



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ÇELİK SACLARIN DİRENÇ
ALIN YÖNTEMİ İLE
KAYNAKLANABİLİRLİĞİ ve
DEFORMASYONUNUN DENEYSEL ve
SONLU ELEMANLARLA İNCELENMESİ**

Ömer DAĞLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

**2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV ÇELİK SAÇLARIN DİRENÇ ALIN YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ ve DEFORMASYONUNUN DENEYSEL ve SONLU ELEMENLARLA İNCELENMESİ

Ömer DAĞLI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Prof. Dr. Mustafa ACARER

2023, 95 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa ACARER

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

Otomotiv imalat sektöründe çift fazlı çelik alaşımları ön plana çıkmaktadır. Çift fazlı sac çelikler (Dual Phase) DP olarak anılmaktadır. Bu çalışmada otomotiv saclarından olan DP600, DP1000, DP1200 100X50X1 mm ölçülerinde kesilerek şerit haline getirilmiştir. Numune çiftleri kendi aralarında ve çaprazlama olarak elektrik direnç alın kaynağı yöntemiyle kaynatılmıştır. Kaynak öncesi akım değeri 5A, basınç değeri 2.5 bar, başlangıçtan bitişe kadar kaynak uygulama zamanı 3 saniye olarak seçilmiş ve belirlenen parametrelerde elektrik direnç alın kaynak makinesi ile numuneler birbirine kaynak edilmiştir. Kaynak sonrası aynı makine yardımı ile tavlama moduna geçilmiş zaman parametresi 25 saniye sıcaklık parametresi yaklaşık 600°C seçilerek tavlama yapılmıştır. Elektrik direnç alın kaynağı ile birleştirilen numuneler sırasıyla kaynak bölgesinin mikroyapısı incelenmiş, çekme deneyine tabi tutulmuş, eriyen bölge ile ITAB bölgesinin sertlik ölçümü yapılarak OriginLab programında sertlik haritaları çıkarılmış, büküm kenarları, kaynak bölgesini de içeren omega şeklinde büküm yapılarak plastik deformasyona tabi tutulmuştur. Çalışmalar ve numunelerin deneysel incelemeleri oda sıcaklığı ortamında yapılmıştır. Çalışmada ayrıca sonlu elemanlar yöntemi programlarından olan simufact welding analiz programı ile sanal elektrik direnç alın kaynağı yapılarak numunelerin sıcaklık ve faz dağılımları tespit edilmiştir. Simufact forming programında da numuneler omega büküm yapılmış ve gerilim ve deformasyon dağılımı incelenmiştir. Mikroyapının eriyen bölgede tanelerin büyüdüğü ferrit fazının ve martensit fazının azaldığı beynit fazının arttığı gözlenmiştir. Çekme testinde numuneler genel olarak eriyen bölge dışından boyun vererek kopmuştur. Micro vickers ile yapılan sertlik ölçümlerinde genel bulgu kaynak bölgesinde sertliğin esas malzemeye göre fazla olduğu görülmüştür. Kaynaklı numuneye omega şekli verilmiş makro muayenede DP600, DP1000 ve DP1200 numunelerin kaynak bölgesindeki büküm kenarlarında herhangi bir yırtılma gözlenmemiştir. Deney çalışmaları sırasında bütün numuneler için kaynak parametreleri aynı seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme deneyi, Elektrik direnç alın kaynağı, DP600, DP1000, DP1200, Mikroyapı, Simufact welding analiz, Simufact forming analiz

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

WELDABILITY OF AUTOMOTIVE STEEL SHEETS BY RESISTANCE BUTT WELDING AND INVESTIGATION OF DEFORMATION BY EXPERIMENTALLY AND FINITE ELEMENT EXAMINATION

Ömer DAĞLI

**SELCUK UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor

Prof. Dr. Mustafa ACARER

2023, 95 Pages

Jury

Prof. Dr. Mustafa Acarer

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

Dual-phase steel alloys come to the fore in the automotive manufacturing sector. Dual phase sheet steels (Dual Phase) are referred to as DP. In this study, DP600, DP1000, DP1200, which are automotive sheets, were cut in 100X50X1 mm dimensions and turned into strips. The sample pairs were welded to each other and crosswise by electric resistance butt welding (flahs butt welding) method. Pre-welding current value is 5A, pressure value is 2.5 bar, welding application time from start to finish was selected as 3 seconds and samples were welded to each other with a electric resistance butt welding machine in the determined parameters. After welding, the annealing mode was started with the help of the same machine, and the annealing was done by selecting the time parameter of 25 seconds and the temperature parameter of approximately 600°C. The microstructure of the welded region was examined, tensile test was performed, the hardness maps of the melted region and the ITAB region were measured in the OriginLab program, and the bend edges were subjected to plastic deformation by making omega-shaped bending, which includes the welding region. Studies and experimental investigations of the samples were carried out at room temperature. In the study, the temperature and phase distributions of the samples were determined by performing virtual electric resistance butt welding with simufact welding analysis program, which is one of the finite element method programs. In the Simufact forming program, the samples were made omega twisted and the stress and deformation distribution were examined. It was observed that the ferrite phase, in which the grains grew, and the martensite phase decreased, and the bainite phase increased in the melting region of the microstructure. In the tensile test, the samples generally broke by necking outside the melting zone. In the hardness measurements made with micro vickers, the general finding was that the hardness in the weld zone was higher than the base material. No tearing was observed at the bend edges of the DP600, DP1000 and DP1200 samples in the macro examination, in which the welded sample was given an omega shape. Welding parameters were chosen the same for all samples during the experimental studies.

Keywords: Tensile test, Electric resistance butt welding, DP600, DP1000, DP1200, Mikostructure, Simufact welding analysis, Simufact forming analysis

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim sürecimde bana destek veren değerli hocalarım Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU ve Prof. Dr. Mustafa ACARER'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Prof. Dr. Bilge DEMİR ve Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Araştırma görevlisi olarak desteğini esirgemeyen Salih Bilal ÇETİNKAL'a, teşekkür ederim.

Simufact analiz programında yardımları için Netform mühendislik çalışanı Ali Mete BARAN'a, sertlik renk haritası çıkarımındaki desteğinden dolayı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Fikret KABAKCI'ya teşekkür ederim.

Çalışmanın gerçekleşmesi için bütün imkanları sağlayan Depa Pano, Mızrak Bileme, Güneyler Lazer çalışanı Barış GÜLER'e ve mesai arkadaşlarıma, ayrıca çalışmalarda emeği geçen ismini sayamadığım herkese teşekkür ederim.

Ayrıca bu zorlu süreçte beni her zaman destekleyen ve hep yanımda olan eşim Ayşe DAĞLI, güzel kızlarım Asude ile İkra'ya ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ömer DAĞLI
KONYA-18/01/2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Çift Fazlı Çelikler Genel.....	3
2.1.1. Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi.....	4
2.1.2. Çift fazlı çeliklerin faz yapısı.....	4
2.1.3. Çift fazlı çeliklere uygulanan kaynak çeşitleri	5
2.1.4. Çift fazlı çeliklerin kullanım alanları.....	6
2.1.5 Çift fazlı çeliklerin otomotiv endüstrisinde kullanım yeri.....	6
2.2. Elektrik Direnç Kaynağı Genel.....	8
2.2.1. Direnç alın kaynağı	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Malzemeler	10
3.2. Kesim Makası	11
3.3. Kaynak Makinesi	12
3.4. Mikroyapı Çalışmaları	14
3.5. Sertlik Çalışmaları	17
3.6. Çekme Testi Çalışmaları.....	17
3.7. Plastik Deformasyon İşlemi.....	21
3.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Analiz Programı Çalışması.....	22
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
4.1 Kaynak Bölgesi Ölçüsü	25
4.2 Mikroyapı Sonuçları	26
4.2. Sertlik Sonuçları	33
4.3. Çekme Testi Sonuçları.....	39
4.4 Plastik Deformasyon.....	44
4.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Welding Analiz Programı Sonuçları.....	48
4.6 Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Forming Analiz Programı Sonuçları.....	67

5. SONUÇLAR	78
5.1 Sonuçlar	78
ÖZGEÇMİŞ	79
KAYNAKLAR	80



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2017 Çelik Mukavemeti Süneklik Şeması (2021).....	3
Şekil 2.2. 2021 Mevcut ve gelişmekte olan çelik kalitelerinin mukavemetini ve uzamasını karşılaştıran Küresel Şekillendirilebilirlik Diyagramı (2021)	4
Şekil 2.3. Çift-fazlı çeliğin mikroyapısı ferrit faz içerisinde martensit fazın dağılımı.(Acarer ve Demir, 2008).....	5
Şekil 2.4. Otomotiv sektöründe kullanılan çelik oranları (2021)	7
Şekil 2.5. Direnç alın kaynak aparatının şematik gösterimi (Kuroda ve ark., 2006).	9
Şekil 3.1. Çuha makinesi ve temizlik pastası	10
Şekil 3.2. Deney numune ölçüsü	11
Şekil 3.3. Manuel sac makası	11
Şekil 3.4. Kaynak makinasının genel görünümü	12
Şekil 3.5. Kaynak oluşum anı	13
Şekil 3.6. Kaynaklı numunenin dikiş boyu görünüşü.....	13
Şekil 3.7. Kaynaklı numunenin dikiş yüksekliği görünüşü	14
Şekil 3.8. Kaynak birleşimi yapılan numune kesitleri.....	14
Şekil 3.9. Bakalite alınan numune	15
Şekil 3.10. Metkon marka soğutma sıvılı zımparalama makinesi	16
Şekil 3.11. Nikon eclipse MA100 marka optik mikroskop	16
Şekil 3.12. Mikro vickers ile alınan ölçüm.....	17
Şekil 3.13. Çekme testi cihazı	18
Şekil 3.14. Kaynaklı parçanın çekme testi için kullanılan standart ölçü görüntüsü	18
Şekil 3.15. Çekme testi numuneleri.....	19
Şekil 3.16. Çekme testi cihazına numunenin bağlanması	20
Şekil 3.17. Çekme testi sonunda numunelerin genel görünümü	21
Şekil 3.18. Çalışma numunelerin omega bükümü	22
Şekil 3.19. Çalışma numunelerin simufact welding - forming modeli a) Kaynak modeli b) Büküm modeli	23
Şekil 3.20. Simufact forming analiz anı	24
Şekil 4.1. Eriyen bölge ve ITAB'ın toplam genişliğinin ölçülmesi	25
Şekil 4.2. DP600-DP600 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü	27
Şekil 4.3. DP600-DP600 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	27
Şekil 4.4. DP600-DP1000 kaynak bölgesi mikro yapı görüntüsü.....	28
Şekil 4.5. DP600-DP1000 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	28
Şekil 4.6. DP600-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü	29
Şekil 4.7. DP600-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	29
Şekil 4.8. DP1000-DP1000 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü	30
Şekil 4.9. DP1000-DP1000 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	30
Şekil 4.10. DP1000-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü.....	31
Şekil 4.11. DP1000-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	31
Şekil 4.12. DP1200-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü	32
Şekil 4.13. DP1200-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü	32
Şekil 4.14. DP600-DP600 sertlik dağılımı	34
Şekil 4.15. DP1000-DP1000 sertlik dağılımı	35
Şekil 4.16. DP1200-DP1200 sertlik dağılımı	36
Şekil 4.17. DP1000-DP600 sertlik dağılımı	37
Şekil 4.18. DP600-DP1200 sertlik dağılımı	38

Şekil 4.19. DP1200-DP1000 sertlik dağılımı	39
Şekil 4.20. Kaynaksız numunelerin çekme testi sonrası	40
Şekil 4.21. Kaynaksız numunelerin tek grafiğe ait çekme diyagramı	40
Şekil 4.22. Kaynaklı DP600-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri.....	41
Şekil 4.23. Kaynaklı DP1000-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri.....	41
Şekil 4.24. Kaynaklı DP1200-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri.....	42
Şekil 4.25. Kaynaklı DP1000-DP1000 çekme testi sonrası deney numuneleri.....	42
Şekil 4.26. Çekme testi sonrası deney numuneleri	42
Şekil 4.27. Çekme testi sonrası deney numuneleri	43
Şekil 4.28. Kaynaklı numunelere ait çekme diyagramı	44
Şekil 4.29. Kaynaklı DP1200-DP1200 deney numunesinin bükülmüş görünümü	45
Şekil 4.30. Kaynaklı DP600-DP1000 deney numunesinin bükülmüş görünümü	45
Şekil 4.31. Kaynaklı DP1200-DP600 deney numunesinin bükülmüş görünümü	46
Şekil 4.32. Kaynaklı DP1000-DP1200 deney numunesinin bükülmüş görünümü	47
Şekil 4.33. Kaynaklı DP600-DP600 deney numunesinin bükülmüş görünümü	47
Şekil 4.34. Kaynaklı DP1000-DP1000 deney numunesinin bükülmüş görünümü	48
Şekil 4.35. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	49
Şekil 4.36. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı	50
Şekil 4.36. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı (devamı)	51
Şekil 4.37. DP600 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	51
Şekil 4.38. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	52
Şekil 4.39. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı	54
Şekil 4.40. DP1000 – DP1000 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	54
Şekil 4.41. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	55
Şekil 4.42. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı.....	57
Şekil 4.43. DP1200 – DP1200 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	57
Şekil 4.44. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	59
Şekil 4.45. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı.....	60
Şekil 4.46. DP1200 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	61
Şekil 4.47. DP1200-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	62
Şekil 4.48. DP1200-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı.....	63
Şekil 4.49. DP1200 – DP1000 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	64

Şekil 4.50. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı	65
Şekil 4.51. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı.....	66
Şekil 4.52. DP1000 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları	67
Şekil 4.53. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı...	68
Şekil 4.54. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı...	70
Şekil 4.55. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı...	71
Şekil 4.56. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı...	73
Şekil 4.57. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar	75
Şekil 4.58. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çift fazlı çeliklerde bulunması gereken asgari kimyasal değerler %(Acarer, 2005).....	4
Çizelge 2.2. DP 600, DP 1000 ve DP 1200 çeliğinin kimyasal bileşimi %(ELİTAŞ; Münstermann ve ark., 2017).....	4
Çizelge 3.1. Çekme testi numunesi ölçü verileri	18
Çizelge 4.1. Eriyen bölge ile ITAB'ın toplam genişliği.....	25
Çizelge 4.2. Sertlik ölçümü sonuçları.....	33
Çizelge 4.3. Sertlik ölçümü sonuçları.....	34
Çizelge 4.4. Sertlik ölçümü sonuçları.....	35
Çizelge 4.5. Sertlik ölçümü sonuçları.....	36
Çizelge 4.6. Sertlik ölçümü sonuçları.....	37
Çizelge 4.7. Sertlik ölçümü sonuçları.....	38
Çizelge 4.8. Kaynaksız ve kaynaklı çalışma numunelerinin akma gerilmesi, maksimum gerilme ve yüzde uzama verileri.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	:Alüminyum
C	: Karbon
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum

Kısaltmalar

AHSS	: Advanced High Strength Steel (Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli
Çelik)	
CMT	: Soğuk Metal Transfer
DP	: Dual Phase (Çift Fazlı)
HSLA	: High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım)
HV	: Vickers Sertliği
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
LWB	: Laser Beam Welding (Lazer kaynağı yöntemi)
RSW	: Direnç nokta kaynağı
TRIP	: Transformation Induced Plasticity (Dönüşümle Plastikliği Arttırılmış)

1. GİRİŞ

Metal malzeme, otomotiv sektörünün vazgeçilmez bir öncüsüdür. Metalik malzemeler toplam otomobil ağırlığının yaklaşık %80'inde kendine yer edinmiş, geri kalanı ise plastik, kauçuk, cam, boya ve tekstillerden oluşmaktadır. Otomotiv endüstrisi tarafından kullanılan metalik malzeme grubu, çelik, dökme demir, sinterlenmiş metaller, alüminyum alaşımları, magnezyum alaşımları, metal bazlı kompozit malzemeler ve çeşitli seramik ve metalik kaplamaları içermektedir (Orłowicz ve ark., 2015). Otomotiv uygulamaları için malzeme seçimi; yakıt/enerji tüketimi azaltma talebi, ayrıca çalışma koşullarından ve uygulamadan etkilenen, maliyet ve bakım tasarrufu sağlamalıdır. Ek olarak, pazarın sürüş konforu, güvenliği ve her araçların yeni tasarımları, şirketin yerine getirmesi gereken birçok ek parametrenin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Jovičević-Klug ve Podgornik, 2020). Otomotiv sektörü, ilerleyen zaman karşısında metal malzeme kullanımı içinde çelik malzemeyi azaltmak için araştırmalarda bulunsa da bu yeterli olamadığı görülmüş bunun üzerine çelik malzemeleri geliştirmeye yönelmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılacak çeliğin şekillendirme kolaylığı, tedarik tutarlılığı, çinko kaplama ile korozyon direncini artırma, birleştirme kolaylığı, geri dönüştürülebilirlik ve iyi çarpışma enerji emilimi istenilen seviyelerde olmalıdır. Dezavantajlarından bazıları; çelik, rakip malzemelerinden daha ağır olarak kabul edilir ve kaplanmamışsa çok kolay paslanır. Geniş çelik yelpazesi üretiminde önemli gelişmeler çeşitli alaşım elementleri kullanarak ve çelik üretimi sırasında müdahaleler ile gelişmiş çelik ürünler elde edilmektedir (Singh, 2016). Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik (AHSS) geliştirmede, çift fazlı, dönüşüm kaynaklı plastisite (TRIP), bey nitik ve TRIP destekli bey nitik ferritik ve su verme çelikleri vb. dahil olmak üzere çeşitli mikroyapısal kavramlar ve ilgili alaşımlama ve işleme yolları izlenmiştir (Moor, 2021). Otomotiv sektöründe AHSS ürünlerinden çift fazlı (DP) sac çelikler kullanım oranı fazla yer teşkil etmektedir. Çift fazlı çelik, gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin amiral gemisidir. Çeşitli denenmiş alaşım sistemleri arasında uygulaması iyi olan çift fazlı sac çelikler ilk ağırlığı azaltılmış otomotiv bileşenleridir. Çift fazlı sac çelikler bir yandan, bir metalurjik başarı öyküsüdür: Yalın alaşımlama ve basit termomekanik işlem ile zorlu çevresel ve ekonomik kısıtlamalara uyarken daha fazla performans elde etmek için daha az malzeme kullanılmasına olanak tanır (Tasan ve ark., 2015). Çift fazlı sac malzemelerin öne çıkmasını sağlayan etkenlerden biri de kaynak kabiliyetidir. Direnç nokta kaynağı (RSW), otomobil gövdesi montajının yaklaşık %90'ını gerçekleştirdiğinden otomobil

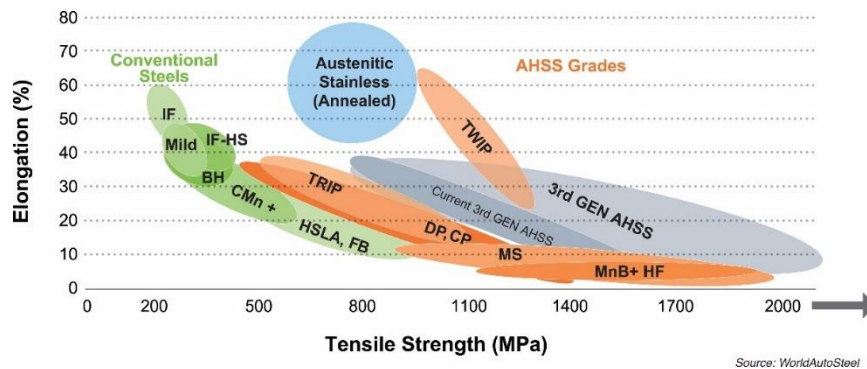
endüstrisi için büyük önem taşımaktadır. İyi kaynak kalitesi, yalnızca araç gövdesinin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamaz, aynı zamanda araç montajının doğruluğunu da etkiler (Zhang ve ark., 2009).

Otomotiv endüstrisinde kullanılan çift fazlı levha malzemesinin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Çift fazlı çeliklerin şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetinin yüksek olması itibarıyla direnç punta kaynağına uyum sağlaması bu malzemenin otomotiv endüstrisinde kullanımını bir gereksinim olmuştur. Bu çalışmada geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelik sınıfından olan DP 600, DP 1000, DP 1200 malzemeler kendi aralarında ve çaprazlama olmak üzere elektrik direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleştirilmesi sağlanmıştır. Kaynaklı numuneler omega şekli verilerek sac şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca kaynak bölgesi mikro yapı, çekme testi ve sonlu elemanlar yönteminden simufact forming-simufact welding analiz programı ile modellenmesi yapılmıştır.

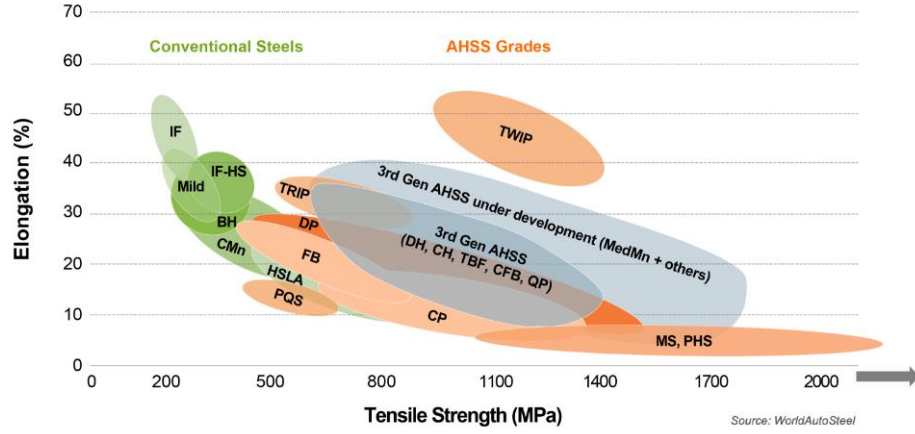
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çift Fazlı Çelikler Genel

Çift-fazlı çelikler yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerinden kritik tavlama-su verme ısı işlemleri ile üretilmektedirler. Mikroyapıları yumuşak ferrit anayapı içerisinde dağılmış martensit fazlarından oluşmaktadır. Mikroyapılarında çok az miktarda kalıntı östenit, beyrit veya perlit içerebilmelerine karşın çift-faz terimi esas fazları oluşturan ferrit ana yapı ve ikinci faz martensitten ileri gelmektedir. Bu çelikler üretildikleri HSLA çelikleri ile kıyaslandığında pek çok şartlar için ideal olarak ifade edilebilecek özelliklere sahiptirler. Bunlar sürekli akma davranışı, düşük akma dayanımı, yüksek çekme hızı, düzgün ve toplam uzama ve düşük akma oranı gibi özelliklerdir (Demir ve Erdoğan, 2014). 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden dolayı araştırma-geliştirme çalışmalarına önem veren otomotiv sektörü araçlarda ağırlığı azaltarak yakıttan tasarruf sağlamak amacıyla yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler grubuna dahil olan çift fazlı çelikler üzerinde daha fazla durmuşlardır (Ulu, 2009). Çift fazlı çelikler genel olarak DP600 - DP800 gibi isimlerle anılmakta olup, DP çift faz (Dual Phase) anlamını taşıırken, yanına getirilen 600, 800 gibi sayısal ifadeler ise bu malzemelerin çekme mukavemetini MPa cinsinden ifade etmektedir (YILMAZ ve ERGENE). Otomotiv sektörü birliği WorldAutoSteel'e göre gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler (AHSS) en az 440 MPa çekme dayanımını karşılayan çelik sınıflarıdır. Otomotiv sektörü birliği WorldAutoSteel tarafından periyodik olarak güncellenen küresel biçimlendirilebilirlik diyagramları Şekil 2.1'de 2017 yılı ve Şekil 2.2'de 2021 yılları güncellenmiş son iki grafiğidir(2021).



Şekil 2.1. 2017 Çelik Mukavemeti Süneklik Şeması (2021)



Şekil 2.2. 2021 Mevcut ve gelişmekte olan çelik kalitelerinin mukavemetini ve uzamasını karşılaştıran Küresel Şekillendirilebilirlik Diyagramı (2021)

2.1.1. Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi

Çizelge 2.1’de DP malzemelerin yüzdelik olarak bulunması gereken asgari kimyasal bileşimleri yer almaktadır. Çizelge 2.2’de DP600, DP1000 ve DP1200 malzemesinin kimyasal bileşimlerine ait değerler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çift fazlı çeliklerde bulunması gereken asgari kimyasal değerler %(Acarer, 2005)

C	Mn	Si	P	S
0.093	0.53	0.11	0.008	0.009

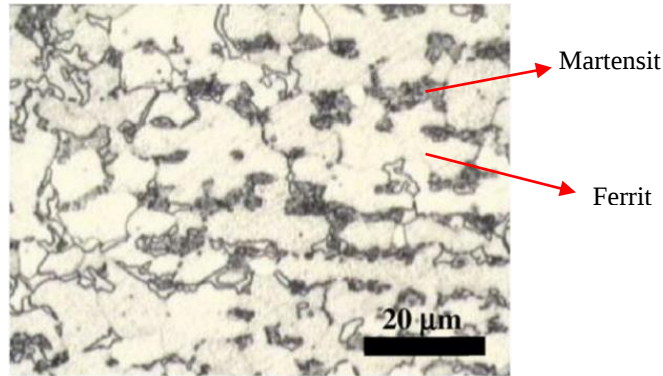
Çizelge 2.2. DP 600, DP 1000 ve DP 1200 çeliğinin kimyasal bileşimi %(ELİTAŞ; Münstermann ve ark., 2017)

	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Cu	N _{ss}
DP 600	0.11	0.39	1.38	0.017	0.18	0.05	0.020	0.015	<0.0001
DP 1000	0.14	0.32	1.97	0.011	0.40	0.05	0.037	0.023	<0.0001
DP 1200	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	
	0.078	0.190	1.67	0.005	0.005	0.026	0.040	0.044	
	Co	Cu	Nb	Ti	V	Sn	Fe		
	0.012	0.013	0.004	0.036	0.010	0.002	97.856		

2.1.2. Çift fazlı çeliklerin faz yapısı

DP çeliklerinin mikro yapısı, sert martensit parçacıkları ve yumuşak bir ferritik matris içerir (Thomser ve ark., 2009). Ferrit fazı ile malzemeye şekillendirebilirlik, süneklik ve kaynak kabiliyeti kazandırılırken martensit faz ile mukavemet kazanmaktadır

(Zhang ve ark., 2016). Şekil 2.3'te çift fazlı çeliğin mikroyapısı ferrit faz içerisinde martensit fazın dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.3. Çift-fazlı çeliğin mikroyapısı ferrit faz içerisinde martensit fazın dağılımı.(Acarer ve Demir, 2008)

2.1.3. Çift fazlı çeliklere uygulanan kaynak çeşitleri

Çift fazlı çeliklerin literatürdeki kaynak yöntem çeşitliliğini araştırdığımızda;

Direnç nokta kaynağı otomotiv imalatında yaygın olarak kullanılan ve aynı zamanda bir DP çeliklerini birleştirmek için uygun yöntemdir (Nayak ve ark., 2012). Direnç nokta kaynağı otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerde kaynaklı birleştirmeyi verimli bir şekilde karşılamakla kalmayıp iyi bir robotik ve otomasyon kullanıma sahip olması artı puan olarak hanesine yazılmıştır.

Soğuk Metal Transfer (CMT) kaynağı Fronius tarafından geliştirilmiştir. DP600 sac malzemeye uygulanan CMT kaynak işlemi ve seçilen parametrelerde mukavemet değerleri korunmuştur. CMT kaynak yönteminin sağlamış olduğu avantajlar sayesinde düşük ısı girdisiyle mekanik özellikler muhafaza edilmiştir (ŞEN ve GÜRSEL).

Gazaltı kaynak yöntemi ile üretilen çift fazlı çelikler ve Grade A gemi sacı gemi endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan masif gazaltı teli ve kullanımı son yıllarda ağırlık kazanmaya başlayan özlü telle birleştirilmiştir. Grade A çeliği ve çift-fazlı çeliklerin masif tel ve özlü tel kaynak kabiliyetleri incelenmek istenmiş ve gazaltı kaynak telleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır (Hayat, 2009).

Lazer kaynağı yöntemi ile imal edilen kaynak hattı konumu ve geometrisinin, yani doğrusal ve eğrisel kaynakların, HSLA, DP 600 ve DP 980 çelik lazer kaynaklı

boşlukların (LWB) şekillendirilebilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Bandyopadhyay ve ark., 2015).

Patlayıcı kaynak en iyi, eritme kaynağı veya bağlama yöntemiyle birleştirilemeyen çok çeşitli benzer ve farklı metal kombinasyonlarını doğrudan birleştirme yeteneği ile bilinir. Patlayıcı kaynak temel olarak, çalışan büyük ölçekli ısıtma veya difüzyon mekanizmaları olmayan bir katı hal işlemi olduğundan teknik özellikle yüksek erime noktalarının alüminyum-çelik gibi düşük erime noktalı malzemelere kaynaklanması için uygundur (Acarer ve Demir, 2008).

Sürtünme karıştırma kaynağının (FSW) bir türevidir olan sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSW), östenitik aralıkta düşük ısı girdisi ve ciddi plastik deformasyonu olan bir katı hal birleştirme yöntemidir (Das ve ark., 2018).

