. Eğer yapıda %20 kalıntı östenit varsa % uzama %20 oranında artacaktır. Ancak yapıda bulunan kalıntı östenit miktarı az ise veya deformasyon esnasında hemen martenzite dönüşüyorsa, bu fazın uniform % uzama üzerindeki etkisi ihmal edilir. (Çalışoğlu 2009)

Optimum dual faz özelliği elde edebilmek için optimum süneklik-mukavemet kombinasyonu sağlamak gerekmektedir. Bunun için de martenzit tanelerini irtibatsız, ince taneli ve belirli bir hacim oranında elde etmek gerekmektedir.

Temperleme ve deformasyon yaşlanması;

Su verilmiş dual fazlı çelik sacların temperlenmesi sıcak daldırma ile galvanizleme sırasında veya boya pişirme sırasında yapılmaktadır. Boya pişirme sırasında, sac önceden deforme edilmiş olduğundan, deformasyon yaşlanması oluşabilir.

Üretim hattında temperleme aşırı temperlenmeyi önlemek için uygulanmaktadır. Bu tür bir temperleme işleminde, her iki faz da farklı davranışlar görülmektedir. Yüksek karbon içeren martensit fazında hatalı yapının toparlanması, karbürlerin çökmesi ve kalıntı östenitin dönüşümü beklenmektedir. Ferrit fazında ise, dislokasyonlarda karbonun segregasyonu olması ve karbürlerin çökmesi beklenmektedir. İki fazın bir arada bulunması nedeniyle kalıntı gerilmeler ve ferritte yüksek dislokasyon yoğunluğu bulunmaktadır. Bu nedenle dislokasyonlarda karbonun segregasyonu olması ve ferritin hacimsel büzülmesi sebebiyle kalıntı gerilmelerin giderilmesi temperleme işleminde önemli bir durumdur. 200°C civarında yapılan temperlemede, karbonun dislokasyonlarda segregasyonu olması ve kalıntı gerilmelerin yok olması nedeniyle akma mukavemetinde bir artış olmaktadır. Eğer çeliğin martensit içeriği %30'un altında ise süreksiz akmaya geçiş olmaktadır (Şekil 2.33). Genel olarak, dual fazlı çelikler oda sıcaklığında yaşlanmamaktadırlar. 270°C'ye kadar olan sıcaklıklarda yavaş bir yaşlanma davranışı göstermektedirler. Fakat soğuk işlem veya çekme sebebiyle oluşan deformasyon yaşlanma işlemini hızlandırmaktadır. (Çalışoğlu 2009)



Şekil 2. 33 1 saat süreyle 200 C’de temperlemenin, farklı oranlarda martensite sahip %15 Mn içeren %0,06 ve %0,06 ve %0,20 C çeliklerinin gerilme-birim değişimine etkisi (Çalışoğlu 2009)

Alaşım Elementlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi;

Çift-fazlı çeliklerde alaşım elementlerinin belirgin rolü, ısıl işlem sırasında sertleşme kabiliyetini artırmak yani martenzitik dönüşümü kolaylaştırır. Alaşım elementlerinin ikinci bir etkise de ferriti, katı eriyik sertleştirme ve çökeltme sertleşmesiyle dayanımlandırılır. Artan alaşım elementleri oranı dayanımı artırmakla birlikte sünekliğin azalmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden dual fazlı çeliklerde, alaşım elementlerinin dayanım-süneklik ilişkisi bozmayacak şekilde, mümkün olduğu kadar az miktarda eklenmesi istenir. (Çalışoğlu 2009)

2.2.1.3. Dual fazlı çeliklerin avantajları

- Çift fazlı çelikler sürekli akma gösterdiklerinden dolayı şekillendirilen parçaların yüzeyleri çok düzgün bir şekilde görülmektedir.

- Akma mukavemetinin düşük olması plastik deformasyonda az bir kuvvetle şekillendirilebilirliğe olanak sağlamaktadır.
- Şekillendirilen parçaların tekrar şekillendirilmesinde çok fazla kuvvet gerekmez.
- Çekme dayanımlarının yüksek olması ise parçaların hasara uğrama riskini azaltmaktadır.
- Akma mukavemeti / Çekme mukavemeti oranının düşük olması çift fazlı çeliklerin derin çekme ile üretilen parçalarda kullanılabilirliğini arttıran bir özelliktir.
- Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan çift fazlı çeliklerin optimum pekleşme katsayısına sahip olması önemli bir özelliktir. (Öztürk ve ark. 2009)

2.2.1.4. Dual fazlı çeliklerin eksiklikleri

- Kalın kesitli sac parçalarda, bazı makine parçalarında ısıl işlemle dahi çift faz yapısı üretmek zor bir işlemdir.
- Seri üretim yapmak isteyen tesislerin kurulması maliyeti fazladır. Ancak işlem maliyeti düşük değerlerdedir. Bundan dolayı çift fazlı sac parçalar üretmek isteyen işletmelerin kurulması maliyet açısından işletmeciyi her zaman tedirgin etmiştir.
- Gerek sürekli tavlama hatları ile gerekse ısıl işlem ile üretilen çift fazlı çeliklerde mikro yapıyı kontrol etmek kolay iş değildir. Bu olumsuzluğu alaşım elementleriyle gidermeye çalışan araştırmacılar için bu kez de alaşım elementlerinin çift fazlı bir çelikteki davranışları problemi karşılaşmışlardır.
- Alaşım elementlerinin, çift fazlı bir çelik üretirken mikroyapıdaki tavırları, östenit+ferrit bölgesine olan etkileri, martensit ve ferrit fazına olan etkileri henüz standart verilere dayandırılmamıştır. (Anonim 2016a)

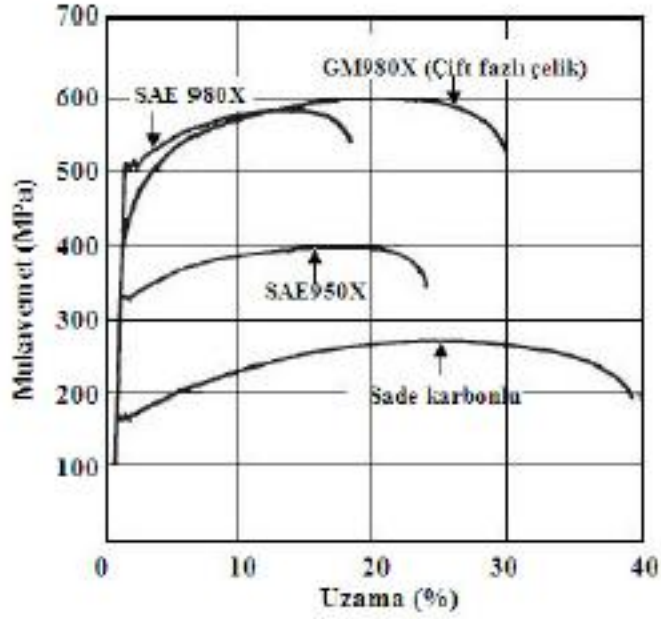
2.2.1.5. Dual fazlı çeliklerin uygulama alanları

Yumuşak ferrit fazı, mikro yapının % 75-80'ini oluşturduğundan sert martensit tanecikleri çift fazlı çeliklerin şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinde ihmal edilebilecek küçük bir etkiye sahip olmaktadır. Mikro yapının % 10-30'unu oluşturan martensit

tanecikleri gerilme altında uzamayı azaltmaktadırlar. Malzemenin darbeli çalışma, çökme ve eğilme karakterleri ile birlikte genel olarak malzemenin mukavemetini arttırmaktadırlar. Şekil 2.34'de, % 0,2'lik uzamanın meydana geldiği nokta plastik deformasyonun başladığı noktadır. Bu noktanın diğer az karbonlu çeliklere göre daha yukarıda olması iyi şekil değiştirme kabiliyetini ifade etmektedir. İyi şekillendirilebilme kabiliyeti malzemenin elastik deformasyon bölgesinden çok plastik deformasyon bölgesinde uzamaya başlaması anlamına gelir. Şekil 2.34'de görüldüğü gibi YMDA ve az karbonlu çeliklere göre mukavemet ve yüzde uzama ile birlikte iyi şekil değiştirme kabiliyetinin kombinasyonu çift fazlı çelikleri otomotiv endüstrisindeki kullanımı açısından tercih edilir hale getirmektedir. Bahsedilen bu avantajlar sonucu karmaşık parçalar bile bir dizi işlem sonucu optimum seviyede düzenlenebilir. (Ulu 2009)

Kimyasal bileşimi değiştirerek ve kritik sıcaklıktan soğuma hızını kontrol ederek çift fazlı çeliklerde tokluk özellikleri iyileştirilebilir. Mikro yapıda bulunan martensit fazının çift fazlı çeliğe sağladığı yüksek mukavemet ve ince ferrit tanelerinin sağladığı süneklik özelliği ile şekil verilebilme açısından sağladığı bazı avantajları sıralandığında şu sonuçlar karşımıza çıkar;

1. Sürekli akma davranışı,
2. Akma mukavemeti / Çekme mukavemeti oranının düşük olması,
3. Pekleşme katsayısının optimum düzeylerde olması,
4. Yüzde uzama değerlerinin yüksek ve orantılı olması.



Şekil 2. 34 Soğuk haddelenmiş, sade karbonlu ve çift fazlı çeliğe ait mukavemet-yüzde uzama grafikleri (Ulu 2009)

Çift fazlı çelikler sürekli akma gösterdikleri için şekillendirilen parçaların yüzeyleri çok düzgün durumdadır. Akma mukavemetinin düşük olması plastik deformasyonda az bir kuvvetle şekillendirilebilirliği sağlar. Şekillendirilen parçaların tekrar şekillendirilmesinde aşırı kuvvetler gerekmez. Çekme dayanımlarının yüksek olması ise parçaların hasara uğramasını geciktiren bir özelliktir. Akma mukavemeti / Çekme mukavemeti oranının düşük olması çift fazlı çeliklerin derin çekme ile üretilen parçalarda kullanılabilirliğini artırır. Derin çekme esnasında iş parçasının kesiti azalacağından şekil verme işleminin diğer kademelerindeki kuvvetleri karşılayabilmesi için parçanın mukavemet değerlerinin iyi olması gerekir. (Ulu 2009)

Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan çift fazlı çeliklerin optimum pekleşme katsayısına sahip olması bu bakımdan bir avantaj olarak görülmektedir. Çift fazlı çeliklerin bahsedilen avantajlarının yanında bazı sınırlamaları da vardır. Sac parçalar da çift fazlı mikro yapı üretmek hatta seri bir üretimle parçalar imal etmek önemli avantajlarından bir tanesi olsa da kalın kesitli sac parçalarda, bazı makine parçalarında ısıl işleme dahi çift faz yapısı üretmek zor olmaktadır. (Ulu 2009)

Seri üretim yapmak isteyen tesislerin kurulması maliyeti yükseltir fakat işlem maliyetini düşük tutmaktadır. Dolayısıyla çift fazlı sac parçalar üretmek isteyen işletmelerin kurulması maliyet açısından işletmeciyi her zaman düşündürmüştür. Gerek sürekli tavlama hatları ile gerekse ısıl işlem ile üretilen çift fazlı çeliklerde mikro yapıyı kontrol etmek kolay değildir. Bu olumsuzluğu alaşım elementleriyle gidermeye çalışan araştırmacılar için bu kez de alaşım elementlerinin çift fazlı bir çelikteki davranışları problem olarak ortaya çıkmıştır. Alaşım elementlerinin, çift fazlı bir çelik üretirken mikro yapıdaki tavırları, ostenit+ferrit bölgesine olan etkileri, martensit ve ferrit fazına olan etkileri henüz standart verilere dayanmamaktadır. Yakıt tüketimini azaltmak, motor veriminin artırılması veya taşıt ağırlığının azaltılması ile mümkün hale gelir. Bunun dışında her iki durumunda bir arada olduğu durumlarda olasıdır. Günümüzde motor verimlerinin üst seviyelerde olması otomotiv endüstrisinin ar-ge çalışmalarını taşıt ağırlığına yoğunlaştırır. Taşıt ağırlığının % 50-60'nı çeliklerin oluşturduğu düşünülürse yüksek mukavemetli sacların kullanılması ile hem taşıt ağırlığı azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanır hem de çarpmalara karşı taşıtın emniyeti artırılmış olur. Bu nedenlerle 1970'li yılların ortalarından itibaren taşıtlarda karbon içeriği az olan ve katı eriyik ile sertleştirilmiş küçük taneli ferrit içerisinde karbürlerin (NbC, VC gibi) bulunduğu perlitik çelikler yani YMDA çelikler tercih edilmeye başlanmıştır. (Ulu 2009)

YMDA çeliklerinin şekillenebilme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle 1975 yılı sonlarına doğru çift fazlı çelikler otomobil endüstrisinde tercih edilmeye başlanmıştır. Yüksek mukavemet ve yüksek sünekliğin bir arada olması bu çeliklerin tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri gibi presle biçimlendirilebilen çeşitli otomobil parçalarının yapımında kullanılmasını olanaklı kılar. (Ulu 2009)

Çizelge 2.5'de çift fazlı çeliklerin bazı sektörlerdeki uygulama alanlarıyla ilgili açıklamalar gösterilmiştir. (Ulu 2009)

Çizelge 2. 5 Çift Fazlı Çeliklerin Uygulama Alanları (Ulu 2009)

Üretici Firma	Ürün	Açıklama
General Motors	Tekerlek diskleri ve jantlar	Yolcu arabaları ve hafif kamyon tekerlekleri için
	Tampon takviyeleri, yrtzey çubuklar	-
	Kriko destekleri	-
	Su pompası makaraları	-
Hoesch-Estel	Tekerlek diskleri	Takımlar şerit ölçüsüne adapteledir
	Fren levhası desteği (Girling)	-
Inland Steel	Kapı panelleri, bagaj kapaklar	Hi-Form 80 çift faz çeliği iyi şekil verilebilirlik göstermiştir ve daha çok alüminyum gövde sacı gibi davranmıştır
	Merkez direkleri, Rüzgarlık çerçeveleri	-
	Tekerlek aparatları	-
Jones and Laughlin	Tampon yrtzey çubukları, tampon	2,2 mm'lik çift faz çeliği 2,8 mm'lik YMDA çeliğiyle yer değiştirmektedir.
	Arka süspansiyon, tekerlek aparatları	Daha iyi yorulma özellikleri
	Alternatör fan pervaneleri, direksiyon	-
	Mil takviyeleri	-
Kawasaki	Stilli tekerlek diskleri	Lider Avrupa araba imalatçıları tarafından kullanılan
	Kapı ve kaput panelleri, çamurluklar	Fosfatlamaya tepkisi AK çeliklerle olduğu kadar iyidir
Nippon Steel	Tampon durdurma, yan kapı darbe çubukları, çerçeve bölümleri	500-700 MPa (Çekme Muk.)
NKK	Dış ve iç paneller, kapı, giriş ve tampon takviyeleri	-
Sumitomo Metal Industries Ltd.	Dış oto gövdesi panelleri	Kutu tavllanmış ürün
US Steel	Araba, kamyon, otobüs, çiftlik ekipmanı	USS DP80
	Ağır konstrüksiyon üniteleri	-
	Endüstriyel kullanım ünitelerindeki parçalar	-

2.2.1.6. Dual fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağı

Otomotiv sanayi, gelişen teknolojiyi yakından takip eden ve her türlü gelişmeyi bünyesine adapte edebilme kolaylığına sahip bir endüstri konumundadır. Bir otomobilin üretilmesinde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem uygulanmaktadır. Bu işlemlerden belki de en önemlisi, araç kalitesini %40 oranında etkileyen, aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak uygulamalarıdır. (Çalışoğlu 2009)

Bir otomobil fabrikasının kaynak atölyesinde gövdenin imali için kullanılan belli başlı kaynak yöntemleri, direnç nokta kaynağı, lazer kaynağı, MAG kaynağı, saplama

kaynağı ve yumuşak lehimleme işlemleridir. Bu kaynak yöntemleri arasında, aracın ortaya çıkmasında ağırlıklı rol, direnç nokta kaynağına işlemine ait olmaktadır. (Çalışoğlu 2009)

Otomotiv sanayinde kullanımı üst seviyelerde olan, araç ağırlığında ve dolayısıyla yakıt tüketiminde tasarrufu sağlayan dual fazlı çeliklerin nokta direnç kabiliyetleri iyi seviyededir. Bunun nedeni dual fazlı çeliklerin YMDA çeliklerinden elde edildiklerinden kaynak kabiliyetlerinin yüksek olmasına bağlanmaktadır. Gupta ve arkadaşları (1990), düşük alaşımlı, az karbonlu çelikleri kritik bölgede tavlayarak (IADP) ve de sıcak haddeye (HRDP) tabi tutarak dual faz yapı oluşturmuşlardır. Araştırmalarında elde edilen bu dual fazlı çeliklerin kaynak kabiliyetini incelemişlerdir. Bu iki çelikte de artan kaynak zamanıyla kopma mukavemetinin arttığı ve en yüksek değerlerine 0.5 sn' de ulaştıklarını bildirmişlerdir. Bu artış HRDP' nin IADP' ye göre daha fazla olduğu raporu oluşturulmuştur. Mikro sertlik değerlerinde de HRDP' nin değerleri daha fazla olduğu aktarılmıştır. Sharma ve diğerleri (1993), %0.8C içeren çelikten dual-faz elde etmişlerdir. Bununla birlikte dual fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında eşit kaynak akımlarında, artan kaynak sürelerinde (30, 45,50 (1 çevrim: 0,1sn)) yorulma davranışını araştırmışlardır. Deney sonucunda artan kaynak süresiyle birlikte ferritin kaba bir hal aldığı ve sertliği arttırdığı ortaya konmuştur. Yorulma zamanının arttığı da ifade edilmiştir. Ayrıca artan kaynak sürelerinde mikro sertliğin arttığı kaynak merkezinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü ifade edilmiştir. (Çalışoğlu 2009)

