

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

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DP600 ÇELİKLERİNİN CMT
KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cengiz ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ

Aralık 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

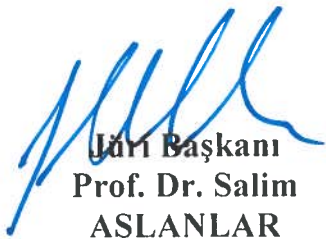
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DP600 ÇELİKLERİNİN CMT
KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

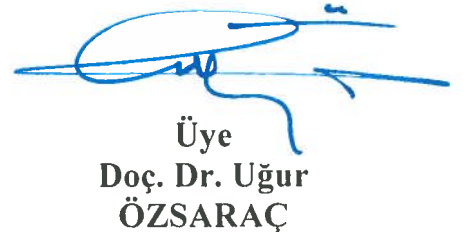
Cengiz ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı
Prof. Dr. Salim
ASLANLAR


Üye
Doç. Dr. Emel TABAN


Üye
Doç. Dr. Uğur
ÖZSARAÇ

BEYAN

Tarafımdan hazırlanmış olan bu tez içerisindeki veriler akademik kurallar çerçevesinde hazırlanmış olup, görsel ve yazılı bütün sonuçların bu kurallar uygun olarak sunulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılmış olunduğunda bilimsel normlar dikkate alınarak atıf yapıldığını, tez içerisinde bulunan verilerin herhangi bir niversite kurumunda tez çalışması olarak yapılmadığını beyan ederim.

Cengiz zdemir

11.12/2017

TEŞEKKÜR

Otomotiv sektöründe kullanılan, DP 600 çeliklerinin CMT kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi konu başlığı altında çalışmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Doç. Dr. Uğur Özsera'a, Prof. Dr. Salim Aslanlar'a, Yrd. Doç. Dr. Faruk Varol'a, Erman Ferik'e, teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam boyunca ve öncesinde maddi manevi desteklerini esirgemeyen Babam Güral Özdemir'e, Annem Gülten Özdemir'e ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK	2
2.1. Giriş.....	2
2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler.....	3
2.3. AHSS Çelik Türleri	5
2.3.1. Çift fazlı çelikler (DP).....	7
2.3.2. Dönüşümle plastikliği arttırılmış çelikler (TRIP)	8
2.3.3. Kompleks fazlı çelikler (CP).....	8
2.3.4. Martenzitik çelikler (MART)	9
BÖLÜM 3.	
DP ÇELİKLERİ	10
3.1. Giriş.....	10
3.2. Çift Fazlı Çelikler (DP)	10
3.2.1. Çift fazlı çeliklerin üretim yöntemi.....	10
3.2.2. Çift fazlı çeliklerde mekanik özellikler.....	15

BÖLÜM 4.

SOĞUK METAL TRANSFER KAYNAK YÖNTEMİ (CMT).....	20
4.1. Giriş	20
4.2. CMT Birleştirme Yöntemi	20
4.3. CMT Birleştirmede Uygulanan Yöntemler	21
4.3.1. CMT pulse.....	21
4.3.2. CMT advanced	22
4.3.3. CMT advanced pulse.....	22
4.4. Yöntemin Sağladığı Üstünlükler	23
4.4.1. Entegre tel hareketi.....	23
4.4.2. Düşük ısı girdisi	23
4.4.3. Çapaksız bir kaynak	23
4.4.4. Kararlı ark	23

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
5.1. Genel	24
5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	25
5.3. Uygulanan Kaynak İşlemleri.....	25
5.3.1. CuSn1 kaynak teli	26
5.3.2. CuSn6 kaynak teli	26
5.4. Numune Hazırlama	27
5.5. Kaynak İşlemi	28
5.6. Sertlik ve Metalografik İncelemeler için Numune Hazırlama	28
5.7. Çekme Deneyi	29
5.8. Makroyapı ve Mikroyapı İncelemeleri.....	29
5.8.1. Makroyapı incelemesi	29
5.8.2. Mikroyapı incelemesi.....	29
5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	30
5.10. Sertlik Ölçümleri	30

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA	31
6.1. CMT Kaynak Yöntemi ile DP 600 Sacının Birleştirilmesi	31
6.1.1. CuSn1 ilave metali ile yapılan alın birleştirmeler.....	31
6.1.2. CuSn1 ilave metali ile yapılan bindirme birleştirmeler	39
6.1.3. CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmeler.....	45
6.1.4. CuSn6 ilave metali ile yapılan bindirme birleştirmeler	52

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
7.1. Sonuçlar.....	59
7.2. Öneriler.....	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Ferrit
γ	: Östenit
A	: Amper
BH	: Bake Hardening
C	: Karbon
CM	: Carbon-Mangan
cm	: Santimetre
CMT	: Colda Metal Transfer
CP	: Complex Phase
DP	: Dual Phase
FB	: Ferritic-Bainitic
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HMT	: Hacim Merkezli Tetragonal
HSS	: High Strength Steel
IF	: Interstitial-Free
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
LSS	: Low Strength Steel
M/Mart/MS	: Martensitic steel
MAG	: Metal Aktif Gaz
Mf	: Martenzit Bitiş Sıcaklığı
MIG	: Metal İnert Gaz
Ms	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
TRIP	: Transformation induced plasticity
TWIP	: Twinning-induced plasticity steel
UHSS	: Ultra High Strength Steel
YMK	: Yüzey merkezli kübik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Araç gövde unsurları. AISI'den uyarlanmıştır [3].....	3
Şekil 2.2. Farklı çelik saclar için uzama ve akma mukavemeti. AHSS, gelişmiş yüksek mukavemetli çelik. BH, fırında sertleşebilir çelikler. CMn, karbon mangan çelikleri. CP, kompleks fazlı çelikler. DP, çift fazlı çelikler. HSLA, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler. HSS, yüksek mukavemetli çelikler. IF, araysız çelikler. MS, martenzitik çelikler. TRIP, dönüşüm kaynaklı plastite çelikleri. TWIP, ikizlenme kaynaklı plastite [4].....	4
Şekil 2.3. Bir araç gövdesindeki yüksek mukavemetli çeliklerden üretilmiş parçalar (Akerstrom 2016) [10].	6
Şekil 2.4. Çift fazlı çelik üretim metodu [9].	7
Şekil 2.5. TRIP sacların mikro yapısı	8
Şekil 3.1. Sürekli tavlama hattının şematik gösterimi [17].....	12
Şekil 3.2. (F) ferrit ve (M) martenzit yapılarının elektron mikroskobu altındaki görüntüsü.....	13
Şekil 3.3. Çift faz ısıt işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik gösterimi. ..	13
Şekil 3.4. Farklı şekillerde ısıt işlem tekniklerinden sonra elde edilen çift fazlı çeliklerin mikroyapıları.....	14
Şekil 3.5. Martenzitin hacim oranının çekme mukavemetiyle ilişkisi [22].....	16
Şekil 3.6. Çift fazlı çeliklerin otomotivde kullanıldığı parçalar.	19
Şekil 4.1. CMT kaynak yönteminde oluşan entegre tel hareketi [27].	21
Şekil 4.2. CMT Pulse [27].....	22
Şekil 4.3. Negatif CMT ve Pozitif CMT kombinasyonu [29].	22
Şekil 4.4. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [27].	23
Şekil 5.1. Kaynak edilecek parçaların boyutları.	27
Şekil 5.2. CMT yöntemi ile birleştirilmiş numune ebatları.	27

Şekil 5.3. CMT yöntemi ile birleştirilmiş numune ön ve arka yüzey görüntüleri.	28
Şekil 5.4. TS EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri.....	29
Şekil 5.5. Bindirme ve alın birleştirmelerde alınan mikroyapı görüntü bölgeleri.....	30
Şekil 6.1. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.	32
Şekil 6.2. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.....	33
Şekil 6.3. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde ısılatma açıları grafiği	34
Şekil 6.4. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği	34
Şekil 6.5. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.	35
Şekil 6.6. CuSn1 alın birleştirmede 70A, 65A, 60A, 55A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	36
Şekil 6.7. CuSn1 alın birleştirmede 50A, 45A, 40A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	36
Şekil 6.8. CuSn1 alın birleştirmede 70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	37
Şekil 6.9. CuSn1 alın birleştirmede 70A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	38
Şekil 6.10. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	39
Şekil 6.11. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.	40
Şekil 6.12. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.	41
Şekil 6.13. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.	41

Şekil 6.14. CuSn1 bindirme birleştirmede 80 A, 75A ve 70 A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	42
Şekil 6.15. CuSn1 bindirme birleştirmede 65 A, 60 A ve 55 A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	43
Şekil 6.16. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	44
Şekil 6.17. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	45
Şekil 6.18. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	46
Şekil 6.19. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.....	47
Şekil 6.20. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak ısılatma açıları grafiği.....	48
Şekil 6.21. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.....	48
Şekil 6.22. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.....	48
Şekil 6.23. CuSn6 alın birleştirmede 50A, 55A ve 60A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	49
Şekil 6.24. CuSn6 alın birleştirmede 35A, 40A ve 45A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.....	50
Şekil 6.25. CuSn6 alın birleştirmede 55 A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 6.26. CuSn6 alın birleştirmede 55A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	52
Şekil 6.27. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	53
Şekil 6.28. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.....	54
Şekil 6.29. CuS6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.....	55

Şekil 6.30. CuS6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.	55
Şekil 6.31. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A, 75A, 70A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.	56
Şekil 6.32. CuSn6 bindirme birleştirmede 60A, 55A, 65A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.	56
Şekil 6.33. CuSn6 bindirme birleştirmede 80 A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.	57
Şekil 6.34. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A akım şiddetinde SEM görüntüleri.	58



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Araçlardaki farklı çelik kaliteleri ve bu çeliklerin mekanik özellikleri [6].	5
Tablo 3.1. Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi [12].	11
Tablo 3.2. Çift fazlı çeliklerin uygulama alanları [27].	18
Tablo 5.1. DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi.	25
Tablo 5.2. DP 600 çeliğinin mekanik özellikleri.	25
Tablo 5.3. CuSn1 kaynak telinin kimyasal bileşimi	26
Tablo 5.4. CuSn1 kaynak telinin mekanik özellikleri.	26
Tablo 5.5. CuSn6 kaynak telinin kimyasal bileşimi.	26
Tablo 5.6. CuSn6 kaynak telinin mekanik özellikleri.	27
Tablo 6.1. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.	31
Tablo 6.2. CuSn1 alın birleştirmede 70A akım şiddetinde EDS analizi.	38
Tablo 6.3. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.	39
Tablo 6.4. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde EDS analizi.	45
Tablo 6.5. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.	46
Tablo 6.6. CuSn6 alın birleştirmede 55A akım şiddetinde EDS analizi.	52
Tablo 6.7. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.	53
Tablo 6.8. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A akım şiddetinde EDS analizi.	58

ÖZET

Anahtar Kelimeler: DP600 çift fazlı çelik, CMT kaynak yöntemi, Otomotiv endüstrisi

Teknolojinin gelişmesi ile otomotiv sektöründe yakıt tasarrufu, yolcu güvenliği ve dayanım açısından ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçlar otomotiv tasarım ve araştırmacılarını yüksek mukavemetli çelikler üzerinde çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Yüksek mukavemet değerlerine sahip, kolay işlenebilir ve yüzeylerindeki çinko kaplamasından dolayı korozyif ortamlara karşı dayanımları olan DP600 çelikleri otomotiv sektöründe geniş kullanım yelpazesine sahip olmuştur.