Yüksek frekanslı alın eklem kaynağı Gelişmiş yüksek mukavemetli çeliğin (AHSS) sürekli gelişimi, buna uygun iyileştirilmiş birleştirme teknolojisi de gerektirir. Yüksek frekanslı alın eklem kaynağı umut verici birleştirme yöntemidir. AHSS'yi birleştirme işlemi bu sürecin avantajı çelik fabrikası işleme hatları için yassı sac numunelerini, yüksek frekanslı alın eklemi yassı çelik sacın kaynağı ve deneysel simülasyon metodolojisi birleşik sayısal bir yöntemle araştırıldı (Baumer ve Adonyi, 2009).

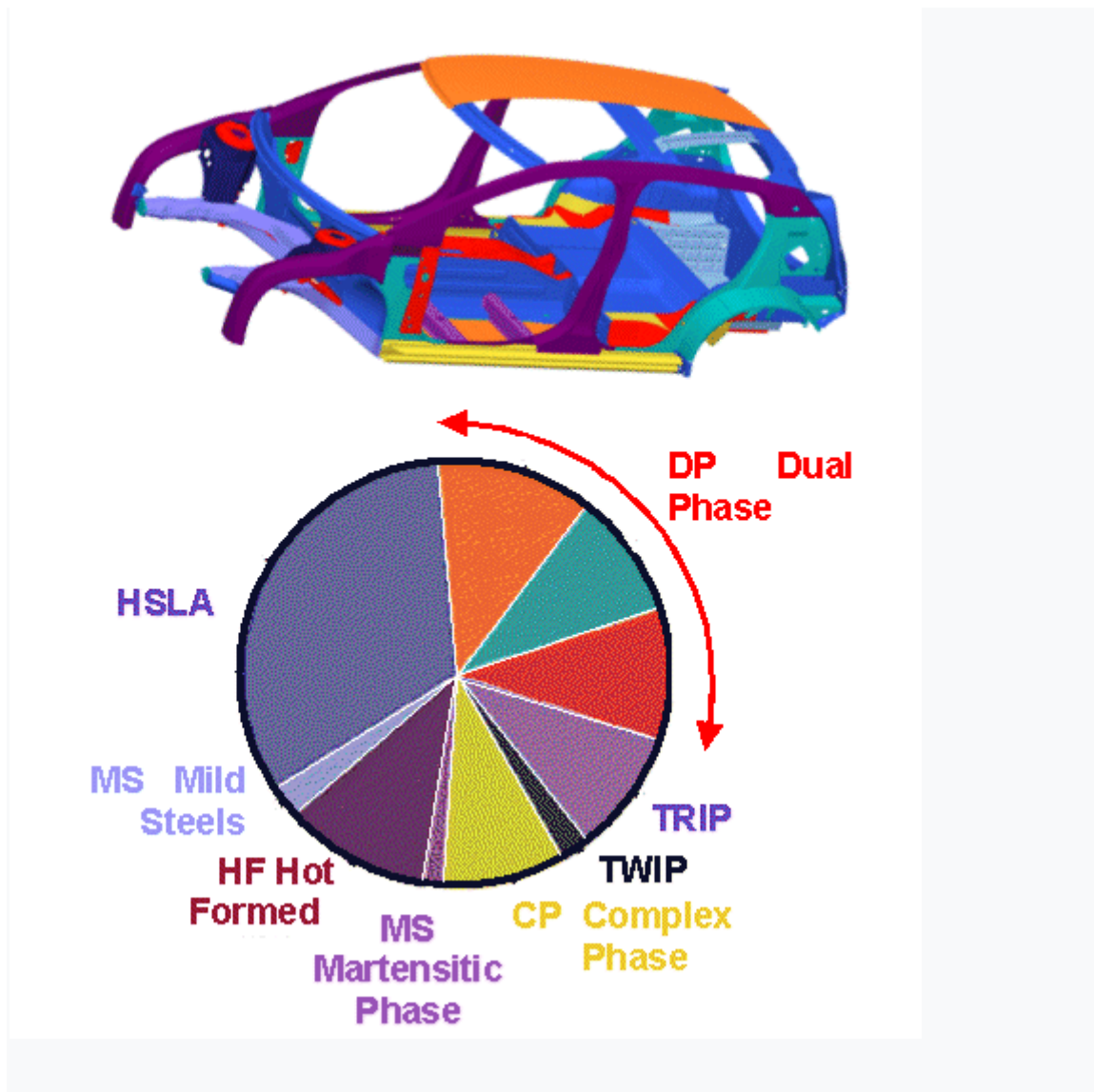
2.1.4. Çift fazlı çeliklerin kullanım alanları

Çift fazlı çelikler mekanik özellikleri, kaynak kabiliyetinin yüksekliği ayrıca hafifliğinin iyi olması neticesi özellikle otomobil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, petrol ve gaz boru hatları, basınçlı tanklar, yüksek voltajlı elektrik direkleri ve demir köprüler gibi uygulamalar, çift fazlı çeliği farklı endüstrilerdeki en popüler HSLA çeliklerinden biri haline getirir (Ghaheri ve ark., 2014).

2.1.5 Çift fazlı çeliklerin otomotiv endüstrisinde kullanım yeri

Güçlü ve sünek çift fazlı (DP) çelikler, otomotiv endüstrisi tarafından yaygın olarak kullanılan önemli bir gelişmiş yüksek mukavemetli çelik sınıfıdır (Abid ve ark., 2017). Otomotiv endüstrisinde yeni çeliklerin kullanımı için iki ana etken, yakıt verimliliği ve artırılmış güvenlidir. Yakıt verimliliği esas olarak çelik parçaların ağırlığının bir fonksiyonudur ve bu da gösterge ve tasarım tarafından kontrol edilir.

Güvenlik, parçayı yapmak için kullanılan çeliğin enerji emme kapasitesi ile belirlenir. Tüm bu faktörler teşvik edicidir. ABD'li otomobil üreticilerinin geçmişte otomotiv parçaları üretmek için geleneksel çeliklerin yerine hem yüksek şekillendirilebilir hem de Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS) kullanmaya başlamışlardır. AHSS, çeşitli çelik aileleri tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. En yaygın AHSS, ferrit-martensit mikroyapısından oluşan çift fazlı çeliktir. Bu çelikler yüksek mukavemet, iyi süneklik, düşük çekme-akma mukavemeti oranı ve yüksek fırında sertleşebilirlik ile karakterize edilebilirler (Bhattacharya, 2014). Şekil 2.4'te otomotiv sektöründe kullanılan çelik oranları görülmektedir.



Şekil 2.4. Otomotiv sektöründe kullanılan çelik oranları (2021)

2.2. Elektrik Direnç Kaynağı Genel

Kaynak, en yaygın üretim süreçlerinden biridir (Praveen ve ark., 2005). 100 yılı aşkın bir süre önce Elihu Thomson tarafından buluşundan bu yana, direnç kaynağı otomobillerden küçük parçaların montajına kadar bir dizi ürünün imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Şu anda yaklaşık 10 mikronluk folyolardan yaklaşık bir santimetre kalınlığındaki levhalara kadar değişen tabakaların birleştirmek veya çubukları uçtan uca birleştirmek için kullanılmaktadır (David ve ark., 1992). Elektrik direnç kaynağı kısaca, anlık elektrik noktasal ısıtma ve basınç altında birleşme olarak tanımlanabilir. Bu kaynak şekli, üretilen herhangi bir gaz veya ışıktan kaynak operatörünün olası yaralanmalardan neredeyse tamamen arındırılmıştır. Uçan kıvılcımlardan kaynaklanan küçük yaralanmalar bir olasılık dahilindedir. Bazen daha önce nokta kaynağına maruz kalan metal parçaları kaplamış olabilecek yağda deri tahriş edici maddeler bulunur veya yağ tarafından üretilir bu hususlara iş güvenliği için dikkat edilmelidir (MEEK ve ark., 1941).

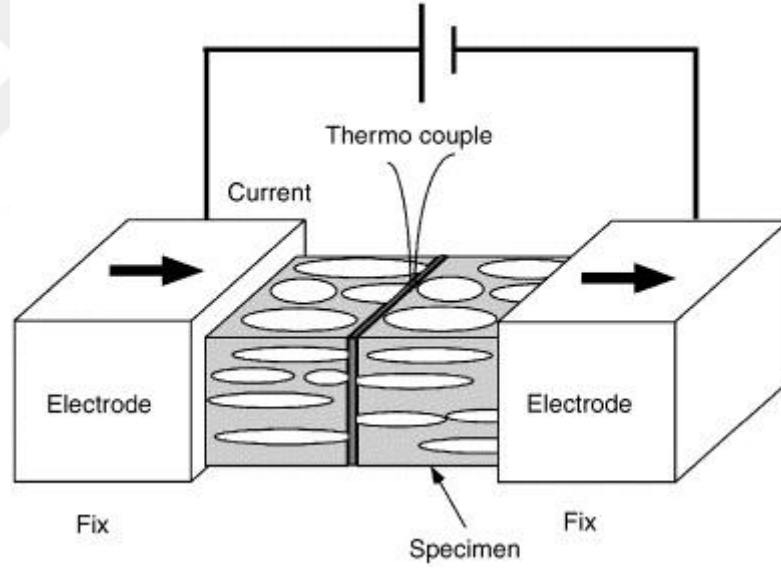
Direnç kaynağı yöntem çeşitleri;

- 1) Nokta
- 2) Dikiş
- 3) Projeksiyon
- 4) Alın
- 5) İndüksiyon, olarak beş kısma ayrılır (Khan, 2007).

2.2.1. Direnç alın kaynağı

Direnç alın kaynağı, elektrik direnç kaynağı yöntem çeşitlerinden biridir. Direnç alın kaynağı, aynı ya da farklı kimyasal özelliğe sahip metal ürünlerin ısı ve basıncın aynı anda kullanılarak yapılan bir kaynak türüdür. Isı metal yüzeylerin temas bölgesinde oluşan direnç yardımı ile sağlanmaktadır. Direnç alın kaynağı, flaş etkisi ve temas direnci olmak üzere iki aşamalı süreçten oluşur (Kuroda ve ark., 2006). Şekil 2.5’de direnç alın kaynak aparatının şematik gösterimi vardır. Birleşimi yapılacak metal parçalarının geometrik boyut ve şekli bakır çenelere uygunluk sağlandığı sürece kaynaklı imalat seri bir şekilde olmaktadır. Direnç alın kaynağı çok kısa sürüde sonuç vermesi onu bu yönüyle öne çıkarmış örneğin; hat borularının montaj yerinde kaynak yapılması, direnç alın kaynağı uygulamasında 750 mm çapında ve 19 mm et kalınlığında iki borunun

kaynaklanması yaklaşık 3 dakika zaman alır, oysa normal otomatik ark kaynağı işlemi 90 ila 120 dakika sürmektedir (Ichiyama ve Kodama, 2006). Rayları birleştirmek için direnç alın kaynağı, gaz basınçlı kaynak, almino-termik kaynak ve kapalı ark kaynağı olmak üzere dört yöntem kullanılır. Bunlar arasında, Japonya ve diğer ülkelerde kullanılan ray kaynak yöntemleri arasında en yüksek kaynak verimliliğine (kaynak süresi: yaklaşık 1,5-4 dakika) sahip olan direnç alın kaynağı, kalite kararlılığı ve kontrol açısından da mükemmel bir yöntemdir” (Fujii ve ark., 2015). Zincir halka imalatında da direnç alın kaynağı kullanılmaktadır (ARABACI ve ÇETİNKAYA, 2004). Otomotiv endüstrisinde tekerlek jantlarının kaynağında, deniz yapılarının kaynağı ve gemi bağlama zincirleri kaynağında kullanılır (Ichiyama ve Kodama, 2006). Direnç alın kaynağı teknolojisi, yüksek verimli bir birleştirme işlemidir ve tren fabrikasında, uzun nakliye boru hattı yapımında, mimari inşaatta ve diğer mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2005).



Şekil 2.5. Direnç alın kaynak aparatının şematik gösterimi (Kuroda ve ark., 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

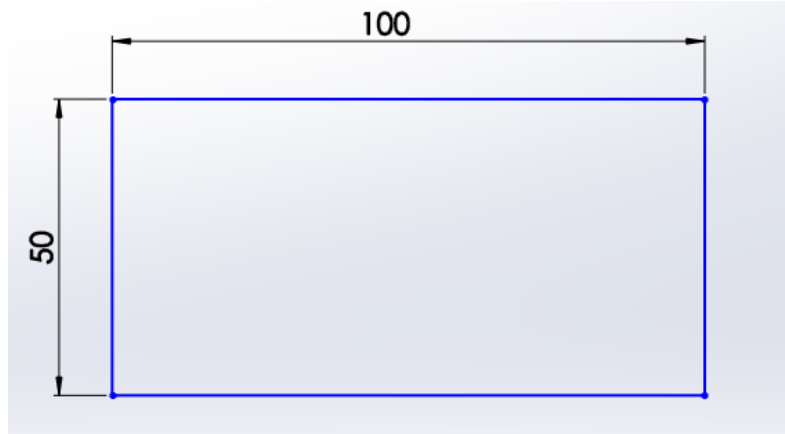
Bu çalışmada deney malzemesi olarak DP600, DP1000 ve DP1200 otomotiv endüstrisinde kullanılan çift fazlı çelik sac lar ele alınmıştır. DP600-DP600, DP1000-DP1000, DP1200-DP1200 numuneler kendi arasında direnç alın kaynağı yapılmıştır. Ayrıca DP600-DP1000, DP1000-DP1200, DP1000-DP1200 aralarında direnç alın kaynağı ile kaynatılmıştır.

Temin edilen otomotiv sac levha malzemeleri kesim ve kaynak öncesi bir temizliğe tabi tutulmuştur. Şekil 3.1’de temizlik pastası ve çuha makinesi görülmektedir.



Şekil 3.1. Çuha makinesi ve temizlik pastası

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ön temizliği yapılan sac levha malzemeleri giyotin makas ile 100X50X1 mm ölçülerinde toplam 12 adet kesilmiştir.



Şekil 3.2. Deney numune ölçüsü

3.2. Kesim Makası

Kaynaklı birleştirme için belirlenen ölçülerde kesilen numune parçaları kaynak öncesi direnç alın kaynağı için özel tasarlanmış Şekil 3.3'deki manuel kesim makası ile numunenin kaynak dikişi olacak yüzeyler kesilmiştir. Bu makas ile kesilen yüzeyler sayesinde numunelerin tam bir teması sağlanmış ve direnç alın kaynağından iyi bir verim alınması amaçlanmıştır.



Şekil 3.3. Manuel sac makası

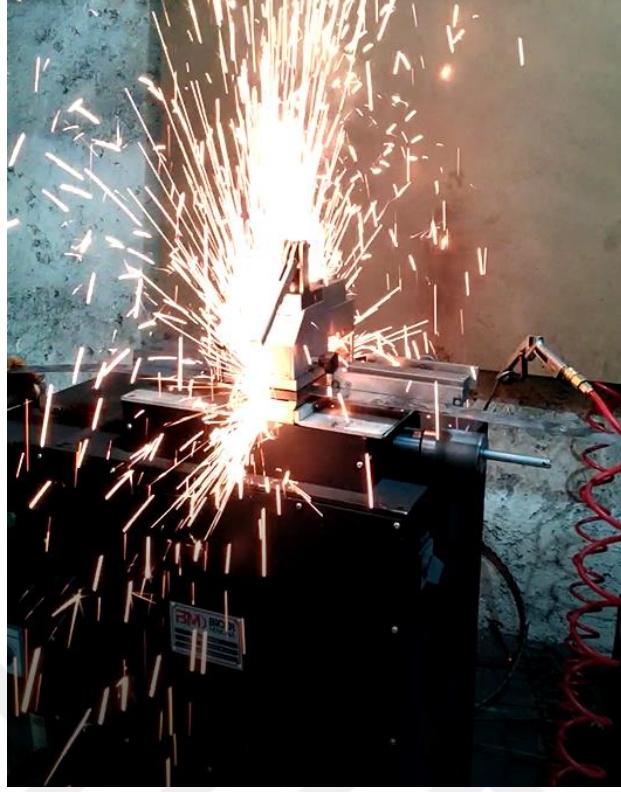
3.3. Kaynak Makinesi

Konya mızrak bileme ve makine sanayi ticaret limited şirketine ait direnç alın kaynak makinası biçer markadır. Şekil 3.4'te genel görünümü verilen direnç alın kaynak makinasında kaynaklı birleştirme yapılmıştır.



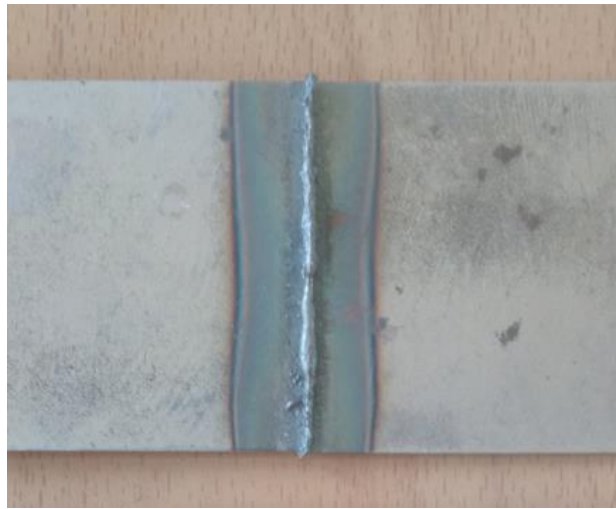
Şekil 3.4. Kaynak makinasının genel görünümü

Kaynaklı birleştirmede akım değeri 5A, basınç değeri 2.5 bar, kaynak uygulama zamanı 3 saniye olarak belirlenmiştir. Kaynak oluşma anı Şekil 3.5'te olduğu gibi olup etrafa yoğun bir metal sıçraması görülmüştür. Kaynak sonrası aynı makine yardımı ile tavlama modu geçilmiş zaman parametresi 25 saniye, sıcaklık parametresi yaklaşık 600 °C seçilerek tavlama yapılmıştır.



Şekil 3.5. Kaynak oluşum anı

Şekil 3.6’da kaynaklı numunenin dikiş boyu görünüşü verilmiştir. Deney numunesinin eriyen bölgenin basınç ile birbiri içerisine geçmesi sağlanmış bu geçiş esnasında yaklaşık her iki kaynak numunelerinden 4 mm’lik toplamda 8 mm’lik bir kısalma ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Kaynaklı numunenin dikiş boyu görünüşü

Şekil 3.7’de kaynaklı numunenin dikiş eni verilmiştir. Malzeme 1 mm’lik kalınlığa rağmen makro muayenede aksenel bir sapmaya uğramadığı görülmüştür. Her iki yön için toplam dikiş yüksekliği yaklaşık 8 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7. Kaynaklı numunenin dikiş yüksekliği görünüşü

3.4. Mikroyapı Çalışmaları

Direnç alın kaynağı ile birleşimi yapılan numunelerden kaynak bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgeyi (ITAB) mikro yapısını incelemek için Şekil 3.8’de görüldüğü gibi 40X20X1 mm’lik ölçülerde kesitler alınmıştır.

Kaynaklı birleşim bölgesini makro muayene ettiğimizde;

DP600-DP600 numunesinde ısıya maruz kalan metalin rengi kaynak bölgesinde siyah, ITAB’ın ise esas metal rengine yakın olduğu,

DP1000-DP1000 numunesinde ısıya maruz kalan metalin rengi kaynak bölgesinde siyah, ITAB’ın beyaz renkte olduğu,

DP1200-DP1200 numunesinde ısıya maruz kalan metalin rengi kaynak bölgesinde beyaz, ITAB’ın siyah renkte olduğu görülmüştür.



Şekil 3.8. Kaynak birleşimi yapılan numune kesitleri

Kesiti alınan numuneler Şekil 3.9’da görüldüğü gibi metal sac kalınlığına önden dik bakılacak şekilde konumlandırılarak bakalite alındı.



Şekil 3.9. Bakalite alınan numune

Şekil 3.10’da görülen metkon marka soğutma sıvılı yatay diskli zımparalama ve parlatma makinesi yardımıyla deney parçaları kaba (P80, P100, P180) ve ince (P600, P800, P1000, P1200, P2000) zımparalaması yapılmıştır. Parlatma işlemini ise 1 mikron çuhada elmas solisyon ile yapılmıştır.



Şekil 3.10. Metkon marka soğutma sıvılı zımparalama makinesi

Kaynaklı numunelerin zımparalama ve parlatma işlemi bittikten sonra mikroskop altında incelemek için nitrik asit (%3) ve alkol (%97) karışımı olan %3 nital ile yaklaşık 15 saniye dağlama yapılarak mikroyapı incelemeye hazırlanmıştır.

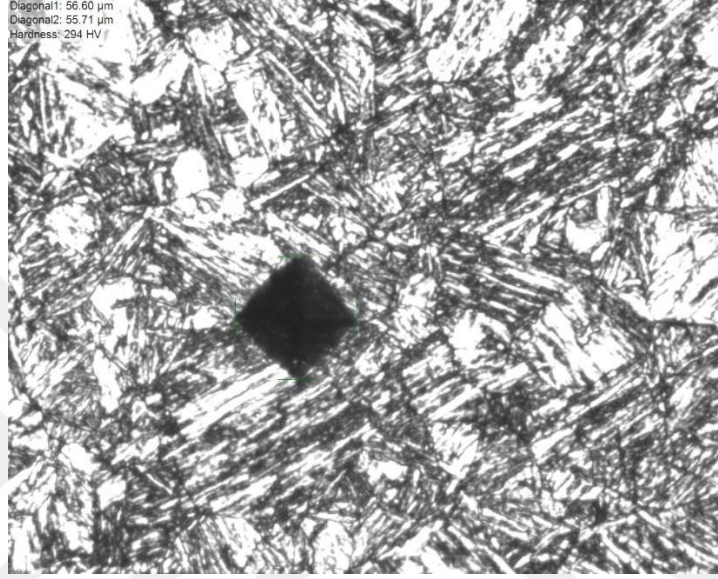
Şekil 3.11’de Nikon eclipse MA100 marka optik mikroskobun 5X, 10X, 20X, 50X zoom büyütme lensleri ile kaynaklı numunelerin kaynak bölgeleri ve ITAB’ın mikroyapı görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.11. Nikon eclipse MA100 marka optik mikroskop

3.5. Sertlik Çalışmaları

Direnç alın kaynağı ile birleşme işlemi yapılmış numunelerin eriyen metal merkez kabul edilerek sağa ve sola doğru ITAB bölgesi ve esas malzemenin mikro vickers (HV) sertlik ölçme cihazı ile 0.5 kgf yük uygulanarak Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.12. Mikro vickers ile alınan ölçüm

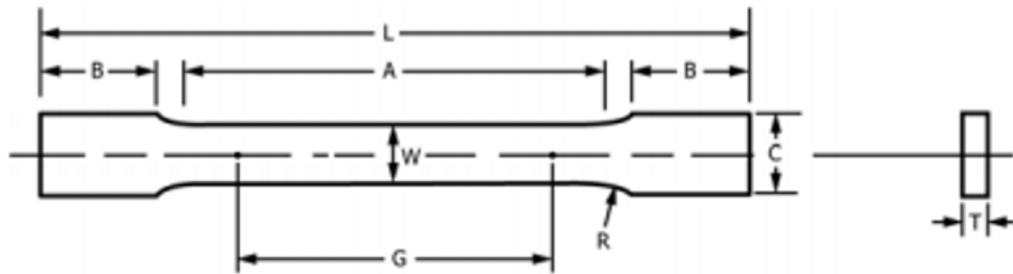
3.6. Çekme Testi Çalışmaları

Çekme testi Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği laboratuvarında Şekil 3.13’de SHIMADZU marka cihazda oda sıcaklığında 3 mm/dk hız ile yapılmıştır.



Şekil 3.13. Çekme testi cihazı

Test numunesi $L_0 = 50 \text{ mm}$, çene aralığı 79 mm olarak belirlenmiştir. Çekme numune boyutları ASTM-E8 standardında plaka/papyon numune ölçü boyutlarına göre hazırlanmıştır. Şekil 3.14’de kaynaklı numunenin çekme testi için kullanılan standart ölçü görüntüsü verilmiştir. Çizelge 3.1’de çekme testi numunesi ölçü verileri belirtilmiştir.



Şekil 3.14. Kaynaklı parçanın çekme testi için kullanılan standart ölçü görüntüsü

Çizelge 3.1. Çekme testi numunesi ölçü verileri

ASTM-E8 standart plaka numune ölçüleri		mm
G	Ölçüm uzunluğu	50
W	Gövde genişliği	12.5
T	Kalınlık	0-7 aralığı
R	Numune kavis yarıçapı	12.5
L	Numune toplam uzunluğu	200
A	Daraltılmış alanın uzunluğu	57
B	Tutma kısmının uzunluğu	50
C	Tutma kısmının genişliği	20

Şekil 3.15'te her kaynaklı numuneden iki adet oluşturulan çekme testi numuneleri görülmektedir.



Şekil 3.15. Çekme testi numuneleri

Şekil 3.16'da kaynaklı numunelerin çekme testi cihazına bağlanması görülmektedir.



Şekil 3.16. Çekme testi cihazına numunenin bağlanması

Şekil 3.17’de her kaynaklı numuneden iki adet oluşturulan çekme testi numuneleri test sonucunda genel görünümлерidir.



Şekil 3.17. Çekme testi sonunda numunelerin genel görünümü

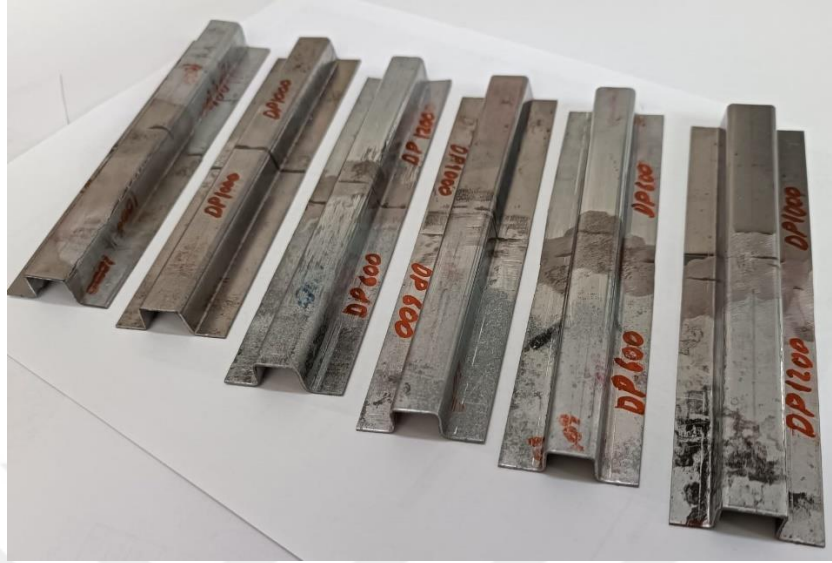
Çekme testi işleminden sonra kaynaklı ve kaynaklı birleşimi yapılan numunelerin çekme testi sonunda uzama boyları ölçülmüştür. Kopma uzaması denklem 3.1’de bütün numunelerin kopma uzaması hesaplanmıştır. Ayrıca bütün numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme grafiğinden akma gerilmesi ve maksimum gerilme değerleri alınmıştır.

$$Kopma\ uzaması = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100 \quad (1)$$

3.7. Plastik Deformasyon İşlemi

Deney numuneleri büküm kenarları kaynak bölgesini de içeren omega şeklinde büküm yapılarak plastik deformasyona tabi tutulmuştur. Buradaki bükümde çalışma

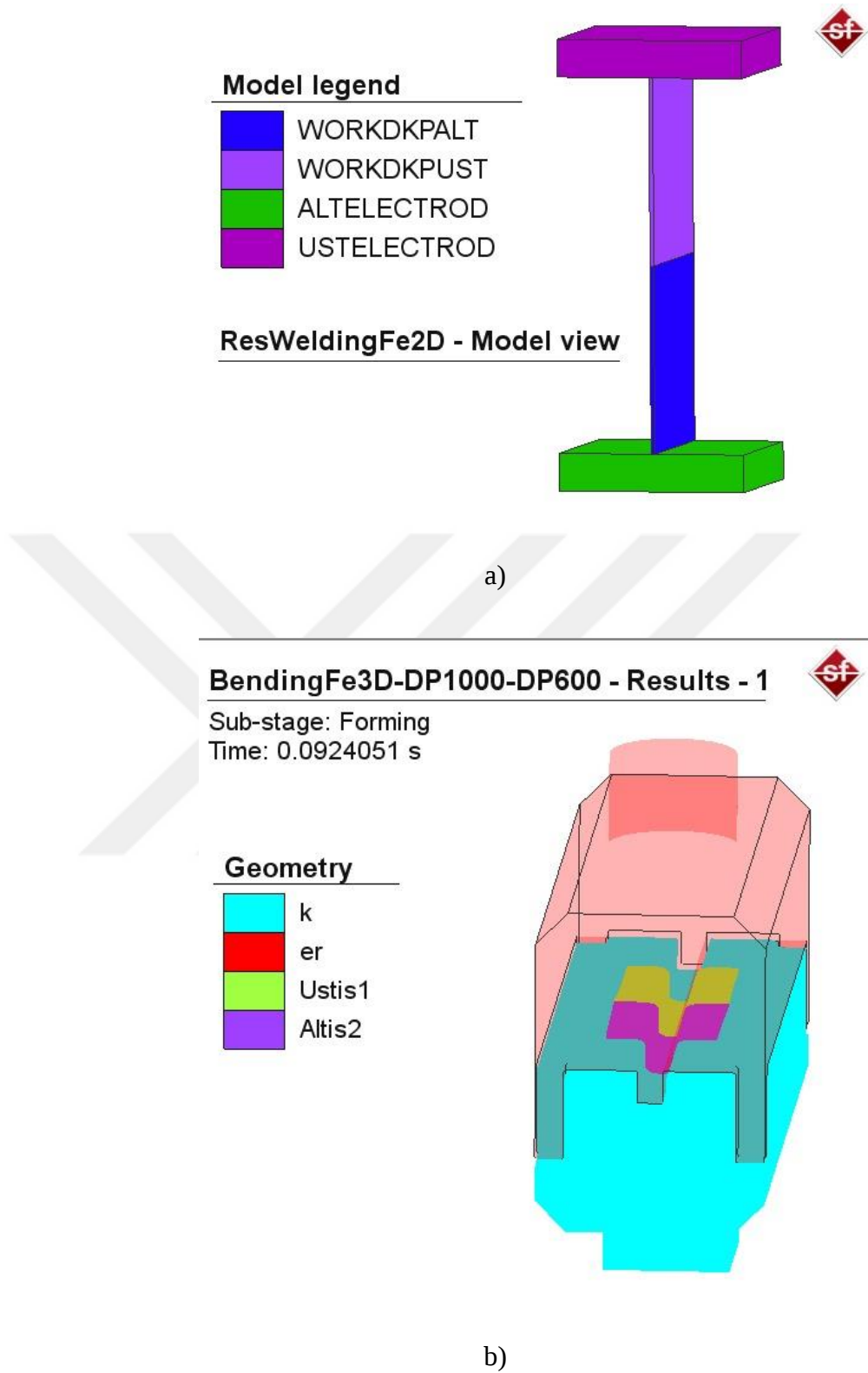
numunelerinin kaynak bölgesi ve esas metal bölgesindeki davranışları makro muayene ile incelenmiştir. Şekil 3.18’de çalışma numunelerinin omega bükümü görülmektedir.