Avtar ve Gupta (1993), %0.8C içeren çelikten ürettikleri dual fazlı çelik numunelerle elektrot gücü kaynak akımı ve kaynak sürelerinin etkilerini araştırmışlardır. Aynı akım ve elektrot kuvveti değerinde artan sürelerle çekme mukavemetinin arttığını bildirmişlerdir. En yüksek çekme dayanımına 75 çevrimde ulaşıldığı bulunmuştur. Aynı şekilde en yüksek dayanıma sahip elektrot kuvvetinin değerinin 650 kg ve en yüksek dayanıma sahip kaynak akım değerinin de 7kA olduğu bulunmuştur. (Çalışoğlu 2009)

2.2.2. Ultra yüksek dayanımlı çelikler

Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler birkaç farklı biçimde gruplandırılabilirler. Bu sınıflandırmalar aşağıdaki gibi yapılabilir. (Özcan 2009)

Metalürjik sınıflandırma:

- Düşük dayanımlı çelikler: Yumuşak çelikler
- Geleneksel yüksek dayanımlı çelikler: Karbon-mangan (C-Mn) çelikleri, fırınlanarak sertleştirilen (BH)
- Çok yüksek dayanımlı çelikler: Çift fazlı (DP) çelikler, TRIP çelikleri, kompleks fazlı (CP) çelikler, martensitik çelikler ve yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA)

Mekanik özelliklere (çekme dayanımı) göre sınıflandırma:

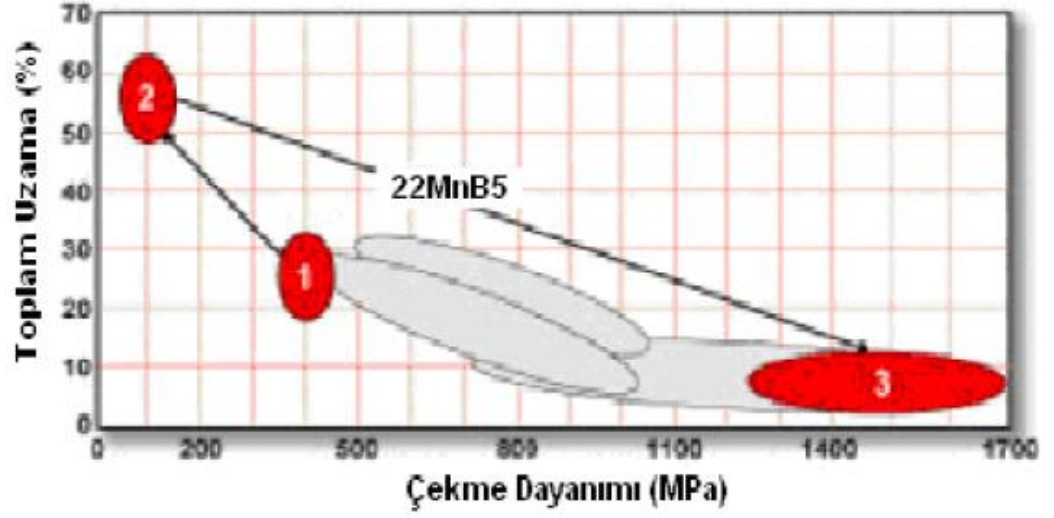
- Düşük dayanımlı çelikler (LSS): Çekme dayanımı <270 MPa
- Yüksek dayanımlı çelikler (HSS): Çekme dayanımı 270-700 MPa
- Ultra yüksek dayanımlı çelikler (UHSS): Çekme dayanımı >700 MPa

Özel bir tanımı olmamakla beraber; ekseriyetle akma dayanımı 560 MPa'ın üzerinde olan çelikler, ultra yüksek dayanımlı çelikler olarak bilinmektedir. Bu çeliklere ultra yüksek dayanım kazandırabilmek için birtakım dayanım artırıcı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar şöyle ifade edilebilir: (Özcan 2009)

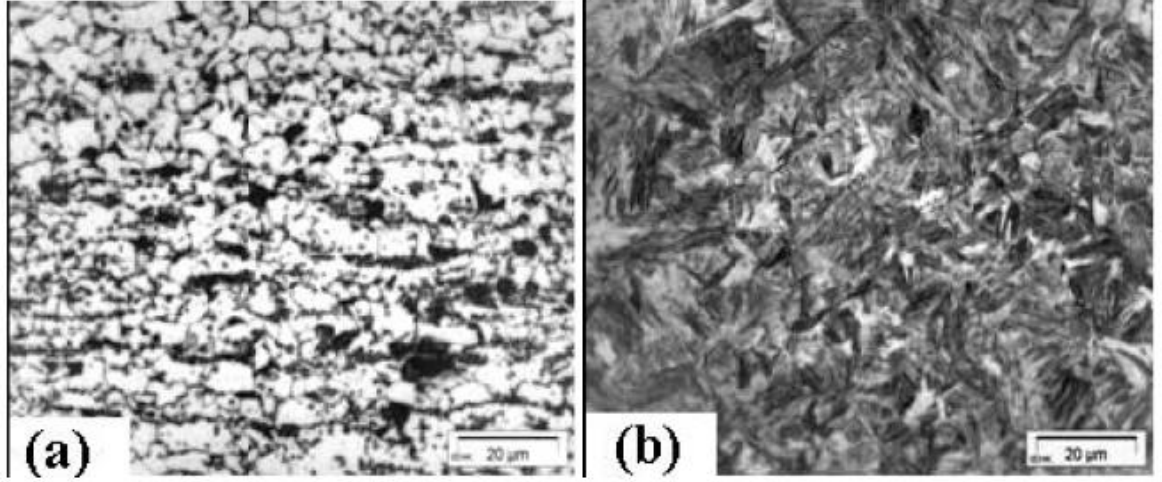
- Katı çözültü sertleştirilmesi (C, Mn, Si gibi arayer ve yer alan atomları yardımıyla)
- Çökelti sertleştirilmesi (Ti, Nb, V)
- Tane küçültme
- Dislokasyon sertleştirilmesi
- Dönüşüm sertleştirilmesi (martensit)

Dayanım arttırıcı yöntemler üzerinde, birçok araştırmacı oldukça çok sayıda çalışma yapmıştır. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde; araç ağırlığını azaltmak ve çarpma-kaza emniyetini arttırmak için dayanımın yanı sıra, şekillenebilirliği ve darbe dayanımı yüksek sac ürünlere ihtiyaç artmıştır. Bu beklentiler UHSS (ultra yüksek dayanımlı elik) ve alüminyum saclar tercih edilerek giderilmeye çalışılmıştır. Kompleks şekilli parçalar için araç ağırlığını düşürmekte alüminyum sac kullanımı çözüm olmasına karsın; yüksek maliyeti ve sınırlı dayanıma sahip olması bir handikap olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan UHSS saclar, karmaşık geometrili olmayan parçalarda, yüksek dayanım ve kaynak kabiliyetine ve oldukça iyi darbe direncine sahip olması nedeniyle etkin bir çözüm olarak karşımıza çıkar. (Özcan 2009)

Farklı bileşimde ultra yüksek dayanımlı düşük alaşımlı elik saclardan, endüstriyel alanda en yaygın kullanıma sahip olan malzeme 22MnB5 olarak görülür. Bu elik saclar, ısıl işlem veya preste sertleştirme sonrası, düşük karbon oranına rağmen özellikle içerdiği mangan ve bor elementlerinin güçlü sertleştirme etkisi ile 1500 MPa'ın üzerinde çekme dayanımı gösterirler. 1100 MPa'ın üzerinde de akma dayanımına sahip hale gelmektedirler. Bor elementinin sertleştirme mekanizmasındaki aktif rolü nedeniyle bor çelikleri olarak da adlandırılan 22MnB5 elik sacların, preste sertleştirme sonrası dayanım artışı, şekil 2.35'de şematik olarak ifade edilmiştir. 22MnB5 eliğine ait ısıl işlem öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüleri de şekil 2.36'da gösterilmiştir. İşlem öncesi ferrit, perlit ve karbür içeren yapı; işlem sonrasında martensitik bir yapıya dönüşür (şekil 2.36). (Bardelcık 2012)



Şekil 2.35 Preste sertleştirme sonra dayanım artışının şematik gösterimi (Özcan 2009)



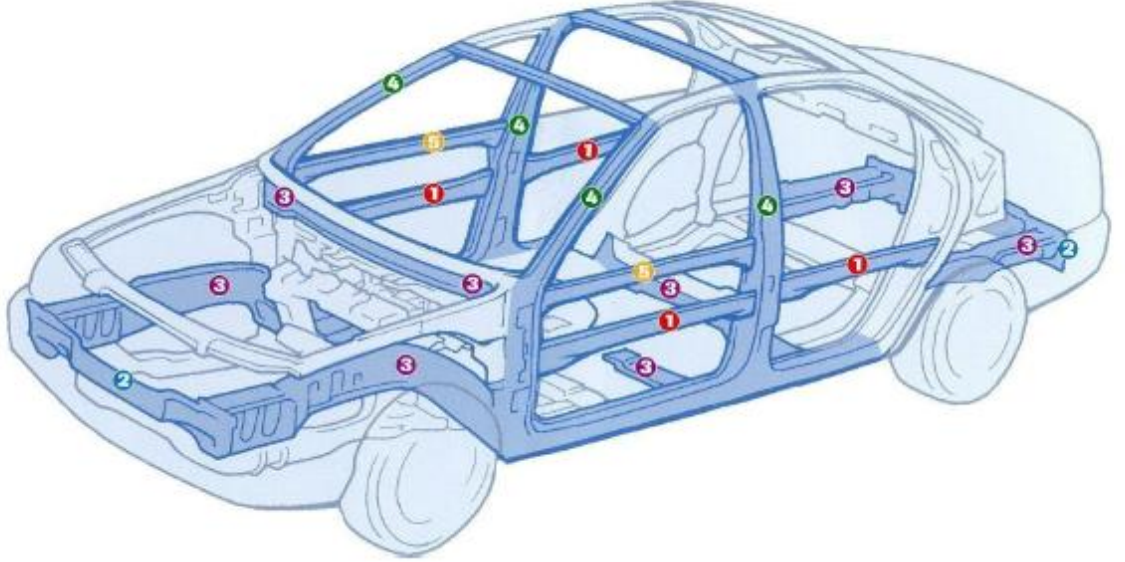
Şekil 2.36 Isıl işlem öncesi (a) ve sonrası (b) mikroyapı görüntüleri (22MnB5) (Özcan 2009)

2.2.2.1. Ultra yüksek dayanımlı çeliklerin karayolu taşıtlarında uygulamaları

Şekil 2.37'de araçların gövdesinde kullanılan çok yüksek dayanımlı çeliklerden yapılmış parçalar ifade edilmiştir. (Kurumahmut 2009)

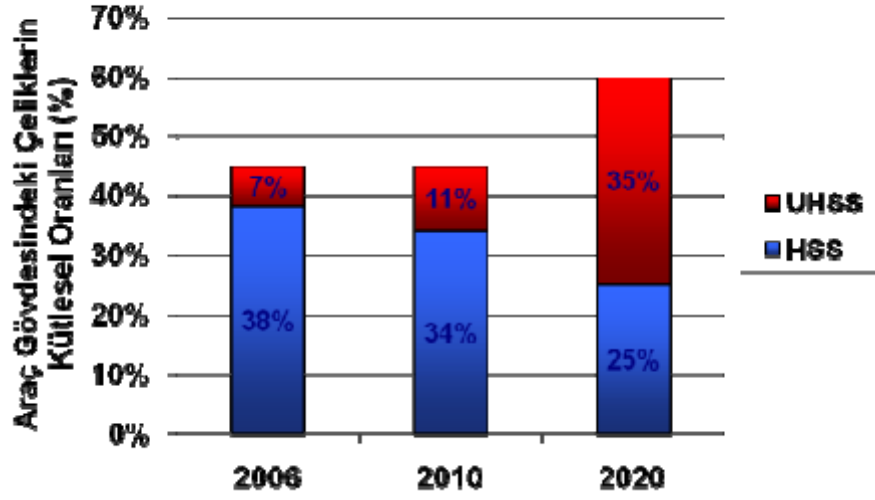
1.Kapı takviye sacı

2. Tampon takviye sacı
- 3.Çapraz ve yan paneller
- 4.A/B kolonu takviye sacı
- 5.Dirsek sasi takviye sacı



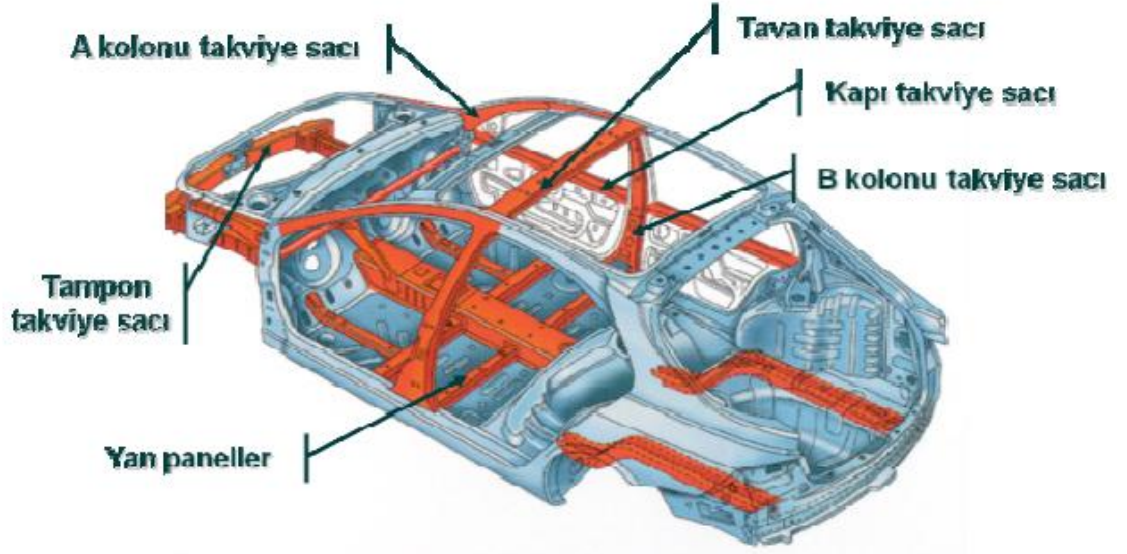
Şekil 2. 37 Otomobillerde kullanılan çok yüksek dayanımlı parçalar
(Kurumahmut 2009)

Otomobillerde araç güvenliğinin artırılması ve taşıt ağırlığının azaltılması ihtiyacının ortaya çıkmasından dolayı çok yüksek dayanımlı çeliklerin kullanımı gün geçtikçe daha fazla artmaktadır. Şekil 2.38’de araç gövdesinde kullanılan çok yüksek dayanımlı çeliklerin yıllara göre kullanımındaki tahmini artışlar ifade edilmiştir. (Anonim 2016g)



Şekil 2. 38 Araç gövdesindeki UHSS'lerin kullanımındaki artışlar (Kurumahmut 2009)

Çok yüksek dayanımlı çeliklerde geri yaylanmadaki artış ve şekillendirilme kabiliyetindeki düşüşten dolayı karmaşık geometri ve boyutsal doğruluk imkânsız hale gelir. Sıcak sac şekillendirme, karmaşık geometrili ve yüksek dayanım gerektiren otomobil parçalarının üretilebildiği bir teknoloji olarak karşımıza çıkar. Bu yöntem, çelik saclar için ısıl işlem ve şekillendirmenin birleştirildiği bir sertleştirme işlemidir. Preste sertleştirme işleminde en yaygın kullanıma sahip sertleştirilebilen sac malzeme 22MnB5 olmaktadır. Şekil 2.39'da sıcak şekillendirme çeliği olan Al-%10Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500P) çeliğinin araç gövdesindeki kullanım yerleri ifade edilmiştir. (Kurumahmut 2009)



Şekil 2. 39 Usibor 1500P çeliğinin araç gövdesindeki kullanım yerleri (Öztürk ve ark. 2009)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada 3 farklı metal kullanılmıştır. Bunlar Ultra yüksek dayanımlı çelik türü olan 22MnB5 çeşidi Usibor 1500P ve Ductibor 500P çelikleri ayrıca dual fazlı çelik olan DP800 çeliği kullanılmıştır.

3.1.1. Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) ve Ductibor 500 çelik malzeme

Çalışmada kullanılan 1,6 mm'lik Usibor 1500 ve Ductibor 500 çelik malzemeler ArcelorMittal firması tarafından üretilmektedir. Çalışma kullanılan Usibor 1500 malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Bahsedilen Al-Si kaplamanın ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 600 °C'dir. (Güler 2013)

Usibor 1500 ve Ductibor 500 çelikleri genel anlamda benzerlik gösteren çeliklerdir. Farkları ise Ductibor 500 çeliğinin akma uzaması miktarının fazla olmasıdır. Böylelikle darbe sönümlenme özelliğinden dolayı kullanımı fazladır. Usibor 1500 çeliği ise darbe tepki kuvveti ve darbeye karşı deforme olmama özelliğine sahiptir. Aynı zamanda bu çelikler otomotiv sektörü için yüksek mukavemet değerine sahip hafif malzeme özelliğini taşırlar.