Günümüzde kaynaklı birleştirme tekniklerindeki gelişmeler ile yeni araştırmalar ve AR-GE çalışmaları sonucu Soğuk Metal Transfer Kaynağı (CMT) tekniği bulunmuş ve kullanılmaya başlanmıştır. DP 600 çeliklerinin birleştirilmesinde geleneksel birleştirme yöntemleri olan Metal İnert Gaz (MIG), Metal Aktif Gaz (MAG) ve Direnç Nokta Kaynak yöntemleri yerine daha düşük ısı girdileri sağlayan Soğuk Metal Transferi kaynağının (CMT) kullanılabilirliği bu tez çalışmasında araştırılmıştır

Yapılan bu çalışmada 1,2 mm kalınlığında DP600 çift fazlı çelik saclar CMT kaynak yöntemi ile bakır esaslı CuSn1, CuSn6 ilave telleri kullanılarak, farklı akım şiddetlerinde, bindirme ve alın birleştirme geometrilerinde birleştirilmişlerdir.

Hazırlanan bu numuneler için çekme mukavemet testleri, kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı (EDS) ile element analizleri yapılmıştır. Bağlantının makro ve mikro yapı görüntüleri optik mikroskop aracılığı ile alınarak ıslatma açıları, kaynak yükseklikleri, kaynak genişlikleri hesaplanmıştır.

JOINING OF DP600 STEEL USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY BY COLD METAL TRANSFER (CMT) METHOD AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF JOINTS

SUMMARY

Keywords: DP600 dual phase steel, CMT welding method, automotive industryandsteel

With the development of technology, there has been a need for fuel saving, passenger safety and durability in the automotive sector. These needs have led automotive designers and researchers to work on high strength steels. DP600 steels with high strength values, easy workability and resistance to corrosive environments due to their zinc coating on the surface have a wide use range in the automotive sector.

With the developing technology in today's techniques, Cold Metal Transfer (CMT) welding, which is the result of new researchs and AR-GE studies, has begun to be used. The DP600 steels are joined with the CMT, which provides lower heat inputs, instead of the Metal Inert Gas (MIG) and Metal Active Gas (MAG) welding methods, which are traditional assembling methods.

In this study, DP600 dual phase steel sheets with 1.2 mm thickness were prepared by using CMT welding method and copper based CuSn1, CuSn6 with additional wires, different current intensities, overlapping and picking methods.

Tensile strength tests and microhardness distributions in the weld zone were investigatedfor prepared specimens. Elements were analyzed by scanning electron microscope (SEM) and point element analyzer (EDS). Wetting angles, weld heights and weld widths were calculated by taking through macro and microstructure images of connection through an optical microscope.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan DP600 çelikleri 600 MPa gibi yüksek mukavemetlere sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı kolay şekillendirilebilirler ve korozyif ortamlara karşı yüksek direnç gösterebilmektedirler. Bunların yanında hafif bir çelik olduklarından malzeme seçiminde dikkat çekmektedirler. Bu çelikler kimyasal kompozisyon ve yüzeyin çinko kaplı olmasından dolayı maksimum çalışma şartlarına uygunluğu açısından ideal birleştirme yöntemleri günümüz teknolojisine uygun olarak araştırılmaktadır. Genel olarak otomotiv sektöründe DP600 çeliklerine nokta direnç kaynağı ve gaz altı kaynakları uygulanmaktadır. Her ne kadar uygun parametreler seçilmiş olsa da ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar ve yüzeyde bulunan çinkonun buharlaşması problemi malzemenin distorsiyona uğramasının kaçınılmaz kılmaktadır. Yapılan araştırmalar ve sürekli gelişen teknoloji ile birlikte karşımıza çıkan CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi düşük ısılarda birleştirme sağladığından yaşanan bu problemleri minimize etmemizi sağlamaktadır. Düşük ısı girdisi sayesinde oluşan dar ITAB bölgesi, malzemenin yüzeyinde yer alan ve korozyif ortamlara karşı direnç sağlayan çinkonun buharlaşmasında önem teşkil etmektedir.

Yapılan bu çalışmada DP600 otomotiv sacının CMT kaynak yöntemi kullanılarak, CuSn1, CuSn6 ilave telleri ile farklı akım şiddetlerinde alın ve bindirme bağlantılarının mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

2.1. Giriş

Otomotiv endüstrisinin en önemli malzemelerinden olan çelik, 100 yılı aşkın bir süredir geliştirme ve uygulama vasıtasıyla kendini araç gövdesi yapıları için çok yönlü ve etkili bir malzeme olarak kanıtlamış durumdadır. Güvenlik, dayanıklılık ve ekonomi için her geçen gün artan gereksinimler, çelik üreticileri ve araç mühendislerini birlikte çalışarak, aracın çeşitli alanlarının gereksinimlerini hedefleyen yeni sınıflar geliştirmeye yöneltti [1].

19. yüzyılın sonlarında otomotiv üretimiyle başlayan araç üretimi 1900 yılında 9500 adet olup, ABD, Fransa ve Almanya'da yapılmaktaydı. 100000 adetlik üretime 1908 yılında, 1 milyon adetlik üretime ise 1915 yılında ulaşılmıştır. 1908 yılında, Ford'un Model-T üretimi ile seri üretime geçilmiştir. Bu yıllardan sonra üretimde hızlı bir artış olmuştur [2].

Gelişen teknoloji ve otomotiv sektörüne olan ihtiyaçların artması ile birlikte, yakıt tasarrufu, güvenlik vb. etmenler ön plana çıkmaya başlamıştır. Özellikle araç karoserinde hafiflik, mukavemet, mükemmel korozyon dayanımı ve güvenlik gibi gereksinimleri karşılamak amacıyla ortaya çıkan yüksek mukavemetli çelikler otomotiv sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Araçlarda kullanılan parçalarda mukavemet kaybı olmaksızın parça kalınlığının azaltılması ile ağırlık azaltılması sağlanmaktadır. Bu çelikler özellikle herhangi bir kaza anında araç gövdesinde oluşabilecek deformasyonları sönmülemeye normal çeliklere göre daha emniyetlidir [3].

2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelikler

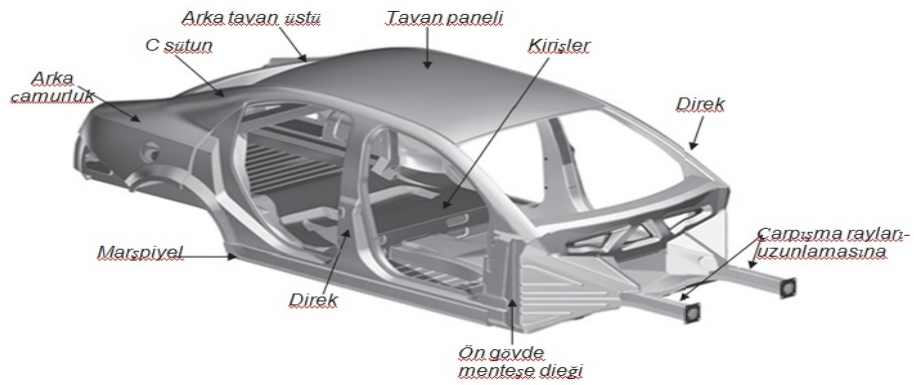
Otomotiv gövde yapılarında kullanılan çelik için, şekil verilebilirlik ve çarpışma davranışları olmak üzere iki ana başlık ele alındığında karşımıza Gelişmiş Yüksek Mukavemetli çelikler (AHSS) çıkmaktadır. Bu çelikler otomotiv yapıları için sac formunda kullanılan bir çelik sınıfıdır [4].

Gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin, mikroyapıları başlangıçta çok fazlıydı, ferrit ana fazdaydı; bununla birlikte, daha yakın zamanda piyasaya sürülen kaliteler tamamen martenzitik veya östenit esaslı olmuştur [4].

Günümüz otomotiv üretiminde geniş kullanım alanına sahip olan AHSS çeliklerinin tipleri maddeler halinde verilmiştir.