Şekil 3.18. Çalışma numunelerin omega bükümü

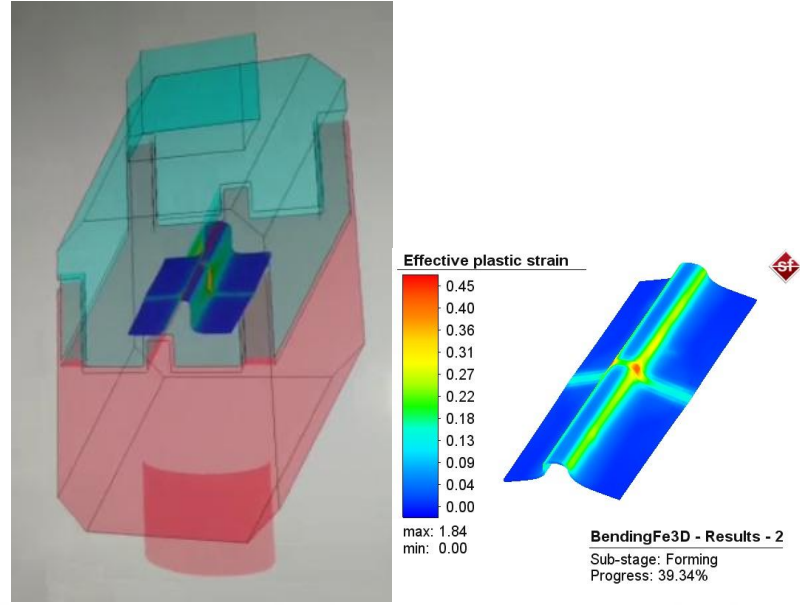
3.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Analiz Programı Çalışması

Sonlu elemanlar yöntemi simufact welding analiz programında deney numunesinin gerçek boyutları, malzeme bilgisi, ortam sıcaklığı, kaynak parametreleri girilerek sanal kaynak yapılmıştır. Simufact welding direnç alın kaynak sonuçları alınarak simufact forming de omega büküm yapılmıştır. Çalışma numunelerin her iki işlem sonunda analiz sonuçları alınmıştır. Şekil 3.19’da simufact geometrik şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.19. Çalışma numunelerin simufact welding - forming modeli a) Kaynak modeli b) Büküm modeli

Şekil 3.20’de simufact forming analiz çözümünden bir kesit anı görülmektedir.

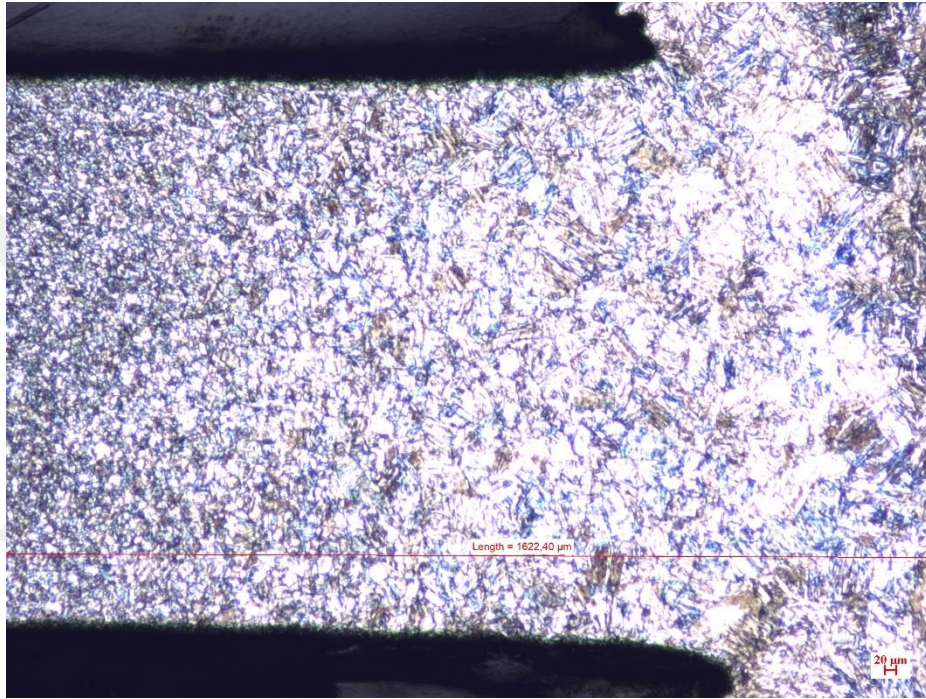


Şekil 3.20. Simufact forming analiz anı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Kaynak Bölgesi Ölçüsü

Şekil 4.1’de çalışma numunelerinin eriyen bölge ve ITAB’nin toplam genişliği için mikroskop altında tane büyüklük değişimi referans alınarak esas malzeme ile kaynak birleşim noktası arası ölçüsü alınmıştır.



Şekil 4.1. Eriyen bölge ve ITAB’ın toplam genişliğinin ölçülmesi

Çizelge 4.1’de her bir kaynaklı numunelerden alınmış mikroskop ölçüleri verilmiştir. Kaynak parametreleri ve çalışma ortam sıcaklığı bütün numuneler için aynıdır. Çizelge incelendiğinde kaynaklı birleşimi bir araya getiren numunelerin eriyen bölge ve ITAB’ın toplam genişliğin değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 4.1. Eriyen bölge ile ITAB’ın toplam genişliği

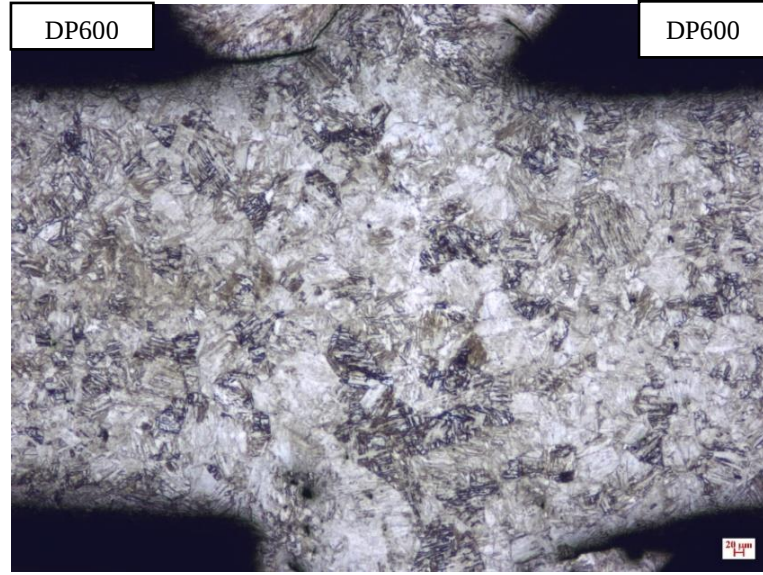
DP600	DP600
2.855 µm	2.855 µm
DP1200	DP1200
2.913 µm	2.913 µm

DP1000	DP1000
3.201 μm	3.201 μm
DP600	DP1000
2.523 μm	3.394 μm
DP600	DP1200
2.676 μm	3.141 μm
DP1200	DP1000
2.859 μm	3.119 μm

4.2 Mikroyapı Sonuçları

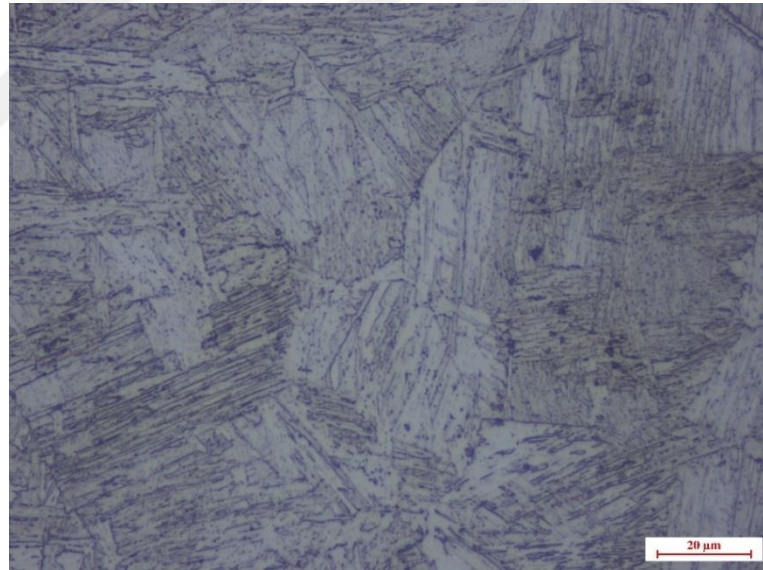
Optik mikroskop kullanılarak direnç alın kaynağının ITAB'ın ve kaynak metalinin mikro yapıları ele alınmıştır. Genel olarak bütün numunelerde görülen esas metalden ITAB'a geçişte faz tanelerinin küçüldüğü kaynak eriyen bölgeye doğru faz tanelerinin irileştiği ve faz değişimleri görülmüştür. Farklı büyüklükte görüntüleri alınmış kaynak bölgesinin mikro yapılarını sırasıyla DP600-DP600, DP600-DP1000, DP600-DP1200, DP1000-DP1000, DP1000-DP1200, DP1200-DP1200 incelenmiştir. Direnç alın kaynağı birleştirme sonucunda ferrit taneciklerinin boyutunun büyüdüğü ve iğnemsî (asiküler) bir hücresel yapı ve martensit, beynit faz kazandığı söylenebilir. (ÖZGÜLTEKİN ve ark., 2022) lazer kaynağı ile yapmış olduğu çalışmada DP800 sac malzemenin kaynak metalinde ferrit, martensit ve beynit faz görüldüğünü söylemiştir. Diğer çalışmalar ile yaşanan bazı ayrışmaların nedeninin direnç alın kaynağı sonrası kaynak gerginliğinin ve üzerinde elektrik akım direnci bulunduran numunelerin 600 °C sıcaklıkta tavlanması olabileceği düşünülmektedir.

***DP600-DP600** iki aynı sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Şekil 4.2'de kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı herhangi bir aksinel kaymanın olmadığı görülmüştür. Kaynak metalinin mikroyapısını incelediğimizde asiküler ferrit fazına dönüştüğünü söylemek mümkündür.



Şekil 4.2. DP600-DP600 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü

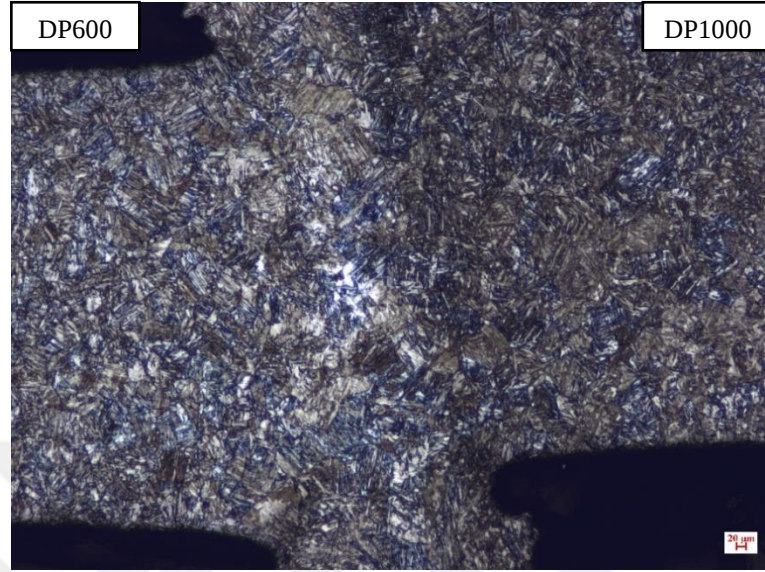
Şekil 4.3'te eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



Şekil 4.3. DP600-DP600 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

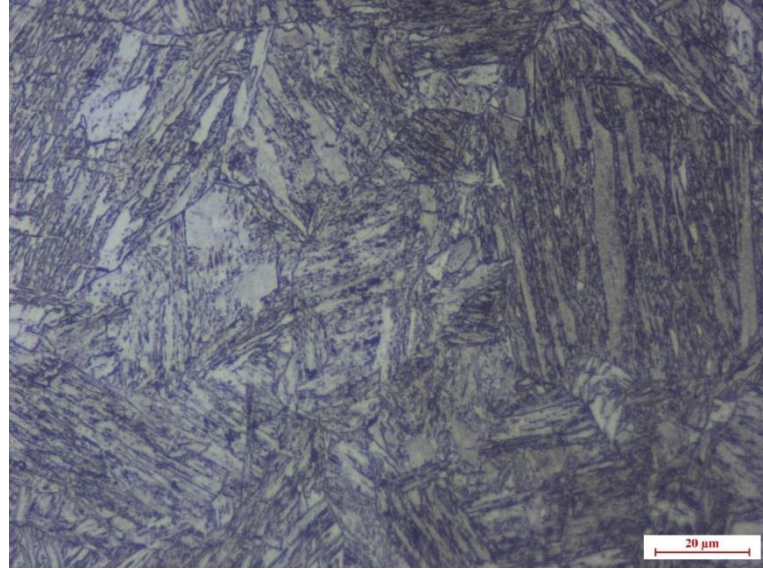
***DP600 – DP1000** iki ayrı faz yoğunluklarına sahip sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Sol tarafta ki malzeme DP600 sağ tarafta bulunan malzeme DP1000 dir. Şekil 4.4'te kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı yalnız makro muayenede görünmeyen kaynak operatöründen kaynaklı %2 bir eksenel kaymanın olduğu görülmüştür. Eriyen

metalın mikroyapısına baktığımızda DP600 tarafının asiküler ferrit, DP1000 tarafını incelediğimizde martensit ve beyrit fazının varlığını söylemek mümkündür.



Şekil 4.4. DP600-DP1000 kaynak bölgesi mikro yapı görüntüsü

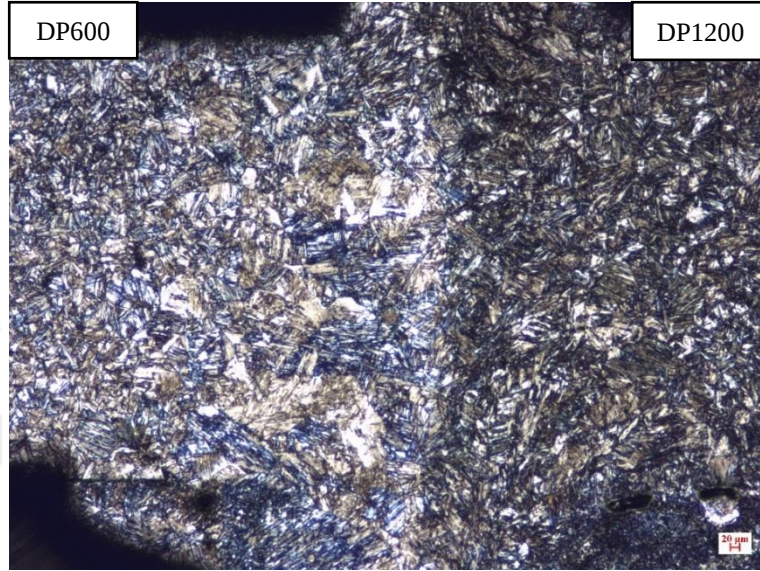
Şekil 4.5'te eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



Şekil 4.5. DP600-DP1000 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

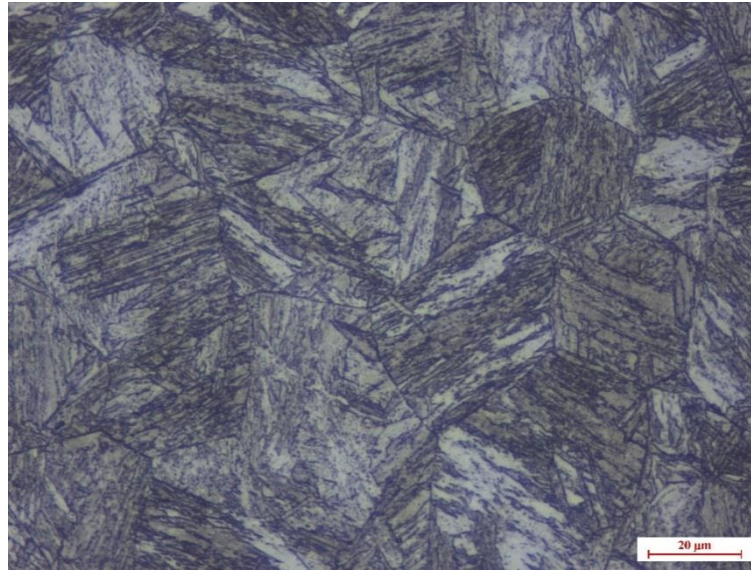
***DP600-DP1200** iki ayrı faz yoğunluklarına sahip sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Sol tarafta ki malzeme DP600 sağ tarafta bulunan malzeme DP1200'dir. Şekil 4.6'da kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü

alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı herhangi bir ekstenel kaymanın olmadığı görülmüştür. Eriyen metalin mikroyapısına baktığımızda DP600 tarafının asiküler ferrit, DP1200 tarafını incelediğimizde martensit ve beyrit fazının varlığını söylemek mümkündür.



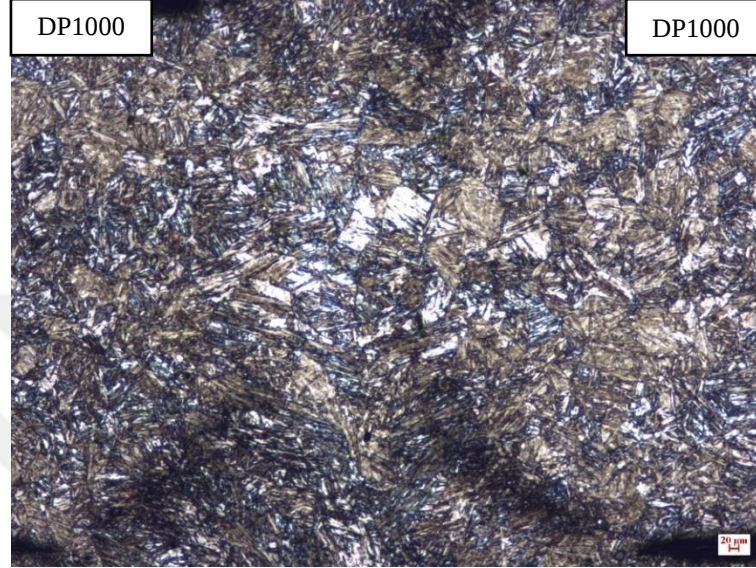
Şekil 4.6. DP600-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.7’de eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



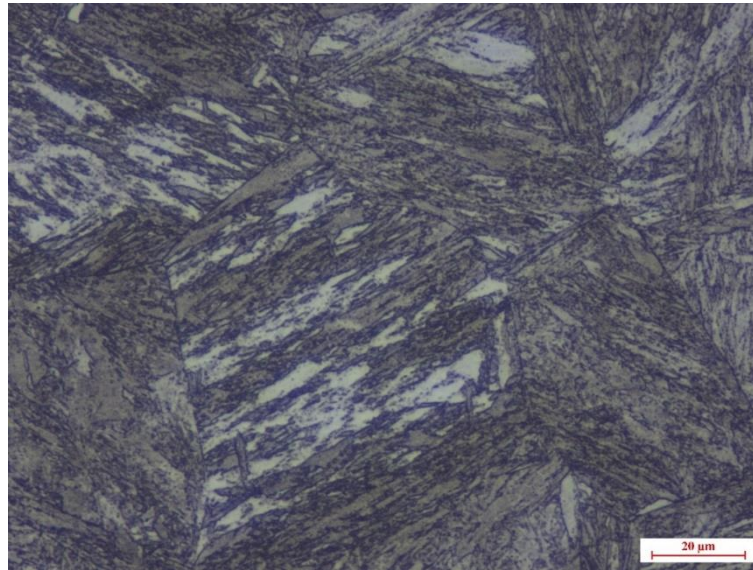
Şekil 4.7. DP600-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

***DP1000-DP1000** iki aynı sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Şekil 4.8’de kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı herhangi bir aksinel kaymanın olmadığı görülmüştür. Eriyen metalin mikroyapısı incelendiğinde ferrit, martensit ve beynit fazının varlığını söylemek mümkündür.



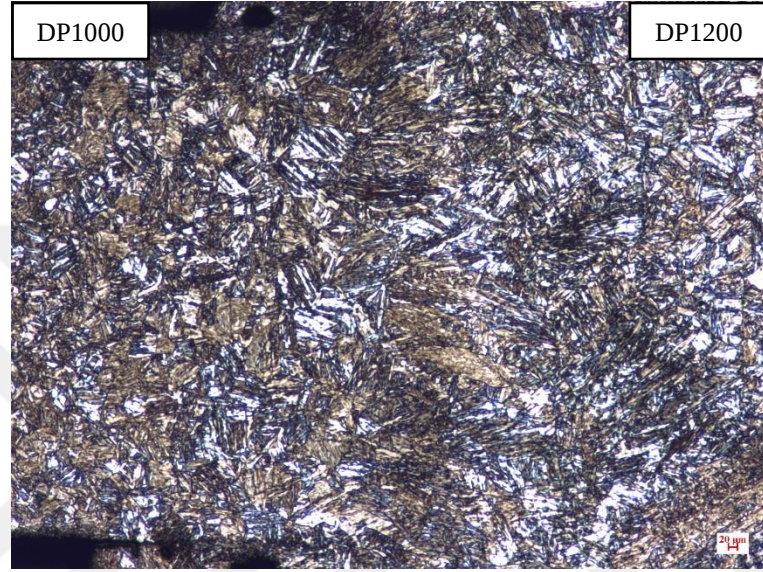
Şekil 4.8. DP1000-DP1000 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.19’da eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



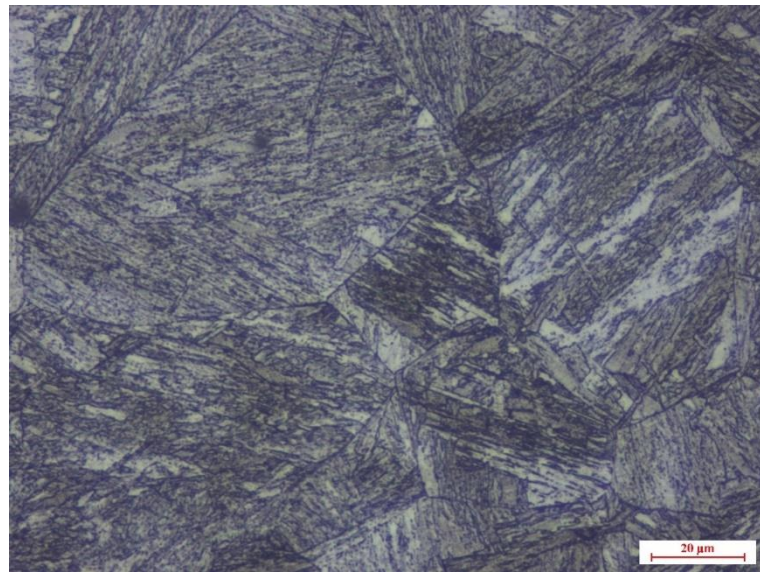
Şekil 4.9. DP1000-DP1000 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

***DP1000-DP1200** iki ayrı faz yoğunluklarına sahip sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Sol tarafta ki malzeme DP1000 sağ tarafta bulunan malzeme DP1200'dir. Şekil 4.10'da kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı herhangi bir eksenel kaymanın olmadığı görülmüştür. Eriyen metalin mikroyapısını incelediğimizde martensit, ferrit ve beynit fazının varlığını söylemek mümkündür.



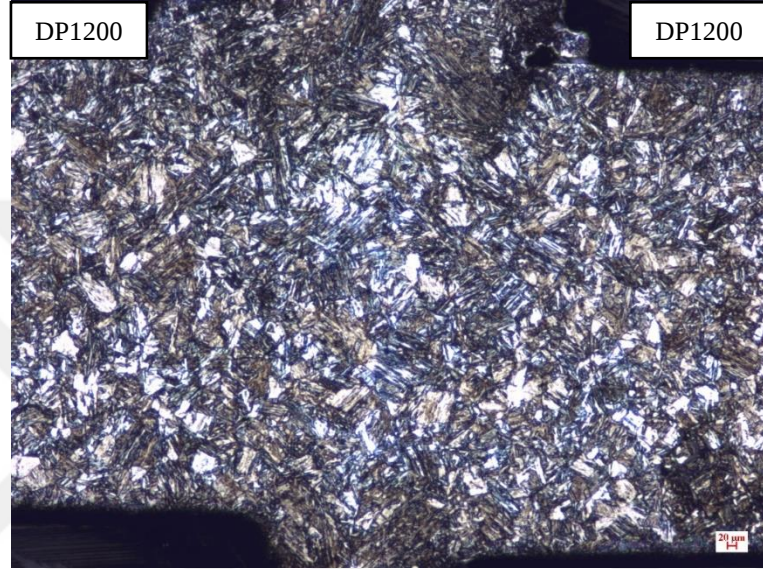
Şekil 4.10. DP1000-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.11'de eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



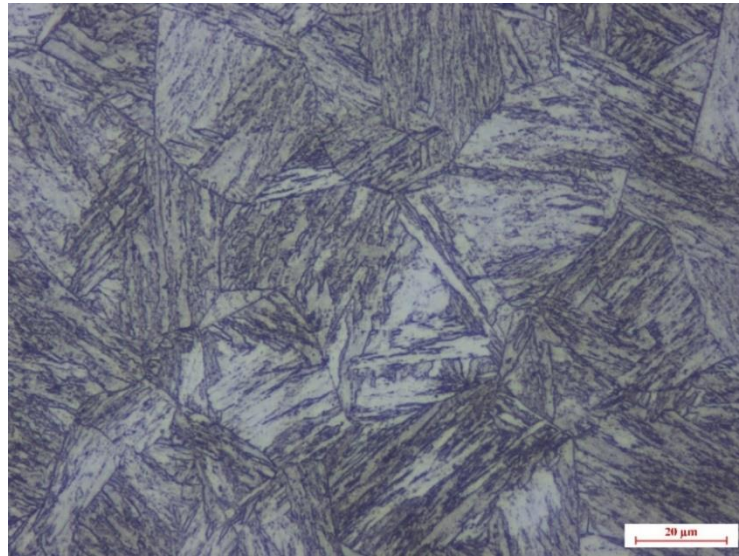
Şekil 4.11. DP1000-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

***DP1200-DP1200** iki aynı sac malzemenin direnç alın kaynağı ile kaynaklı birleşimi yapılmıştır. Şekil 4.12’de kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüsü alınmıştır. Parçaların tam bir birleşim yaptığı yalnız makro muayenede görünmeyen kaynak operatöründen kaynaklı %2 diye bileceğimiz bir eksenel kaymanın olduğu görülmüştür. Eriyen metalin mikroyapısına incelendiğinde martensit, ferrit ve beynit fazının varlığını söylemek mümkündür.



Şekil 4.12. DP1200-DP1200 kaynak bölgesi mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.13’de eriyen kaynak bölgesini gösteren mikroyapı görüntüsüdür.