Çalışma kapsamında, kullanılan Usibor 1500 ve Ductibor 500 çeliklerin mekanik özellikleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 görülmektedir.

Çizelge 3. 1 Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) malzemenin kimyasal analizi (%kütle) (Güler 2013)

USİBOR 1500P	KİMYASAL BİLEŞİM (%)									KAPLAMA (%)	
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti	Al	B	Al	Si
	0,23	0,24	1,19	0,0006	0,0015	0,18	0,04	0,03	0,0023	90	10

Çizelge 3. 2 Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) malzemenin mekanik özellikleri (Önal 2012)

USİBOR 1500P	AKMA MUKAVEMETİ (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	%e
	350-550	500-700	≥10

Çizelge 3. 3 Ductibor 500 malzemenin mekanik özellikleri (Anonim 2016e)

DUCTİBOR 500P	AKMA MUKAVEMETİ (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	%e
	450-650	550-680	≥20

3.1.2. Dual fazlı (DP800) çelik malzeme

Çalışmada dual fazlı çelik olan 1 mm kalınlığında DP800 çeliği kullanılmıştır. DP800 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.4’te gösterilmiştir. Çeliğin mekanik özellikleri Çizelge 3.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4 DP800 malzemenin kimyasal bileşimi (% kütle) (Farias 2006)

DP 800	KİMYASAL BİLEŞİM (%)									
	C	Si	Mn	Al	N	P	S	Nb	V	Ti
	0,149	0,207	1,83	0,029	0,054	0,013	0,002	0,012	0,008	0,002

Çizelge 3. 5 DP800 malzemenin mekanik özellikleri (Farias 2006)

DP 800	AKMA MUKAVEMETİ (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	A80(%)
	672	869	15,5

3.2. Yöntem

3.2.1. Numune hazırlama işlemleri

Çalışmada kullanılan çelikler ASTM standartları göz önünde bulundurularak deney numuneleri Streurs marka abrasif kesme cihazında kesilmiştir (Şekil 3.1). Ayrıca mikroyapı sertlik ölçümleri için de kaynaklı numunelerden kaynak bölgelerinden yaklaşık 25 mm boyunda parçalar yine Streurs marka abrasif kesme cihazında kesilmiştir. Kesme işleminden sonra elde edilen parçalar Metkon Ecopress-100 marka cihaz (Şekil 3.2) ile bakalite alma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra olarak yüzeylerin sertlik ölçümü için daha iyi gözlemlenebilmesi adına, Metkon-Forcimat marka otomatik parlatma cihazı (Şekil 3.3) kullanılarak 180-320-400-600-800-1000-1200-2000 gridlik kaba yüzeyden ince yüzeye olacak şekilde zımparalar kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin direnç nokta

kaynağı (Punta) Baykal marka punta kaynak makinası ile kaynatılmıştır. alışmalar Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır.



şekil 3. 1 Struers marka abrasif kesme cihazı



şekil 3. 2 Metkon Ecopress-100 marka bakalite alma cihazı



Şekil 3. 3 Metkon-Forcimat marka otomatik parlatma cihazı

3.2.2. Direnç nokta kaynağı

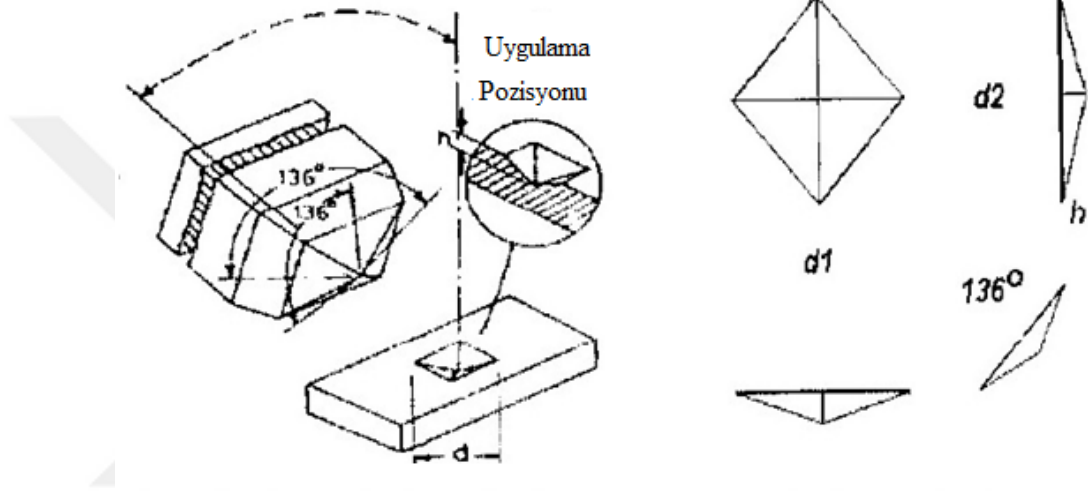
Çalışma kapsamında Usibor1500, Ductibor 500 ve DP800 malzemelerinden hazırlanan numuneler Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri Bursa Güngör Otomobil A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir. Punta kaynağı Baykal marka punta kaynak makinasında yapılmıştır. 1997 marka punta kaynak makinasının gücü 70 KVA'dır. Maksimum kaynak akımı 15.2 kA'dır. Elektrot baskısı minimum 245 kN, maksimum 850 kN'dır. Punta kaynağı makinesinin özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 6 Punta kaynağı makinesi özellikleri

MAKİNE TİPİ	MARKASI	İMAL TARİHİ	GÜÇ (KVA)	MAX KAYNAK AKIMI (kA)	ELEKTROT ÇAPI	ELEKTROT BASKI KUVVETİ	
						MİN	MAX
Punta Makinesi	Baykal	1997	70	15.2	20 mm	245 kN	850 kN

3.2.3. Vickers sertlik ölçümleri

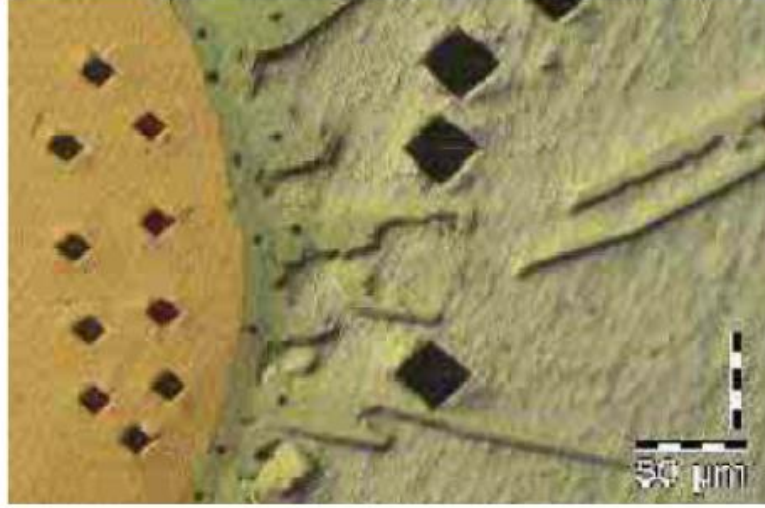
Vickers sertlik testi, en duyarlı sertlik ölçme yöntemidir. Daha uzun zaman almasına karşın, özellikle araştırma amacı ile mikro sertlikleri ölçmeye uygundur. 1920’li yıllarda İngiltere’de Vickers Ltd.’ in mühendisleri tarafından bulunmuştur. Bu testte kullanılan uç, kare tabanlı bir piramit olup (Şekil 3.4), piramit ucunun tepe açısı 136°’dir ve bu uç belirli bir kuvvet altında malzeme yüzeyine uygulandığında malzeme üzerinde bir eşkenar dörtgen oluşturmaktadır. (Anonim 2016d)



Şekil 3. 4 Vickers sertlik deneyinde kullanılan ucun şematik gösterimi (Güler 2013)

Ucu malzeme yüzeyinde oluşturduğu iz’in (Şekil 3.5), d_1 ve d_2 köşegen uzunluklarının ölçülerek ortalamasından hareketle d mesafesi hesaplanır. Uygulanan kuvvet (F) ve hesaplanan d uzunluğu aşağıdaki ifade de yerine yazılarak Vickers sertlik değeri (HV) aşağıdaki ifadeyle hesaplanmaktadır. (Güler 2013)

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2} \quad (3.1)$$



Şekil 3. 5 Malzeme yüzeyinde oluşturulan Vickers izleri (Güler 2013)

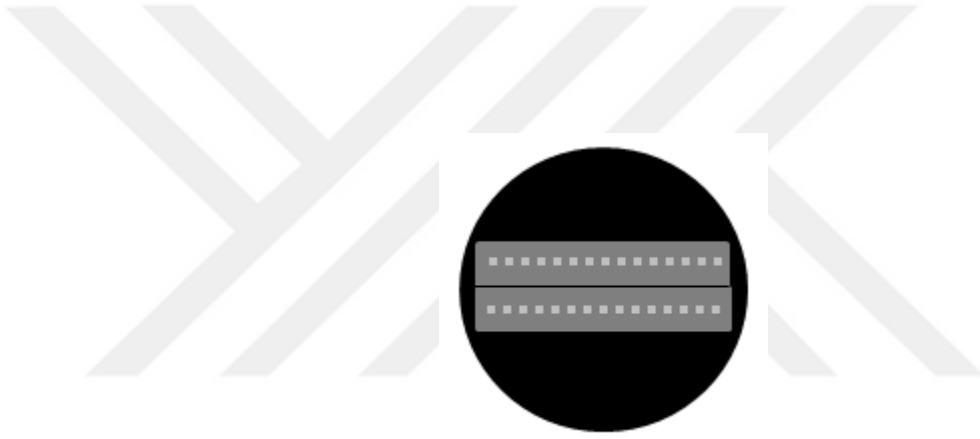
Çalışmada, yüzey hazırlama işlemleri sonrası Mikro Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde 1kg.'lık yük 10 saniye uygulanmıştır. Bakalite alınmış her bir numunenin üzerinden 1 mm lik aralıklarla kaynaklı iki parçadan 50'şer adet olmak üzere ortalama 100 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihaz Duroline-Metkon marka olup 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 gr.lık yük aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Çalışmalar Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır.



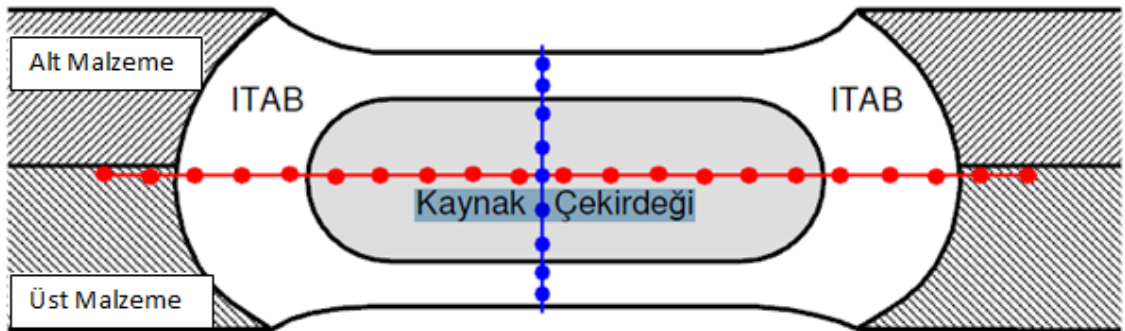
Şekil 3. 6 Duroline-Metkon marka sertlik ölçüm cihazı (Anonim 2016c)



Şekil 3. 7 Sertlik ölçümleri için bakalite alınmış numuneler



Şekil 3. 8 Bakalite alınmış numunelerin ölçüm noktalarının temsili gösterimi



Şekil 3. 9 Bakalite alınmış numunelerin kaynak çekirdeği ve ITAB bölgeleri gösterimi

3.2.4. Kaplama kalınlığı ölçümleri

Çalışma kapsamında Al-Si kaplamalı çeliğinin (Usibor 1500) ve Ductibor 500 çeliğinin kaplama kalınlıkları Şekil 3.10 'de gösterilen MiniTest 2100 Elektro Physik marka kaplama kalınlığı ölçüm cihazında ölçülmüştür. Ölçümler Bursa Güngör Otomobil A.Ş firmasında yapılmıştır.



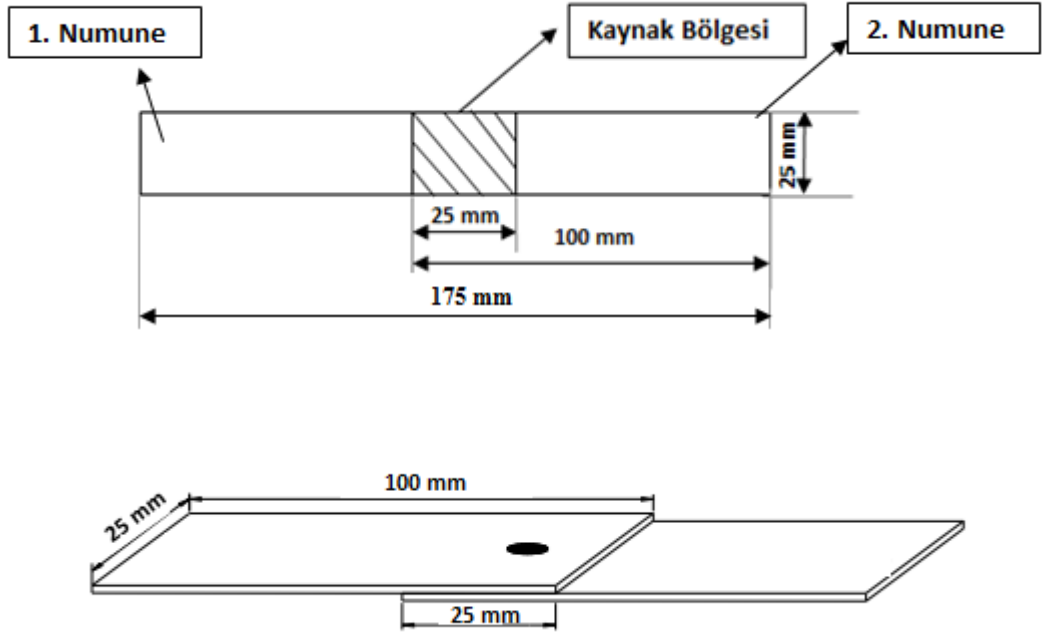
Şekil 3. 10 MiniTest 2100 Elektro Physik marka kaplama kalınlığı ölçüm cihazı

3.2.5. Çekme deneyleri

ASTM standartlarına göre hazırlanan deney numunelerine Punta kaynağı yapıldıktan sonra deney numuneleri Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliğı Malzeme Laboratuvarında Çekme cihazında çekme deneyleri yapılmıştır. Tüm çekme deneylerinde Utest marka 25 tonluk üniversal çekme cihazı kullanılmıştır. Al-Si kaplamalı 22MnB5 (Usibor 1500) ve Ductibor 500 malzemesinin temini Beyçelik Gestamp A.Ş firmasından sağlanmıştır. DP800 çeliğinin temini de Uludağ Üniversitesinden sağlanmıştır. Standartlara uygun numunelerin kesimi yine Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliğı Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3. 11 Utest marka 25 tonluk üniversal çekme cihazı



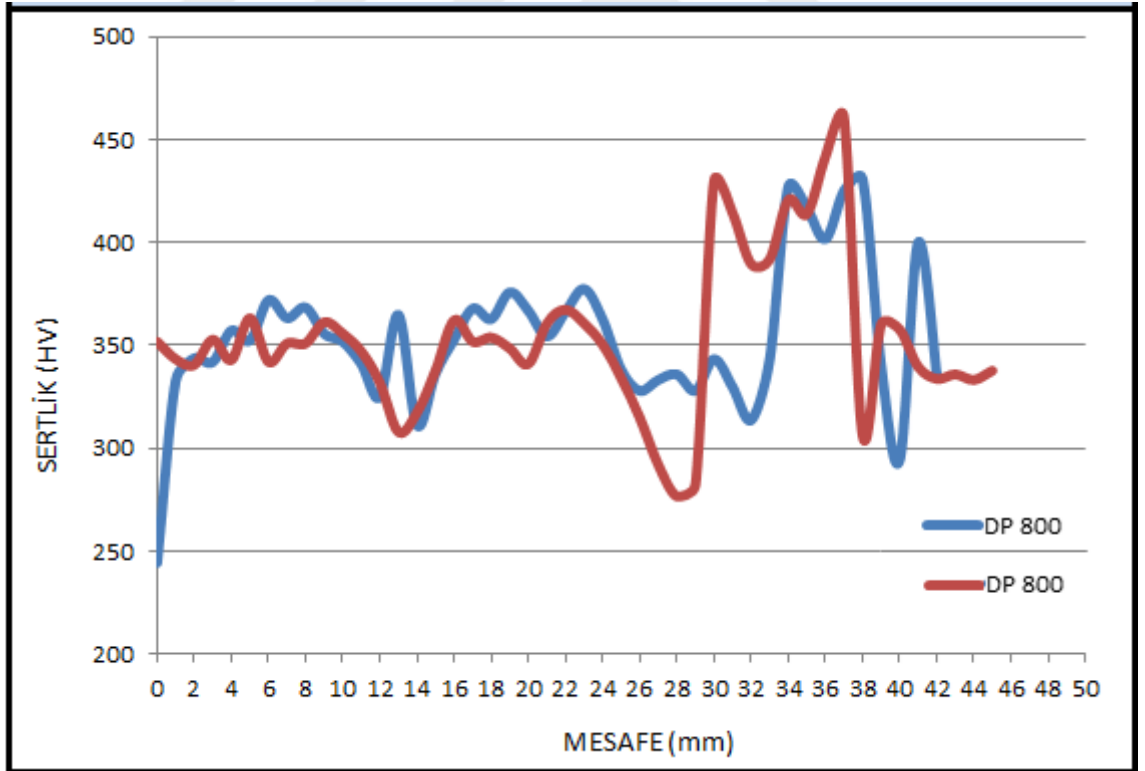
Şekil 3. 12 Deney numunelerinin ölçüleri