1. YP ve MC çelikleri
2. Çift fazlı DP çelikleri
3. TRIP çelikleri
4. Martenzitik çelikler
5. Mangan Boron çelikleri

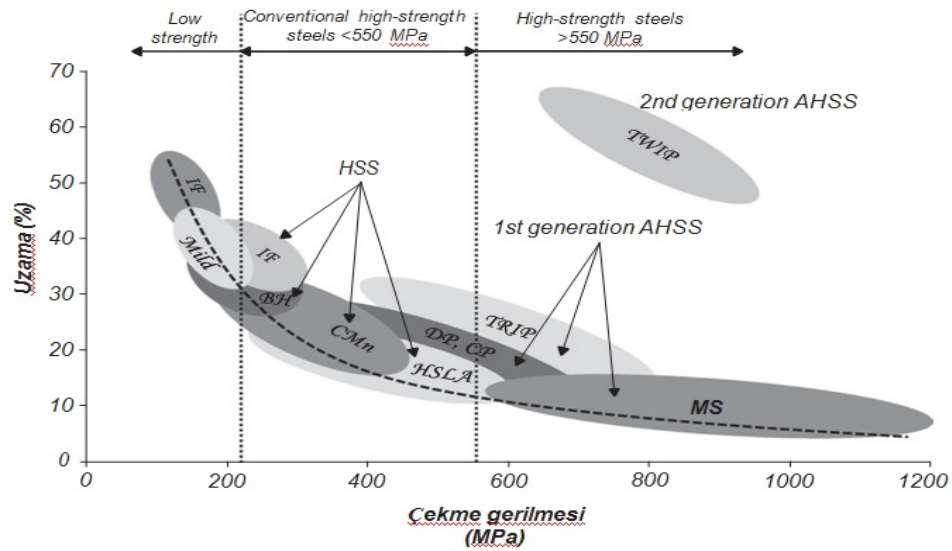
Şekil 2.1.'de verilen araç gövde unsurları, otomotiv sektöründe çelik malzemelerin en çok kullanıldığı parçalardır [4].



Şekil 2.1. Araç gövde unsurları. AISI'den uyarlanmıştır [3].

Araçlarda 700'e yakın preslenmiş ve kesilmiş, 400'e yakın talaş kaldırılarak işlem görmüş; cıvata, perçin, lehimleme, yapıştırma ile en geniş kullanım alanına sahip olan kaynak ile birleştirme gerçekleştirilmektedir. Araçlarda toplamda yaklaşık olarak 500 nokta kaynağı, 35 metre civarında ark kaynağı, 1 metre elektron ışın kaynağı ile 15 adet sürtünme karıştırma kaynağı mevcuttur. Otomasyona uygunluk en belirleyici etmen olacağından, tercihler sırasıyla elektrik ark, elektrik direnç ve gaz altı kaynak yöntemleri şeklinde olmaktadır [5].

Çelik, otomobil gövde yapıları için yüksek mukavemet ve düşük maliyete sahip birincil malzemelerdir. Otomobil endüstrisinde kullanılan ilk çelik saclar iyi şekillendirilebilirlik özellikleri bakımından önem teşkil etmekteydi. Bu ilk kullanılan çeliklerin mikroyapılarında ağırlıklı olarak ferrit vardı bu da nispeten düşük mukavemet ve yüksek süneklik sağlamaktaydı. Katı çözelti güçlendirmesi, tane inceltme ve çökeltme sertleşmesi gibi mekanizmalar kullanılarak çeliklerin mukavemetlerinin artması sağlandı. Şekil 2.2.'de günümüz teknolojisinde kullanılan çeliklerin yüzde uzama değerleri ve çekme dayanımları verilmiştir [4].



Şekil 2.2. Farklı çelik saclar için uzama ve akma mukavemeti. AHSS, gelişmiş yüksek mukavemetli çelik. BH, fırında sertleşebilir çelikler. CMn, karbon mangan çelikleri. CP, kompleks fazlı çelikler. DP, çift fazlı çelikler. HSLA, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler. HSS, yüksek mukavemetli çelikler. IF, araysız çelikler. MS, martenzitik çelikler. TRIP, dönüşüm kaynaklı plastite çelikleri. TWIP, ikizlenme kaynaklı plastite [4].

Tablo 2.1. Araçlardaki farklı çelik kaliteleri ve bu çeliklerin mekanik özellikleri [6].

Kalite	Akma muk. (MPa)	Çekme muk. (MPa)	Toplam uzama, (%)	n- değeri	r- değeri	Uyg. alan kodu
Mild 140/270	140	270	38-44	0,23	1,8	A,C,F
BH210/340	210	340	34-39	0,18	1,8	B
BH260/370	260	370	29-34	0,13	1,6	B
IF 300/420	300	420	29-36	0,2	1,6	B
HSLA350/ 450	350	450	23-27	0,22	1	A,B,S
DP350/600	350	600	24-30	0,14	1,1	A,B,C,W,S
T RIP450/ 800	450	800	26-32	0,24	0,9	A,B
DP 500/800	500	800	14-20	0,14	1	A,B,C,W
Mart 950/1200	950	1200	5-7	0,07	0,9	A,B

A= yardımcı donanım, B= gövde, C= paneller, F= yakıt tankı, S= süspansiyon/şasiler, W= tekerlekler

2.3. AHSS Çelik Türleri

Geçtiğimiz çeyrek yüzyılda, yolcu güvenliği, yakıt tasarrufu ve karbon emisyonlarını düşürme gibi etmenler otomobil tasarımcı ve mühendislerinin çalışmakta oldukları temel konular olmuştur. Bu doğrultuda yapılacak olan araç ağırlığındaki azalma yakıt tasarrufu açısından büyük önem arz etmekteydi. Tabi bu hafiflik ve yakıt tasarrufu gibi etmenlerin yanında, kaza esnasında oluşabilecek enerjiyi absorbe ederek yolcu güvenliğini sağlayacak otomobil bileşenleri düşünülmekteydi. Bu ve buna benzer gereksinimleri sağlamak amacıyla gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) geliştirildi. Geliştirilen AHSS'lerin kullanımı 2025 yılına kadar 24 milyon tona ulaşabileceği düşünülmektedir [7].

Çelik geliştirme enstitüsünün raporuna göre 2007 ile 2009 yılları arasında araçların AHSS kullanımı % 10 iken % 5 lik bir artışla %15'e yükselmiştir. Buna paralel olarak 70 kg civarında bir ağırlık tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Tata Group bünyesinde Corus 2008 raporlarında AHSS kullanımını artırarak taşıt başına 100 kg'lık hafiflik sağlanacağı ve CO2 emisyonundan tek bir taşıtın kullanımı süresince 900 kg'ın üzerinde tasarruf olacağını bildirmişlerdir. Dünyada lider konumda bulunan Arcelor Mittal 2008 raporunda da ultra hafif yüksek mukavemetli çeliklerin sayesinde gaz silindirlerinde %50, araç aksamalarında %40 azalma ve beraberinde gaz emisyonunda da azalma olduğu bildirilmiştir. Arcelor

Mittal bu sayede AHSS kullanımını arttırarak %20 daha hafif araç üretebileceğini rapor etmiştir [6].

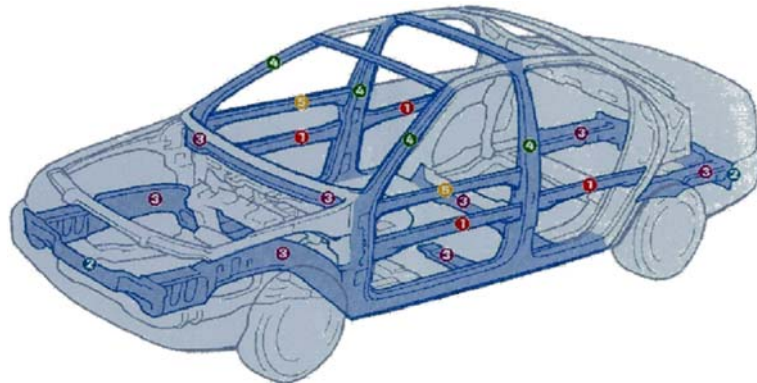
Yüksek mukavemetli çelikler 600 MPa ve üzerinde çekme mukavemetlerine sahiptirler. Bunun sağlamış olduğu en büyük avantaj ise yüksek mukavemet değerleri ve rijitliktir [7].

Tav fırınlarında üretilen yüksek mukavemetli çelikler, sürekli tavlama ısı işlemi ile östenit + ferrit fazından başlayıp gereken ısı döngüsü sağlanarak üretilirler [9].

Yüksek mukavemetli çelikler ticari olarak, kompleks fazlı (CP), çift fazlı (DP), dönüşümle plastiği arttırılmış (TRIP) ve martenzitik çelikler olarak kullanılmaktadır [7].

AHSS çeliklerinin araçlar üzerinde birçok kullanım yeri vardır. Şekil 2.3.'te AHSS çeliklerden oluşan parçalar verilmiştir.

1. Kapı takviye sacı
2. Tampon takviye sacı
3. Çapraz ve yan panaller
4. A/B kolunu takviye sac
5. Dirsek şasi takviye sacı



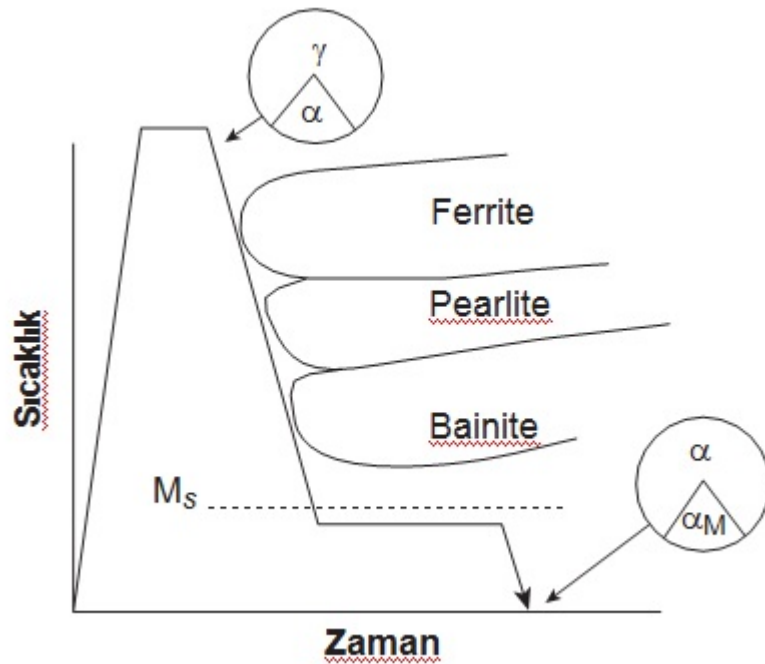
Şekil 2.3. Bir araç gövdesindeki yüksek mukavemetli çeliklerden üretilmiş parçalar (Akerstrom 2016) [10].