Şekil 4.13. DP1200-DP1200 kaynak metali mikroyapı görüntüsü

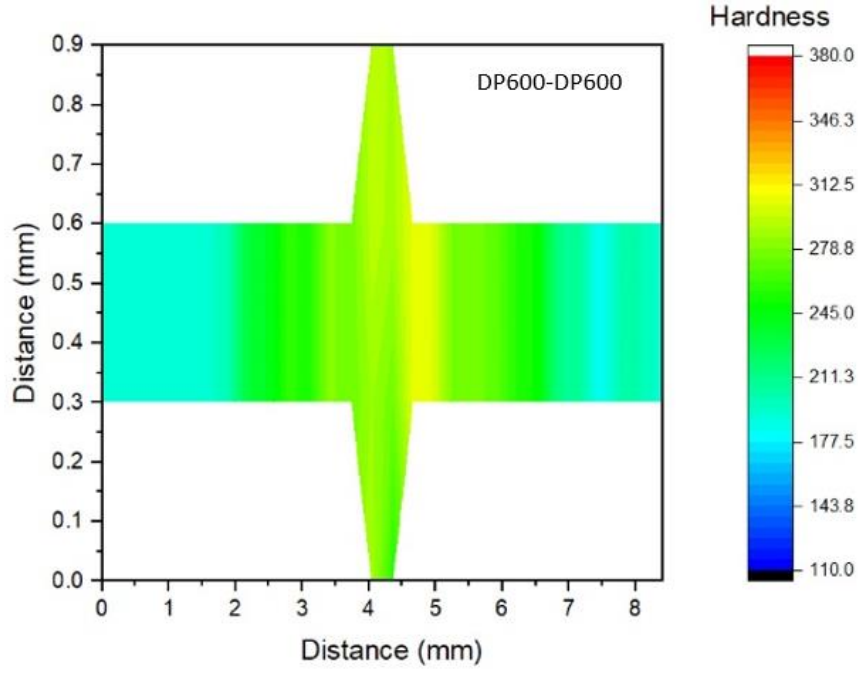
4.2. Sertlik Sonuçları

Kaynak metali merkez kabul edilerek her iki yönde esas metale doğru mikro vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır. Çalışma numunelerinin kaynak metali sertlik değerleri için genel bir aralık vermek gerekirse minimum 290 HV, maksimum 362 HV olarak ölçüldüğü görülmüştür. (Taşyikan, 2013) TİG kaynak yöntemi ile yapmış olduğu çift fazlı çelik kaynaklı birleştirmesinde kaynak metalinin sertliğini 323 HV olarak ölçmüştür. (ÖZGÜLTEKİN ve ark., 2022) DP800 malzeme üzerinde yapmış olduğu lazer kaynaklı birleştirme sonucunda kaynak metalin sertliğini 350 HV ile 480 HV arasında ölçmüştür. Çizelge 4.2’de DP600 – DP600 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers (HV) ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 600 – DP 600	191-201-207-212-249-287-274-256-290-285-294-294-274-280-254-258-240-232-198-192

Şekil 4.14’te DP600 – DP600 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



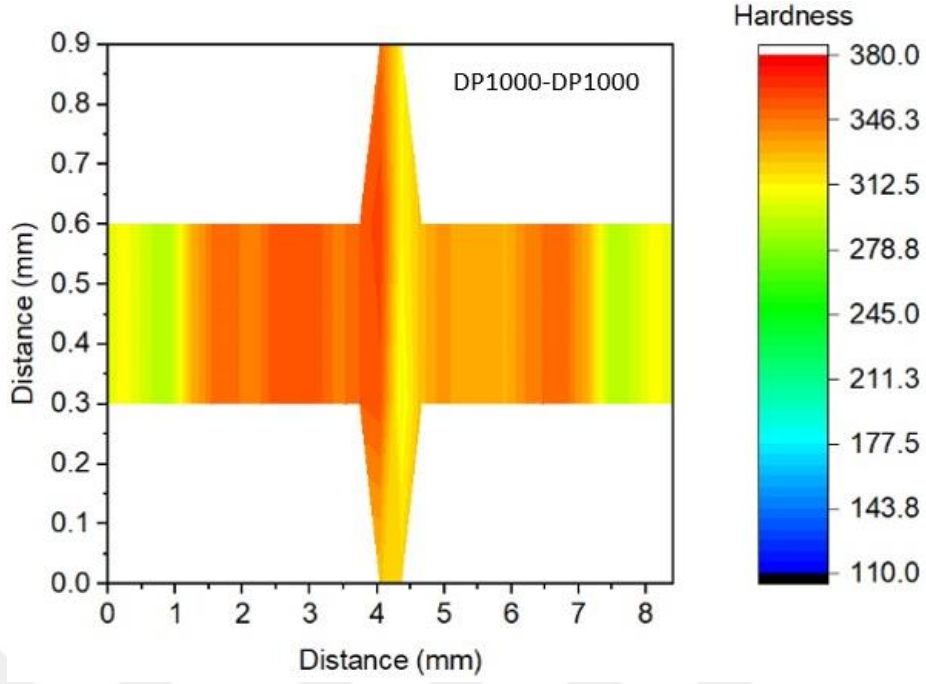
Şekil 4.14. DP600-DP600 sertlik dağılımı

Çizelge 4.3'te DP1000 – DP1000 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 1000 – DP 1000	298-301-304-309-327-324-355-362-350-352-343-355-356-329-308-306- 296

Şekil 4.15'te DP1000 – DP1000 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



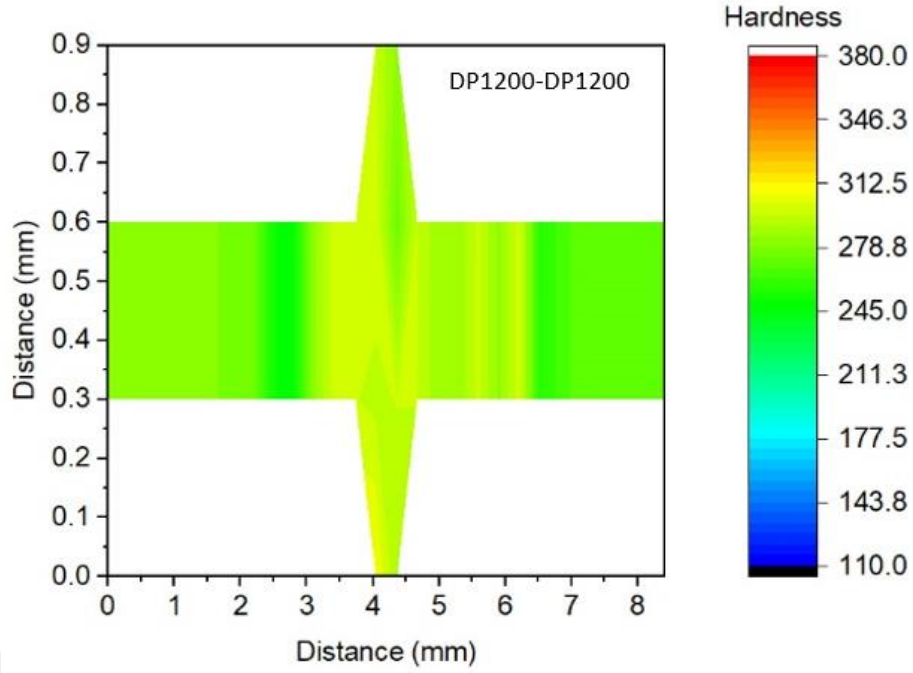
Şekil 4.15. DP1000-DP1000 sertlik dağılımı

Çizelge 4.4'te DP1200 – DP1200 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 1200 – DP 1200	289-293-296-285-297-307-309-324-326-319-305-299-283-283-249-251-278-276-280

Şekil 4.16'da DP1200 – DP1200 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



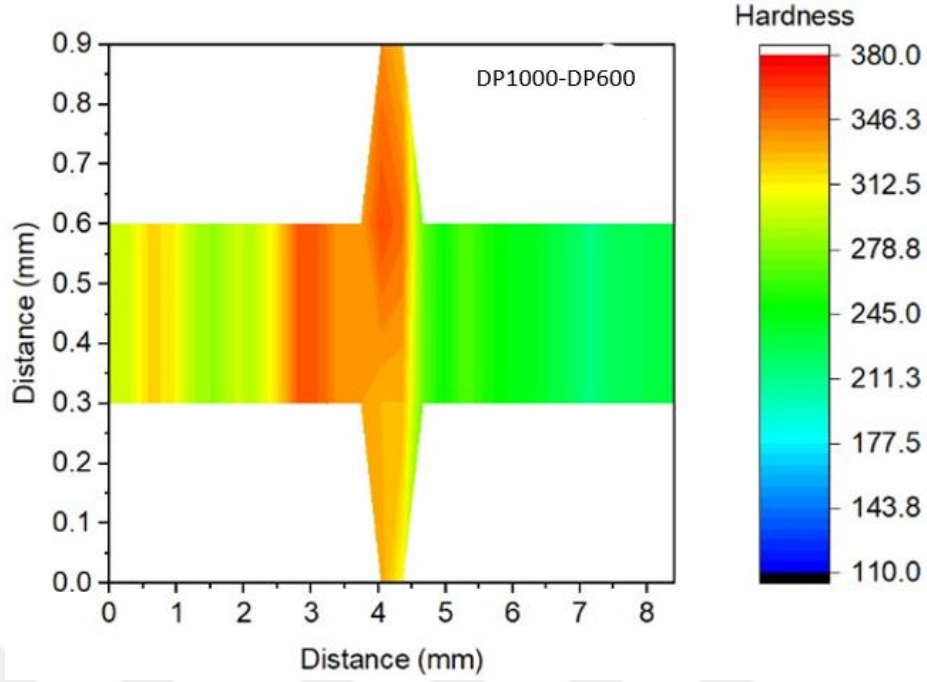
Şekil 4.16. DP1200-DP1200 sertlik dağılımı

Çizelge 4.5'te DP1000 – DP600 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 1000 – DP 600	295-304-311-309-327-335-329-358-341-335-337-352-353-316-295-296-256-212-201-207-190

Şekil 4.17'de DP1000 – DP600 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



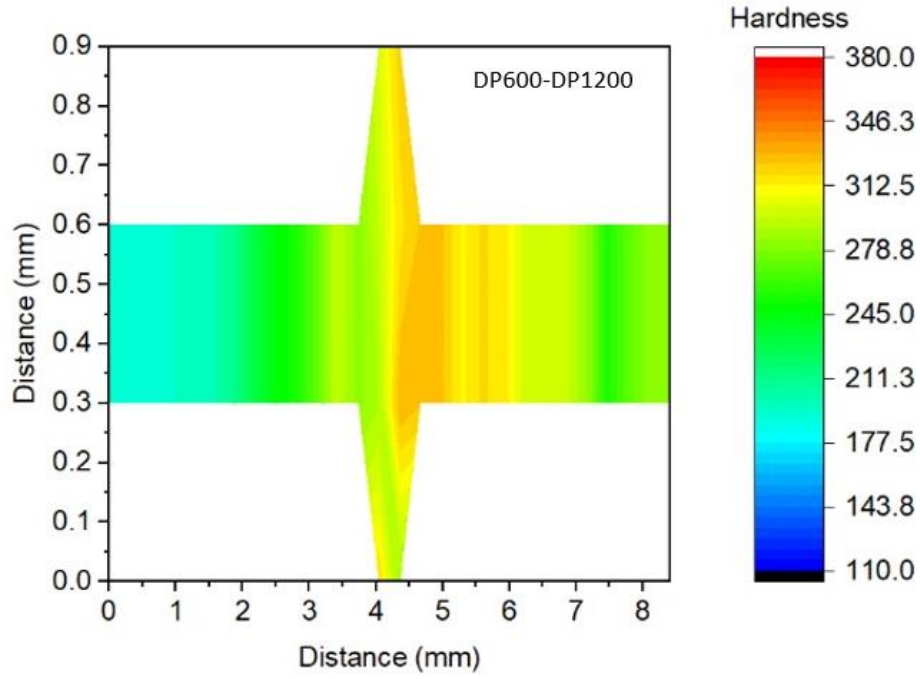
Şekil 4.17. DP1000-DP600 sertlik dağılımı

Çizelge 4.6’da DP600 – DP1200 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.6. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 600 – DP 1200	193-200-199-211-229-245-253-270-296-282-301-296-290-317-299-285-256-264-272-276

Şekil 4.18’da DP600 – DP1200 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



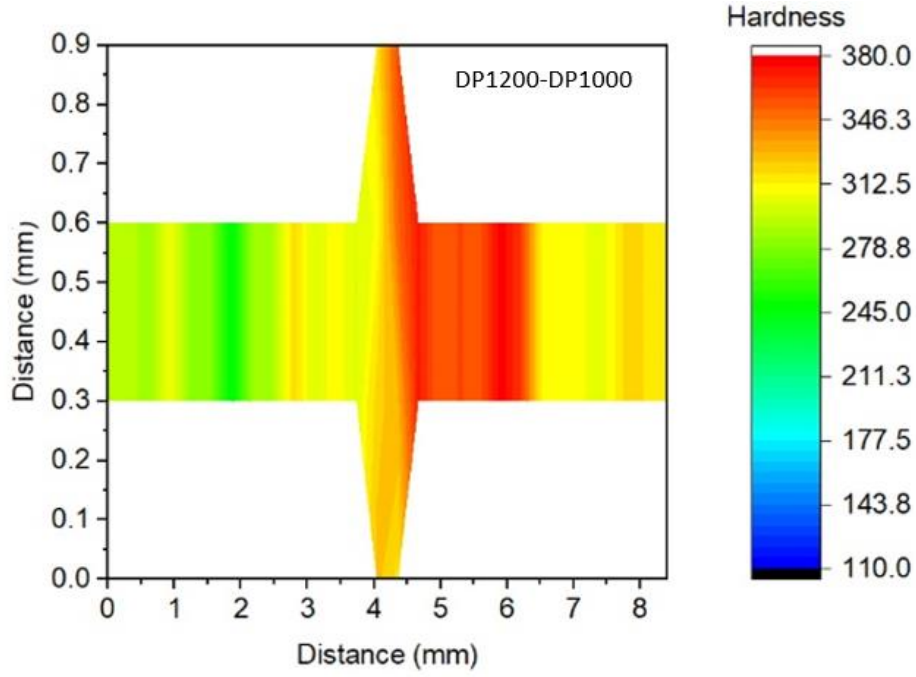
Şekil 4.18. DP600-DP1200 sertlik dağılımı

Çizelge 4.7’de DP1200 – DP1000 kaynaklı birleşimi yapılmış numunenin mikro vickers ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Sertlik ölçümü sonuçları

Numune adı	Ölçüm sonuçları HV, kgf/mm ²
DP 1200 – DP 1000	292-294-285-308-283-279-244-285-290-319-301-311-301-316-308-321-326-341-348-329-292-296

Şekil 4.19’de DP1200 – DP1000 kaynaklı numunenin sertlik dağılım tablosu verileri kullanılarak 0.3 mm aralığında OriginLab programında sertlik haritaları çizilmiştir.



Şekil 4.19. DP1200-DP1000 sertlik dağılımı

4.3. Çekme Testi Sonuçları

Esas malzeme test numunesi $L_0 = 50 \text{ mm}$ olarak belirlenmiş çekme testi sonucu uzama ölçüleri alınmıştır.

DP1200-DP1200 kaynaklı çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1200-1200} = 52 \text{ mm}$ ölçülmüştür.

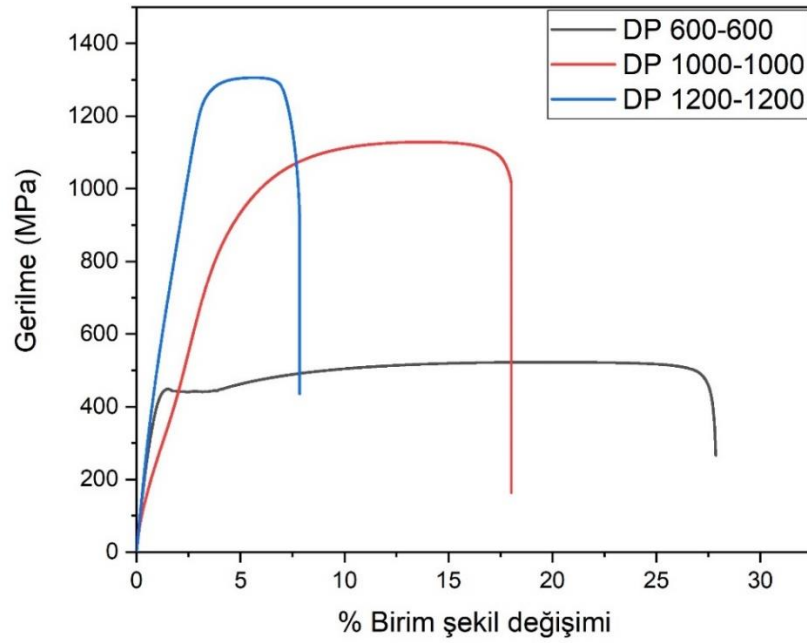
DP1000-DP1000 kaynaklı çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1000-1000} = 56 \text{ mm}$ ölçülmüştür.

DP600-DP600 kaynaklı çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{600-600} = 61 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Şekil 4.20’de kaynaklı olarak çalışmada kullanılan malzemenin yapılmış çekme testi sonucu görülmektedir.



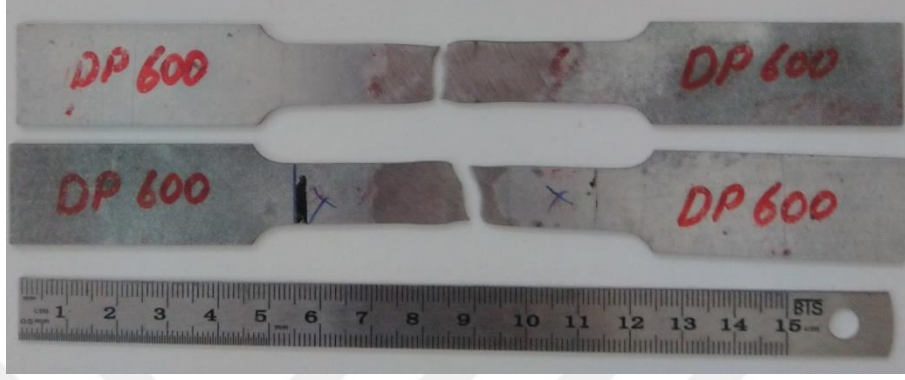
Şekil 4.20. Kaynaksız numunelerin çekme testi sonrası

Şekil 4.21’de çalışmada kullanılan malzemelerin kaynaksız olarak yapılmış çekme testi gerilme – birim şekil değiştirme grafiği tek grafik üzerinde verilmiştir. DP600 numunenin DP1000 ve DP1200’den daha sünek olduğu, DP1000 numunenin de DP1200’den sünek olduğu numune uzama boy ölçümünden ve gerilme – birim şekil değişimi grafiğinden anlaşılmaktadır.



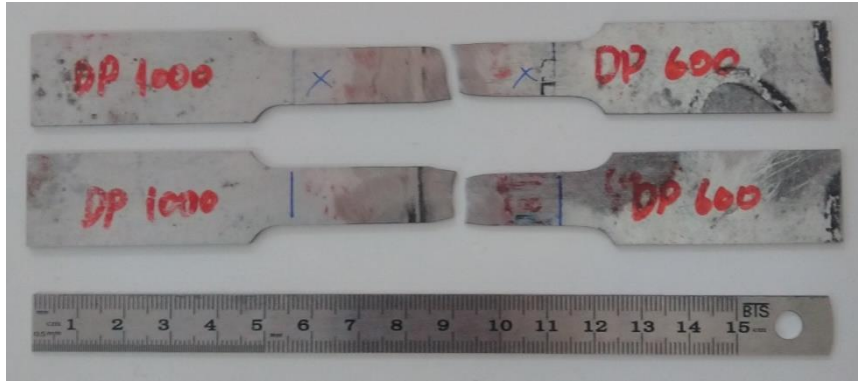
Şekil 4.21. Kaynaksız numunelerin tek grafiğe ait çekme diyagramı

Çalışmada kaynağı yapılan numunelerin $L_0 = 50 \text{ mm}$ olarak belirlenmiş çekme testi sonuçlarının son uzama ölçüleri ve kopmuş görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.22’de kaynaklı DP600-DP600 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{600-600} = 55 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin esas metal bölgesinden koptuğu görülmüştür.



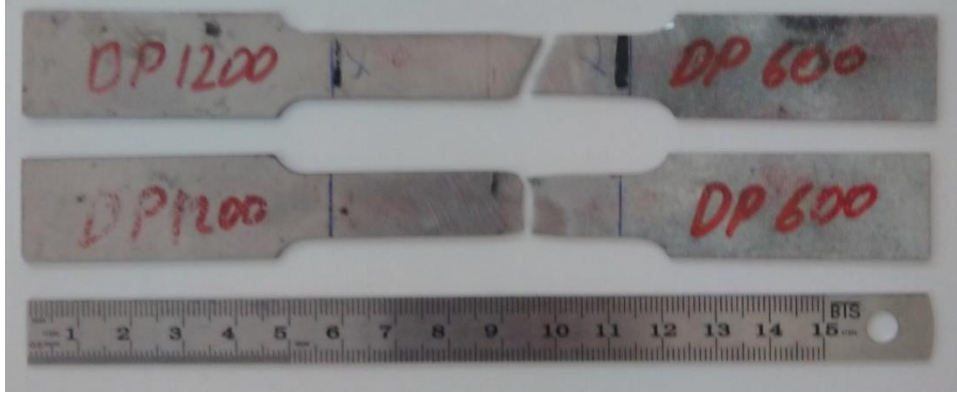
Şekil 4.22. Kaynaklı DP600-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri

Şekil 4.23’te kaynaklı DP1000-DP600 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1000-600} = 54 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin DP600 malzeme bölgesinden koptuğu görülmüştür.



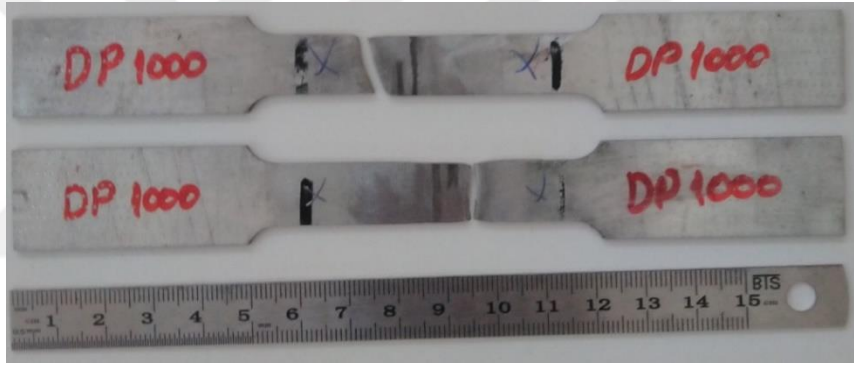
Şekil 4.23. Kaynaklı DP1000-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri

Şekil 4.24’te kaynaklı DP1200-DP600 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1200-600} = 53.50 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin DP600 malzeme bölgesinden koptuğu görülmüştür.



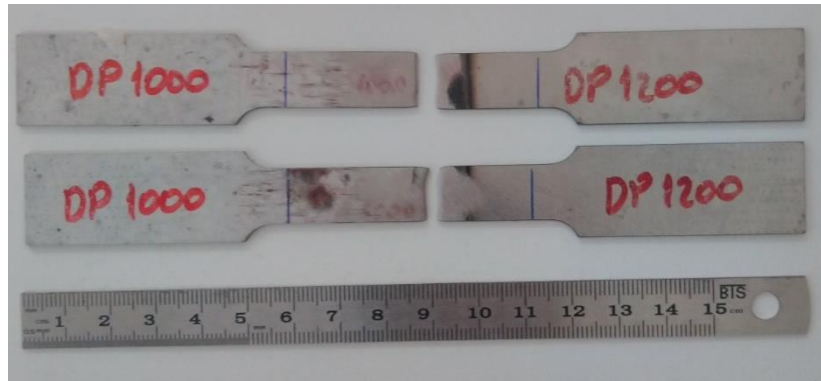
Şekil 4.24. Kaynaklı DP1200-DP600 çekme testi sonrası deney numuneleri

Şekil 4.25'te kaynaklı DP1000-DP1000 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1000-1000} = 52 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin esas metal bölgesinden koptuğu görülmüştür.



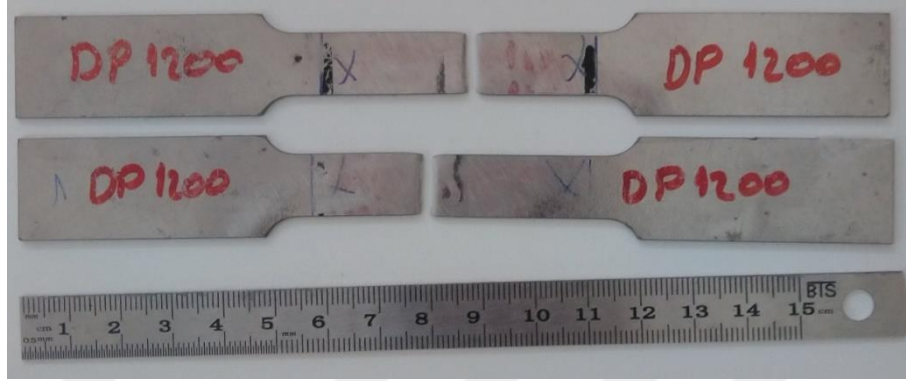
Şekil 4.25. Kaynaklı DP1000-DP1000 çekme testi sonrası deney numuneleri

Şekil 4.26'da kaynaklı DP1000-DP1200 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1000-1200} = 51 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu görülmüştür.



Şekil 4.26. Çekme testi sonrası deney numuneleri

Şekil 4.27’de kaynaklı DP1200-DP1200 çekme deneyi sonucunda numunenin $L_{1200-1200} = 51 \text{ mm}$ ölçülmüştür. Numunelerin esas metal bölgesinden koptuğu görülmüştür.



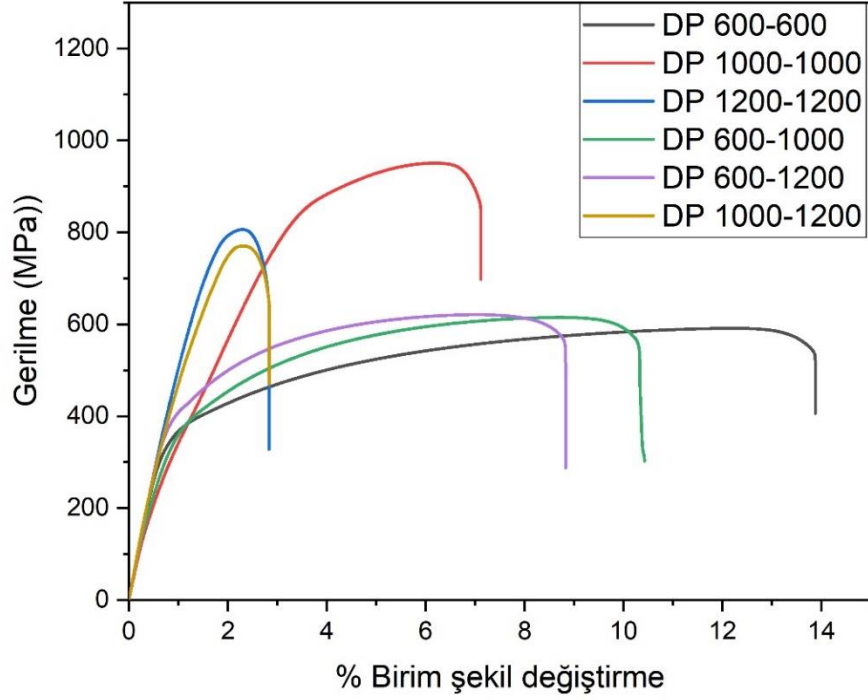
Şekil 4.27. Çekme testi sonrası deney numuneleri

Çift fazlı sac çeliklerin kaynaklı ve kaynaklı olarak çekme test sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. (ÖZGÜLTEKİN ve ark., 2022) yapmış olduğu çalışmada DP800 sac malzemeyi incelemiş kaynaklı olarak çekme testi akma mukavemeti 640 MPa, çekme mukavemeti 941 MPa, % uzamayı 8,6 olarak ölçmüştür. (ŞEN ve GÜRSEL) DP600 sac malzeme ile yapmış olduğu soğuk metal transferi kaynak yöntemi ile kaynaklı numunenin çekme testi sonucu çekme mukavemeti 590 MPa olarak ölçmüştür.

Çizelge 4.8. Kaynaklı ve kaynaklı çalışma numunelerinin akma gerilmesi, maksimum gerilme ve yüzde uzama verileri

Numuneler	σ_{ak} (MPa)	σ_{max} (MPa)	%Uzama
DP600	443	523	22
DP1000	901	1128	12
DP1200	1241	1305	4
DP600-DP600	368	591	10
DP1000-DP1000	845	950	4
DP1200-DP1200	765	806	2
DP600-DP1000	367	614	8
DP600-DP1200	385	620	7
DP1000-DP1200	740	770	2

Şekil 4.28’de çalışma numunelerinin kaynaklı çekme testi gerilme – birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir. DP600-DP600 numunenin bütün kaynaklı birleştirmelerden birim şekil değiştirme değeri yüksek, gerilme değeri olarak ise en düşük olduğu çekme grafiğinden okunmaktadır. Kaynaksız DP600 ile yapılan karşılaştırmada ise birim şekil değişimi ve gerilme değerlerinin düşük olduğu grafiklerden okunmuştur.



Şekil 4.28. Kaynaklı numunelere ait çekme diyagramı

4.4 Plastik Deformasyon

Şekil 4.29’da yapılan makro muayenede DP1200 – DP1200 kaynaklı birleştirme numunesinin esas malzemede azda olsa yırtılma görülmüş, ITAB ve kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma gözlenmemiştir.