4. BULGULAR

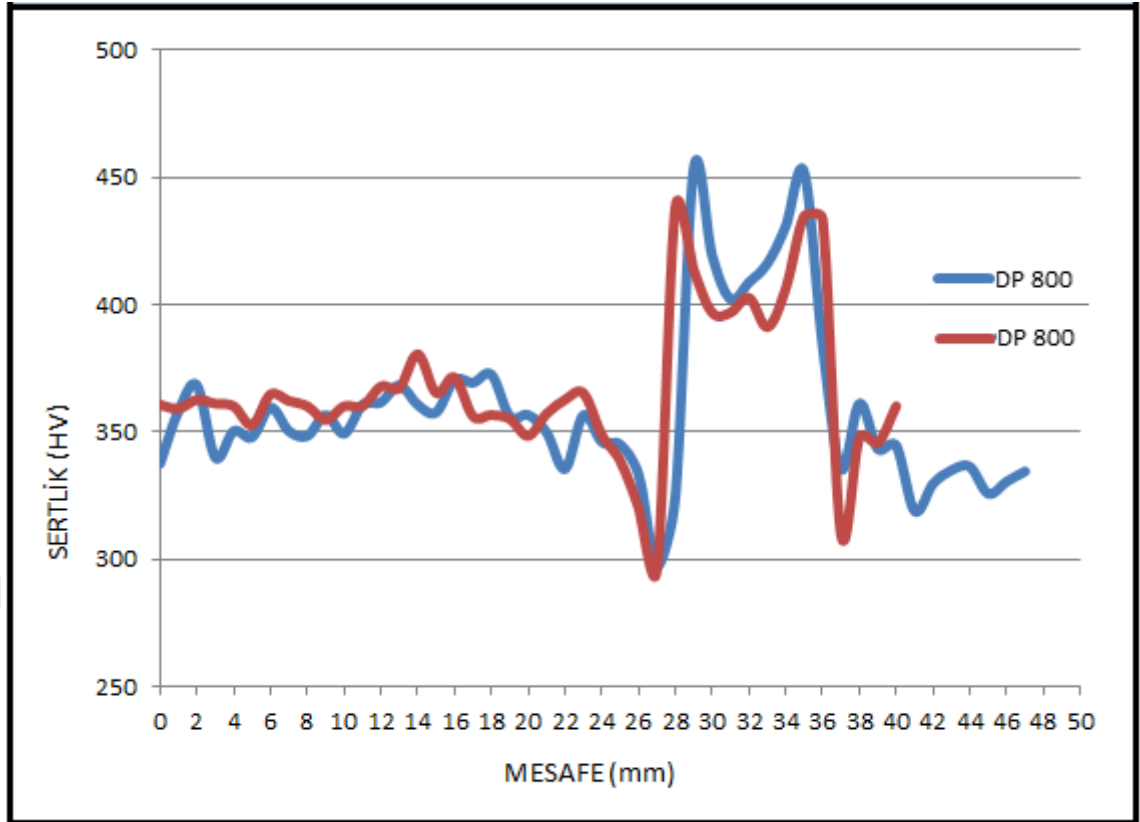
4.1. Vickers Sertlik Ölçümleri

Sabit basınçta farklı akım değerlerinde direnç nokta (punta) kaynağı yapılan Usibor 1500, Ductibor 500 ve DP800 çeliklerinde sertlik ölçümleri için uygun ölçülerde numune kesilip bakalite alınmıştır. Kesilen numuneler kaynak bölgesinin orta kısmından alınıp kaynak bölgesi ve çevresinde ısı etkisi altında kalan bölgelerde oluşan sertlik değişimleri görülmek istenmiştir. Bakalite alınan numunelerden sağlıklı sertlik ölçümleri alınması için yüzeyi uygun hale getirmek yüzey zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır.

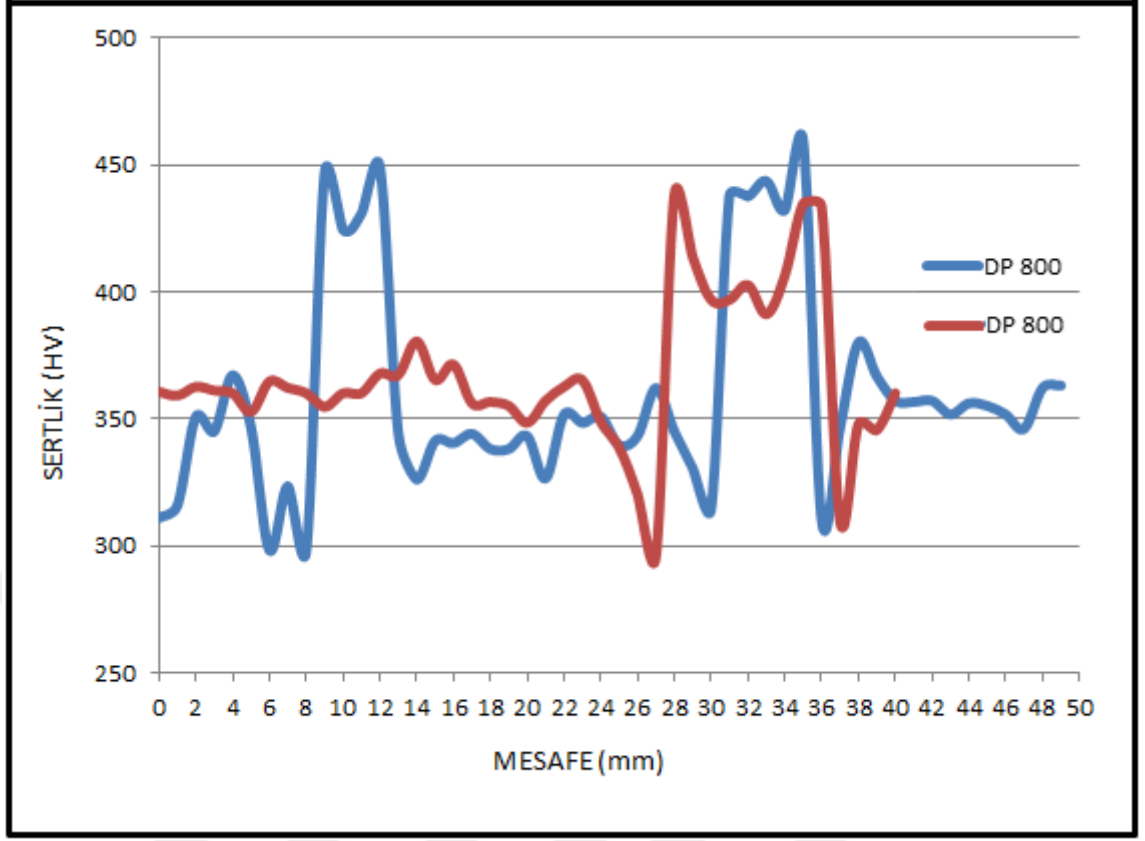
Yapılan ön işlemlerden sonra birleşen her iki parçadan ölçüm alınmıştır. Şekil 4.1'de gösterildiği şekilde sonuçlar bulunmuştur.



(a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar



(b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar



(c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar

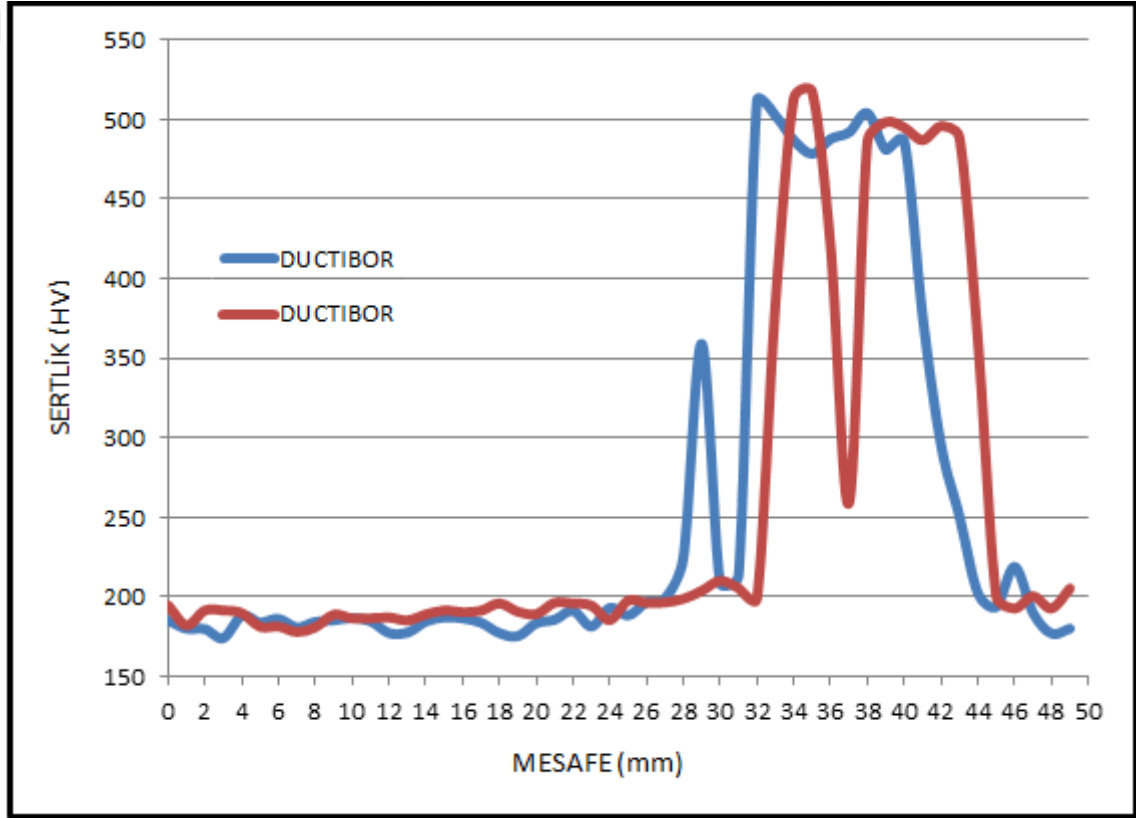
Şekil 4. 1 (a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki DP800 malzemeden de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

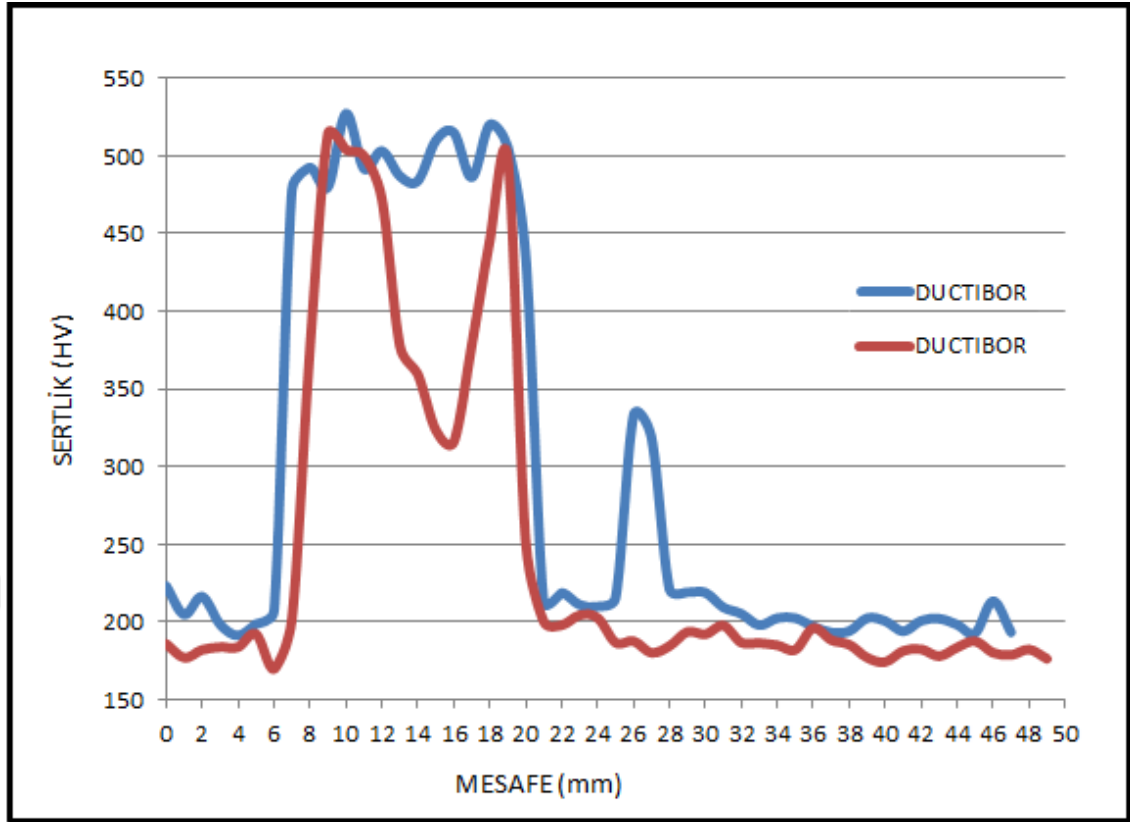
2,5 bar sabit basınç altında 9, 9,5, 9,9 kA değerlerinde uygulanan direnç nokta (Punta) kaynağı ile DP800 iki adet çelik birleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Ölçülen sertlik değerlerinden de görüleceği üzere 9, 9.5, 9.9 kA akım değerlerinde ortaya çıkan maksimum sertlik değeri yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. 450 HV değerinin biraz üzerinde seyreden maksimum sertlik değerleri akım değerinin artmasıyla değişmemiştir. Kaynak çekirdeğinin olduğu daha fazla ısıya maruz kalan orta kısımlar daha fazla sertleşmiş ve diğerkaynak bölgelerine nazaran maksimum sertlik

değerlerine ulaşmıştır. Direnç nokta kaynağının elektrot ucu geniş bir çapa sahip olduğundan elektrodun temas ettiği kısım geniş bir bölgeye yayılmıştır. Grafiklerden de görüldüğü üzere kaynak çekirdeğinde uzak bölgelerde sertlik değerleri 350 HV civarındayken kaynak çekirdeği üzerinde sertlik değerleri maksimum değerine ulaşmış ve 450 HV sertliğe ulaşmıştır.

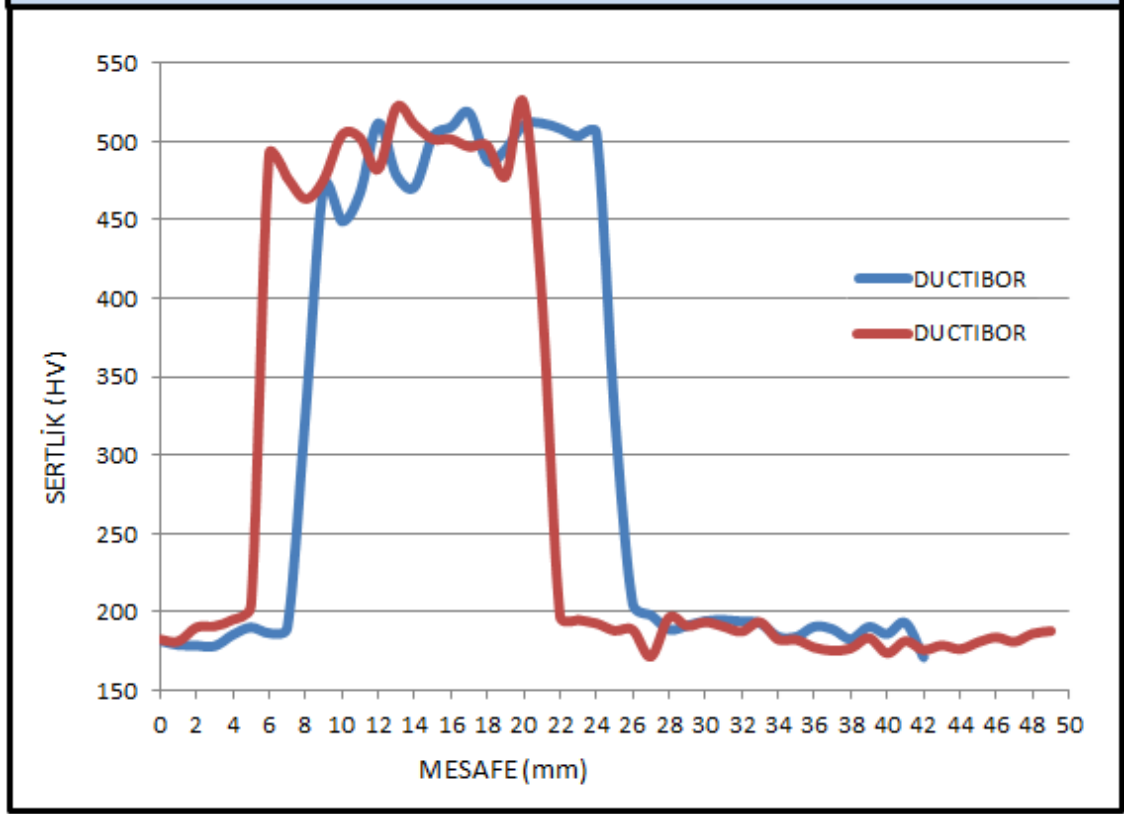
Görüldüğü üzere 9, 9.5, 9.9 kA değerlerinde ortaya çıkan sertlik değerlerinde değişim az yaşanmıştır. Değişimin az olmasının sebebi seçilen akım değerlerinin bu metal grubu için birbirine yakın seçilmesinden kaynaklandığı görülmüştür.