2.3.1. Çift fazlı çelikler (DP)

Yumuşak bir yapıda matris olarak bulunan ferritin içerisinde taneler şeklinde dağınık halde %10-30 oranında martenzit içeren çeliklerdir. Mikroyapısında bulunan ferrit ve martenzit fazından dolayı çift fazlı çelikler ismini almıştır [11].

AHSS'ler düşük alaşımlı (HSLA) çeliklere göre daha iyi dayanım ve sünekliğe sahiptirler. Bunun sonucu olarak özellikle otomotiv sektöründe geniş kullanım alanı vardır. Ağırlık bakımından yakıt tasarrufu sağlayan çift fazlı çelikler kolay şekillendirilebilirler. Yapıda bulunan ferrit fazının yumuşak olmasından dolayı şekillendirilebilme kabiliyetleri yüksektir [11].

Otomotiv sektöründe bu çelikler DP500 – DP1000 arasında sınıflara ayrılmıştır [4]. Şekil 2.4.'te verilen sıcaklık-zaman grafiğinde östenit fazından martenzitik faza geçişi sağlamak için interkritik tavlama sonrası hızlı soğutma işlemi yapılmaktadır. Östenitin hacim konsantrasyonu tavlama sıcaklığı ve zamanı doğrudan etkiler [9].

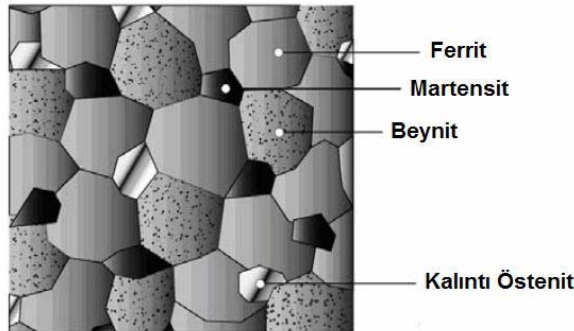


Şekil 2.4. Çift fazlı çelik üretim metodu [9].

Çift fazlı çeliklerin otomotiv sektöründe kullanım alanlarının başında kriko destekleri, tampon takviyeleri, iç ve dış kapı panelleri ve alternatör fanları gelmektedir [12].

2.3.2. Dönüşümle plastikliği arttırılmış çelikler (TRIP)

TRIP çeliklerinin mikroyapıları incelendiğinde yüksek mukavemet ve sünekliğe sahip oldukları gözlemlenmektedir. TRIP çeliklerinde sünek matris olmak üzere dağılmış sert kalıntı östenit ve karbürsüz beynit taneleri bulunmaktadır. Dönüşümle plastiği arttırılmış çelikler yüksek gerinim sertleşmesine sahiptirler. Bu yüksek gerinim sayesinde mükemmel çekilebilirlik değerleri vardır [13]. Otomotiv imalat ve tasarım aşamasında yüksek gerinim sertleşmesi parça dizaynı konusunda önem teşkil etmektedir. DP çeliklerine göre gerinim şekil verme uygulamalarında TRIP çelikleri daha iyi performans sergilemektedirler [14].



Şekil 2.5. TRIP sacların mikro yapısı

Bu çeliklerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde, % 0.25 C, % 2 Mn, % 2 Si, % 10 Cr, % 9 Ni, % 5 Mo gözlemlenmektedir. Yüksek miktarda kalıntı östenit (% 10-15) içermektedirler [11].

2.3.3. Kompleks fazlı çelikler (CP)

TRIP ve DP çeliklerinden daha yüksek mukavemet değerlerine sahip çeliklerdir. Çekme mukavemetleri 800-1200 MPa arasındadır. Diğer yüksek mukavemetli çeliklere göre daha yüksek karbon ve mangan konsantrasyonlarına sahiptirler.

Mikroyapıları incelendiğinde tane büyümesini önlemeye yardımcı olan titanyum, vanadyum ve niyobyum gibi alaşım ilaveleri vardır [7]. 800 MPa ve üzeri çekme dayanımları ve yüksek akma değerleri ile yüksek deformasyona uğrama, enerji absorpsiyonu ve artan deformasyon kapasitesine sahiptirler [14].

2.3.4. Martenzitik çelikler (MART)

Bu çeliklerin çekme mukavemetleri 900-1600 MPa arasında olup gerilimler %4-7 civarındadır. 800-1350 MPa değerlerinde akma gerilmesine sahip bu çeliklerin sertleşme davranışları düşük olup az miktarda bor, mangan, silisyum, krom, molibden, vanadyum ve nikel ilave edilerek sertleştirilebilirlik artırılabilir. Yüksek akma gerilmesi ve düşük süneklikten dolayı üretimleri oldukça zordur [7].

BÖLÜM 3. DP ÇELİKLERİ

3.1. Giriş

Otomobil endüstrisinin gelişimi ile tasarımcılar ve mühendisler araç ağırlığını düşürerek yakıt tasarrufu, iyi korozyon direnci ve yüksek mukavemet gibi entmenleri ön plana çıkararak malzeme seçimi yapmaktadırlar. Bu iyileştirme çalışmalarının neticesinde ortaya çıkan yeni nesil yüksek mukavemetli çelikler, günümüz otomotiv endüstrisinde geniş yer tutmaktadırlar. Yüksek mukavemetli çeliklerin içerisinde en çok kullanım alanına sahip olan çift fazlı (DP) çelikleri araç gövde, panel ve kaporta parçaları için üretilmektedir.

3.2. Çift Fazlı Çelikler (DP)

Çift fazlı çelikler 1937 yılında Grabe'nin %0,25 karbonlu çeliği kritik sıcaklıklarda ısıtıl işlem uygulaması ile üretilmiştir [15]. 1947 yılında Herres ve Lonig, çift fazlı çelikler üretilirken bu olayı kısmi östenitleştirme olarak tanımlayıp martenzit oluşumuna neden olduğunu söylemişlerdir [16].

Süneklik ve daha iyi dayanım açısından yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere (HSS) kıyasla daha avantajlıdırlar. Bu avantaj otomotiv sektöründeki kullanım alanlarının artmasına fayda sağlamıştır. Ayrıca çift fazlı çelikler otomotiv sektöründe şekillendirilebilirlik ve ağırlıktaki düşüş sayesinde yakıt tasarrufunda sağlamışlardır [11].

3.2.1. Çift fazlı çeliklerin üretim yöntemi

Çift fazlı çelikleri üretmek için 3 farklı yöntem mevcuttur.

1. Soğuk haddelenmiş sürekli tav veya sıcak haddelenmiş sürekli tav
2. Soğuk haddelenme ve kutu tavı
3. Haddelenmiş durumda kullanılmak üzere sıcak sac haddesi [15].

Günümüz endüstrisinde kullanılan çift fazlı çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 3.1.'de verilmiştir [12].

Tablo 3.1. Çift fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi [12].

Üretim Yöntemi	Bileşim, %						
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	N
Sürekli tavlama, soğuk haddelenmiş	0.11	1.43	0.61	0.12	0.08	0.06	0.01
Sürekli tavlama, sıcak haddelenmiş	0.11	1.20	0.40	-	-	-	-
Kuru tavlama	0.12	2.10	1.40	-	-	-	-
Haddelenmiş halde	0.06	0.90	1.35	0.50	0.35	-	-

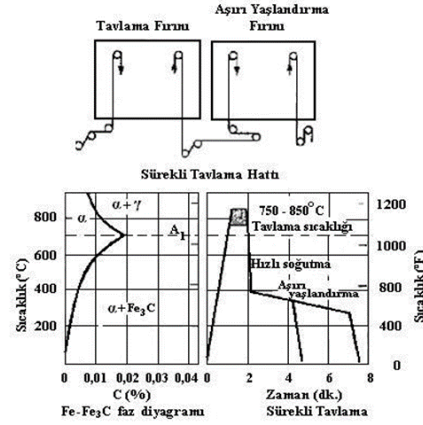
Sıcak veya soğuk haddelenmiş saclar demir – sementit faz diyagramında ‘ferrit+östenit’ faz bölge sıcaklıklarında 1 ila 2 dakika sürekli tavlanaarak kontrollü bir şekilde soğutulur. Bu şekilde elde edilen DP çeliklerinin özellikleri, sıcaklığın yanında sacın fırındaki hareket hızına da bağlıdır [15].

Betlehem firmasının kullanmış olduğu sürekli tavlama metodu şematik olarak Şekil 3.1.'de verilmiştir. Aşağıda yer alan sacların üretimleri bu hat ile gerçekleştirilebilir ;

1. Katı eriyikle mukavemetlendirilmiş saclar,
2. Çökelme ile mukavemetlendirilmiş çelik saclar,
3. Düşük alaşımlı çift fazlı çelikler,
4. Yüksek alaşımlı çift fazlı çelikler,
5. Toparlanma tavlamaşı uygulanmış çelikler.

Kutu tavı olarak isimlendirilen bu üretim şeklinin dar bir kullanım alanı vardır. Genellikle ince sacların imalatı için uygulanan bu yöntemde, saclar soğuk haddeden geçerek gereken kalınlığa getirilmesinin ardından rulo şeklinde sarılır. Bu rulolar ‘Ferrit+Östenit’ faz bölgesi sıcaklıklarında tavllanır. Çeliğin

kompozisyonlarına göre hava yada suda soğutulur. Bu işlemin maliyetinin düşük olması büyük avantaj sağlamaktadır [17].

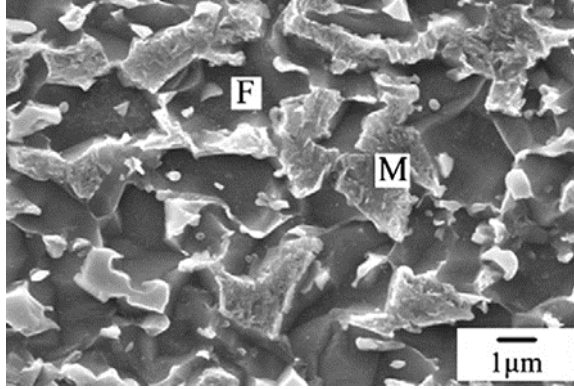


Şekil 3.1. Sürekli tavlama hattının şematik gösterimi [17].