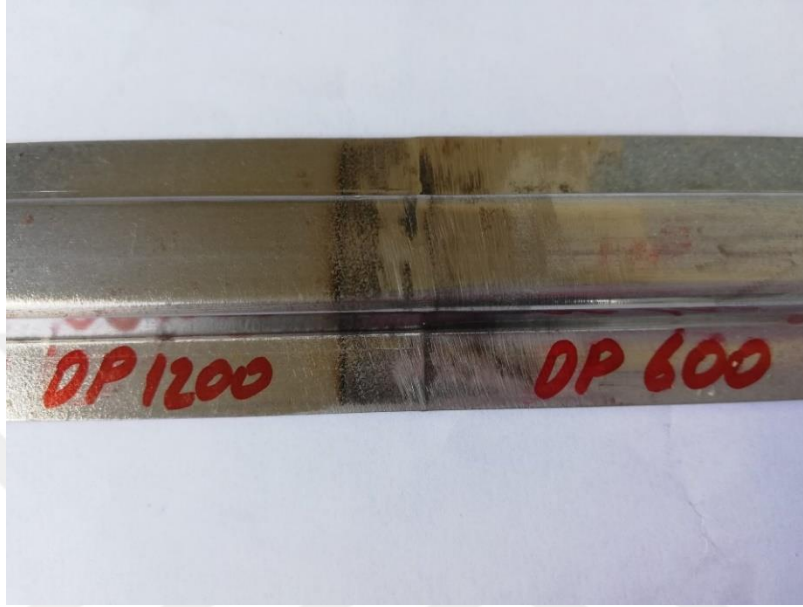
Şekil 4.29. Kaynaklı DP1200-DP1200 deney numunesinin bükülmüş görünümü

Şekil 4.30’da yapılan makro muayenede DP600 – DP1000 kaynaklı birleştirme numunesinin DP600 esas malzeme ve kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma gözlenmez iken DP1000 esas malzeme bölgesinin büküm kenarında yırtılma görülmüş, ITAB ve kaynak bölgesinde yırtılma gözlenmemiştir.



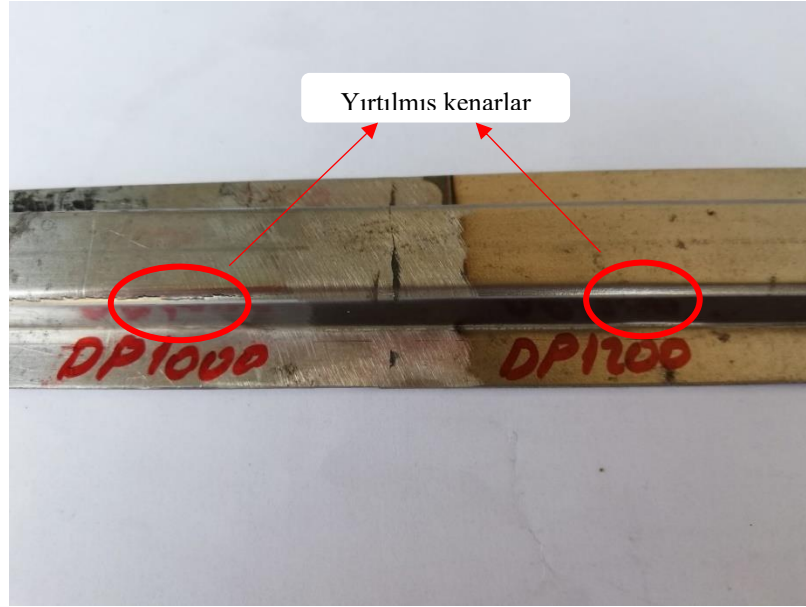
Şekil 4.30. Kaynaklı DP600-DP1000 deney numunesinin bükülmüş görünümü

Şekil 4.31’de yapılan makro muayenede DP1200 – DP600 kaynaklı birleştirme numunesinin DP600 esas malzeme, ITAB ve kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma gözlenmemiştir. DP1200 malzemesinin kaynak bölgesinde yırtılma gözlenmez iken esas malzemede yırtılma görülmüştür.



Şekil 4.31. Kaynaklı DP1200-DP600 deney numunesinin bükülmüş görünümü

Şekil 4.32’de yapılan makro muayenede DP1000 –DP1200 kaynaklı birleştirmede her iki ITAB ve kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma görülmemiştir. Yalnız her iki malzemenin esas malzeme bölgesinin büküm kenarında yırtılma gözlenmemiştir.



Şekil 4.32. Kaynaklı DP1000-DP1200 deney numunesinin bükülmüş görünümü

Şekil 4.33’de yapılan makro muayenede DP600 – DP600 kaynaklı birleştirme numunesinin esas malzeme, ITAB ve kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma gözlenmemiştir.



Şekil 4.33. Kaynaklı DP600-DP600 deney numunesinin bükülmüş görünümü

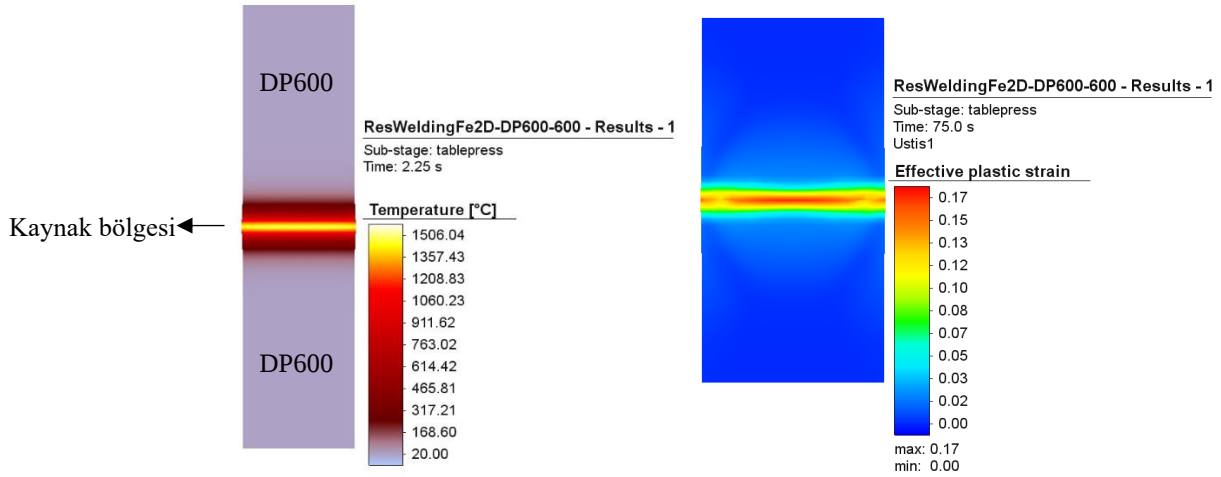
Şekil 4.34’de yapılan makro muayenede DP1000 – DP1000 kaynaklı birleştirme numunesinin esas malzeme, ITAB ve kaynak bölgesinde çatlama ve yırtılma gözlenmiştir.



Şekil 4.34. Kaynaklı DP1000-DP1000 deney numunesinin bükülmüş görünümü

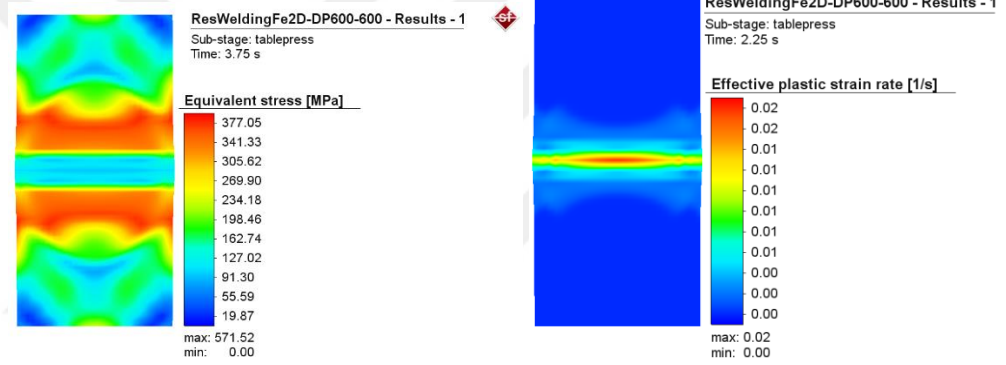
4.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Welding Analiz Programı Sonuçları

DP600-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.35-a sıcaklık 1500 °C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.35-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.17 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.35-c eşdeğer stres ITAB sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 377 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.35-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02 değerindedir. Şekil 4.35-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.06 mm/s olduğu görülmektedir.



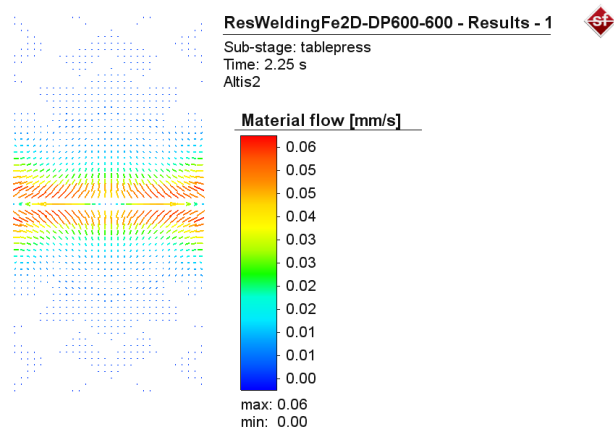
a)

b)



b)

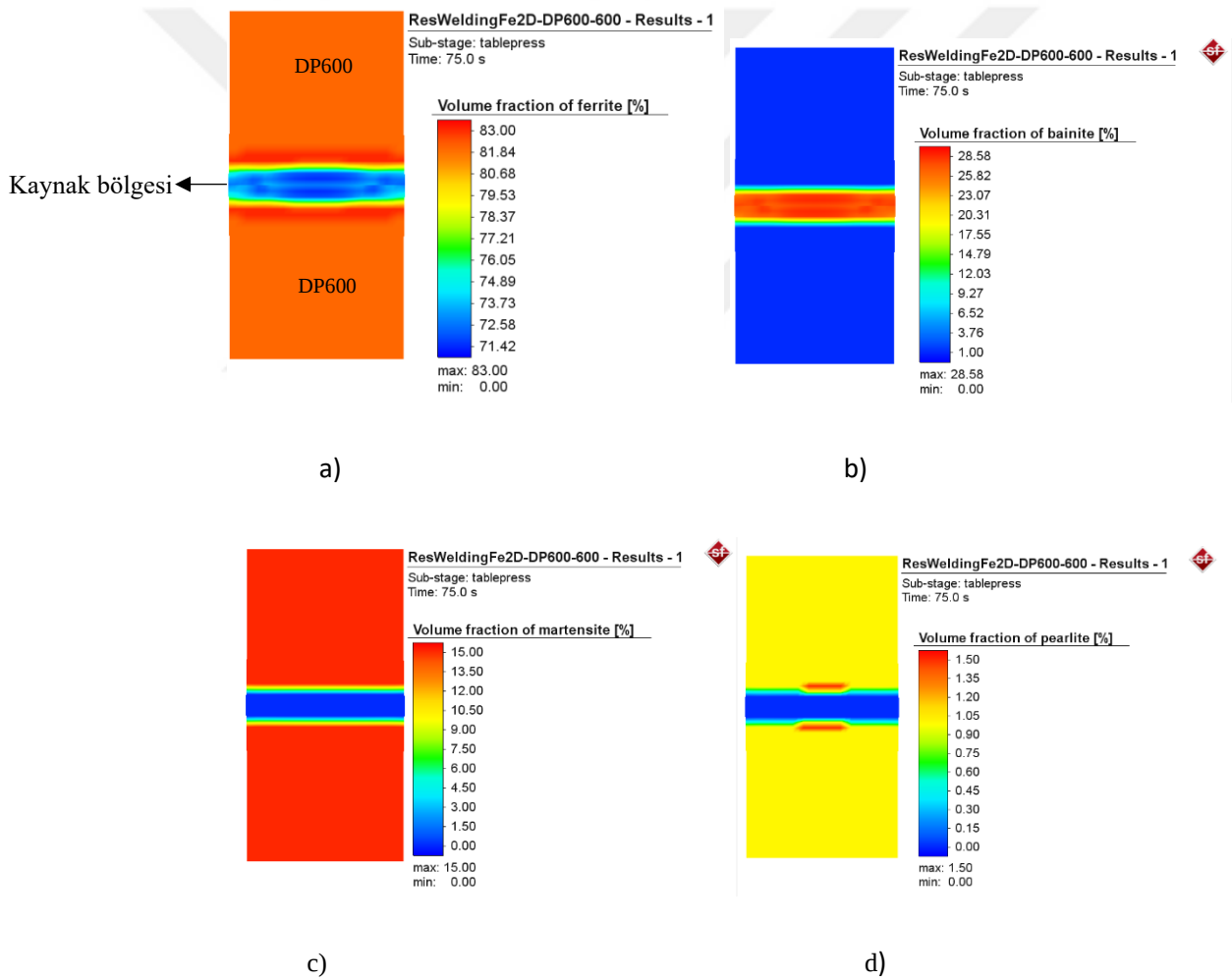
d)



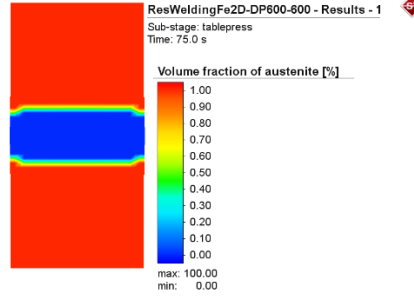
e)

Şekil 4.35. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı

DP600-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.36-a ferritin hacim oranı esas metalde %83 iken kaynak bölgesinde %71.42 olduğu görülüyor. Şekil 4.36-b beynitin hacim oranı esas metalde %1 iken kaynak bölgesinde %28.58 olduğu görülüyor. Şekil 4.36-c martensit hacim oranı esas metalde %15 iken kaynak bölgesinde %0 olduğu görülüyor. Şekil 4.36-d perlit hacim oranı kaynak bölgesinde %0 esas metalden ITAB'ye geçiş yerinde %1.5 olduğu görülüyor. Şekil 4.36-e östenit hacim oranı esas metal bölgesinde %1 iken kaynak bölgesinde %0 olduğu görülmüştür.



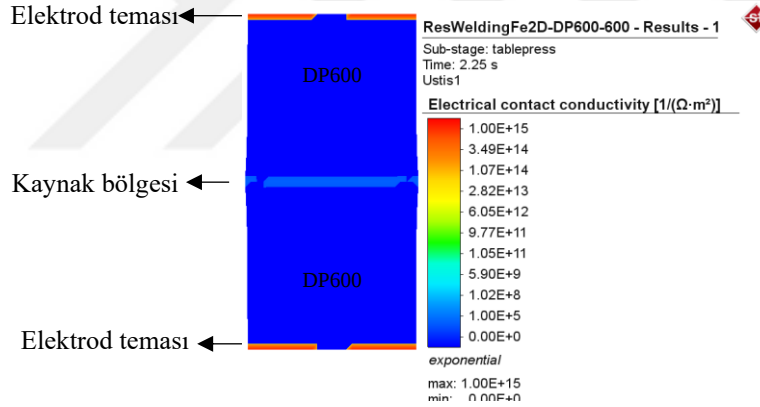
Şekil 4.36. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı



e)

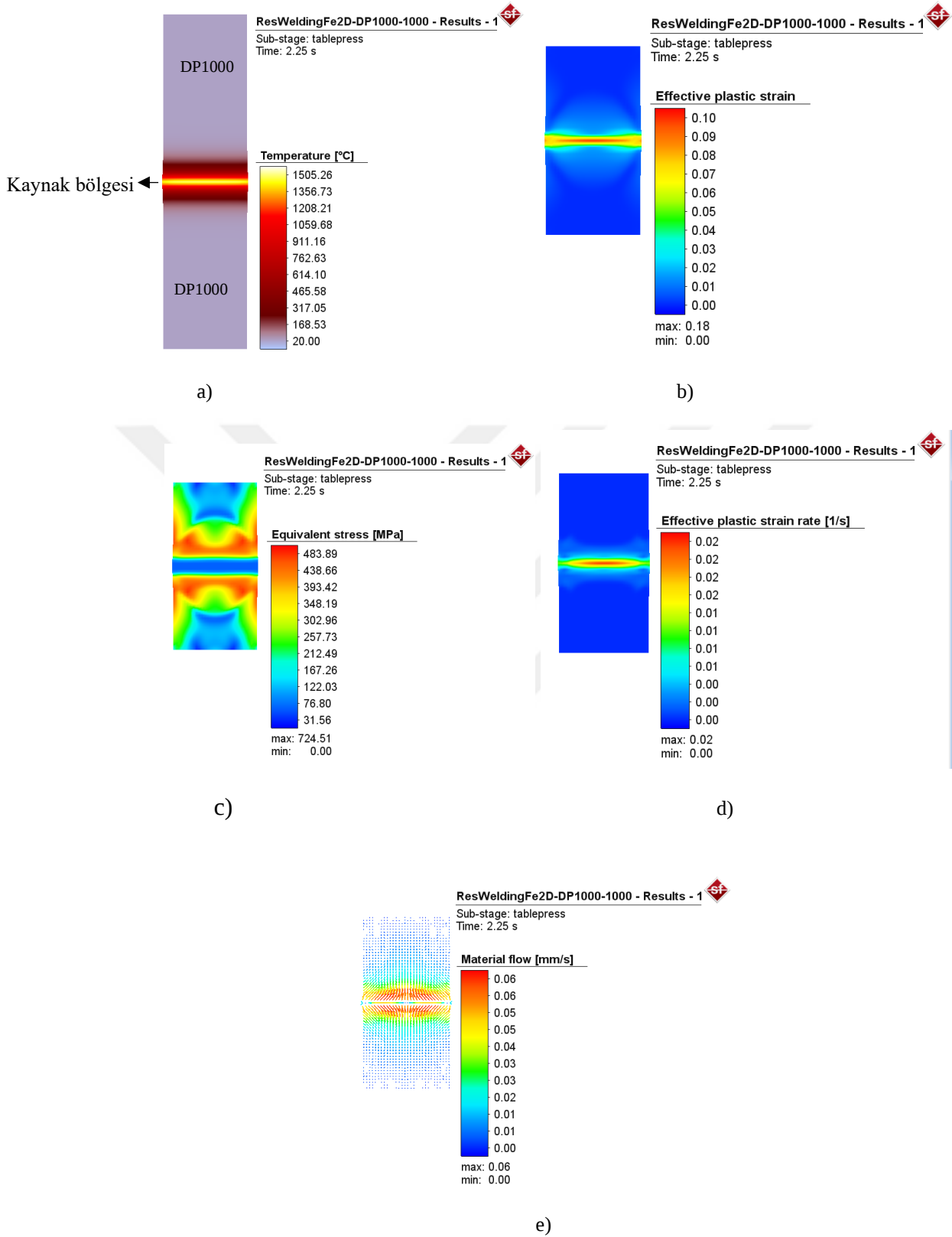
Şekil 4.37. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı (Devamı)

DP600-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.37’de elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00E+15 \text{ } 1/(\Omega \cdot m^2)$ olduğu görülmektedir.



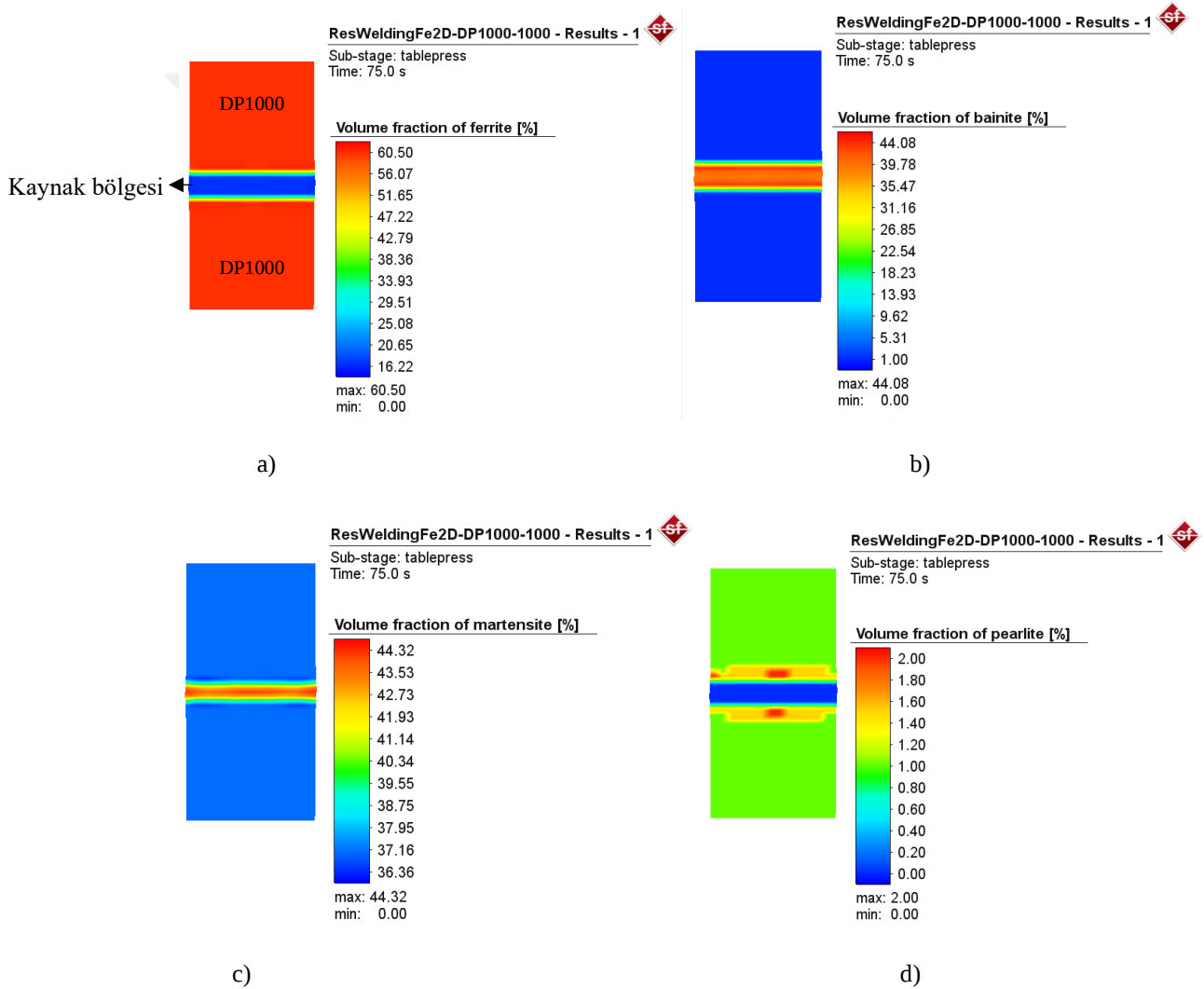
Şekil 4.38. DP600 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

DP1000-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.38-a sıcaklık 1500°C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.38-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.10 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.38-c eşdeğer stres ITAB bölge sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 483 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.38-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02 değerindedir. Şekil 4.38-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.06 mm/s olduğu görülmektedir.

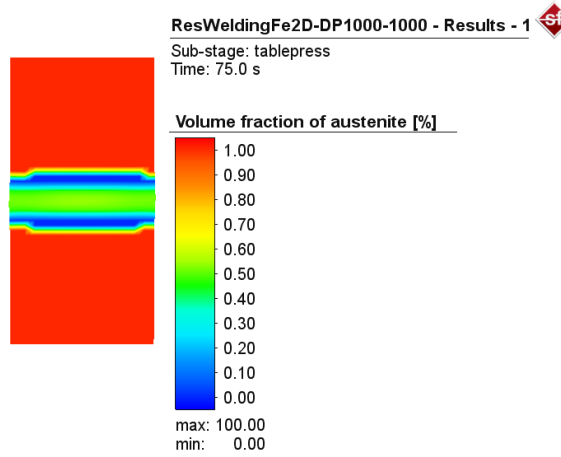


Şekil 4.39. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı

DP1000-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.39-a ferritin hacim oranı esas metalde %60.50 iken kaynak bölgesinde %16.22 olduğu görülüyor. Şekil 4.39-b beynitin hacim oranı esas metalde %1 iken kaynak bölgesinde %44.08 olduğu görülüyor. Şekil 4.39-c martensit hacim oranı esas metalde %36.36 iken kaynak bölgesinde %44.32 olduğu görülüyor. Şekil 4.39-d perlit hacim oranı kaynak bölgesinde %0 esas metalden ITAB'ye geçiş yerinde %2 olduğu görülüyor. Şekil 4.39-e östenit hacim oranı esas metal bölgesinde %1 iken kaynak bölgesinde %0 olduğu görülmüştür.



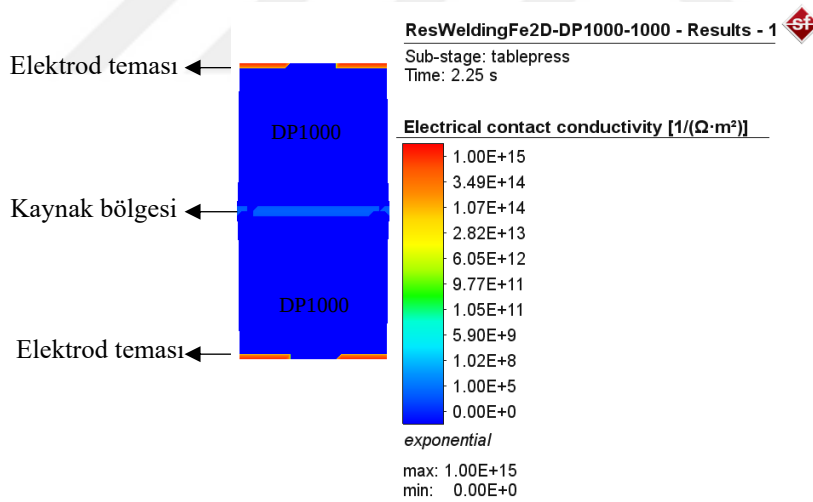
Şekil 4.40. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı



e)

Şekil 4.41. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beyritin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı (Devamı)

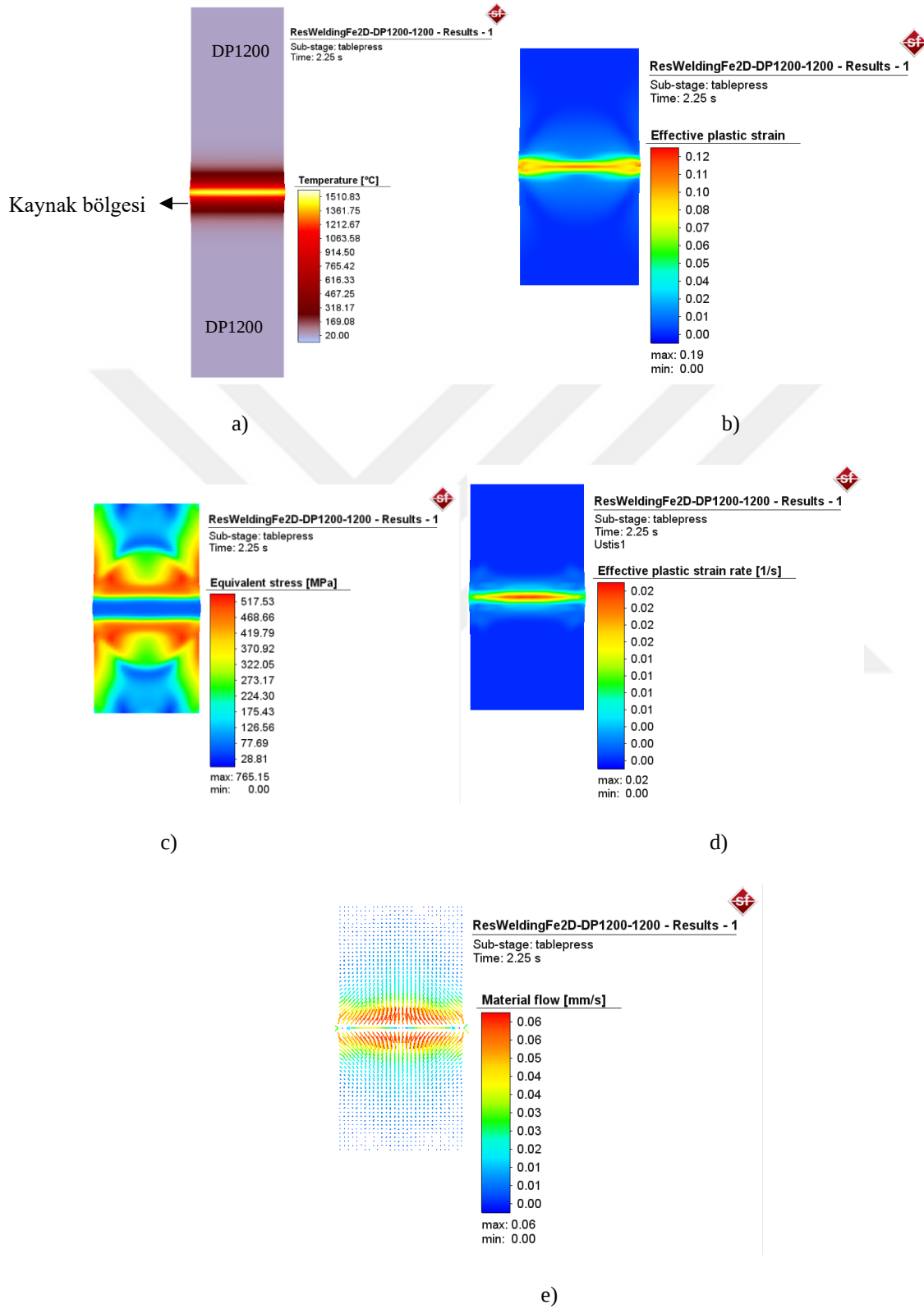
DP1000-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.40'de elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00E+15 \text{ } 1/(\Omega \cdot \text{m}^2)$ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.42. DP1000 – DP1000 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

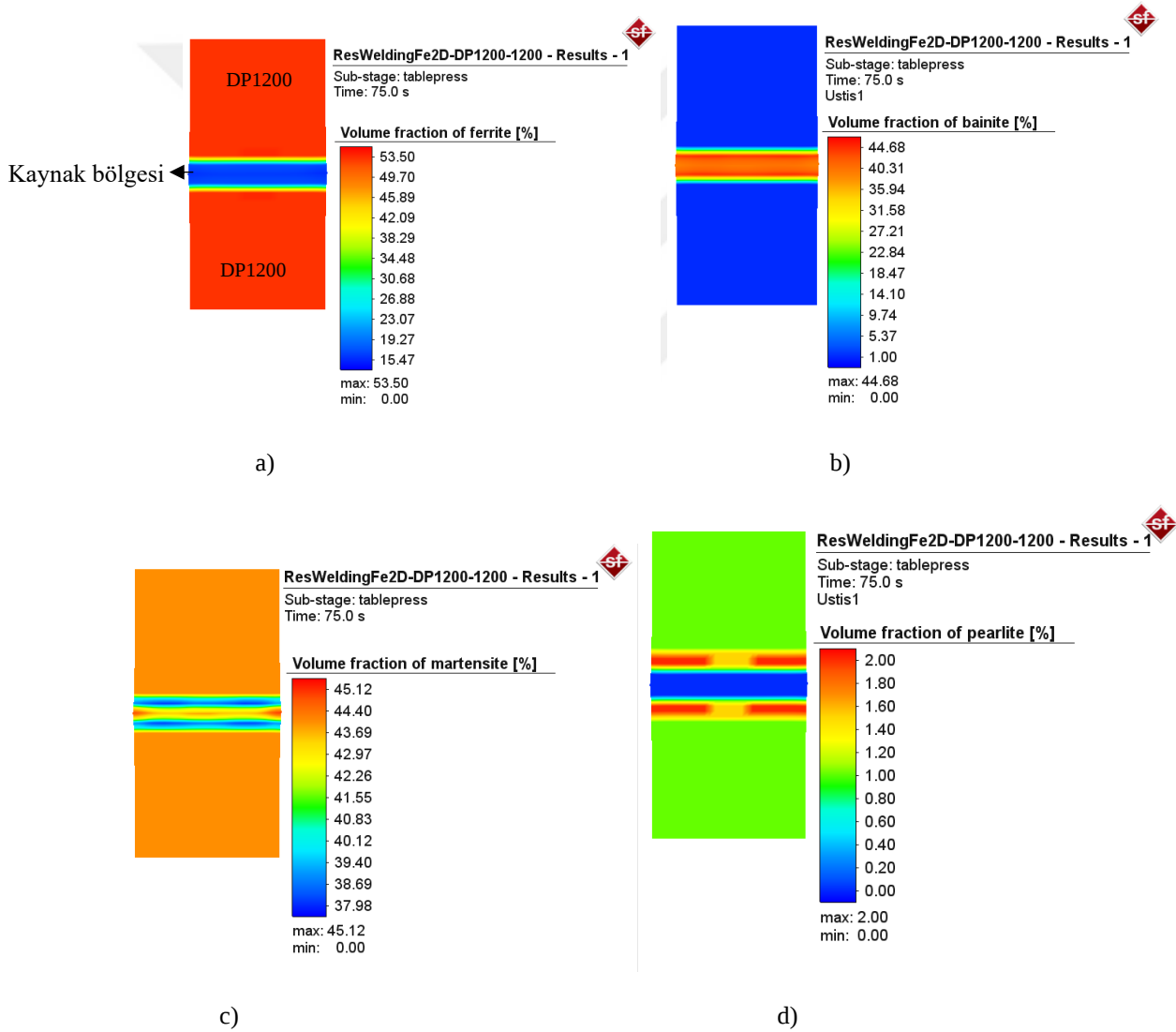
DP1200-DP1200 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.41-a sıcaklık 1500°C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.41-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.12 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.41-c eşdeğer stres ITAB sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 517 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.41-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02

değerindedir. Şekil 4.41-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.06 mm/s olduğu görülmektedir.