(a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar



(b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar



(c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar

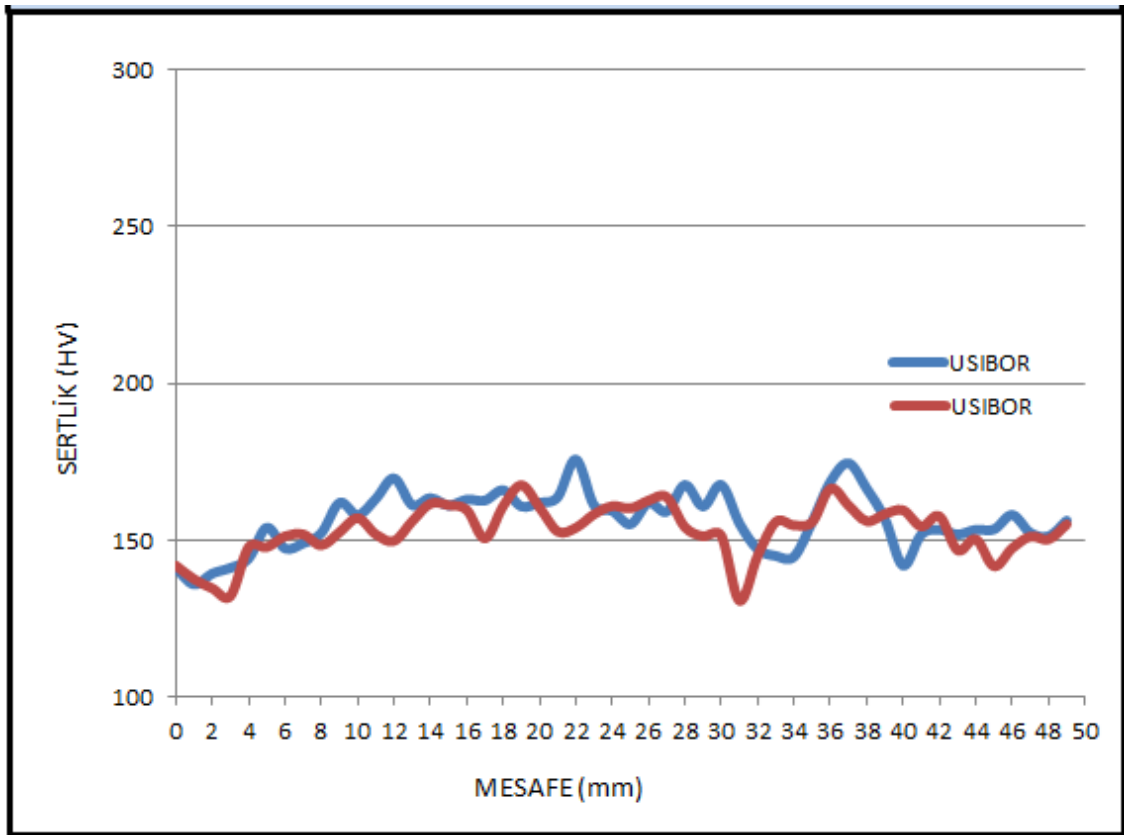
Şekil 4. 2 (a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki Ductibor 500 malzemeden de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

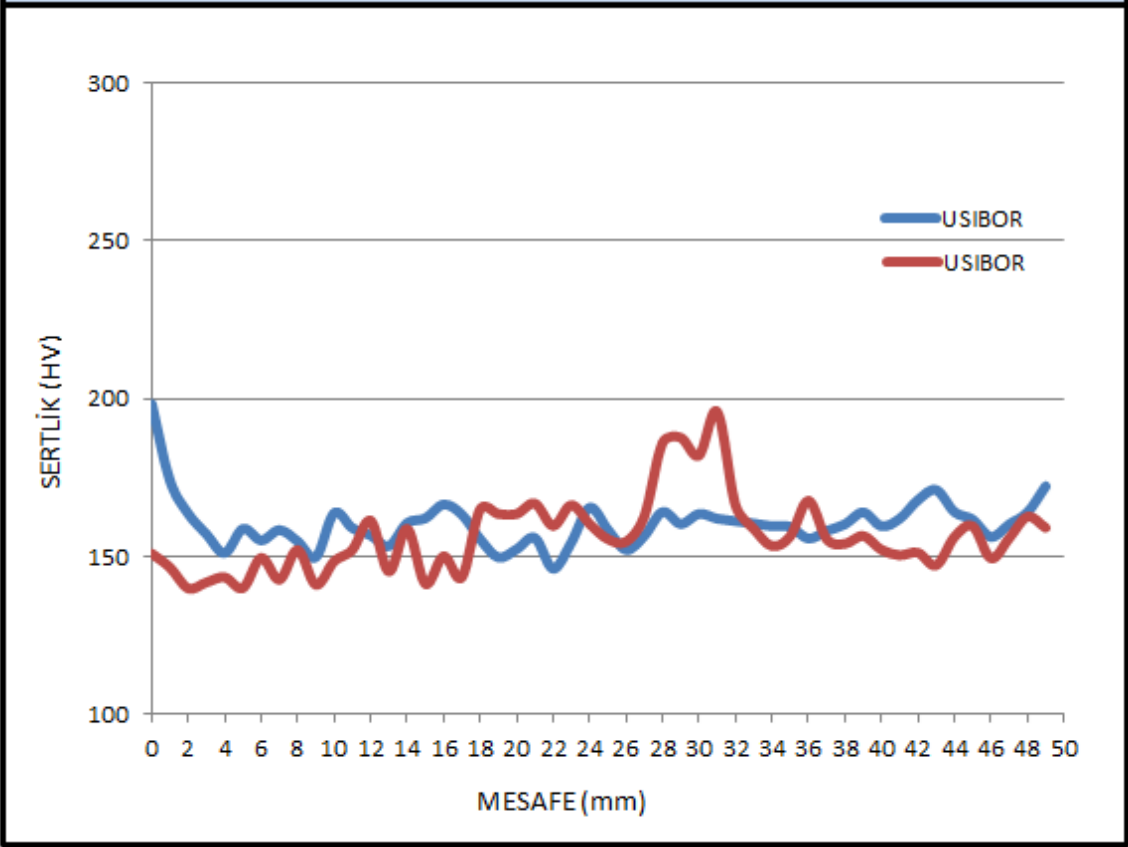
Ductibor 500 çeliğinin sertlik ölçümleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu malzeme grubundan alınan sertlik ölçümünde grafiklerden de görüldüğü üzere 20 mm’lik bir bölgede yüksek sertlik değerleriyle karşılaşmıştır. Kaynak çekirdeği etrafından 150-200 HV değerleri arasında değişen sertlik değerleri kaynak çekirdeği bölümünde maksimum değerlerine ulaşmış ve 500 HV sertlik değerlerinde olduğu görülmüştür. Sertlik değerleri DP800 sertlik değerleriyle karşılaştırıldığında kaynak çekirdeği ile kaynak çekirdeğinden uzak kısımlardaki sertlik değerleri arasındaki fark Ductibor 500

çeliğinde çok daha fazladır. Bu da Ductibor 500 çeliğindeki ısı iletiminin çok daha iyi olduğu görülmüştür.

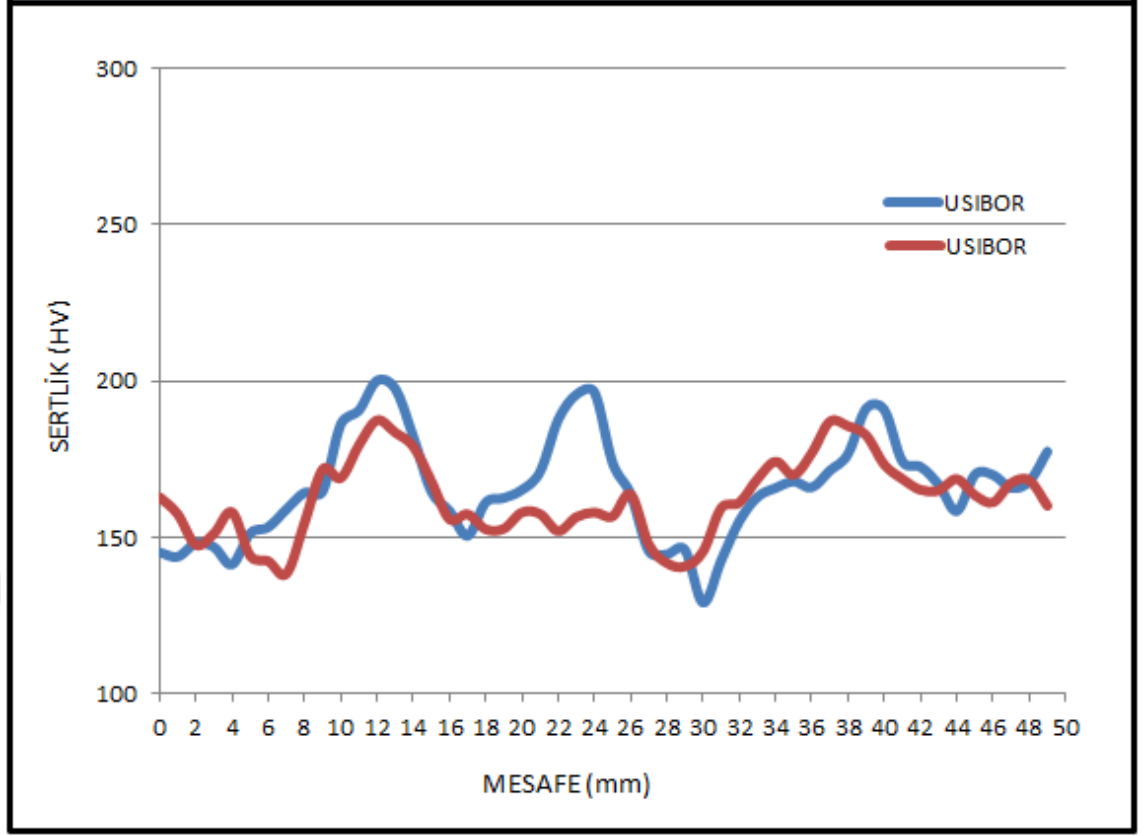
Ductibor 500 çeliğinin 9, 9.5, 9.9 kA değerlerinde ortaya çıkan sertlik değişimleri az miktarda olmuştur. Bunun sebebi uygulanan akım değerlerinin birbirine yakın olmasıdır. Bu malzeme grubu için farklı akım değerlerinde sertlik değişimleri görülebilmesi için akım değerleri arasındaki fark büyük olmalıdır.



(a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar



(b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar



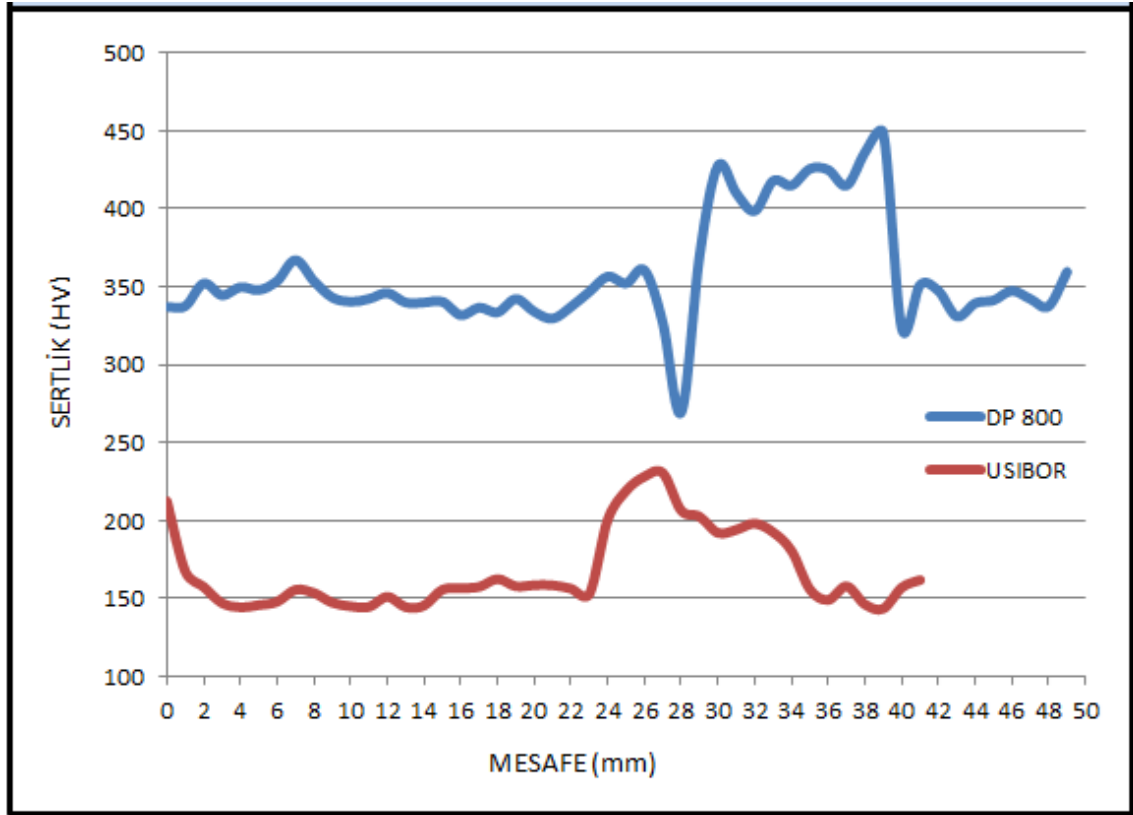
(c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar

Şekil 4. 3 (a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki Usibor 1500 malzemedenden de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

Usibor 1500 malzeme grubu için yapılan sertlik ölçümü sonuçları Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Sertlik ölçümü sonuçlarına göre diğeri malzeme gruplarından farklı olarak Usibor 1500 malzemesinin sertlik değerlerinde değişim çok fazla görülmemiştir. Akım değerleri incelendiğinde 9 ve 9.5 kAlık akımlarda 150-200 HV sertlik değerlerinde görülürken, 9.9 kAlık akımda yapılan kaynak da değişim biraz daha fazla ve daha dalgalı bir şekilde görülmüştür. Usibor 1500 malzeme grubu için yapılan ölçümlerde

görülen belirgin fark sertlik değerlerinde kaynak çekirdeği ve çevresinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