Bu yöntemde sıcak haddelenmiş malzemeye iki aşamalı soğutma uygulanmaktadır. Haddenin son aşamasından hemen sonra, mikroyapının % 80-90 ferrit yapıdan oluşmasını sağlamak amacı ile uygun bir hızla soğutma yapılır. %10-20'de, rulo sarımından hemen sonra soğutma ile martenzit fazına geçirilmiş olur. Fakat hadde yöntemi ile üretilen çift fazlı çeliklerde, ilk soğuma kademesinde perlit, hemen sonraki soğuma aşamasında ise beynit oluşumunun önüne geçmek için, ferrit dönüşüm hızlı, perlit ve beynit dönüşümleri yavaş olmalıdır [15].

DP çeliklerinde mikroyapı demir-sementit faz diyagramında A1-A3 sıcaklıkları aralığında ısıtılıp, belirli bir süre bekletildikten sonra, östenitin martenzit fazına dönüşeceği bir hızda soğutma işlemi yapılır [15].

Çeliğin içerisinde bulunan martenzit fazının yapısı sert olup, çelik mukavemetini yüksek olmasının sebebi buna bağlıdır. Bu yüksek mukavemet, çeliğin karbon miktarı, tavlama sıcaklığı ve östenitin sertleşebilirliğine göre farklılık göstermektedir.

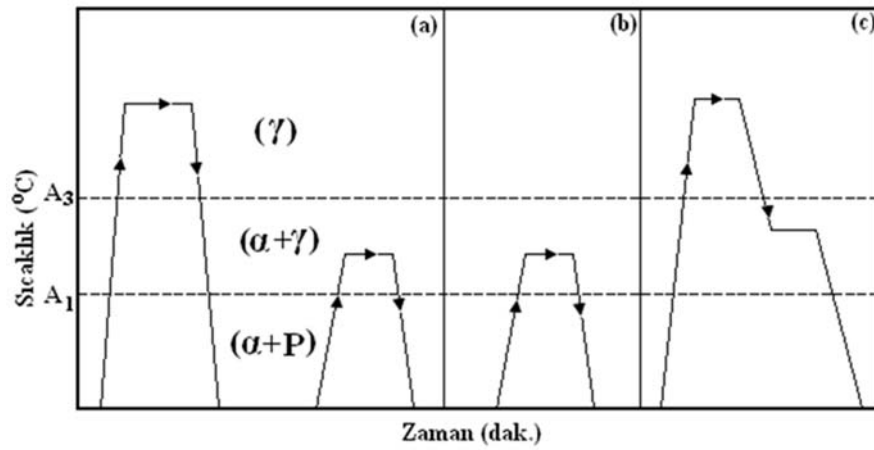


Şekil 3.2. (F) ferrit ve (M) martenzit yapılarının elektron mikroskobu altındaki görüntüsü.

DP çeliklerinin mikroyapıları dönüşüm yollarına göre değişkenlik gösterdiğinden, farklı ısıt işlemler uygulanarak üretilen mikroyapılar da benzerlik göstermemektedir. Çift fazı elde etmek için başlıca ısıt işlemler;

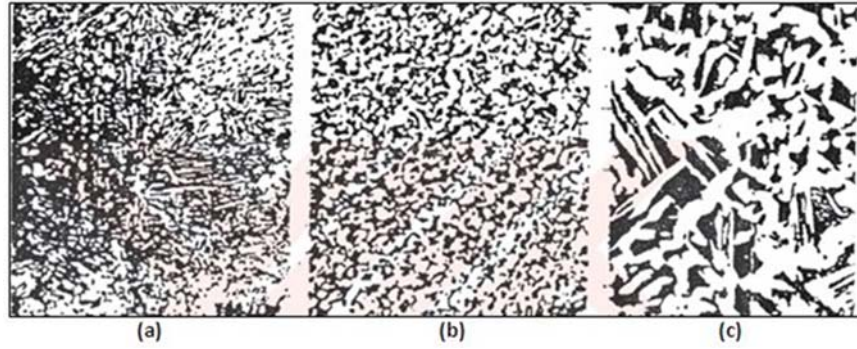
1. Ara su verme
2. Kritik sıcaklıkların arasında bir bölgede tavlama
3. Basamaklı su verme

Şekil 3.3.'te bu kademelerin şema şeklinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Çift faz ısıt işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik gösterimi.

a) Ara su verme b) Kritik sıcaklıklar arasında bir bölgede tavlama c) Kademeli su verme [19].



Şekil 3.4. Farklı şekillerde ısıt işlem tekniklerinden sonra elde edilen çift fazlı çeliklerin mikroyapıları.

a) Ara su verme b) Kritik sıcaklıklar arasında bir bölgede tavlama c) Kademeli su verme [19].

Şekil 3.3.'te a) ostenit bölgesinden su verilmiş çeliğin yeniden çift fazlı bölgeye ısıtılması, primer martensit dilim sınırları boyunca ostenitin çekirdeklenmesine neden olur. Sonuç olarak lifli martensit, ferrit içinde dağılmış olur (Şekil 3.4.).

Şekil 3.3.'te b) ferrit+östenit bölge sıcaklıkların tavlama işleminde çeliğin ilk mikroyapısı otektoidaltı ferrit ve perlittir. Çift bölgede tavlama ile oluşan ostenit, karbür ara yüzeyinde çekirdeklenerek büyür. Su verme işleminden sonra mikroyapı, ferrit sınırlarında ince küresel martenziti oluşturur (Şekil 3.4.).

Şekil 3.3.'te c) östenitleme su vermeden önce yapılır, ardından $\alpha+\gamma$ bölgesinde bir sıcaklıkta çelik soğutulur. Isı çift fazlı bölgeye kadar düştüğünde ferrit, ostenit tane sınırlarında çekirdeklenerek büyür. Oluşan bu ferrit ve östenitli yapı hızlı soğutulduğunda kaba martenzitleri meydana getirir. (Şekil 3.4.) [19].

Su verme işleminin ardından kritik sıcaklıklardan ısı düşürülerek yapılan bu ısıt işleminde ostenit martensit fazına dönüşmemektedir. Yapıda azda olsa (%2–9) ostenit kalmaktadır. Buna da kalıntı östenit denilmektedir [24]. Oluşan bu kalıntı östenit oranını en düşük oranlarda tutmak için malzeme -70°C ' sıcaklıklara kadar soğutulur veya bunun yerinde temperleme yapılır ya da deformasyon ile kalıntı ostenit martensite dönüştürülebilir [8].

3.2.2. Çift fazlı çeliklerde mekanik özellikler

Mekanik özellikler bakımından çift fazlı çeliklerin akma dayanımları düşük ve çekme mukavemetleri yüksek olup, yüksek pekleşme hızının yanında yüksek deformasyon gibi çekme özellikleri göstermektedir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere göre çift fazlı çelikler aynı çekme mukavemetlerinde fakat toplam uzama değerleri farklı olmaktadır. Buda şekillendirilebilirliğin yüksek olması ve sonrasında yüksek mukavemet değerleri anlamına gelmektedir [15].

3.2.2.1. Çift fazlı çeliklerde akma mukavemeti

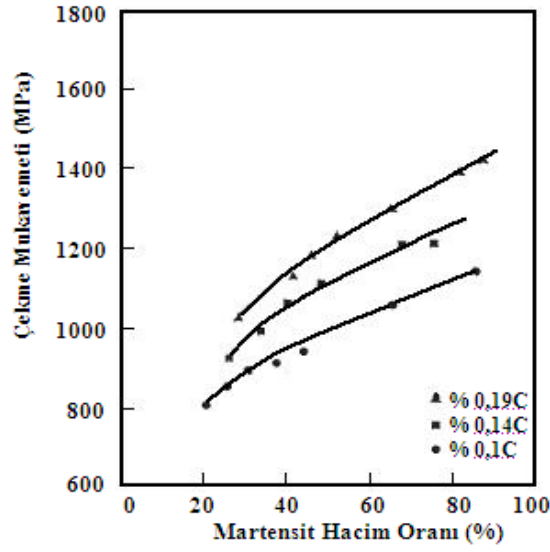
Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı ve sade karbonlu çelikler ile kıyaslandığında çift fazlı çeliklerin akma mukavemetlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanında belirgin bir akma mukavemetleri olmayıp sürekli akma özellikleri vardır. Bunun sebebi, östenitten martenzite dönüşümde kimyasal kompozisyona bağlı olarak %2-4 oranlarında hacim büyümesinden ötürü matris olan ferritin deformasyonu ile martenzit parçalarının hareketli dislokasyon yoğunluğu ile birlikte iç gerilmelerin artmasına bağlanmaktadır [20,21].

3.2.2.2. Çift fazlı çeliklerde çekme mukavemeti

Çift fazlı çeliklerde martenzitin hacim oranının çekme mukavemetine etkisi vardır. Bu aradaki ilişkiyi veren formül Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$\sigma_{\zeta} = 235 + 3,8(MHO) \quad (3.1)$$

Şekil 3.5.’te verilen grafikte çift fazlı çeliklerin martenzit hacim oranı ile çekme mukavemeti arasında ki ilişki gösterilmiştir [22].



Şekil 3.5. Martenzitin hacim oranının çekme mukavemetiyle ilişkisi [22].

3.2.2.3. Çift fazlı çeliklerde kopma

Çift fazlı çelikler için yapılan çekme deneylerinde uygulanan kuvvet ile malzemenin boyun vermeye başladığı bölgede oluşan mikro boşluklar ve şekil değişimi çatlak oluşumunu tetiklemektedir. Bu yüzden kopmanın iki kademesi vardır. Birinci mikro boşluk oluşumu, diğeri ise çatlak ilerlemesi ile birlikte malzemenin kopmasıdır [23].

Çift fazlı çeliklerde çatlak oluşumu mikroyapıda bulunan sert martenzit üzerinde yada metalik olmayan inklüzyonlarda meydana gelmektedir. Boşlukların martenzit üzerinde oluşması, martenzit-ferrit ara yüzeyinin ayrışıp gevrek kırılmanın oluşmasına neden olur [23].