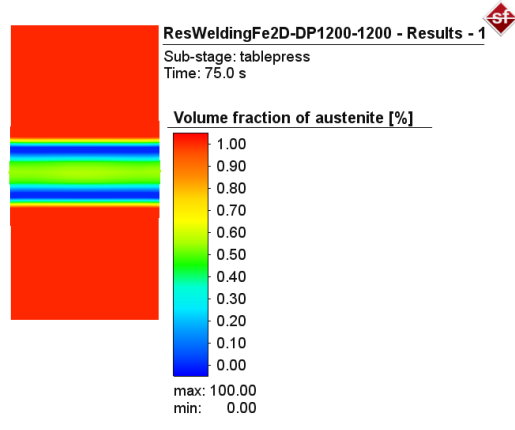


Şekil 4.43. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı

DP1200-DP1200 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.42-a ferritin hacim oranı esas metalde %53.50 iken kaynak bölgesinde %15.47 olduğu görülüyor. Şekil 4.42-b beynitin hacim oranı esas metalde %1 iken kaynak bölgesinde %44.68 olduğu görülüyor. Şekil 4.42-c martensit hacim oranı esas metalde %45.12 iken kaynak bölgesinde %37.98 olduğu görülüyor. Şekil 4.42-d perlit hacim oranı kaynak bölgesinde %0 esas metalden ITAB'ye geçiş yerinde %2 olduğu görülüyor. Şekil 4.42-e östenit hacim oranı esas metal bölgesinde %1 iken kaynak bölgesinde %0 olduğu görülmüştür.



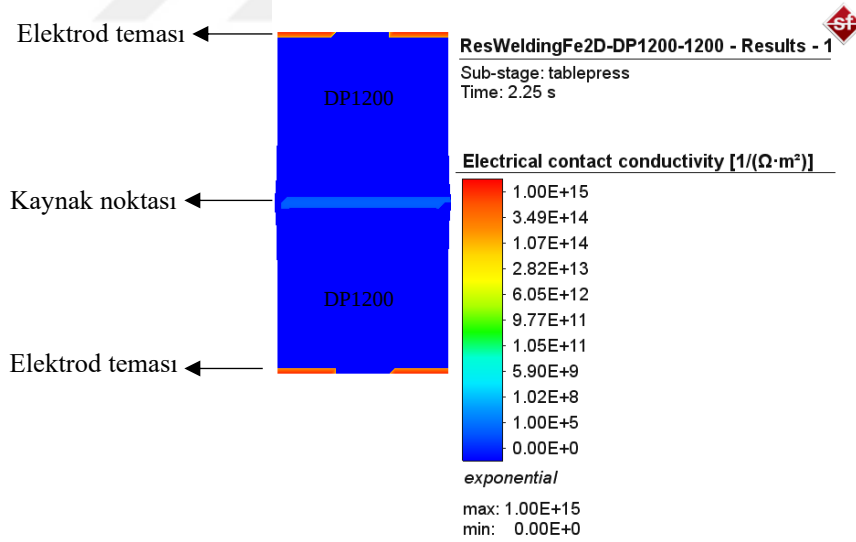
Şekil 4.44. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı



e)

Şekil 4.45. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı (Devamı)

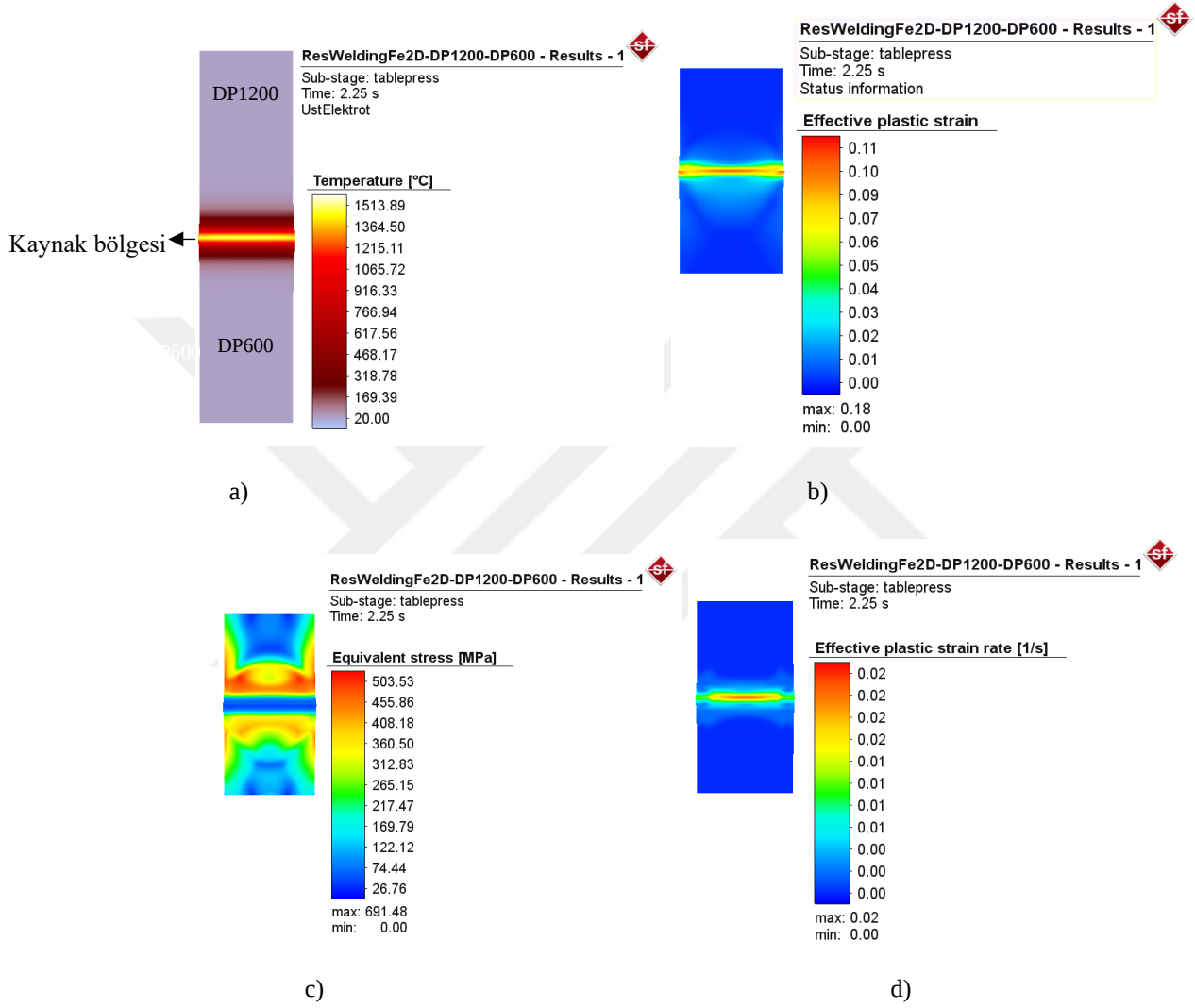
DP1200-DP1200 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.43’de elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00E+15 \text{ } 1/(\Omega \cdot m^2)$ olduğu görülmektedir.



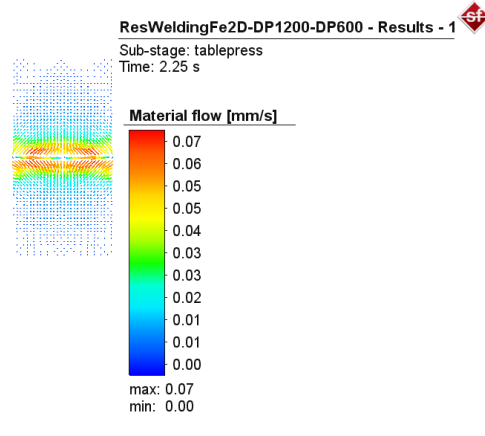
Şekil 4.46. DP1200 – DP1200 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

DP1200-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.44-a sıcaklık 1500°C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.44-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.11 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.44-c

eşdeğer stres ITAB sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 503 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.44-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02 değerindedir. Şekil 4.44-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.07 mm/s olduğu görülmektedir.



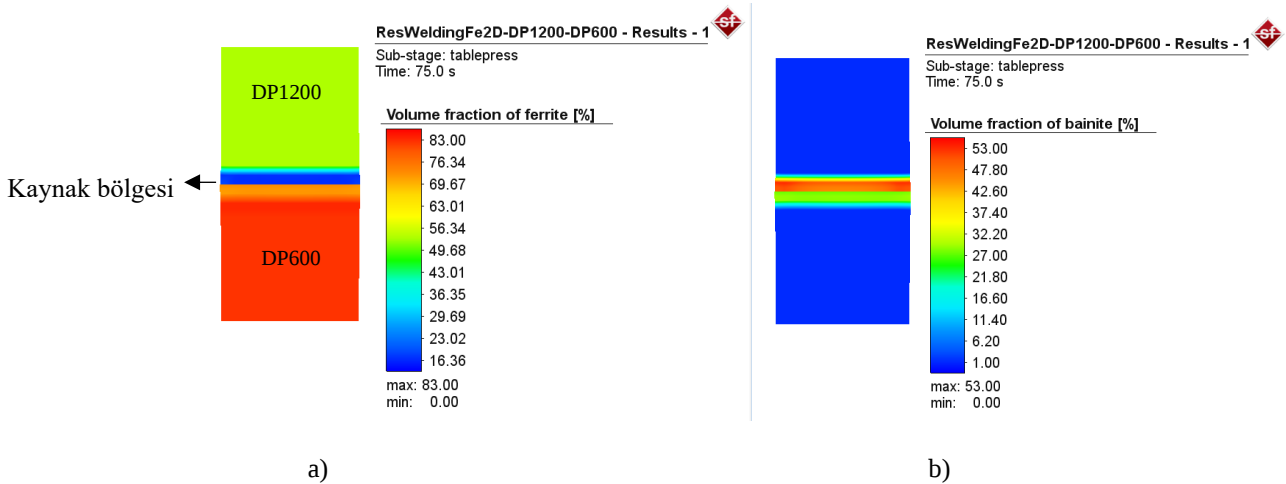
Şekil 4.47. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı



e)

Şekil 4.48. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

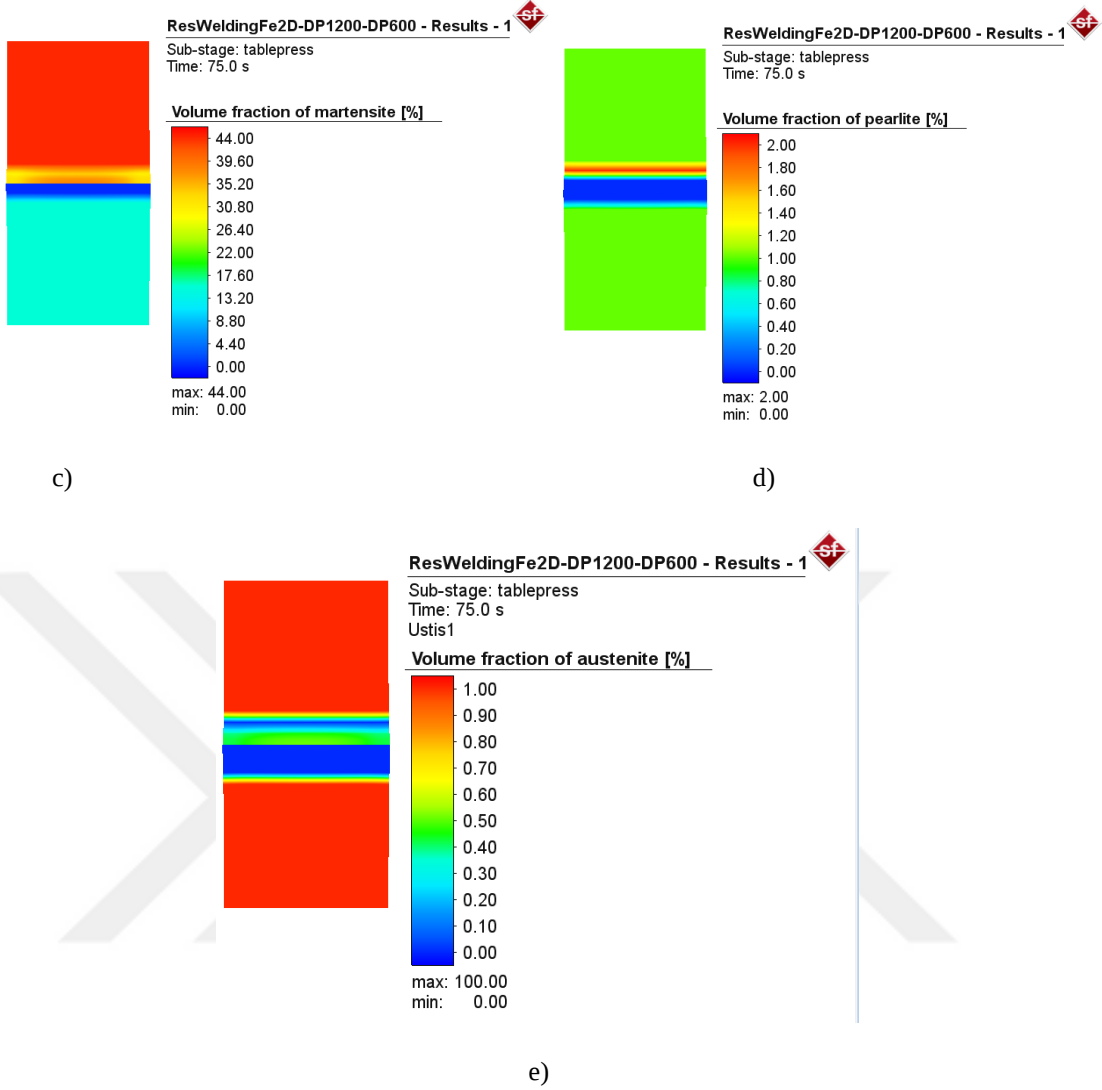
DP1200-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.45-a ferritin hacim oranı kaynak bölgesinde malzeme farkından dolayı DP1200 ITAB kısmında %16 iken, DP600 ITAB kısmında %75 olduğu görülüyor. Şekil 4.45-b beynitin hacim oranı DP1200 ITAB kısmında %47 iken, DP600 ITAB kısmında ise %27 olduğu görülüyor. Şekil 4.45-c martensit hacim oranı DP1200 ITAB kısmında %30 iken, DP600 ITAB kısmında ise %1 olduğu görülüyor. Şekil 4.45-d perlit hacim oranı DP1200 ITAB kısmında %2 iken, DP600 ITAB kısmında %0 olduğu görülüyor. Şekil 4.45-e östenit hacim oranı DP1200 ITAB kısmında %0.6 iken, DP600 ITAB kısmında %0 olduğu görülmüştür.



a)

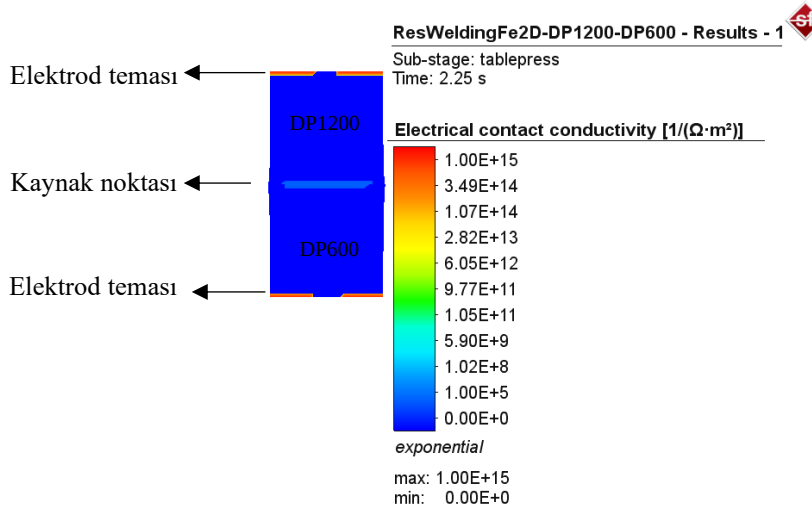
b)

Şekil 4.49. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı



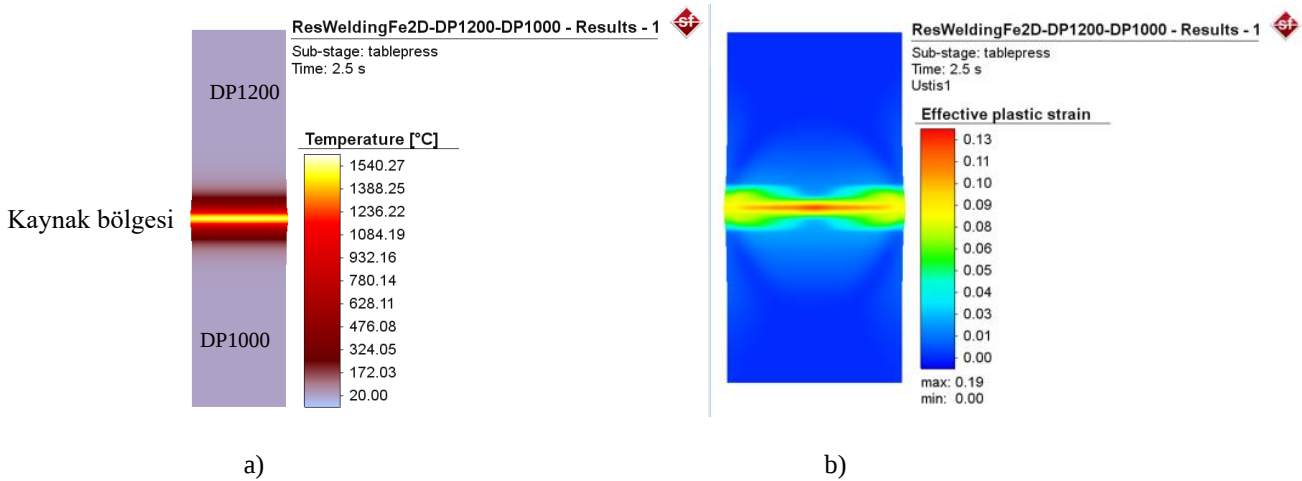
Şekil 4.50. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beyritin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı (Devamı)

DP1200-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.46'da elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00E+15 \text{ } 1/(\Omega.m^2)$ olduğu görülmektedir.

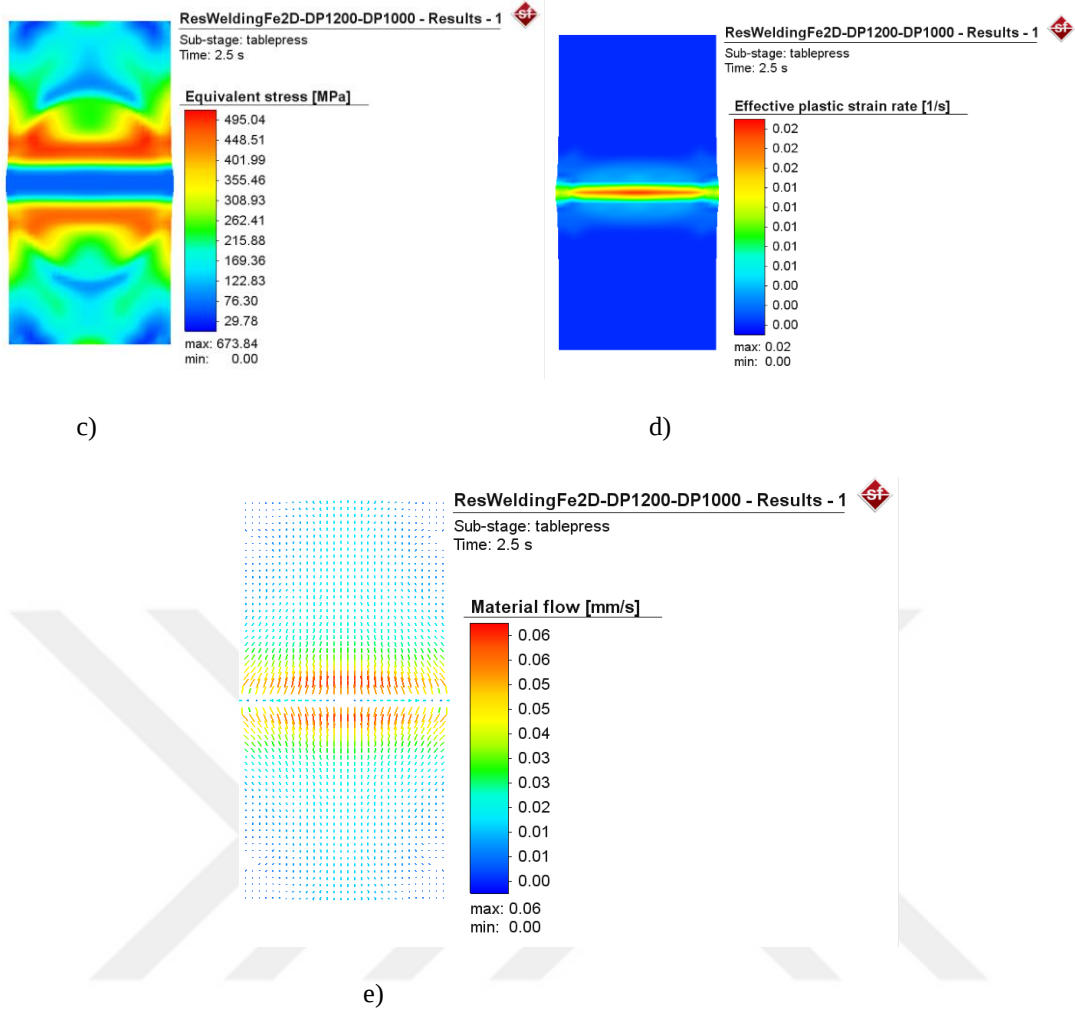


Şekil 4.51. DP1200 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

DP1200-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.47-a sıcaklık 1500 °C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.47-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.13 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.47-c eşdeğer stres ITAB sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 495 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.47-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02 değerindedir. Şekil 4.47-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.06 mm/s olduğu görülmektedir.

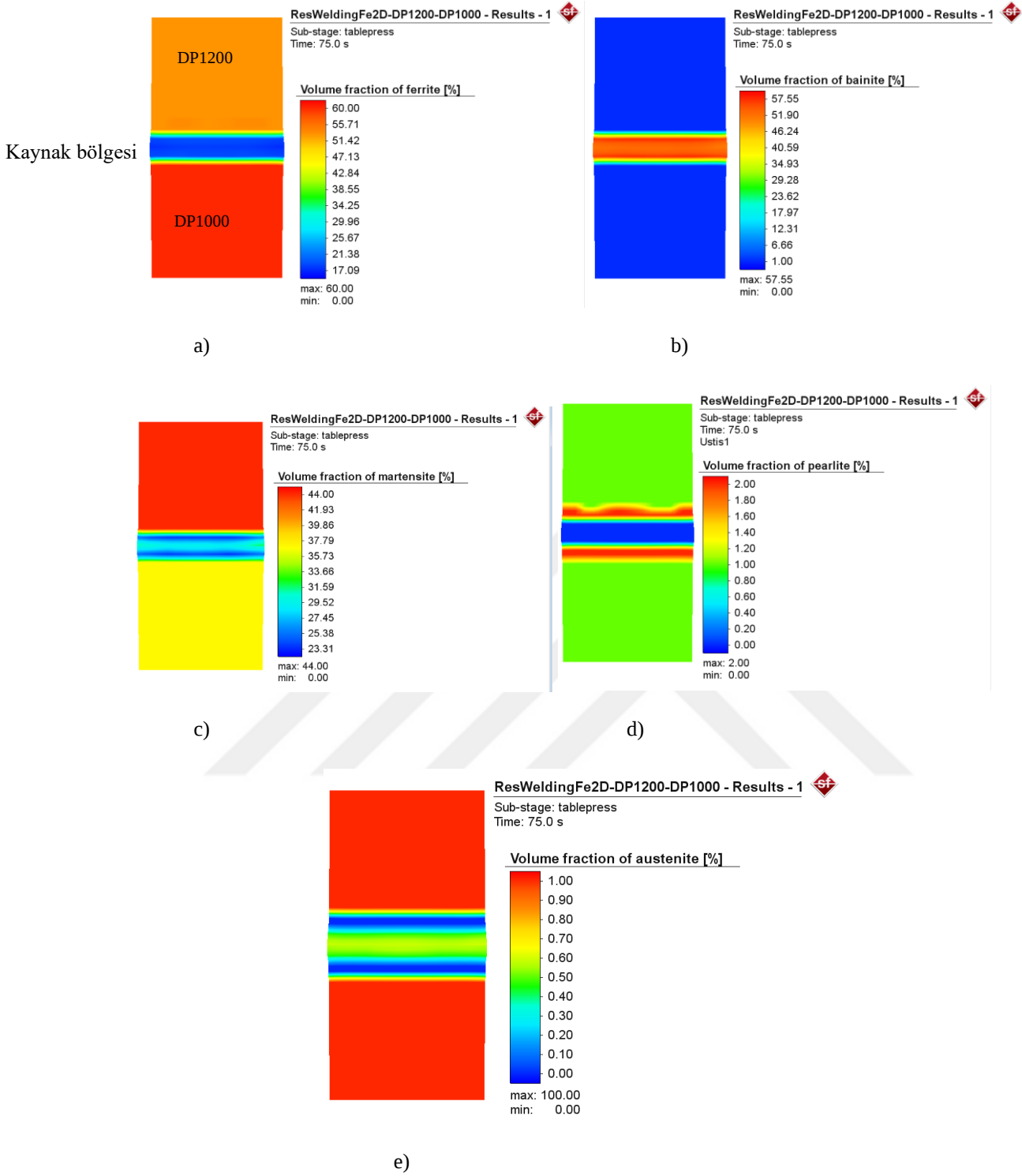


Şekil 4.52. DP1200-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı



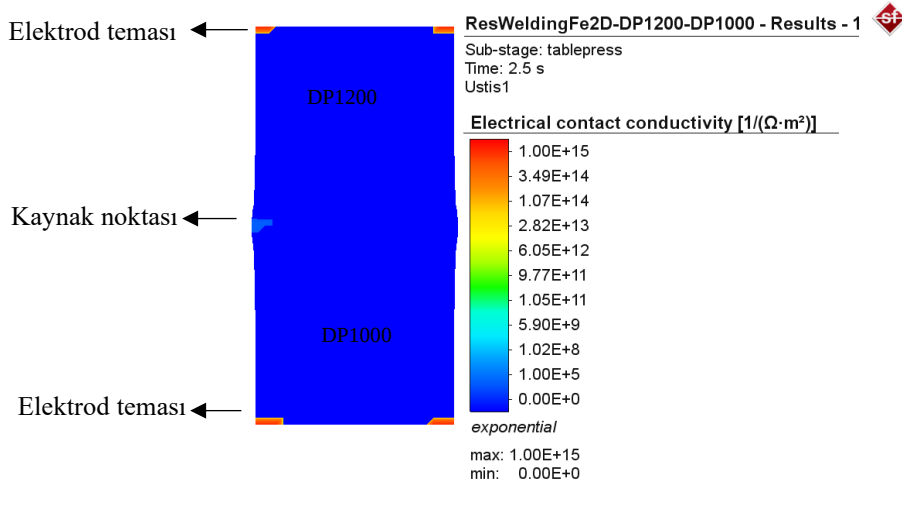
Şekil 4.53. DP1200-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

DP1200-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.48-a ferritin hacim oranı kaynak bölgesinde %17.09 olduğu görülüyor. Şekil 4.48-b beynitin hacim oranı kaynak bölgesinde %57.55 olduğu görülüyor. Şekil 4.48-c martensit hacim oranı kaynak bölgesinde %23.31 olduğu görülüyor. Şekil 4.48-d perlit hacim oranı kaynak bölgesi ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde %2 olduğu görülüyor. Şekil 4.48-e östenit hacim oranı kaynak bölgesinde %0.5 olduğu görülmüştür.