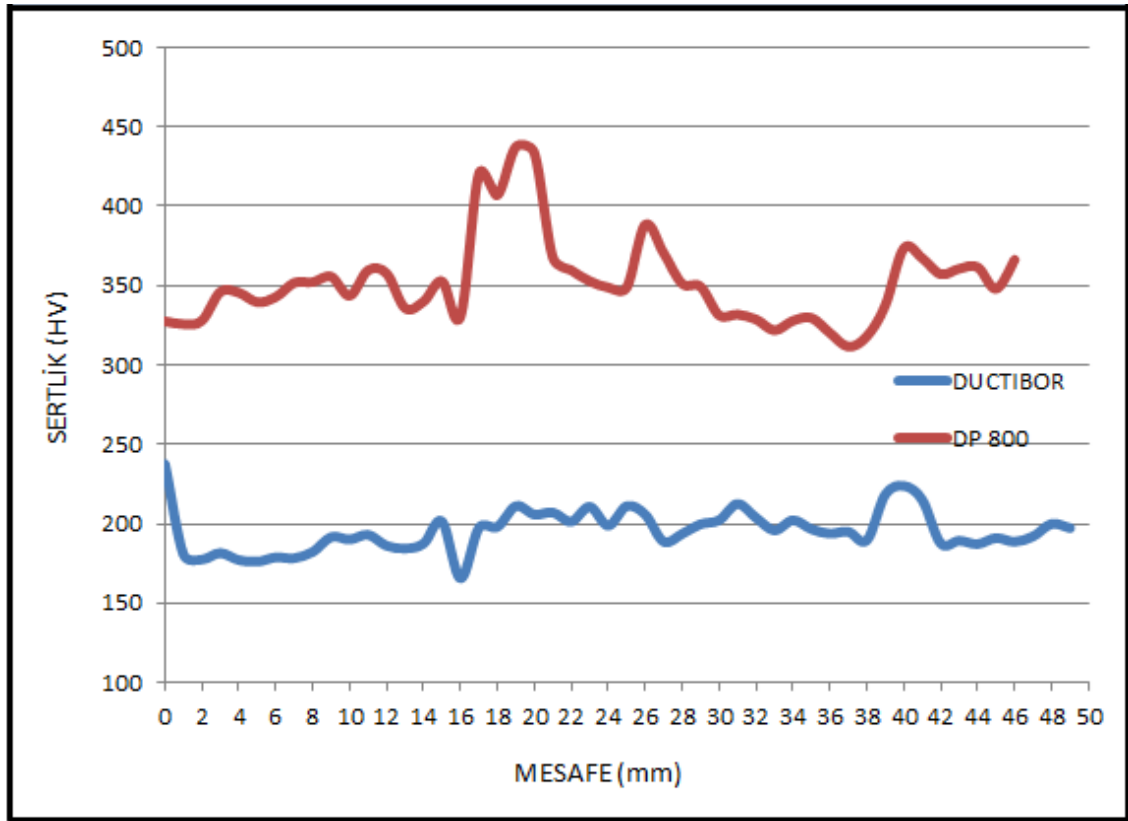


Şekil 4. 4 DP800 – USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki DP800 ve Usibor 1500 malzemedenden de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi iki farklı malzeme tipi direnç nokta (punta) kaynağı ile birleştirilmiştir. Burada amaç iki farklı malzeme grubunun birbiri ile kaynak edilebilirliğini görmek ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirmektir. Yapılan kaynak işleminde DP800 ve Usibor 1500 malzemeleri 2,5 bar basınç altında 9,5 kA’lık akım değerinde birleştirilmiştir. Birleşme tam olarak sağlanmıştır ancak DP800 malzemesinde bir miktar erime meydana gelmiştir. Usibor 1500 malzemesi için ise 2,5 bar 9,5 kA değerleri malzeme birleşimi için düşük kalmıştır. Grafikten de görüleceği

üzere DP800 malzemesinde elektrodun temas ettiği bölgede sertlik artmış ve kaynak çekirdeğinden uzaklaştığında sertlik değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Kaynak çekirdeği bölgesinde 450 HV sertlik değerlerine ulaşılırken daha uzak bölgelerde 350 HV değeri civarındadır. Usibor 1500 malzemesi için ise kaynak çekirdeği kısmında az da olsa bir değişim gözlenmiştir. Değişim kaynak orta kısmında 230 HV civarındayken diğer bölgelerde 150 HV değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

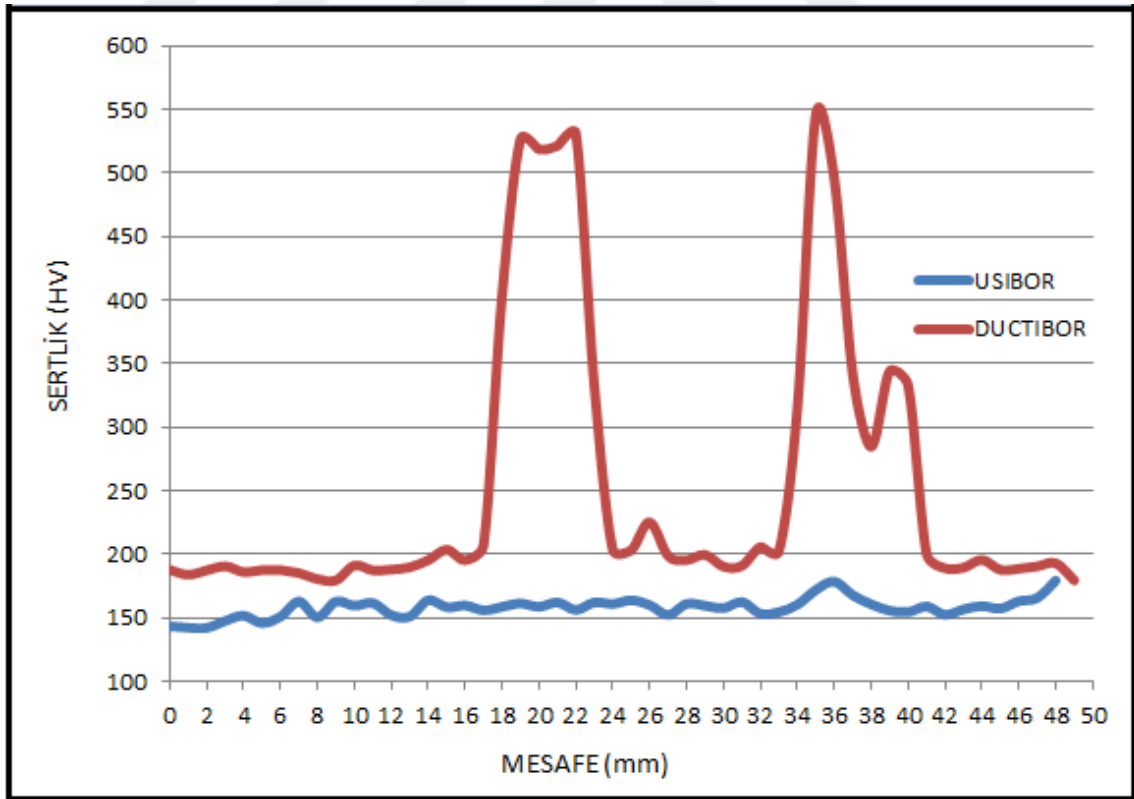


Şekil 4. 5 DUCTIBOR 500 - DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki Ductibor 500 ve DP800 malzemedan de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi iki farklı malzeme tipi nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Burada amaç iki farklı malzeme grubunun birbiri ile kaynak

edilebilirliğini görmek ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirmektir. Yapılan kaynak işleminde Ductibor 500 ve DP800 malzemeleri 2,5 bar basınç altında 9,5 kA'lık akım değerinde birleştirilmiştir. Birleşme sağlanmış gözükmemektedir ancak tam olarak iki metalin kaynak çekirdeğini oluşturmadığı söylenebilir. 9,5 kA akım değerinde Ductibor 500 malzemesinin sertliği 500 HV üzeri olması gerekirken DP800 malzemesiyle olan birleşimde 200 HV değerlerinde kalmıştır. Bu sonuç bize Ductibor 500 malzemesi ile DP800 malzemesinin tam olarak birleşmediğini göstermektedir. Net bir şekilde kaynak çekirdeğinin oluşmadığını Ductibor 500 numunesi için kaynak bölgesinde değişim yaşanmadığı sonucuna ulaşabiliyoruz. DP800 malzemesi ise bu farklı malzeme birleşiminden etkilenmemiş olarak görülmektedir. Normal olarak 9,5 kA değerinde maksimum 450 HV değerlerinde ölçülen DP800 malzemesinin sertliği Ductibor 500 ile birleşimde de aynı kalmıştır. Sonuç olarak çıkan bu grafik farklı iki malzemenin uygun bir şekilde nokta direnç kaynağı olmadığını, Ductibor 500 malzemesinin maksimum sertlik değerlerinin altında kaldığını, DP800 malzemesinin ise maksimum sertlik değerlerine bu birleşimde de ulaştığını görmekteyiz.



Şekil 4. 6 USIBOR 1500 – DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri birleştirilen iki Ductibor 500 ve DP800 malzemeden de ölçülerek yaklaşık olarak 100 ölçü alınmıştır. Birleştirilen iki metal biri kırmızı ile diğeri mavi renk ile grafikte gösterilmiştir.

Şekil 4.6'de görüldüğü gibi iki farklı malzeme tipi nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Burada amaç iki farklı malzeme grubunun birbiri ile kaynak edilebilirliğini görmek ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirmektir. Yapılan kaynak işleminde Usibor 1500 ve Ductibor 500 malzemeleri 2,5 bar basınç altında 9,5 kA'lık akım değerinde birleştirilmiştir.

Bu grafikten de görüleceği üzere Ductibor 500 malzemesi 9,5 kA değerinde maksimum ulaştığı 500-550 HV değerlerine ulaşmıştır. Ancak iki farklı malzeme arasında tam olarak bir birleşme sağlanamamıştır. Bunun sebebi 9,5 kA'lık akım değerinin Usibor 1500 malzemesi için yeterli bir değer olmadığıdır. Bu akım ve basınç değerinde Usibor 1500 tam olarak kaynak çekirdeği oluşturamamıştır ve kaynak bölgesi ergimediğinden Ductibor 500 ile bir birleşme sağlanamamıştır.

4.2. Kaplama kalınlığı ölçümleri

4.2.1. Usibor 1500 Kaplama Kalınlığı Ölçümleri

Çizelge 4. 1 Usibor 1500 kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM	KAPLAMA KALINLIĞI (μm)
1	32,5
2	29,8
3	34,2
4	29,3
5	29,7
6	26,2
7	33,3
8	31,3
9	32,7
10	30,9

4.2.2. Ductibor 500 Kaplama Kalınlığı Ölçümleri

Çizelge 4. 2 Ductibor 500 kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları

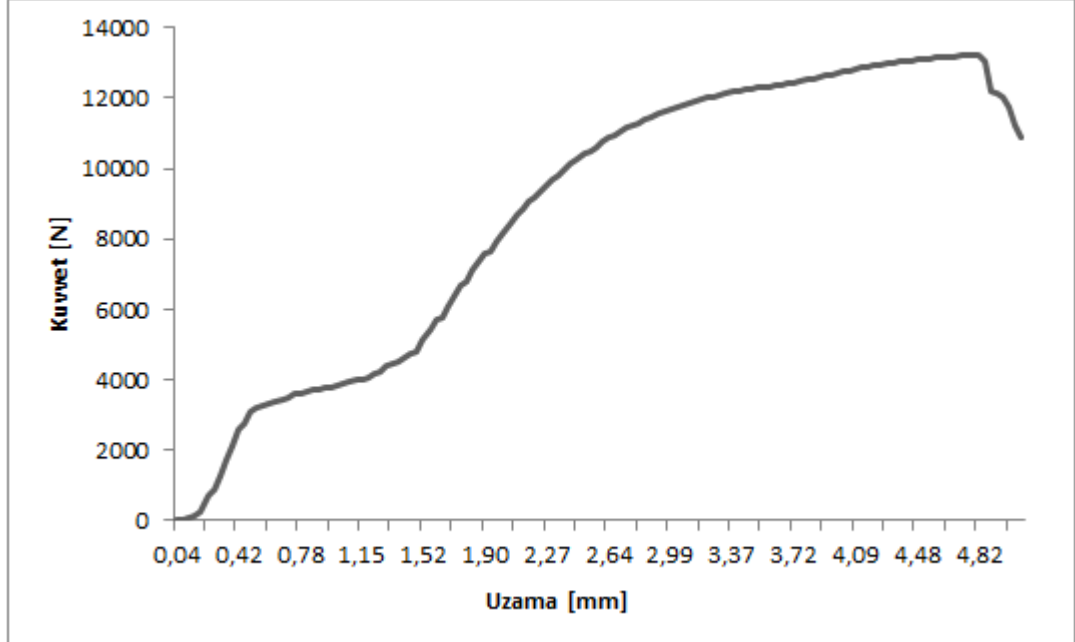
ÖLÇÜM	KAPLAMA KALINLIĞI (μm)
1	27,3
2	28,9
3	27,7
4	29,0
5	29,7
6	25,3
7	30,2
8	30,9
9	27,6
10	26,3

Bu çalışmada üzerine çalışılan Usibor 1500 ve Ductibor 500 malzemeleri Al-Si kaplamalı DP800 malzemesi ise kaplamasız bir çeliktir. Usibor 1500 ve Ductibor 500 malzemelerinin kaplama kalınlıkları ölçümleri yapılmıştır. Kaplama kalınlığı ölçümü levha olarak temin edilen saclar üzerinden 10 farklı noktadan alınmıştır ve sac levha üzerinde homojen dağılımı kontrol edilmek istenmiştir. Çizelge 4.1’de Usibor 1500 çeliğinin kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları görülmektedir. Çizelge 4.2’de ise Ductibor 500 çeliğinin kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları görülmektedir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere kaplama kalınlığı farklı noktalarda homojen olarak yayılıma sahiptir. İki çelik malzeme için de ortalama 25-30 μm aralığında kaplama kalınlığı ölçümü yapılmıştır.

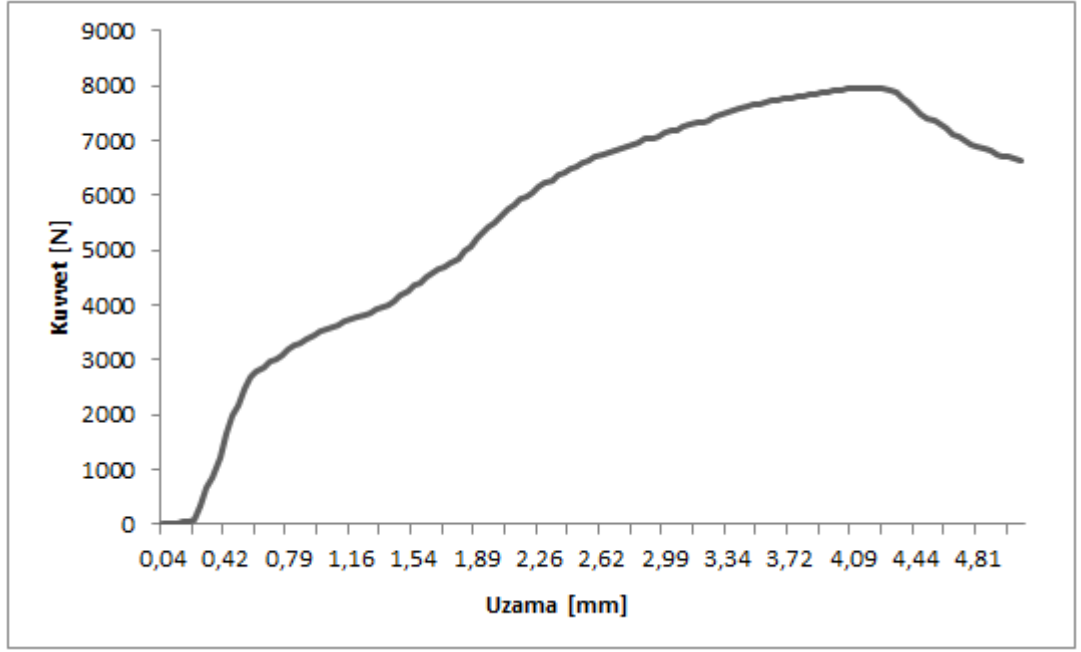
4.3. Çekme Deneyleri



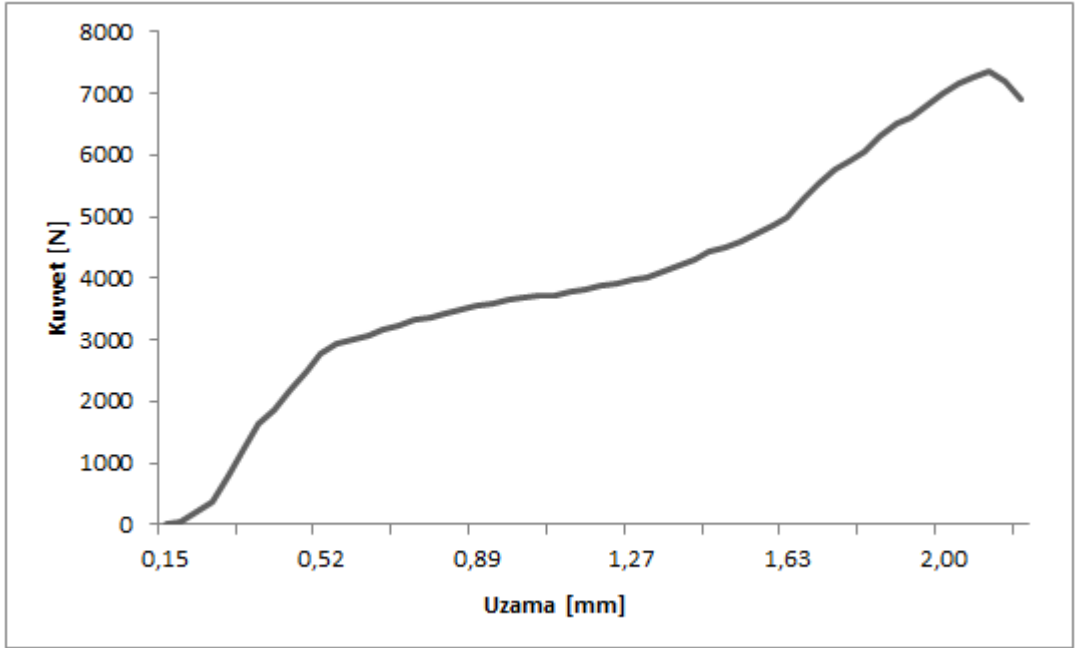
Şekil 4. 7 Çekme Deneyi Yapılmış Numune Örnekleri