3.2.2.4. Çift Fazlı Çeliklerde Süneklik

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere göre çift fazlı çelikler daha yüksek süneklik sergilemektedir [23]. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin uzama değerleri maksimum %18'e kadar arttırılabilirken, çift fazlı çelikler %28'lere kadar arttırılmaktadır. Çift fazlı çelikler, süneklikteki bu avantaj sayesinde ticari anlamda geniş kullanım alanı bulmuşlardır [24].

Ferrit hacim oranı ve morfolojisi sünekliği doğrudan etkileyen faktörlerdir. Hacim oranının %70'den fazla olması ve ferritin saf olması durumunda iyi bir süneklik sağlanmış olur [21,25]. Martenzitin karbon içeriğinin düşük olması ve çatlak oluşumunun azalması ile sünekliğin artması sağlanmaktadır [16].

3.2.2.5. Çift fazlı çeliklerde alaşım elementlerinin etkisi

Çift fazlı çelikler üretim şekillerine göre üç şekilde üretilirler. Bunlar; düşük karbonlu, az alaşımlı ve alaşımsız çift fazlı çeliklerdir. Karbon oranları düşüktür. %0,06-0,20 aralıklarındaki karbon içeriğinde değişimler mikroyapıda büyük farklılıklar sağlar. Temel alaşım elementleri C, Si ve Mn'dır. Alaşım elementlerinin oranı mukavemette artış sağlarken uzama değerlerinde düşüş sergiler. Mn %1-1,5 oranında bulunduğu takdirde soğuma esnasında martenzit dönüşüme yardımcı olmaktadır. Cr ve Mo oranı en fazla %0,6 olmalıdır. Cr ve Mo interkritik tavlama sıcaklığını ve martenzit dönüşümü etkilemektedir. Katı eriyik sertleşmesini sağlayan alaşım elementi ise Si'dur. Tane boyutunun kontrolüne yardımcı olan ve çökelti sertleşmesini sağlayan alaşım elementleri ise çok az miktarda bulunan V, Nb ve Ti'dur [11].

3.2.2.6. Çift fazlı çeliklerin kullanım alanları

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin şekillendirilebilirliğinin düşük olması, otomobil endüstrisinde yerini çift fazlı çeliklere bırakmasına neden olmuştur. Yüksek mukavemet ve yüksek süneklik kombinasyonu araçlarda tekerlek içerisindeki jantı, koltuk iskeletini oluşturan çerçevesi, tampon gibi komponentlerde kullanıma olanak sağlamıştır. Orta boyutlarda bir araçta bulunan 250 kg'lık çelikten 50-80 kg kadar tasarruf sağlanarak yakıt düşüşüne olanak verilmiştir [26].

Tablo 3.2. Çift fazlı çeliklerin uygulama alanları [27].

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

Çift fazlı çelikler her geçen gün otomotiv endüstrisinde vazgeçilmez bir malzeme olmaktadır. Yeni geliştirilmiş 600 MPa mukavemete sahip DP600 çeliği özellikle karoserde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik, iyi korozyon direnci ve iyi zımbalama karakteristiği bakımından otomotiv endüstrisinde tercih sebebidir [14].

BÖLÜM 4. SOĞUK METAL TRANSFER KAYNAK YÖNTEMİ (CMT)

4.1. Giriş

Sürekli gelişen teknoloji ile birlikte modern birleştirme teknikleri talepleri karşılamak amacıyla yeni uygulamalara yer vermektedir. Bu taleplerden önemli bazı kriterler şunlardır; İşlem kararlılığı, tekrarlanabilirlik ve ekonomiklik [27].

Günümüzde çok sayıda birleştirme tekniği mevcuttur, fakat asıl üzerinde durulacak nokta, birleştirmenin nasıl yapılacağı değil, en iyi birleştirmenin nasıl yapılacağıdır [27].

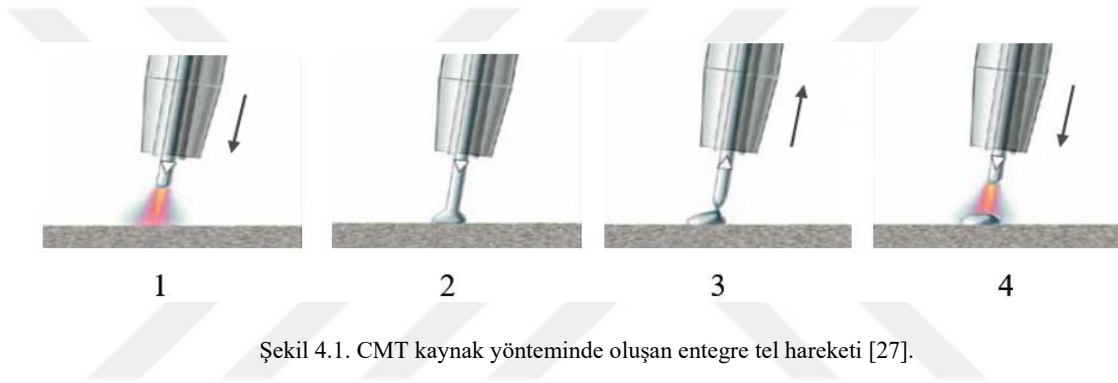
En çok uygulama alanı ile kaynak teknolojileri otomotiv sektöründe önem arz etmektedir. Kaynak teknolojileri sayesinde, otomotiv sektörü hız kazanmıştır, kalite ve maliyet açısından da önemli bir noktaya gelinmiştir [27].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yapılan AR-GE çalışmaları sonucu ortaya çıkan soğuk kaynak işlemi (CMT) ile tüm malzemelerde iyi sonuçlar elde edilerek, dünyanın en kararlı arkı sağlanıp, eksiksiz bir proses regülasyonu sunulmuştur.

4.2. CMT Birleştirme Yöntemi

CMT tamamen dijital inverter güç kaynakları ile yapılır. Bu kaynak sistemi esas itibarıyla MIG/MAG için kullanılan, tekniğin en son durumuna uygun sistem donanımı ile çalışır. Ancak spesifik gereksinimler dikkate alınmalıdır. Bu ilişkide torç ile bitişik dinamik tel tahrikini özellikle belirtmek gerekir. Tam kontrollü bir metal geçişi için yüksek frekans ve yüksek hassasiyet temel koşullardır.

CMT kaynak yöntemi incelendiğinde, entegre tel hareketi sayesinde dijital işlem regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devrenin kontrolü ile akım düşük seviyede tutularak, çapaksız bir metal geçişi sağlanır. Kaynak sırasında tel öne doğru hareket eder ve kısa devre oluşur oluşmaz tekrar geriye çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir. Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesinden yada hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [27]. Şekil 4.1.'de CMT kaynak yönteminde oluşan entegre tel hareketi verilmiştir.



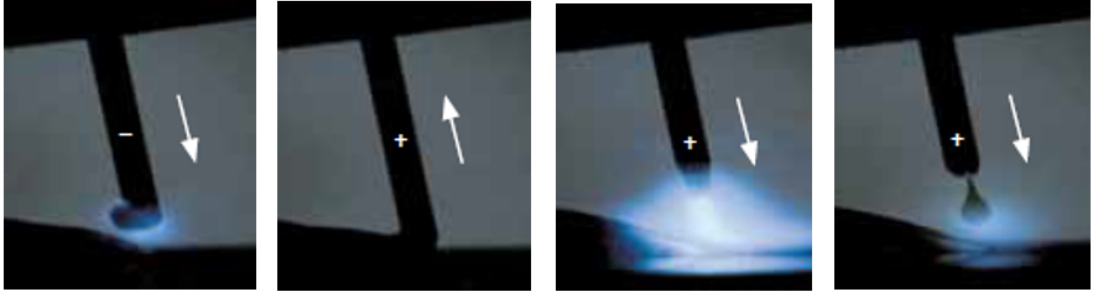
Şekil 4.1. CMT kaynak yönteminde oluşan entegre tel hareketi [27].

Verilen şekil 4.1. incelendiğinde 1 numaralı işlemde, ark yanma fazında, dolgu malzemesi kaynak banyosuna doğru hareket ettirilir. 2 numaralı işlemde, dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılmasıyla ark söner ve kaynak akımı azalır. 3 numaralı pozisyonda, telin geriye doğru hareketi kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olarak kısa devre akımı düşük seviyede tutulur. 3 numaralı pozisyonda ise, telin hareket yönü tersine çevrilir ve işlem yeniden başlatılır [27].

4.3. CMT Birleştirmede Uygulanan Yöntemler

4.3.1. CMT pulse

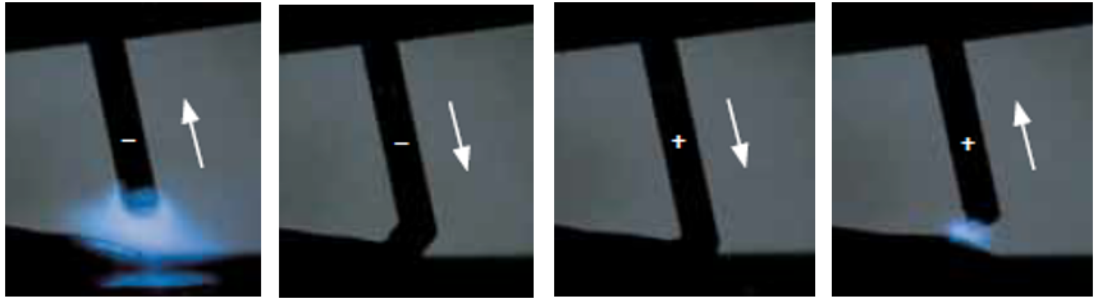
Bu işlemde bir darbe döngüsünü bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. Hedeflenen ayarlanabilir değişken darbe ilavesi çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlar [27].



Şekil 4.2. CMT Pulse [27].