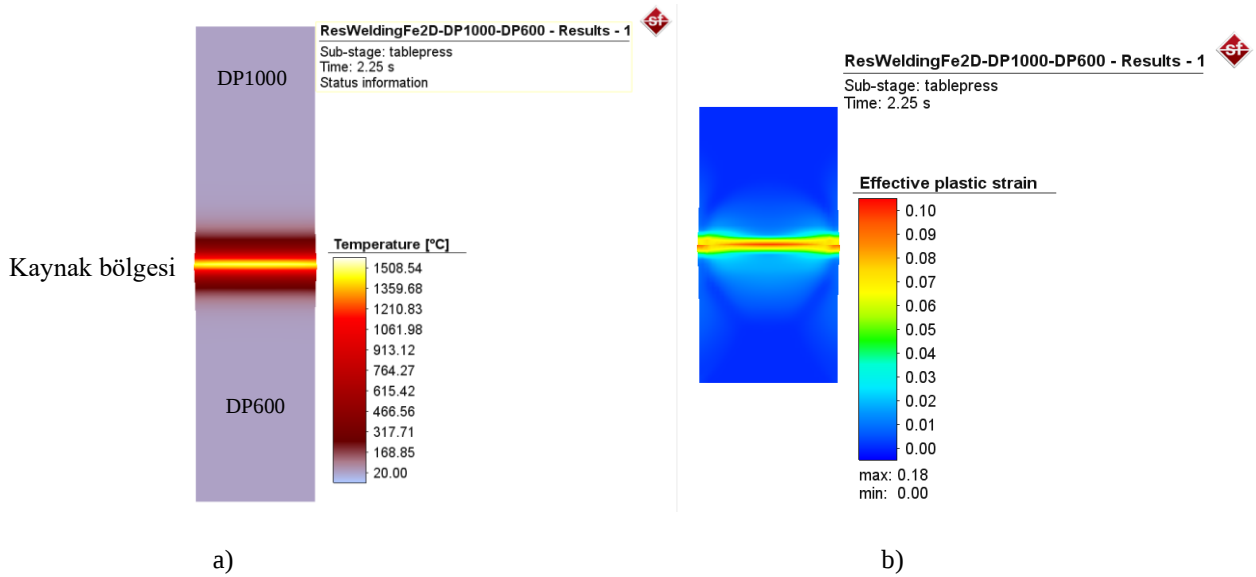
Şekil 4.54. DP1200-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı

DP1200-DP1000 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.49’da elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00\text{E}+15 \text{ } 1/(\Omega.\text{m}^2)$ olduğu görülmektedir.

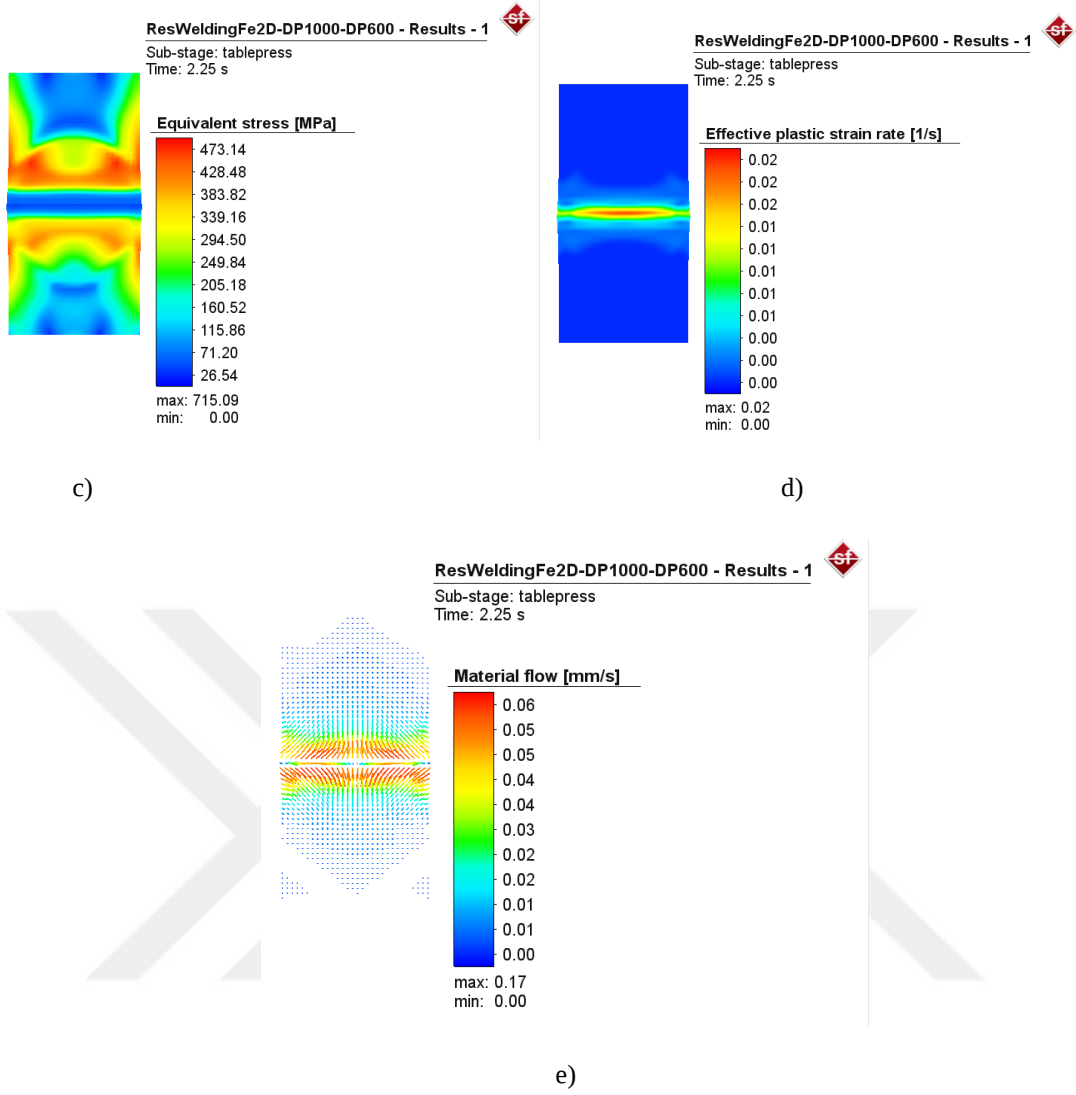


Şekil 4.55. DP1200 – DP1000 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

DP1000-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında kaynak esnasında ve kaynak sonucunda değişimler alınmıştır. Şekil 4.50-a sıcaklık 1500 °C üzerinde bir sıcaklığa ulaşmış ve kaynak birleşimi sağlanmıştır. Şekil 4.50-b etkili plastik gerinim kaynak bölgesinde 0.10 olan maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 4.50-c eşdeğer stres ITAB sınırı dışında kalan esas metal bölgesi tarafında 473 MPa seviyesinde yoğunluk olduğu görülüyor. Şekil 4.50-d etkili plastik oranı kaynak bölgesinde 0.02 değerindedir. Şekil 4.50-e malzeme akışı kaynak bölgesinde 0.06 mm/s olduğu görülmektedir.



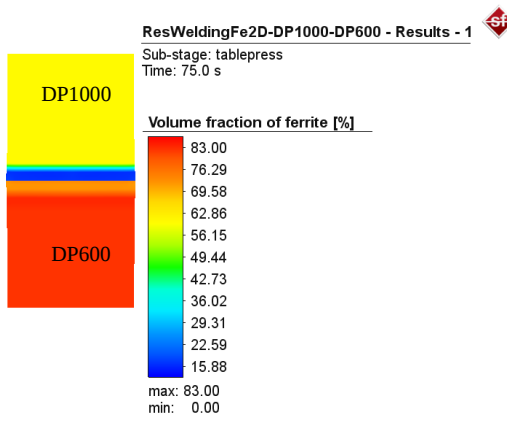
Şekil 4.56. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı



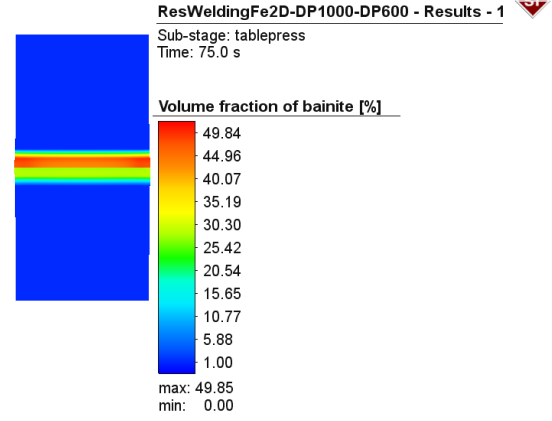
Şekil 4.57. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) sıcaklık, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

DP1000-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programında mikro yapıdaki faz değişim analizi kaynak sonucunda meydana gelen değişimler alınmıştır. Şekil 4.51-a ferritin hacim oranı kaynak bölgesinde malzeme farkından dolayı DP1000 ITAB kısmında %15.88 iken, DP600 ITAB kısmında %73 olduğu görülüyor. Şekil 4.51-b beyritin hacim oranı DP1000 ITAB kısmında %45 iken, DP600 ITAB kısmında ise %23 olduğu görülüyor. Şekil 4.51-c martensit hacim oranı DP1000 ITAB kısmında %33 iken, DP600 ITAB kısmında ise %1 olduğu görülüyor. Şekil 4.51-d perlit hacim oranı DP1000 ITAB kısmında %2 iken, DP600 ITAB kısmında %0 olduğu görülüyor. Şekil 4.51-e östenit hacim oranı DP1000 ITAB kısmında %0.5 iken, DP600 ITAB kısmında %0 olduğu görülmüştür.

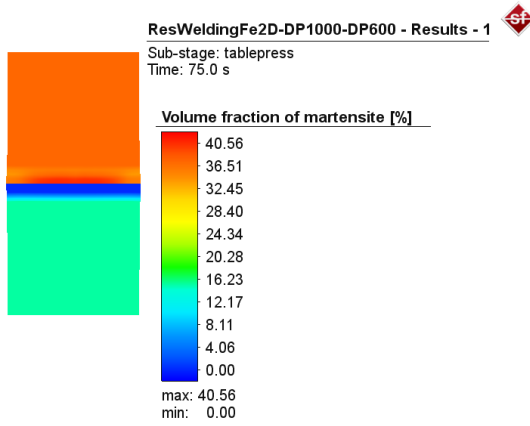
Kaynak bölgesi



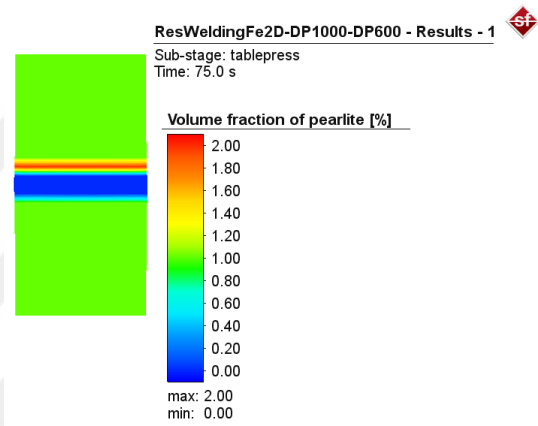
a)



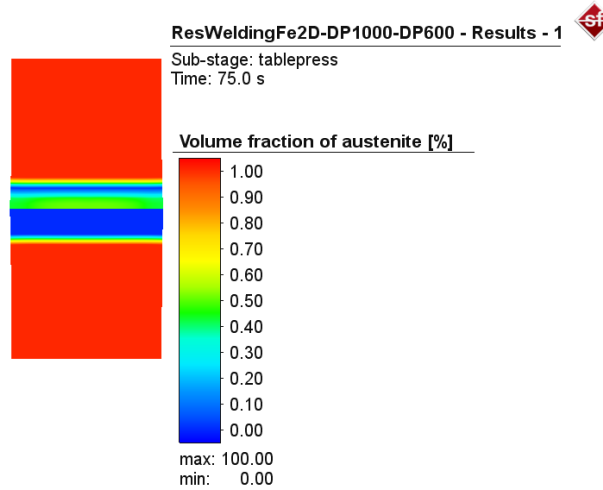
b)



c)



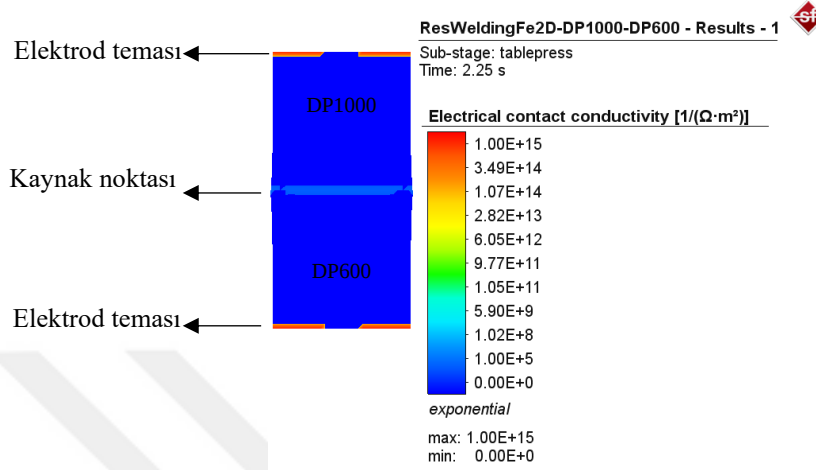
d)



e)

Şekil 4.58. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) ferritin hacim oranı, b) beynitin hacim oranı, şekil c) martensit hacim oranı, şekil d) perlit hacim oranı, e) östenit hacim oranı

DP1000-DP600 çalışma numunesinin simufact welding analiz programından elektrik temas verileri alınmıştır. Şekil 4.52’de elektrik kontağı iletkenliği kaynak edilecek numunenin elektrod ile temas bölgesinde $1.00E+15 \text{ } 1/(\Omega.m^2)$ olduğu görülmektedir.

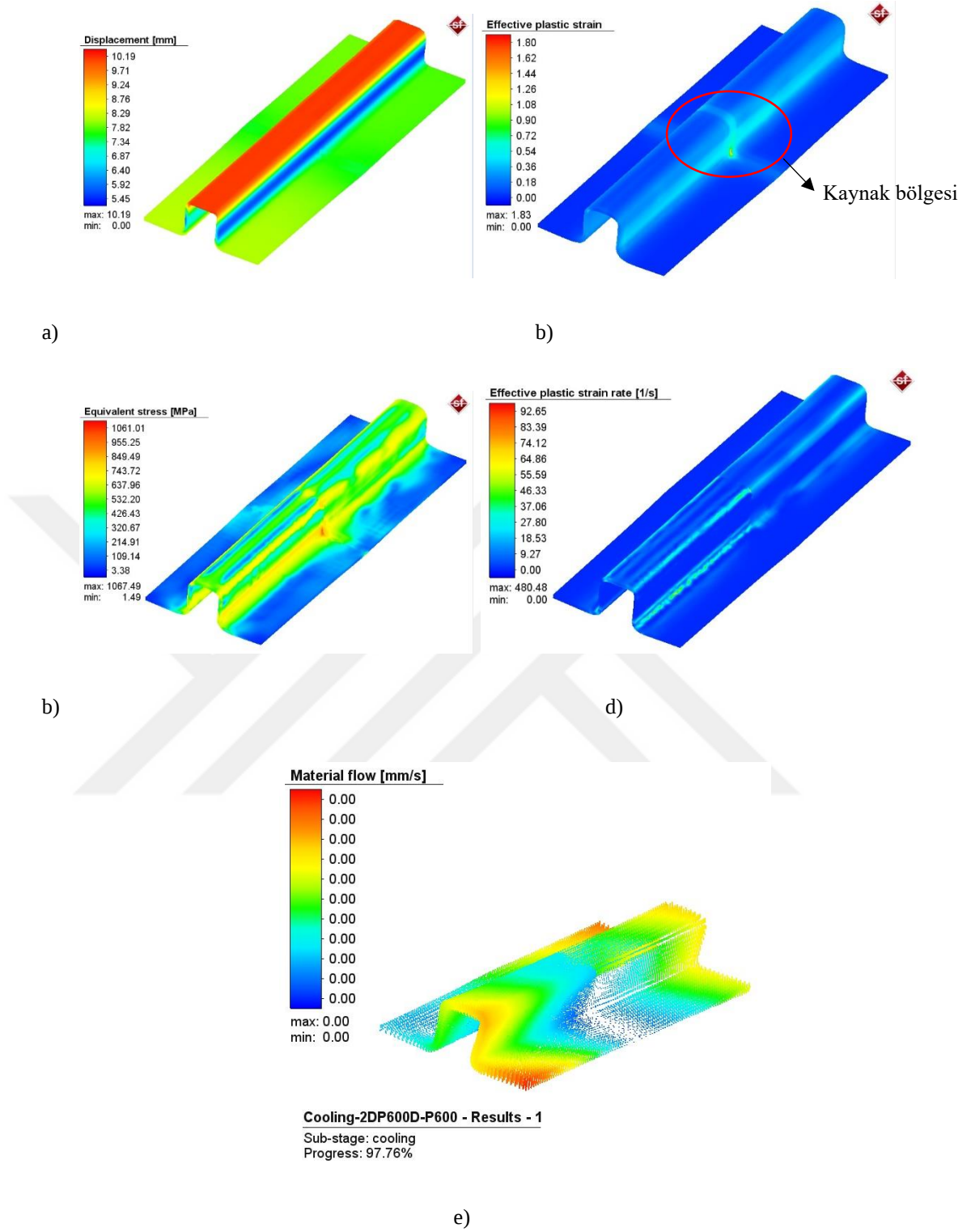


Şekil 4.59. DP1000 – DP600 numunesinin elektrik kontağı iletkenliği sonuçları

4.6 Sonlu Elemanlar Yöntemi Simufact Forming Analiz Programı Sonuçları

Sonlu elemanlar yöntemi simufact welding analiz programında kaynaklı birleşimi yapılan deney numunelerinin kaynaklı sonucu simufact forming analiz programında kullanılmıştır. Simufact forming analiz programında büküm kenarları kaynak dikişini içine alacak şekilde omega şeklinde çalışma numuneleri bükülmüştür. Simufact forming analiz programı büküm sonuçları alınmıştır.

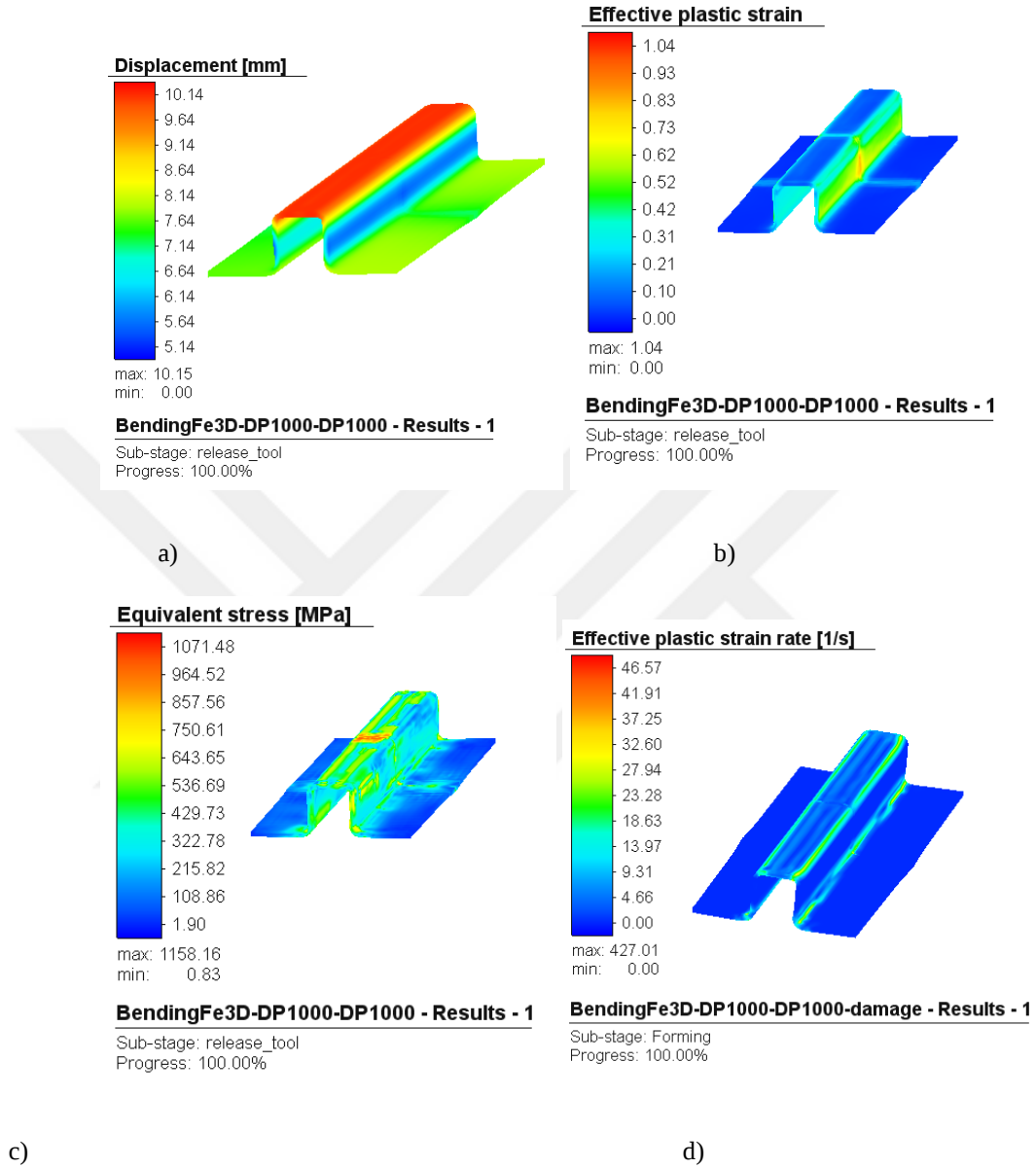
DP600-DP600 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. Şekil 4.53-a yer değiştirme maksimum 10.19 mm, şekil 4.53-b etkili plastik gerinim 1.80, şekil 4.53-c eşdeğer stres 1061 MPa, şekil 4.53-d etkili plastik oranı 92.65 1/s ve şekil 4.53-e malzeme akışı 0 mm/s plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.



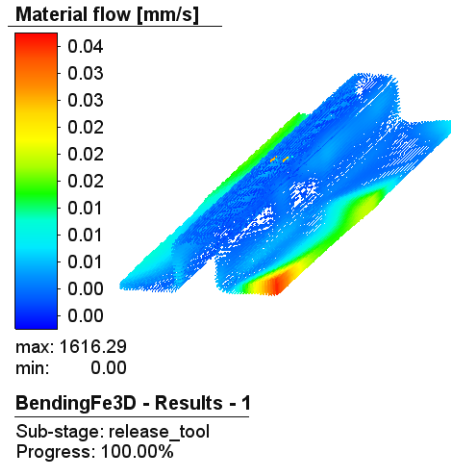
Şekil 4.60. DP600-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı

DP1000-DP1000 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. Şekil 4.54-a yer değiştirme maksimum 10.14 mm, şekil 4.54-b etkili plastik gerinim 1.04, şekil 4.54-c eşdeğer stres 1071 MPa, şekil 4.54-d etkili plastik

oranı 46.57 1/s ve şekil 4.54-e malzeme akışı 0.04 mm/s plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.



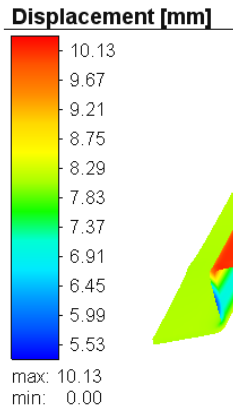
Şekil 4.61. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı



e)

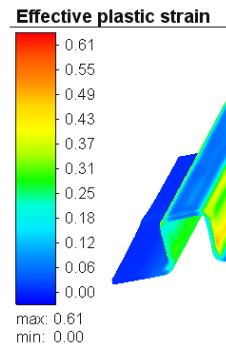
Şekil 4.62. DP1000-DP1000 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

DP1200-DP1200 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. Şekil 4.55-a yer değiştirme maksimum 10.13 mm, şekil 4.55-b etkili plastik gerinim 0.61, şekil 4.55-c eşdeğer stres 736 MPa, şekil 4.55-d etkili plastik oranı 50.74 1/s ve şekil 4.55-e malzeme akışı 129.94 mm/s plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.