(a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar



(b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar



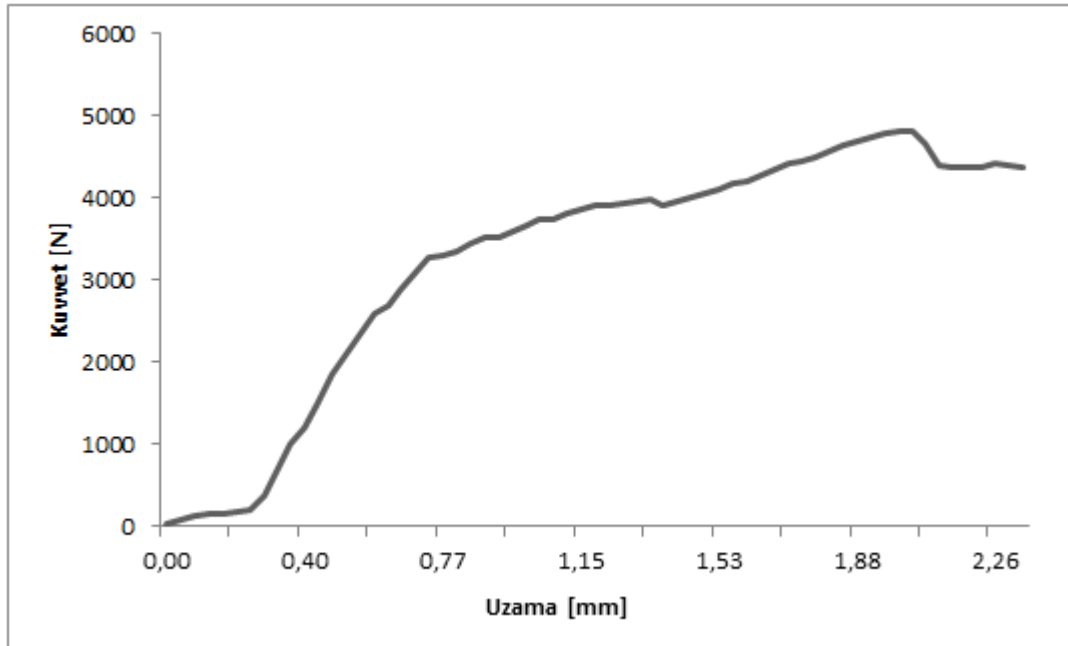
(c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar

Şekil 4. 8 (a) DP800 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DP800 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri

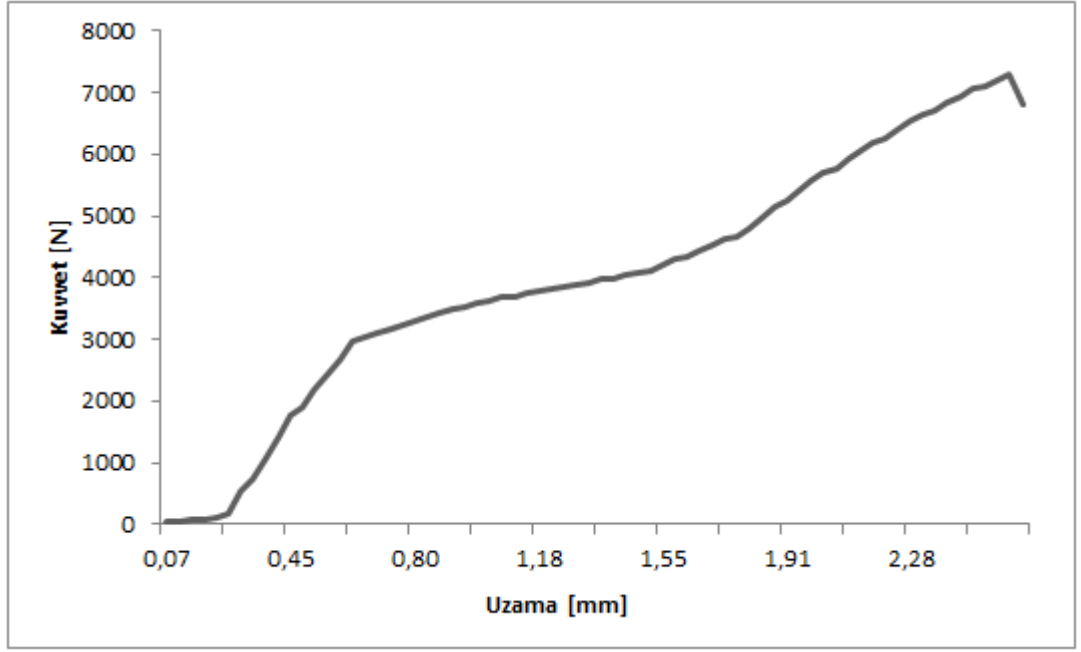
Çalışma kapsamında 1 mm kalınlığındaki DP800 çeliğinden standartlara uygun şekilde numuneler oluşturulup çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri 2,5 bar sabit basınç altında 9, 9.5, 9.9 kA akım değerlerinde uygulanmıştır.

Dual fazlı çeliklerin çekme deneylerinde belirgin bir akma noktası görülmez. Dual fazlı çeliklerde martenzitik dönüşüm sebebiyle ferrit tane sınırlarında meydana gelen hareketli dislokasyonlar sürekli akmaya sebebiyet verirler. Genel olarak dual fazlı çeliklerde akma mukavemeti nispeten düşük değerlerdedir. Ancak sadece temperleme ya da ön soğuk deformasyon işleminden sonra yapılacak temperleme ile birlikte akma mukavemetleri arttırılabilir.

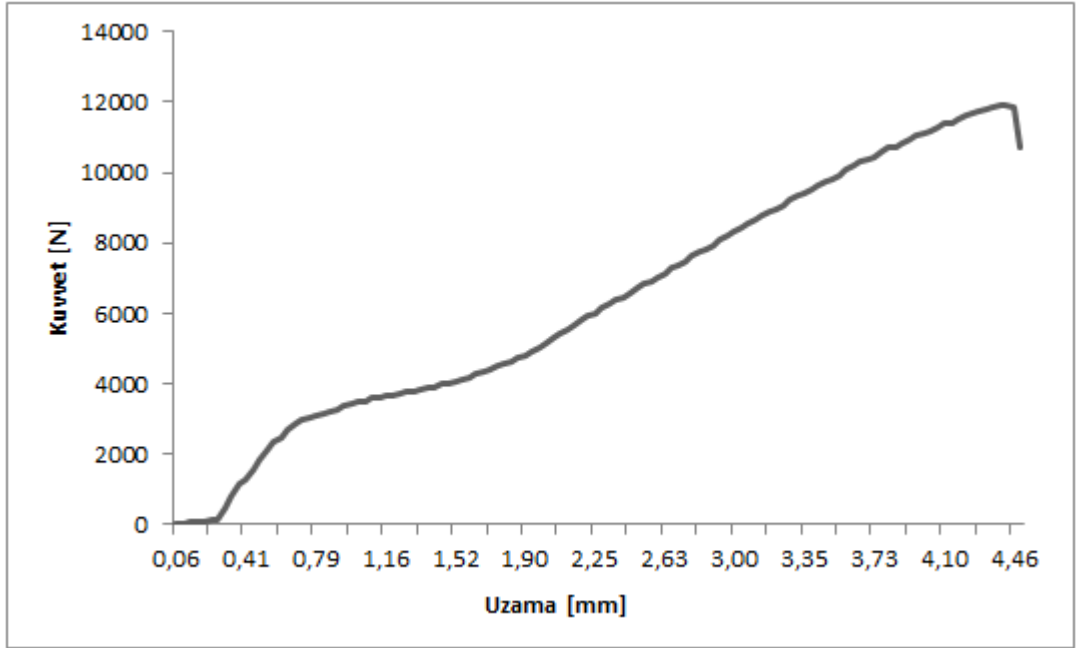
Bu çalışmada dual fazlı çelik olan DP800 malzemesinin ölçülen çekme mukavemeti sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir. Dual fazlı çeliklerin içyapıları gereği akma dayanımları düşüktür. Ancak uzama miktarları fazladır. Şekil 4.7’de de görüleceği üzere DP800 dual fazlı çeliklerin tipik bir özelliğini göstermiştir. Uzama miktarı 4 mm üzerinde seyretmiştir ve akma dayanımı düşüktür. DP800 çeliği bu çalışmada da benzer çekme dayanımı değerlerine sahiptir.



(a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar



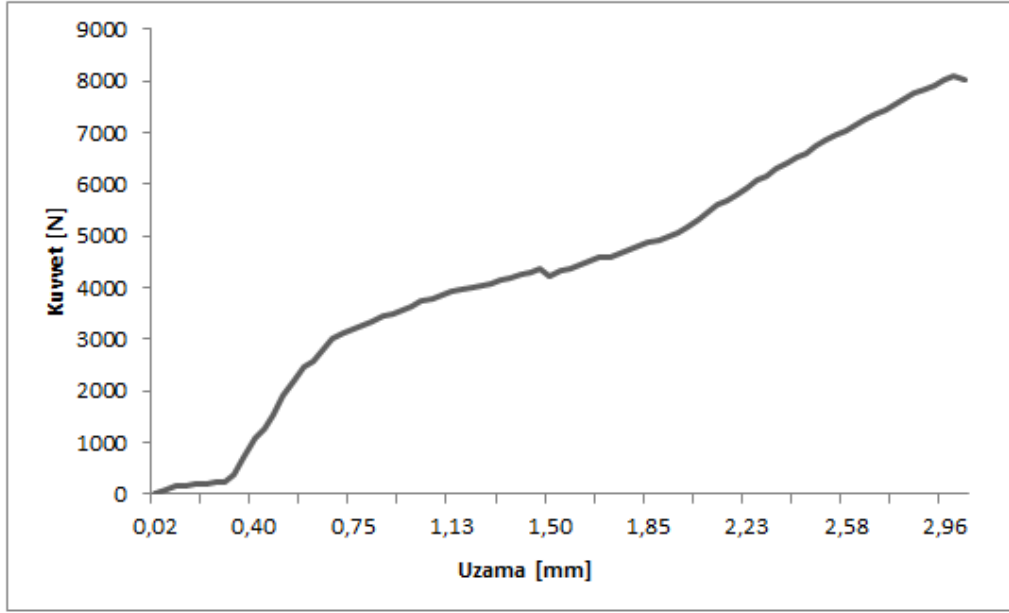
(b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar



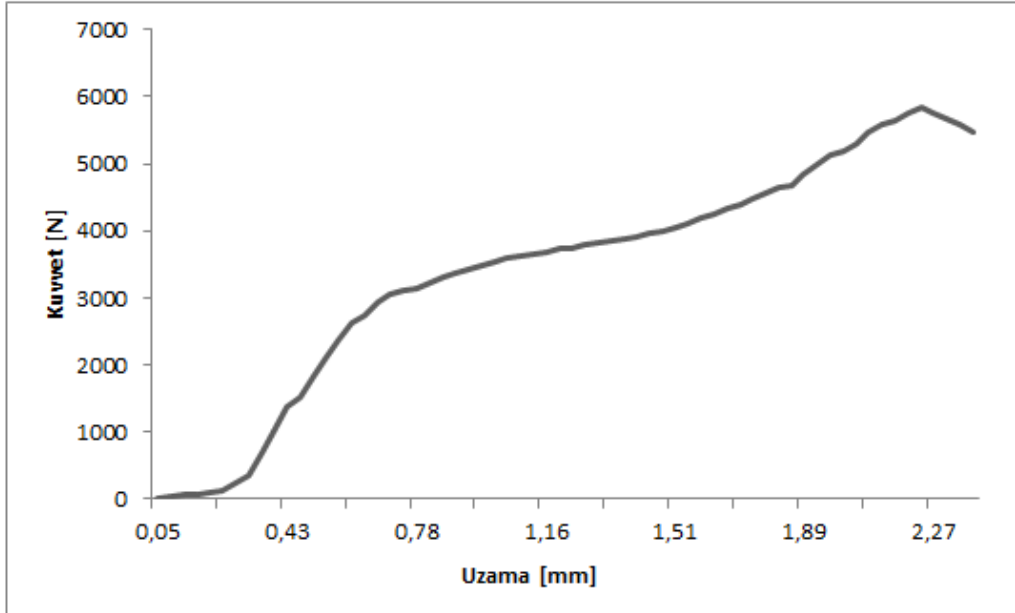
(c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar

Şekil 4. 9 (a) DUCTIBOR 500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) DUCTIBOR 500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri

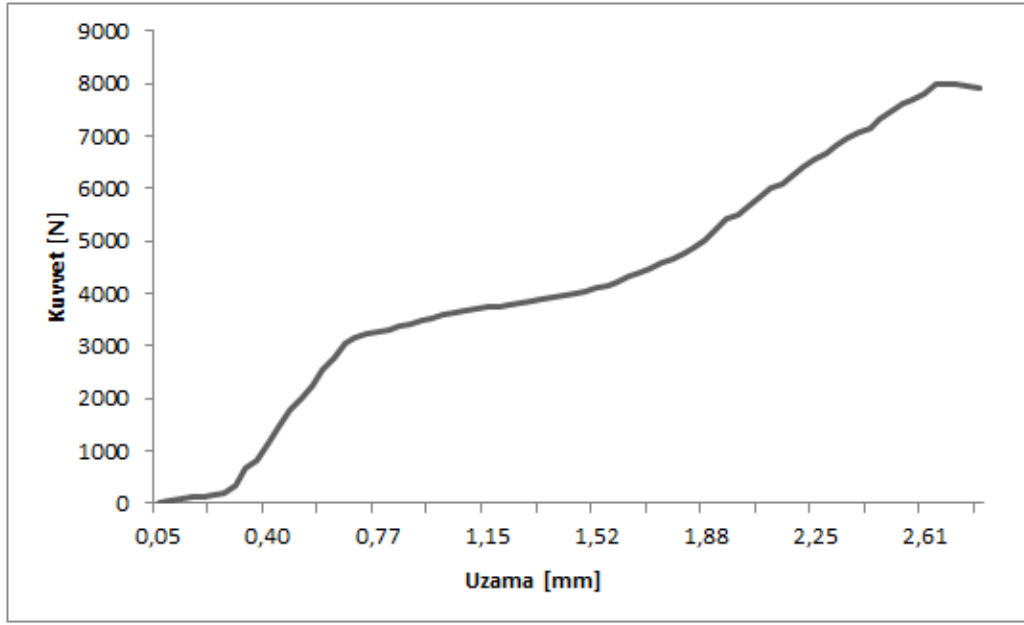
Ductibor 500 çeliğinin mukavemet değerleri akım değeri yükseldikçe paralel olarak artmıştır. Bunun sebebi akım değerinin 9.9 kA değerindeyken DP800 çeliğinin kaynak bölgesinde daha fazla ergime meydana getirmesi ve buna bağlı olarak daha iyi bir kaynak birleşmesi göstermesindedir.



(a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar



(b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar

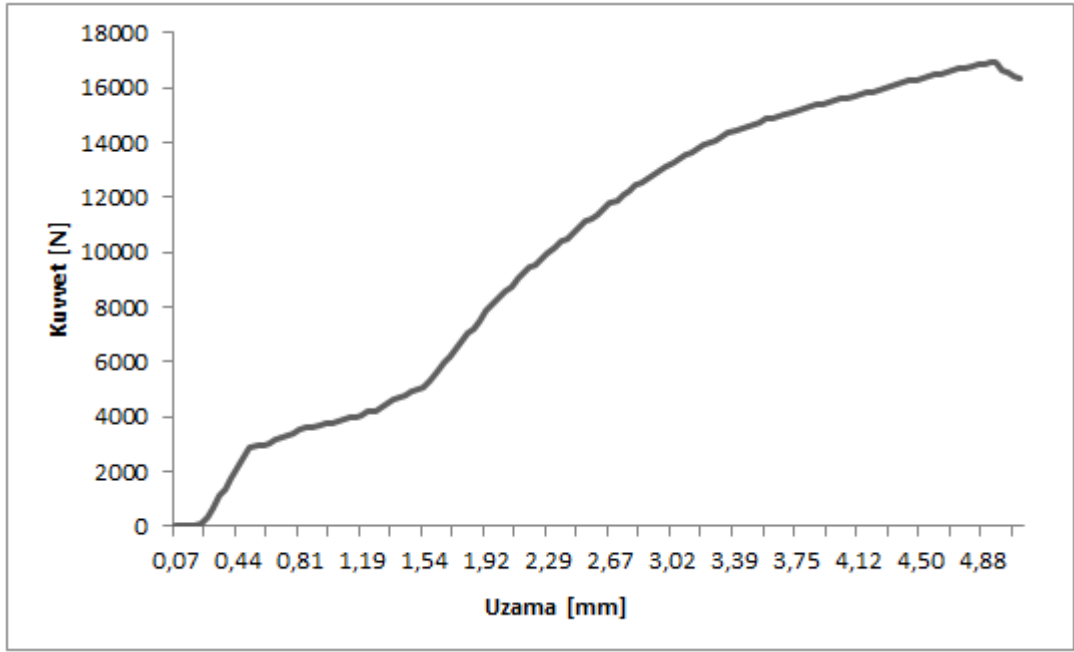


(c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar

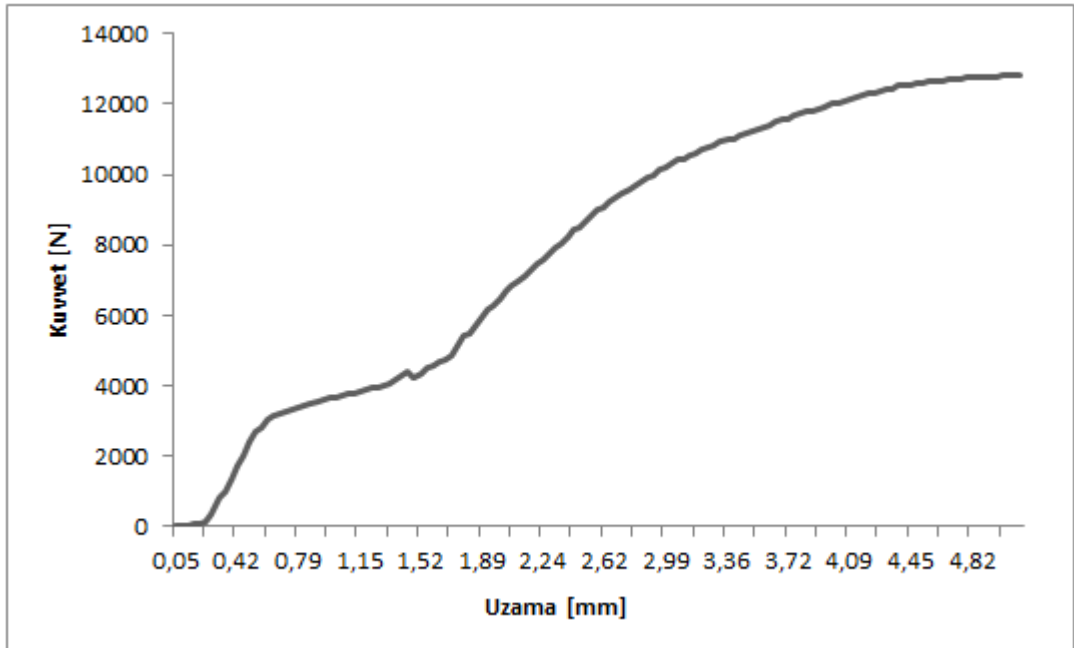
Şekil 4. 10 (a) USIBOR 1500 / 9,0 kA – 2,5 bar (b) USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar (c) USIBOR 1500 / 9,9 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri

Usibor 1500 çeliği de Ductibor 500 çeliğine benzerlik göstermiştir. Nispeten 9.9 kA'lık akımda daha iyi bir birleşme sağlamıştır. Akım artışına paralel olarak daha iyi bir birleşme elde edildiği görülmektedir. Ductibor 500 çeliğinin akma uzama değerlerinin fazla olması ortaya çıkan grafiklerde de gözükmemektedir.