4.3.2. CMT advanced

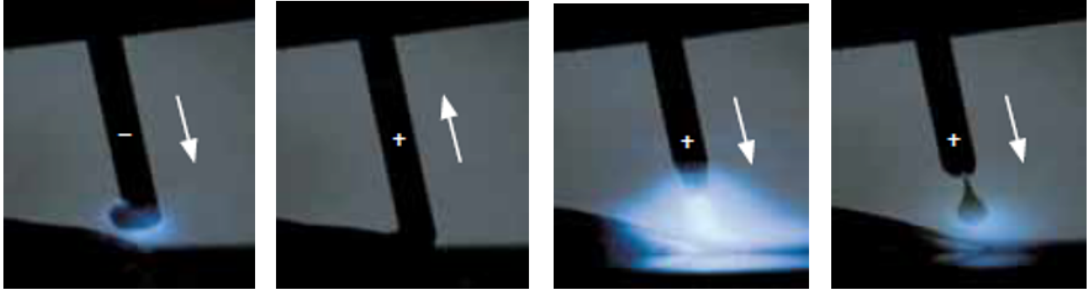
Daha soğuk olan bu işlemde kaynak akımının polaritesi işlem regülasyonuna entegredir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir, böylelikle kanıtlanmış CMT işlem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmıştır. Sonuç ise hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve %60' a kadar daha yüksek erime gücü sağlar [27].



Şekil 4.3. Negatif CMT ve Pozitif CMT kombinasyonu [29].

4.3.3. CMT advanced pulse

Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve arka yüksek düzeyde hakimiyet hedeflenir [27].



Şekil 4.4. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [27].

4.4. Yöntemin Sağladığı Üstünlükler

4.4.1. Entegre tel hareketi

Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur [27].

4.4.2. Düşük ısı girdisi

Kaynak sırasında tel öne doğru hareket eder ve kısa devre oluşur oluşmaz tekrar geriye çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir [27].

4.4.3. Çapaksız bir kaynak

Telin geriye doğru hareketi, kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Sonuç ise çapaksız bir metal geçişi sağlanır [27].

4.4.4. Kararlı ark

Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [27].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinden, çift fazlı çelik olarak adlandırılan DP 600 sacının CMT yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde, DP600 sacının %100 argon koruyucu gaz atmosferinde, Cusn1 ve CuSn6 ilave telleri kullanılarak, bindirme ve alın birleştirmelerde, farklı akım şiddetlerinde birleştirilebilirlik belirlenmiştir.

DP 600 saclarına CMT yönteminin tatbiki sonucu kaynak bağlantılarında galvanik koruma sağlanmaktadır. Diğer birleştirme türlerinde meydana gelen galvaniz tabakasının sıcaklık etkisiyle buharlaşıp ortamdan uzaklaşmasına karşı bir çözüm olarak görülmektedir. CMT uygulaması koruyucu gaz altında yapılan kaynak işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlemde nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlar kullanılarak birleşme bölgesine giren ısı girdisinin azaltılması, buna bağlı olarak uygulanan bölgedeki çarpılmanın ve yüzeydeki galvaniz tabakasının kaynak işlemi uygulanırken buharlaşmasının önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilerek, birleştirilen numunelere uygulanan mikroyapı, mikrosertlik, çekme ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv sektöründe kullanılan çift tarafı galvaniz kaplamalı 1,2 mm kalınlığındaki DP 600 serisi saclardır. Yüksek mukavemet ve şekillendirilme kabiliyeti nedeniyle tamamen otomobil parçaları için kullanılan DP 600 çeliğinin spektrometrik analizi Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al
0,091	0,239	1,858	0,011	0,001	0,573	0,004	0,024	0,039
%Cu	%Nb	%V	%N	%B	%Sn	%Ti	%Al-ZO	%Fe
0,012	0,001	0,004	0,0035	0,0001	0,001	0,002	0,038	96,282

DP 600 çeliğinin çekme ve sertlik testleri sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. DP 600 çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı(N/mm ²):	365
Çekme Dayanımı(N/mm ²):	635
Uzama (%):	24
Sertlik(HV):	195

5.3. Uygulanan Kaynak İşlemleri

DP 600 numunelerine 1mm çapındaki CuSn1 ve CuSn6 bakır alaşımlı kaynak teliyle CMT işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

5.3.1. CuSn1 kaynak teli

Saf bakır ve düşük alaşımlı bakır alaşımlarının kaynağında kullanılan gazaltı kaynak telidir. Genellikle saf bakırdan yapılmış elektrik ve ısı iletkenlerinin birleştirme ve dolgu kaynağında kullanılır. Oksijeni giderilmiş bakırın ve yüksek gerilmelere maruz bakır malzemelerin kaynağına uygundur. Kaynak metali gözeneksizdir ve kolay işlenebilir [28].

Tablo 5.3. CuSn1 kaynak telinin kimyasal bileşimi

% Sn	% Si	% Mn	% Cu
0,50 – 1,00	< 0.50	0,10 – 0,50	Kalan

Tablo 5.4. CuSn1 kaynak telinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı(N/mm ²):	100
Çekme Dayanımı(N/mm ²):	220
Uzama (%):	30
Sertlik(HV):	60

5.3.2. CuSn6 kaynak teli

Bakır - Kalay (Cu - Sn; bronz), Bakır - Çinko (Cu - Zn; pirinç) ve Bakır - Kalay - Çinko - Kurşun (Cu - Sn - Zn - Pb) alaşımlarının gazaltı kaynağında ve yüzey kaplamasında kullanılır. Bakır alaşımlarının çeliklerle birleştirilmesinde, bronz dökümlerin tamir kaynağında, dökme demirlerin ve çeliklerin yüzeylerinin kaplanmasında kullanıma da uygundur. Büyük parçaları, örneğin; 5 mm den daha kalın malzemeleri kaynak yaparken 250°C de ön tav yapılmalıdır [28].

Tablo 5.5. CuSn6 kaynak telinin kimyasal bileşimi.

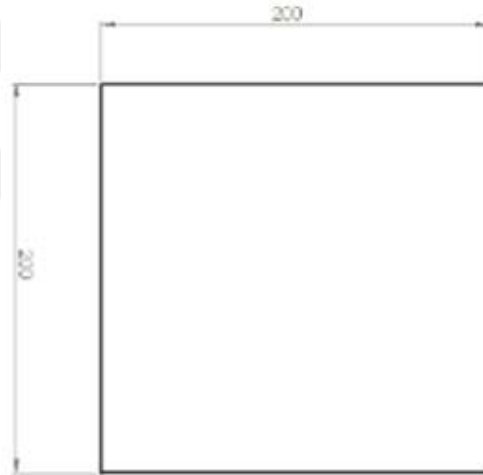
% P	% Cu	% Sn
0,01 – 0,40	Kalan	4,00 – 7,00

Tablo 5.6. CuSn6 kaynak telinin mekanik özellikleri.

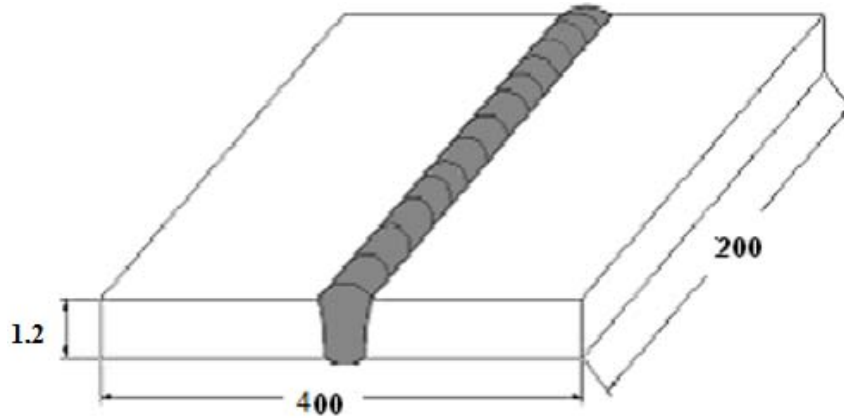
Akma Dayanımı(N/mm ²):	160
Çekme Dayanımı(N/mm ²):	260
Uzama (%):	25
Sertlik(HV):	80

5.4. Numune Hazırlama

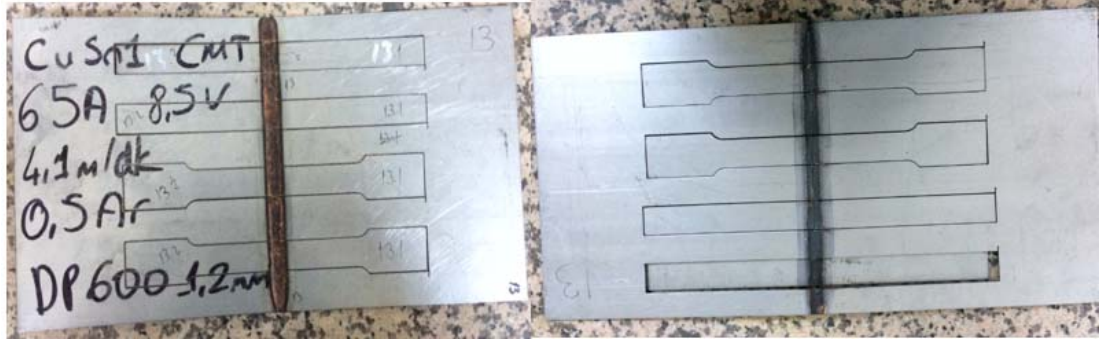
Kaynak öncesi 1,2 mm kalınlığındaki DP600 sac plakalar hadde yönleri belirlenerek, 200 x 200 mm ölçülerinde hidrolik giyotin makas ile kesilmiştir. Kesilen bu parçaların yüzeylerinde bulunabilecek yağ ve kirden arınması için aseton ile temizlenmiştir.



Şekil 5.1. Kaynak edilecek parçaların boyutları.



Şekil 5.2. CMT yöntemi ile birleştirilmiş numune ebatları.



Şekil 5.3. CMT yöntemi ile birleştirilmiş numune ön ve arka yüzey görüntüleri.