BendingFe3D-DP1200-DP1200 - Results - 1
Sub-stage: Forming
Progress: 100.00%

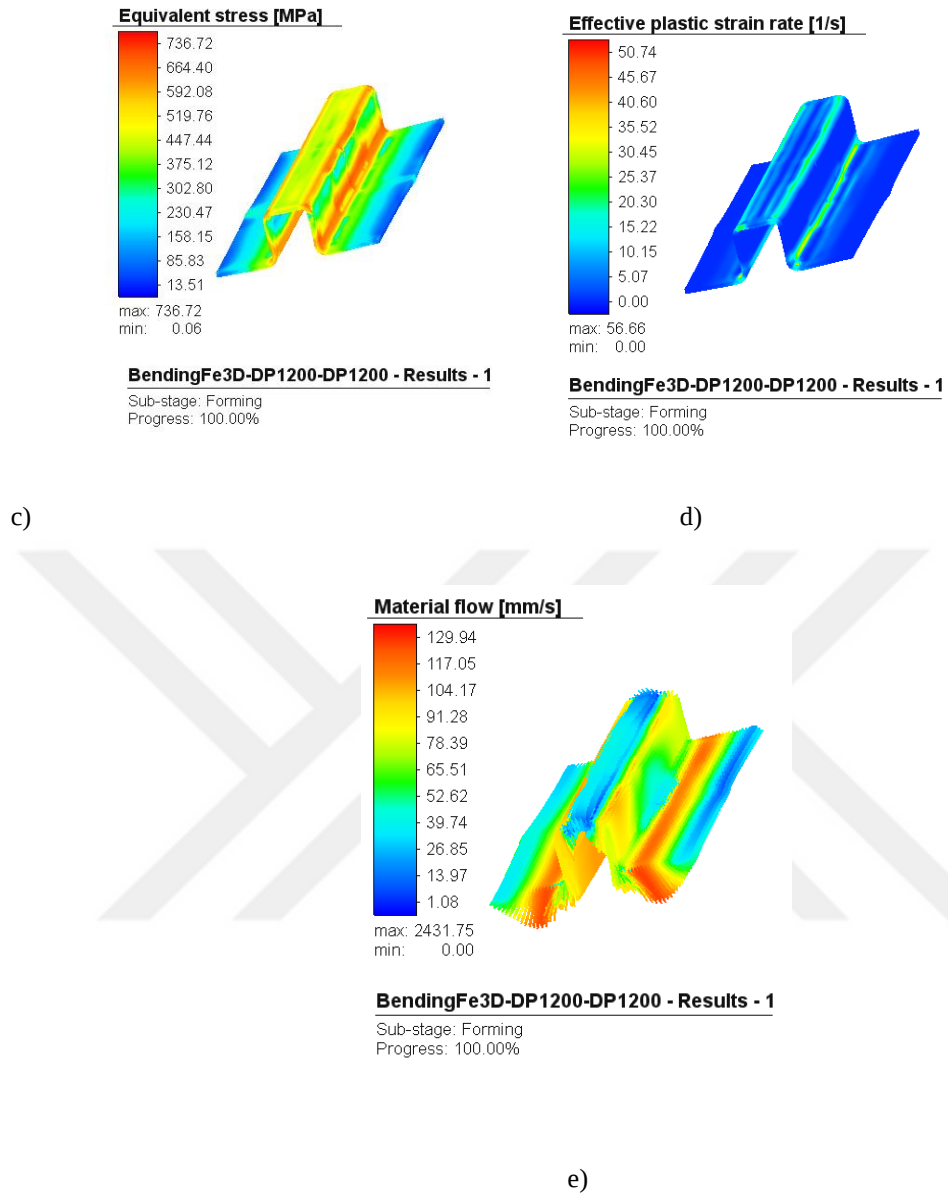
a)



BendingFe3D-DP1200-DP1200 - Results - 1
Sub-stage: Forming
Progress: 100.00%

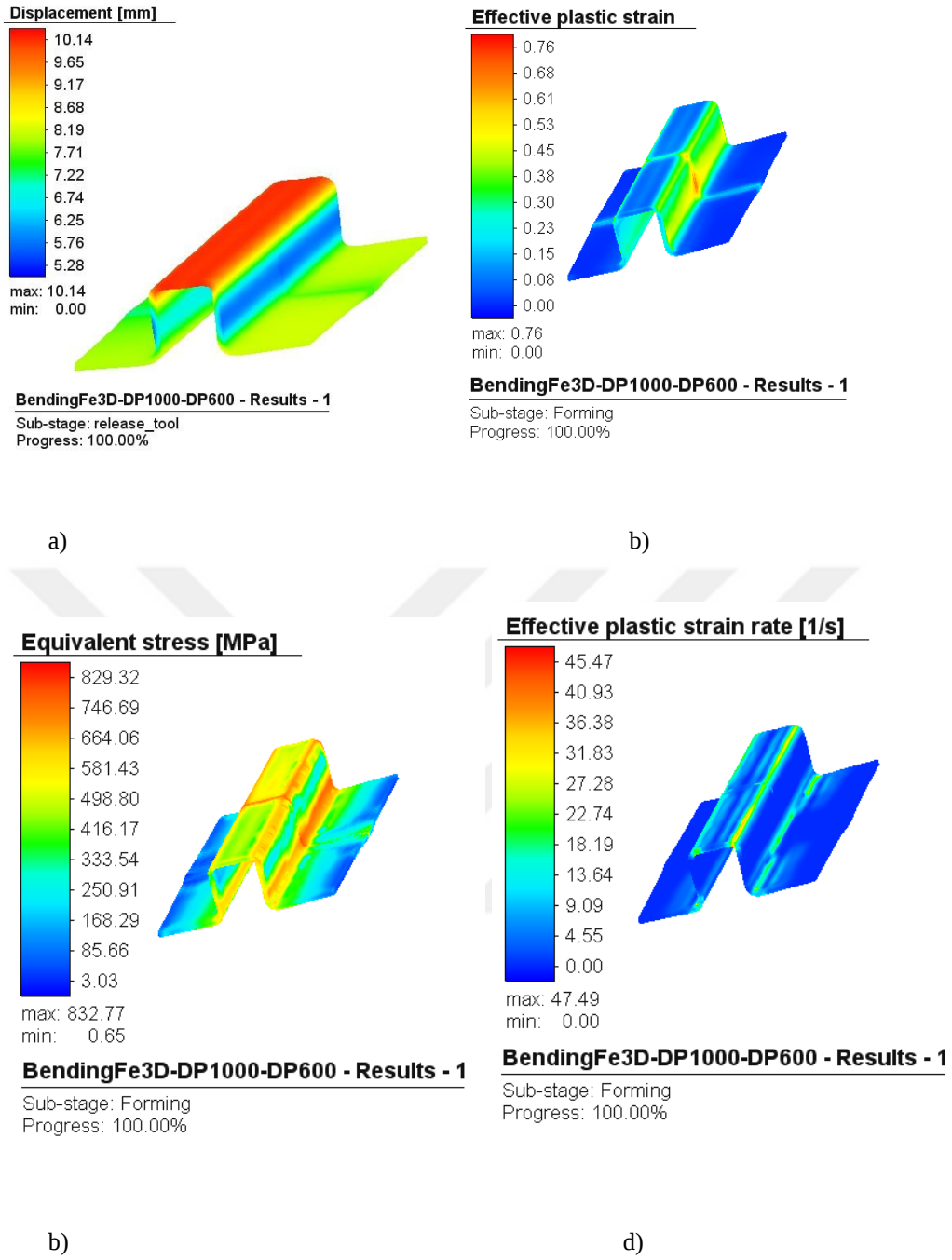
b)

Şekil 4.63. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı

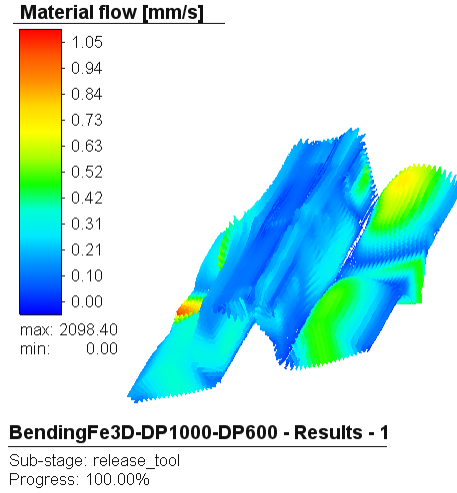


Şekil 4.64. DP1200-DP1200 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

DP1000-DP600 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. Şekil 4.56-a yer değiştirme maksimum 10.14 mm, şekil 4.56-b etkili plastik gerinim 0.76, şekil 4.56-c eşdeğer stres 829 MPa, şekil 4.56-d etkili plastik oranı 45.47 1/s ve şekil 4.56-e malzeme akışı 1.05 mm/s plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.



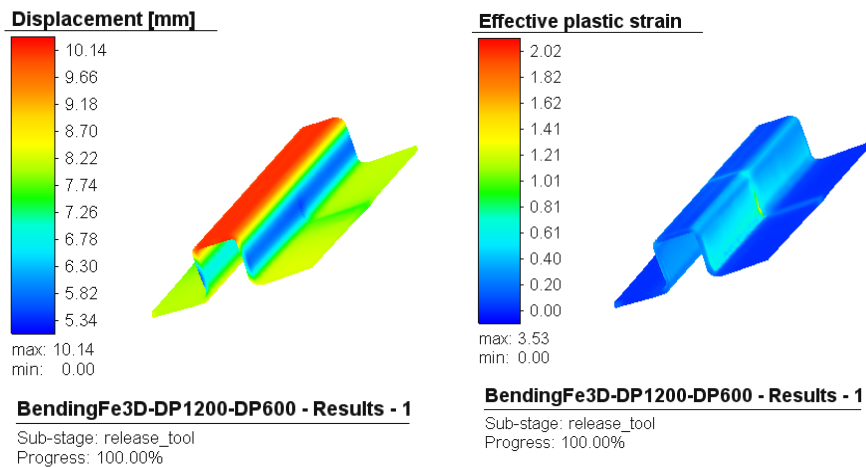
Şekil 4.65. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı



e)

Şekil 4.66. DP1000-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı (Devamı)

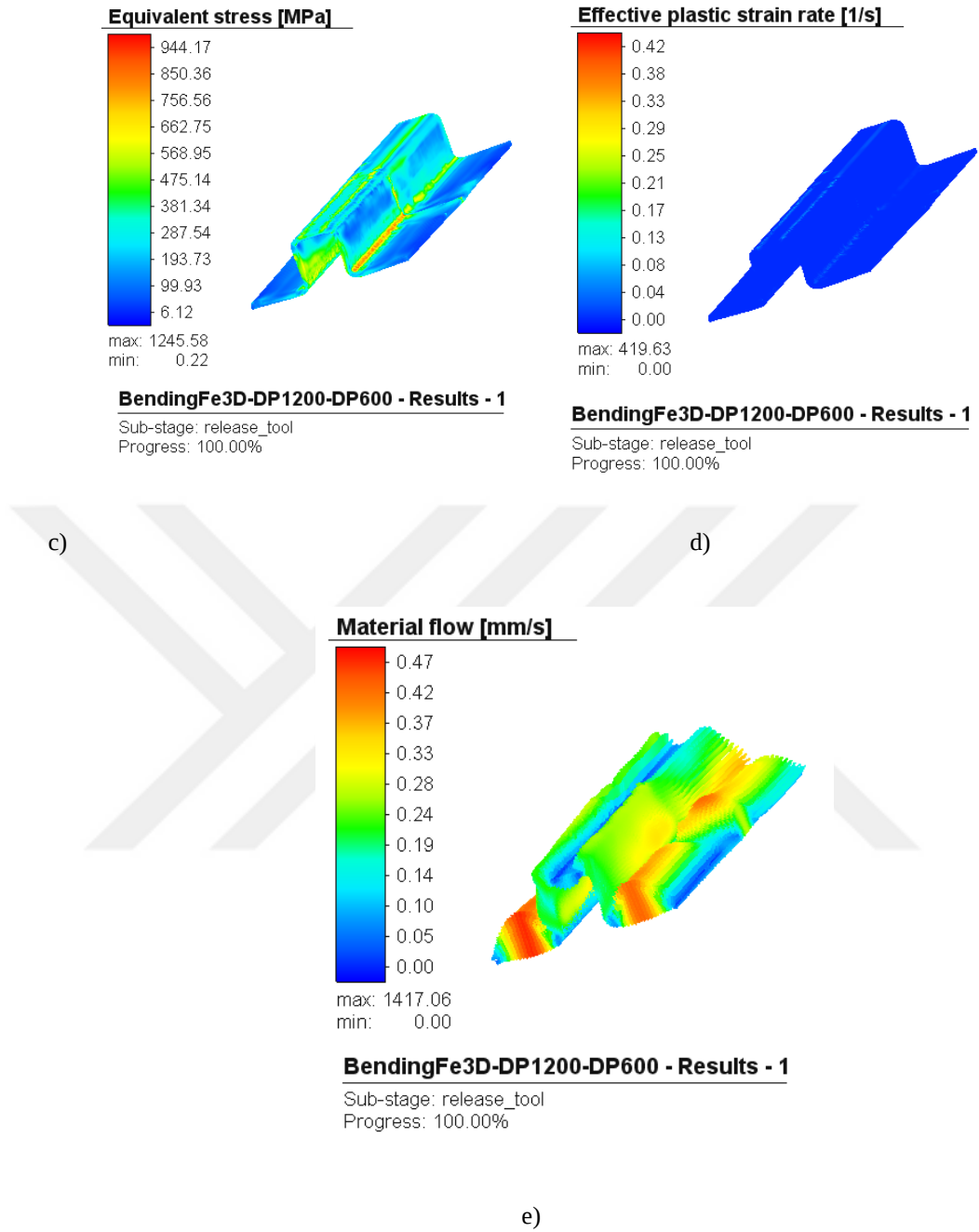
DP1200-DP600 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. Şekil 4.57-a yer değiştirme maksimum 10.14 mm, şekil 4.57-b etkili plastik gerinim 2.02, şekil 4.57-c eşdeğer stres 944 MPa, şekil 4.57-d etkili plastik oranı 0.42 1/s ve şekil 4.57-e malzeme akışı 0.47 mm/s ve şekil 4.57-f hasar (yırılma) 0.53 olduğu plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.



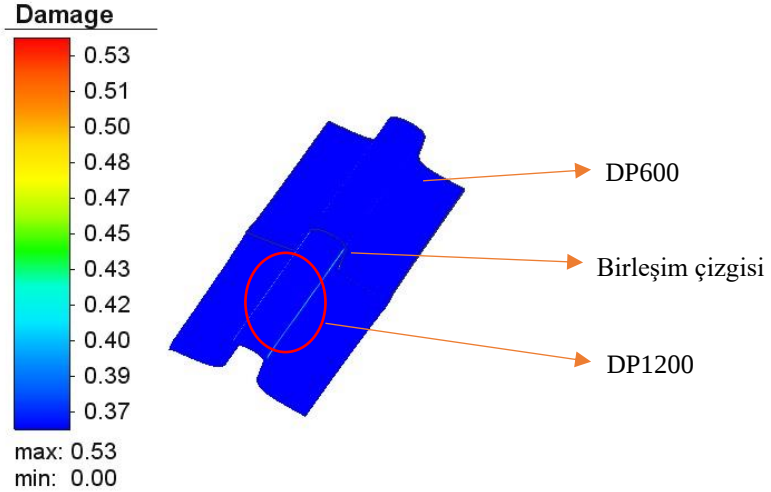
a)

b)

Şekil 4.67. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar



Şekil 4.68. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar (Devamı)



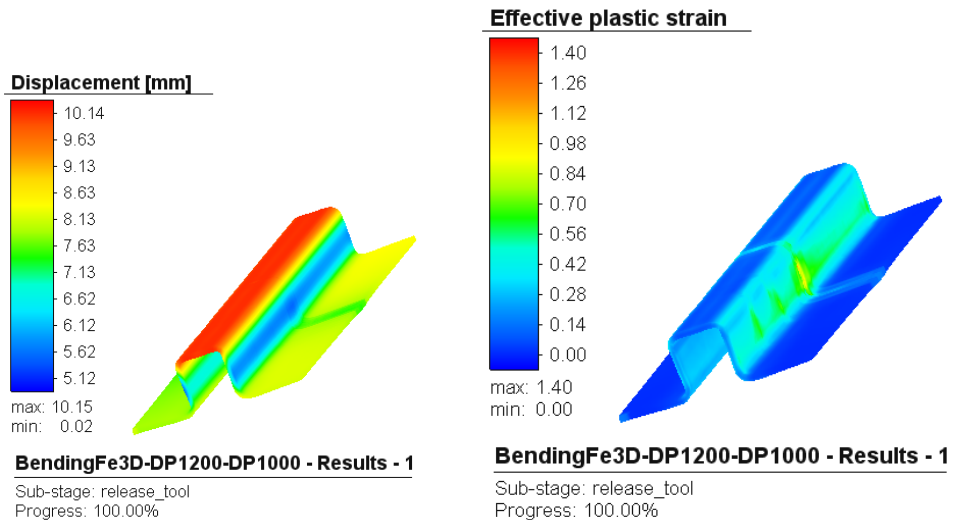
BendingFe3D-DP1200-DP600-damage - Results - 1

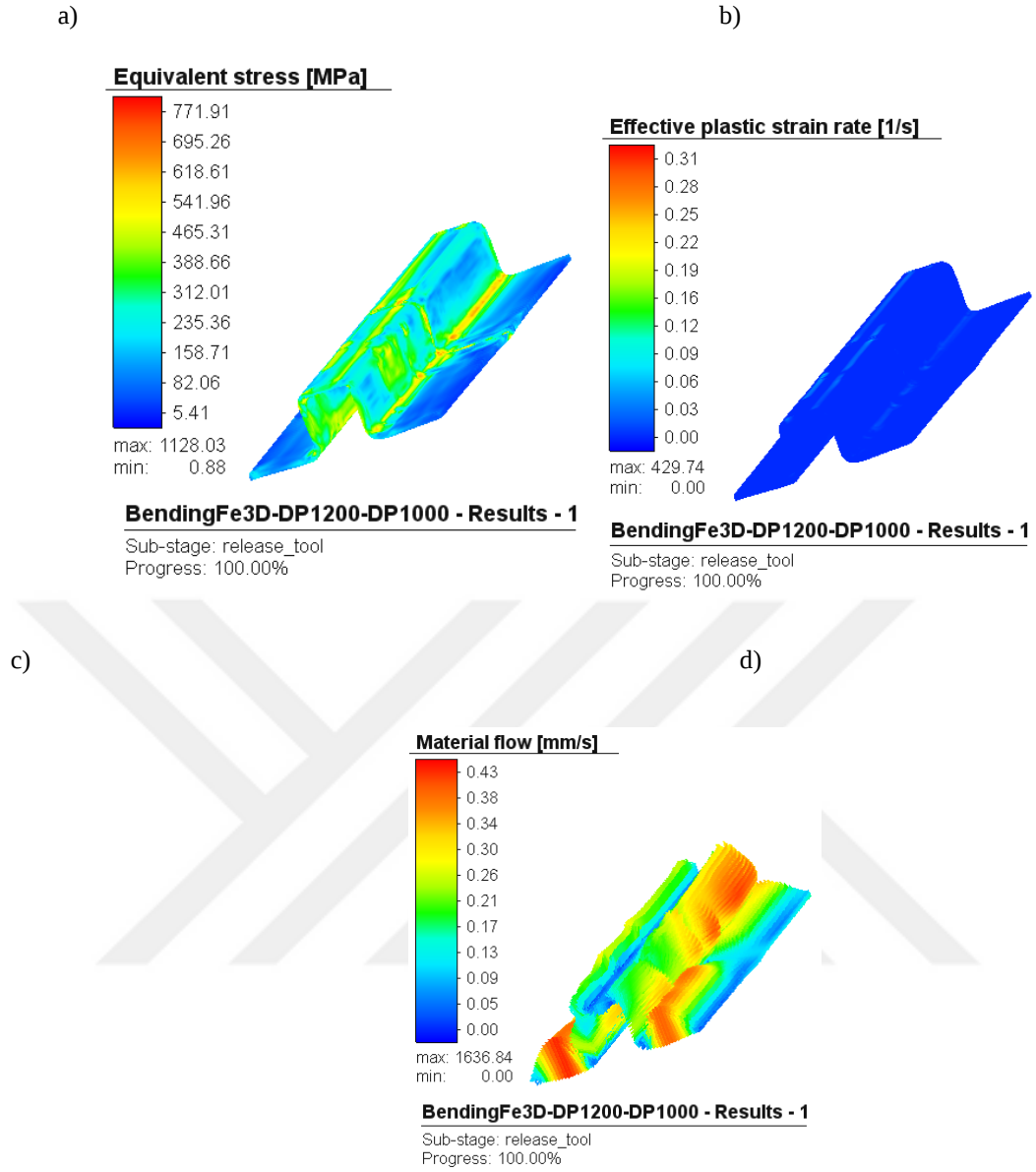
Sub-stage: Forming
Progress: 80.43%

f)

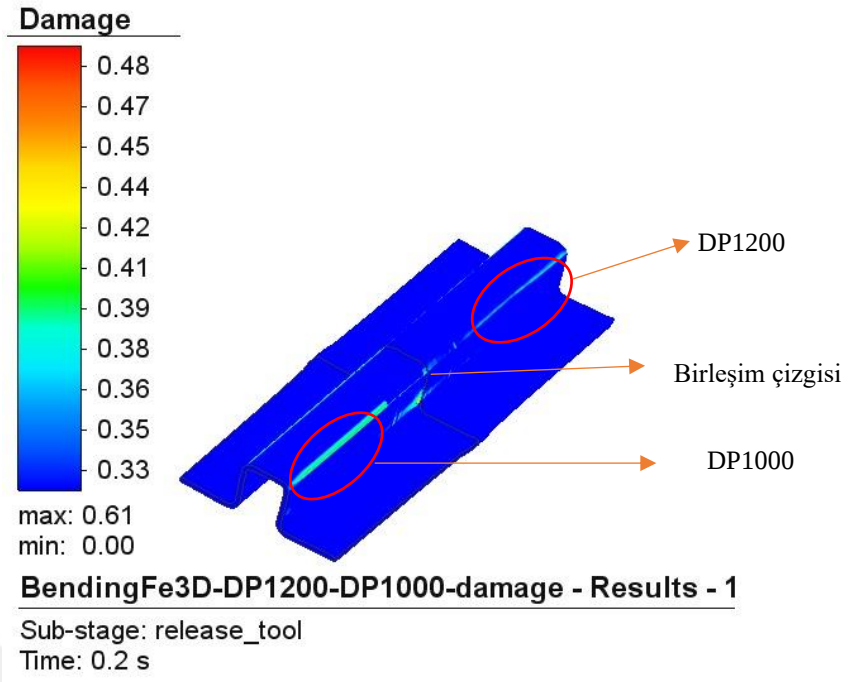
Şekil 4.69. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar (Devamı)

DP1200-DP1000 çalışma numunesinin simufact forming analiz programında değişimler alınmıştır. DP1000 ve DP1200 numunelerin büküm analizlerinde yırtılmalar görülmektedir. Şekil 4.58-a yer değiştirme maksimum 10.14 mm, şekil 4.58-b etkili plastik gerinim 1.40, şekil 4.58-c eşdeğer stres 771 MPa, şekil 4.58-d etkili plastik oranı 0.31 1/s ve şekil 4.58-e malzeme akışı 0.43 mm/s ve şekil 4.58-f hasar (yırtılma) 0.48 olduğu plastik deformasyon analiz sonucunda değişimler görülmektedir.





Şekil 4.70. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar



f)

Şekil 4.71. DP1200-DP600 kaynaklı çalışma numunesinin a) yer değiştirme, b) etkili plastik gerinim, c) eşdeğer gerilme, d) etkili plastik gerinim oranı, e) malzeme akışı, f) hasar (Devamı)

5. SONUÇLAR

5.1 Sonuçlar

- 1) Kaynak için hazırlanan numunelerin çok hızlı bir şekilde kaynaklı bir birleşmenin kusursuz sağlandığı makro incelemede görülmüştür.
- 2) Bütün çalışma numunelerinin mikroyapısı incelendiğinde kaynak bölgesinde asiküler ferrit, martensit ve beynit faz yapısının varlığından söz etmek mümkündür.
- 3) DP600-DP600, DP1000-DP1000 ve DP1200-DP1200 numunelerin çekme testinde esas malzemeden boyun verme sonucunda kopma meydana gelmiştir. Yalnız DP1000-DP600 kaynaklı numunesi DP600 malzeme tarafından koptuğu, DP1000-DP1200 kaynaklı numunesi DP1000 malzeme tarafından koptuğu ve DP1200-DP600 kaynaklı numunesi DP600 malzeme tarafından koptuğu görülmüştür.
- 4) Numuneden alınan sertlik değerlerinin genel olarak eriyen bölge ve ITAB kısmında esas metal bölgelerine göre daha yüksek olduğu ölçülmüştür.
- 5) Bükümü yapılan numunelerin genelinde kaynak bölgesinde yırtılma görülmemiştir. Yalnız DP1200 ve DP1000 malzemenin esas metalinde yırtılmalar görülmüştür.
- 6) Sonlu elemanlar yöntemi simufact analiz programında alınan kaynak, faz dağılımları ve büküm verileri ile gerçek değerlerin aynı paralellikte olduğu görülmüştür.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer DAĞLI
Uyruğu : T.C

EĞİTİM

İŞ DENEYİMLERİ

UZMANLIK ALANI

Kaynakçılık

KAYNAKLAR

- 2021, Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik (AHSS) Tanımları, <https://econ243.academic.wlu.edu/2015/11/10/when-it-comes-to-steel-and-cars-it-pays-to-be-different/>:
- Abid, N. H., Al-Rub, R. K. A. ve Palazotto, A. N., 2017, Micromechanical finite element analysis of the effects of martensite morphology on the overall mechanical behavior of dual phase steel, *International Journal of Solids and Structures*, 104, 8-24.
- Acarer, M., 2005, DÜŞÜK KARBONLU LJELİK SACLARDAN LJİFT-FAZLI LJELİK ÜRETİMİ VE MHO'NIN LJEKME ÜZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ, *Teknoloji*, 8 (3).
- Acarer, M. ve Demir, B., 2008, An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminum–dual phase steel, *Materials letters*, 62 (25), 4158-4160.
- ARABACI, U. ve ÇETİNKAYA, C., 2004, YAKMA ALIN KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN 16MnCr5 ZİNCİR ÇELİĞİNDE YIĞMA AKIM ZAMANI VE TAM TAVLAMA ISIL İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (4).
- Bandyopadhyay, K., Panda, S., Saha, P. ve Padmanabham, G., 2015, Limiting drawing ratio and deep drawing behavior of dual phase steel tailor welded blanks: FE simulation and experimental validation, *Journal of materials processing technology*, 217, 48-64.
- Baumer, R. ve Adonyi, Y., 2009, Transient high-frequency welding simulations of dual-phase steels, *Weld. J*, 88, 193-201.
- Bhattacharya, D., 2014, Microalloyed steels for the automotive industry, *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 11 (4), 371.
- Das, H., Mondal, M., Hong, S.-T., Lim, Y. ve Lee, K.-J., 2018, Comparison of microstructural and mechanical properties of friction stir spot welded ultra-high strength dual phase and complex phase steels, *Materials Characterization*, 139, 428-436.
- David, S., Vitek, J., Hampson, S. E. ve Plickert, D. S., 1992, International trends in welding science and technology, *3rd. International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, Tennessee, USA June*.
- Demir, B. ve Erdoğan, M., 2014, Ticari, geliştirilmiş çift-fazlı çelik üretimi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (2), 74-91.
- ELİTAŞ, M., Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Dayanımı Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (1), 242-251.
- Fujii, M., Nakanowatari, H. ve Nariai, K., 2015, Rail flash-butt welding technology, *JFE Steel Corp*, 20, 159-163.
- Ghaheeri, A., Shafyei, A. ve Honarmand, M., 2014, Effects of inter-critical temperatures on martensite morphology, volume fraction and mechanical properties of dual-phase steels obtained from direct and continuous annealing cycles, *Materials & Design (1980-2015)*, 62, 305-319.
- Hayat, F., 2009, Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen çift-fazlı çeliklerin mekanik ve mikroyapı özellikleri.

- Ichiyama, Y. ve Kodama, S., 2006, Flash-butt welding of high strength steels, *Shinnittetsu Giho*, 385, 74.
- Jovičević-Klug, P. ve Podgornik, B., 2020, Review on the effect of deep cryogenic treatment of metallic materials in automotive applications, *Metals*, 10 (4), 434.
- Khan, M. I., 2007, Welding science and technology, New Age International, p.
- Kuroda, T., Ikeuchi, K. ve Ikeda, H., 2006, Flash butt resistance welding for duplex stainless steels, *Vacuum*, 80 (11-12), 1331-1335.
- MEEK, S. F., McCORD, C. P. ve HARROLD, G. C., 1941, ELECTRIC ARC WELDING: THE EFFECTS OF WELDING GASES AND FUMES, *Journal of the American Medical Association*, 116 (15), 1618-1621.
- Moor, E. D., 2021, Advanced high-strength sheet steels for automotive applications, *High-Performance Ferrous Alloys*, 113-151.
- Münstermann, S., Lian, J., Pütz, F., Könemann, M. ve Brinnel, V., 2017, Comparative study on damage evolution during sheet metal forming of steels dp600 and dp1000, *Journal of Physics: Conference Series*, 012074.
- Nayak, S., Zhou, Y., Hernandez, V. B. ve Biro, E., 2012, Resistance spot welding of dual-phase steels: heat affected zone softening and tensile properties, *Proceedings of the 9th International Conference on Trends in Welding Research, Chicago, Illinois, United States*, 641-649.
- Orłowicz, A., Mróz, M., Tupaj, M. ve Trytek, A., 2015, Materials used in the automotive industry, *Archives of Foundry Engineering*, 15.
- ÖZGÜLTEKİN, A. G., Başer, T., Tekelioğlu, O., Tamer, E., AYDIN, B. ve Alpay, B., 2022, Farklı lazer kaynak parametrelerinin ileri nesil dual fazlı bir çeliğin mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37 (1), 455-468.
- Praveen, P., Yarlagadda, P. ve Kang, M.-J., 2005, Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of materials processing technology*, 164, 1113-1119.
- Singh, M. K., 2016, Application of steel in automotive industry, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 6 (7), 246-253.
- ŞEN, İ. M. Y. ve GÜRSEL, A., DP600 TİPİ ÇELİK SACLARIN SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ.
- Tasan, C. C., Diehl, M., Yan, D., Bechtold, M., Roters, F., Schemmann, L., Zheng, C., Peranio, N., Ponge, D. ve Koyama, M., 2015, An overview of dual-phase steels: advances in microstructure-oriented processing and micromechanically guided design, *Annual Review of Materials Research*, 45, 391-431.
- Taşyikan, Y., 2013, TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen trip 450/800 ve çift-fazlı çeliklerin mekanik ve mikroyapı özellikleri, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Thomser, C., Uthaisangsuk, V. ve Bleck, W., 2009, Influence of martensite distribution on the mechanical properties of dual phase steels: experiments and simulation, *Steel research international*, 80 (8), 582-587.
- Ulu, S., 2009, Çift fazlı çelikler, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (3), 100-113.
- Wang, W., Shi, Y., Lei, Y. ve Tian, Z., 2005, FEM simulation on microstructure of DC flash butt welding for an ultra-fine grain steel, *Journal of materials processing technology*, 161 (3), 497-503.
- YILMAZ, Ş. ve ERGENE, B., ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN DEFORMASYON DAVRANIŞININ ANALİZİ.
- Zhang, F., Ruimi, A., Wo, P. C. ve Field, D. P., 2016, Morphology and distribution of martensite in dual phase (DP980) steel and its relation to the multiscale mechanical behavior, *Materials Science and Engineering: A*, 659, 93-103.

Zhang, X., Chen, G., Zhang, Y. ve Lai, X., 2009, Improvement of resistance spot weldability for dual-phase (DP600) steels using servo gun, *Journal of materials processing technology*, 209 (5), 2671-2675.