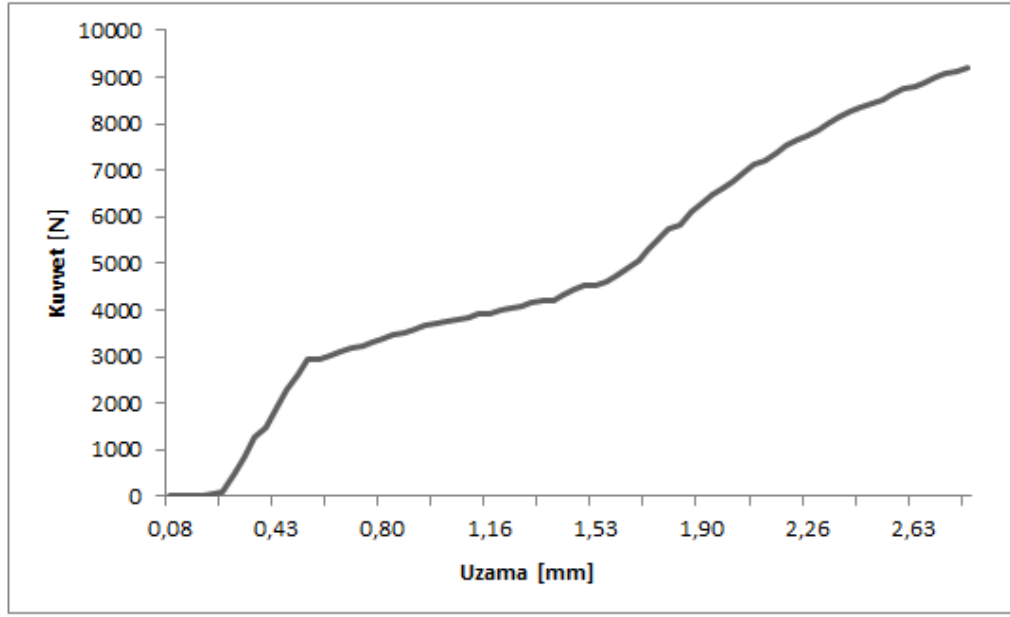
Usibor 1500 ve ductibor 500 otomotiv sanayiinde daha çok birlikte kullanılırlar. Otomotiv sektöründe mukavemet isteyen parçalarda kullanımları yaygınlaşmaktadır. Yüksek dayanımda sahip olmalarının yanı sıra otomotiv parçalarında kullanılmalarının bir diğer sebebi de önemli ölçüde ağırlık azalımı sağlamasıdır. Usibor 1500 çeliği ile Ductibor 500 çeliği daha çok lazer kaynak yöntemi ile birleştirilip bir arada kullanılmaktadırlar. Burada amaç Usibor 1500 malzemesinin darbelere karşı tepki kuvvetinden yararlanmak aynı zamanda Ductibor 500 çeliğinin de enerji absorbe etme yeteneğinden faydalanmaktır. Bu iki çelik sıcak şekillendirme işlemi sonrasında birleştirilmektedirler. Kullanım alanları gün geçtikçe artmakla beraber geliştirilmeye devam edilmektedir. Kullanımlarındaki en büyük engel ise yüksek maliyete sahip olmaları ve özel üretim olarak üretilmeleridir.



Şekil 4. 11 DP800 – DUCTIBOR 500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri



Şekil 4. 12 DUCTIBOR 500 – USIBOR 1500 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri



Şekil 4. 13 USIBOR 1500 – DP800 / 9,5 kA – 2,5 bar parametreleri altında nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri

Farklı çeliklerin birbirleri arasındaki birleşmelere bakılacak olursa genel olarak düzgün bir kaynak bölgesi oluşmuştur. Farklı çeliklerin birleşimi iyi sayılabilecek mukavemet değerleri vermiştir. Çekme grafikleri incelendiğinde DP800 ve Ductibor 500 çelikleri arasındaki kaynak bağlantısının ortaya çıkardığı kuvvet değerleri daha yüksek değerlerdedir. Burada ortaya çıkan bu sonuç kaynak sırasında ortaya çıkan ısı değerinin DP800 ve Ductibor 500 çelikleri için yeterli seviyede olduğunu ve bu iki farklı çeliğin birleşiminde uygun kaynak çekirdeği bölgesini oluşturduğu belirtilebilir.

Usibor 1500 ve Ductibor 500 çelikleri ticari anlamda lazer kaynağı ile birleştirilmektedirler ve bu yolla iki çeliğin de farklı özelliklerinden faydalanılmak istenmiştir. Çalışmada uygulanan nokta direnç kaynağı bu iki malzemenin birleşiminde çok etkin rol oynayamamıştır. Ancak birleşimdeki kuvvet değerleri oldukça yüksek değerlerdir. Birleşme sağlanmıştır ancak tam anlamıyla bir kaynak çekirdeği oluşumundan söz edilememektedir.

Usibor 1500 ve DP800 çeliklerinin birleşimi ise biraz daha düşük seviyede kalmıştır. Bunda Usibor 1500 çeliğinin kaynak edilebilirliği için yeterli kaynak parametrelerinin kullanılmamış olması bir etkendir.

5. SONUÇ

Çalışmada üç farklı çeliğe nokta direnç kaynağı uygulanmıştır. Çalışmada DP800, Ductibor 500 ve Usibor 1500 çelikleri kullanılmıştır ve bu çelikler nokta direnç kaynağı ile kaynatılmışlardır. Bu çeliklerin çalışma için tercih edilmesinin sebebi yüksek dayanımlı olmaları ve özellikle otomotiv sektörü için önemli malzemeler olmalarıdır. Bu çeliklerin özelliği araçlarda yüksek dayanım sağlarken diğer yandan hafiflik sağlayarak tercih sebebi olmalarıdır. Usibor 1500 ve Ductibor 500 çelikleri ultra yüksek dayanımlı çeliklerdir. Bu çeliklerin özelliği sıcak şekillendirmeye uygun olmaları ve sıcak şekillendirme sonra dayanımlarının iki katına kadar çıkmasıdır. DP800 çeliği ise dual fazlı yüksek dayanımlı bir çeliktir. Birçok otomobil parçasında mukavemeti yüksek olmasından ve hafiflik sağlamasından dolayı tercih edilen bir malzemedir. Bu üç çeliğin ortak özelliği ise ileride kullanımları artacağı düşünülen, gelişmiş ve geliştirilmekte olan çelik türleridir.

Usibor 1500 çeliği ile Ductibor 500 çeliği daha çok lazer kaynak yöntemi ile birleştirilip bir arada kullanılmaktadırlar. Burada amaç Usibor 1500 malzemesinin darbelere karşı tepki kuvvetinden yararlanmak aynı zamanda Ductibor 500 çeliğinin de enerji absorbe etme yeteneğinden faydalanmaktır.

Yapılan çalışmalar sonucu DP800, Ductibor 500 ve Usibor 1500 çeliklerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Vickers sertlik değerleri sonucunda DP800 ve Ductibor 500 çeliğinin kaynak noktasında önemli sertlik artışları saptanmıştır. Kaynak bölgesinde ısının etkisiyle maksimum sertlik değerlerine ulaşmışlardır. DP800 çeliği sertlik ölçümleri sonucunda maksimum 450 HV değerlerine ulaşmıştır. Ductibor 500 çeliği ise kaynak noktasında diğer noktalara göre 2-3 kat sertlik artışı göstermiştir ve 500-550 HV değerlerine ulaşmıştır. Burada Usibor 1500 çeliğinin kaynak noktasında ısı etkisiyle belirgin bir sertlik artışı yaşanmamıştır. Bunun nedeni nokta direnç kaynağı makinesinde uygulanan 9, 9.5, 9.9 kA'lık akım değerleri Usibor 1500 için yetersiz olmasındandır. Akım ve basınç değerleri Usibor 1500 çeliğinin kaynak noktasında uygun bir ergime meydana getirmemiş ve kaynak çekirdeği oluşturmamıştır. Uygulanan kaynak parametreleri Ductibor 500 ve DP800 çelikleri için uygun bir kaynak çekirdeği oluşumu için yeterli olmuştur. Çalışma kapsamında sabit 2,5 bar basınç altında 9, 9.5 ve

9.9 kA akım değerlerinde yapılan nokta direnç kaynağından alınan numunelerle çekme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucu DP800 dual fazlı çeliğinin tipik özelliği olarak akma dayanımının düşük olduğu uzama miktarının fazla olduğu tespit edilmiştir. Akma noktası belirsizdir ancak uzama miktarları fazladır. Bunun sebebi ferrit tane sınırlarında meydana gelen hareketli dislokasyonlar sürekli akmaya sebebiyet vermesinden kaynaklanmaktadır. Ductibor 500 çeliğinin mukavemet değerleri akım değeri yükseldikçe paralel olarak artmıştır.

Sonuç olarak farklı üç çeliğin nokta direnç kaynağı başarıyla yapılmış ve farklı mekanik değerler elde edilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlardan biri mekanik özelliklerdeki değişimleri daha net görebilmek için kullanılan akım değerlerinin birbirlerinden mümkün mertebe uzak seçilmesi gereğidir. Mekanik değerlerin birbirine yakın çıkmış olması akım değerlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanmıştır. Ayrıca malzeme yapısına göre mekanik davranış değişimleri çok farklı özellikler göstermektedir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda çok daha fazla akım değeri üzerinden gitmek yararlı olacaktır. Burada önemli olan nokta birleşecek iki farklı metal için optimum parametreleri iyi saptayabilmektir. Bunun için yapılacak çalışmalarda farklı parametre denemeleri daha fazla yapılabilir.

Çizelge 5. 1 Çekme deneyleri özet tablo

Malzeme	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Uzama (mm)
DP800 - 9,0 kA / 2,5 bar	13240	5,1
DP800 - 9,5 kA / 2,5 bar	7960	5,1
DP800 - 9,9 kA / 2,5 bar	7370	2,5
Ductibor - 9,0 kA / 2,5 bar	4810	2,8
Ductibor - 9,5 kA / 2,5 bar	7300	2,6
Ductibor - 9,9 kA / 2,5 bar	11920	4,5
Usibor - 9,0 kA / 2,5 bar	8110	3,0
Usibor - 9,5 kA / 2,5 bar	5850	2,4
Usibor - 9,9 kA / 2,5 bar	7970	2,7
DP800-Ductibor - 9,5 kA / 2,5 bar	16960	3,0
Ductibor-Usibor - 9,5 kA / 2,5 bar	12780	4,9
Usibor-DP800 - 9,5 kA / 2,5 bar	9120	2,6

KAYNAKLAR

Almus, Z. 2006. Nokta Direnç Kaynağında Ara Bağlayıcının Birleşme Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.

Anonim, 2007. Elektrik Direnç Kaynağı. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/elektrik_direnç_kaynagi.pdf (Erişim Tarihi: 14.04.2016).

Anonim, 2012. Elektrik Direnç Kaynağı 521MMI059. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektrik%20Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1.pdf (Erişim Tarihi: 14.04.2016).

Anonim, 2015a. Özel Çelikler. <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosya92bf548a697cb84ec0fd5cafd82e743.pdf> (Erişim Tarihi: 14.04.2016).

Anonim, 2015b. Nokta Direnç Kaynağı. <http://www.tekniktrend.com/nokta-direnç-kaynagi/> (Erişim Tarihi: 10.05.2016).

Anonim, 2015c. Sertlik Ölçme. http://www.metkon.com/pdf/METKON_DUROLINE_TR.pdf (Erişim Tarihi: 10.05.2016).

Anonim, 2015d. Sertlik Deneyi. http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme_lab/sertlik.pdf (Erişim Tarihi: 12.05.2016).

Anonim, 2015e. Steels For Hot Stamping –Usibor. http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/E_EN.pdf (Erişim Tarihi: 12.05.2016).

Anonim, 2015f. Spot Welding Equipment & Engineering Services. <http://www.weldingnet.com/wt-catalog.pdf> (Erişim Tarihi: 12.05.2016).

Anonim, 2015g. Usibor® 1500P and Ductibor® 500P The Ultimate Tool For Weight And Cost Reduction. (Erişim Tarihi: 12.05.2016).

Aydın, H. 2006. Çelik Sacların Çift Faz Isıl İşlemi Sonrası Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Değişimi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Bardelcik, A. 2012. High Strain Rate Behaviour of Hot Formed Boron Steel with Tailored Properties. *Ph.D. Thesis*, Mechanical Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.

Bilir, O. G. 2014. Orta Karbonlu Dual Fazlı Çeliklerde Faz Dönüşümlerinin Termodinamik Modellenmesi Ve Mikroyapısal Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.

Çalışoğlu, İ. 2009. Ticari olarak Temin Edilen ve %10 Soğuk Deforme Edilen Erdemir 7660 Kalite Dual Fazlı Çeliğin Nokta Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

Çetin, İ. 2014. Nokta Direnç Kaynağı Yapılmış TRIP800 Çeliğinin Yorulma Davranışının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, MEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

Doruk, E., Pakdil, M., Gürel, Ç., Durgun, İ., Kumru, U.C. 2015. Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Tofaş Uygulamaları. Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre Ve Sergisi, 20-21 Kasım 2015, Tbb Litai Konukevi, Ankara.

Esendir, E. 2008. Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Farias, D. 2006. Bake Hardening Response of DP800 and the Influence on the 'In Service Performance'. *Master Thesis*, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, Nederland.

Güler, H. 2013. Investigation of Usibor 1500 Formability in a Hot Forming Operation. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 19(2).

Hayat, F., 2005. Çift-Fazlı Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağında Mho İle Kaynak Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi. *Bilim Uzmanlığı Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak.

Hayat, F. 2009. Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4): 701-712.

Kaya, Y. 2010. Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük.

Kurumahmut, O. 2009. 22MnB5 Çelik Sacların Elektrikli Isıtma ile Sıcak Şekillendirilmesinin Deneysel Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Önal, A.S., Güler, H. 2012. Sıcak Şekillendirme Prosesi. *Mühendis ve Makina*, 53 (626): 66-70.

Özcan, İ. 2009. 22MNB5 Çelik Sacların Elektrikli Isıtma İle Preste Sertleştirme İşleminin Metalurjik Analizi Ve Mekanik Davranışlara Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E. 2009. Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 50 (596): 44-49.

Türkmen, M., Gündüz, S. 2013. Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Morfolojisinin Statik Deformasyon Yaşlanma Davranışı Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2): 353-362.

Ulu, S. 2009. Çift Fazlı Çelikler. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(3) : 100-113

Yavuz, B. 2015. Nokta Direnç Kaynağında Isıl ve Yapısal Analizlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: :Sedat ARAS
Doğum Yeri ve Tarihi: :Kadıköy / 31.03.1991
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Bursa Hürriyet Anadolu Lisesi / 2005-2009
Lisans :Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi:
Makine Mühendisliği Bölümü / 2009-2013
Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Tezli
Yüksek Lisans Programı Taşıt Transport Sistemleri
Anabilim Dalı / 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

:BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş / 2016
BEYÇELİK GESTAMP A.Ş / 2015
TOFAŞ(Türk Otomobil Fabrikası A.Ş) / 2014-2015

İletişim (e-posta) :

:arassdt@gmail.com