5.5. Kaynak İşlemi

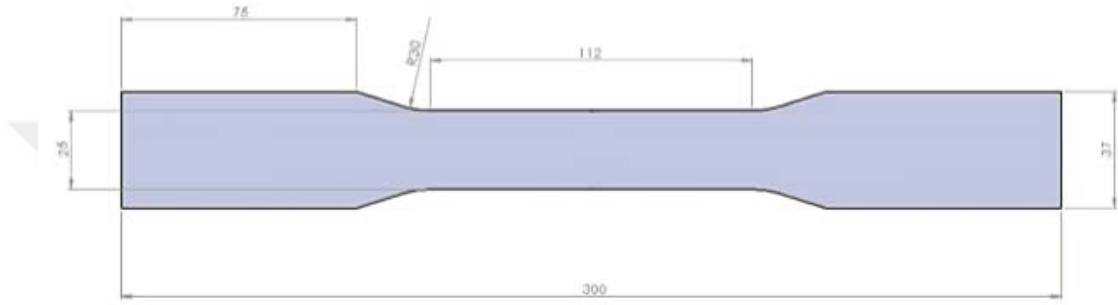
Kaynak işlemi, akım kontrollü, 270 Amper kapasiteye sahip Trans Plus Symenrgic 2700 CMT kaynak makinesi ile yapılmıştır. Kaynak işlemleri daha önceden belirlenen hadde yönüne dik (90°) olarak yapılmıştır. Daha önce yapılmış olan bindirme ve alın birleştirme yöntemleri hakkındaki araştırmalar gözlemlenmiştir. Birleştirme işlemlerinin düzgün bir şekilde uygulanabilmesi için vidalı kalıp sistemi kullanılmıştır. Yapılan kaynaklı birleştirmenin hassasiyeti açısından, kaynak ilerleme hızı ve torç açısını sabitleyebilmek için kaynak robotu kullanılmıştır.

5.6. Sertlik ve Metalografik İncelemeler için Numune Hazırlama

CMT yöntemi ile alın altına ve bindirme şeklinde birleştirilmiş levhalardan kesilerek çıkarılan numuneler, hassas numune kesim cihazında kesilmiştir. Ardından kesilen bu numuneler deneysel çalışmaların hassasiyeti açısından sıcak bakalite alınmıştır. Kesilen numunelerin yüzeylerinde oluşan deformasyonu gidermek için sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500' lük zımpara kağıtlarıyla zımparalama işlemi yapılmıştır. Her zımpara geçişlerinde numuneler 90° çevrilerek yüzeyde yer alan çizgilerin kaybolması sağlanmıştır. Parlak ve yansıtıcı bir yüzey elde edebilmek için $1\ \mu\text{m}$ elmas süspansiyon ile parlatma işlemi yapılmıştır. Mikroyapı ve SEM incelemelerini yapmak ve taneleri ortaya çıkarmak için parlatılmış numuneler %5'lik Nital çözeltisi ile 8-12 s aralığında dağlanmıştır.

5.7. Çekme Deneyi

CMT kaynak işlemi yapılan DP 600 çeliğinin statik yük altında elastik ve plastik davranışlarını incelemek amacı ile 5 tonluk Shimadzu marka çekme deney cihazı ile çekme deneyleri yapılmıştır. TS EN 895 standardına göre hazırlanan çekme deneyi numunelerinin ölçüsü Şekil 5.4.'te verilmiştir. 20 mm/dk olarak çekme hızı sabitlenmiştir.



Şekil 5.4. TS EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekme deney numunesi ölçüleri.

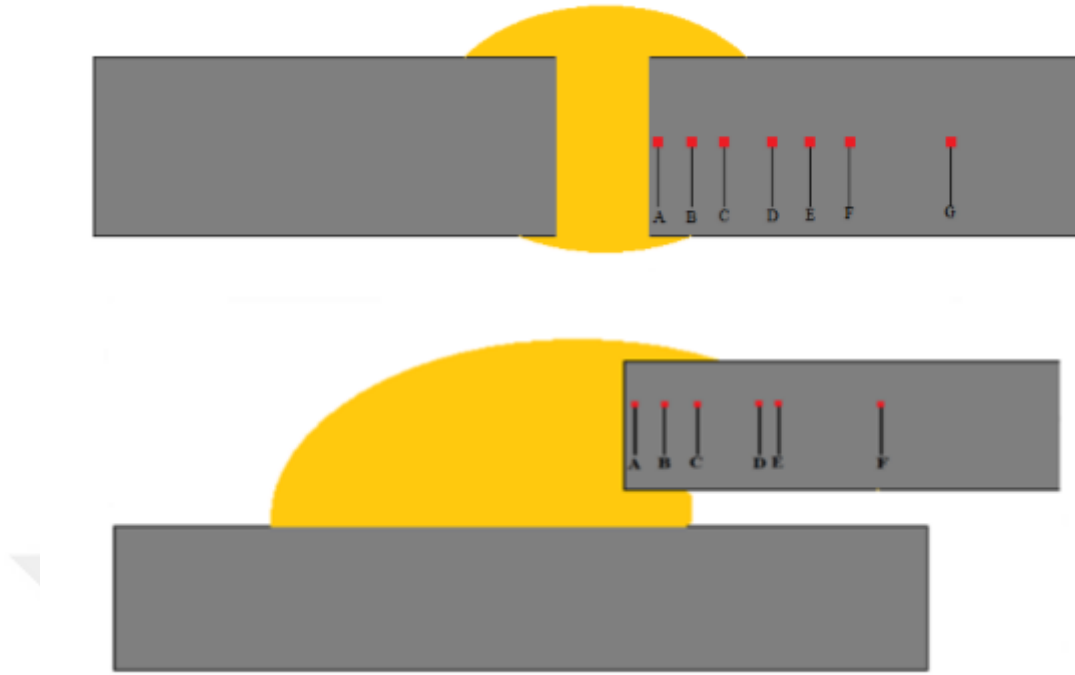
5.8. Makroyapı ve Mikroyapı İncelemeleri

5.8.1. Makroyapı incelemesi

Hem alın hem de bindirme birleştirmelerin, kaynak birleştirmelerinin, kaynak dikişi genişliğinin, kaynak dikiş yüksekliğinin ve alın birleştirmelerdeki ısılatma açılarının tespiti için makroyapı incelemeleri yapılmıştır.

5.8.2. Mikroyapı incelemesi

Metalografik incelemeler için hazırlanan numunelerin, nikon marka metal mikroskop cihazı ile mikroyapı görüntüleri Şekil 5.5.'te verilen noktalardan alınmıştır.



Şekil 5.5. Bindirme ve alın birleştirmelerde alınan mikroyapı görüntü bölgeleri.

5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

CMT-kaynak yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ara bölge ve lehim bölgesi olmak üzere SEM görüntüleri çekilmiş ve aynı bölgelerden EDS(elektron kırınım spektroskopisi) analizleri alınmıştır. Bunun için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

5.10. Sertlik Ölçümleri

Laboratuvar ortamında yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış, 100 gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Wolpert- Wilson marka cihaz ile yapılmıştır. Ölçümler, kaynak bölgesinin ortasından başlanarak ana malzemenin sertliğine ulaşıncaya kadar yapılmıştır. Alın birleştirmede sıra sertlikler kaynak bölgesinde 0,1 mm aralıkta alınırken diğer bölgelerde ise 0,5 mm aralıklarda alınmıştır. Bindirme birleştirmede ise kaynak bölgesinden itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. CMT Kaynak Yöntemi ile DP 600 Sacının Birleştirilmesi

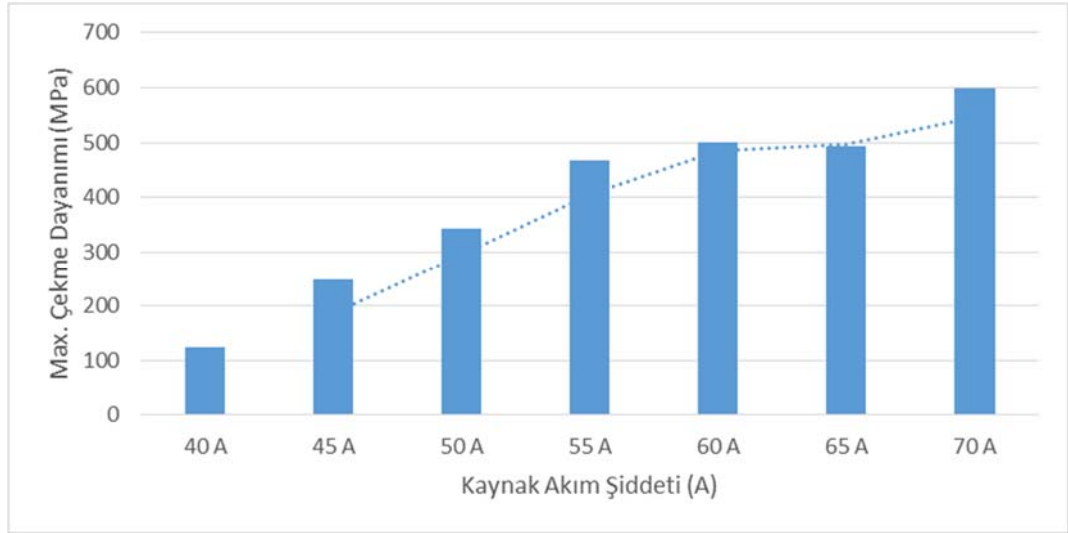
6.1.1. CuSn1 ilave metali ile yapılan alın birleştirmeler

6.1.1.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.1.'de DP600 çeliği için CuSn1 ilave metali kullanılarak uygulanan alın birleştirmelerin, CMT kaynak parametreleri ve elde edilen çekme mukavemet değerleri verilmiştir.

Tablo 6.1. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.

Kaynak Akım Şiddeti (A)	Gaz Debisi (L/dk)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Kaynak Aralığı (mm)	Kaynak Teli Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Çekme Muk. (MPa)
40	12	24	0,5	2,8	8,4	125
45	12	24	0,5	3,1	8,4	248
50	12	24	0,5	3,5	8,4	342
55	12	24	0,5	3,6	8,4	468
60	12	24	0,5	3,9	8,5	500
65	12	24	0,5	4,1	8,5	492
70	12	24	0,5	4,4	8,6	598

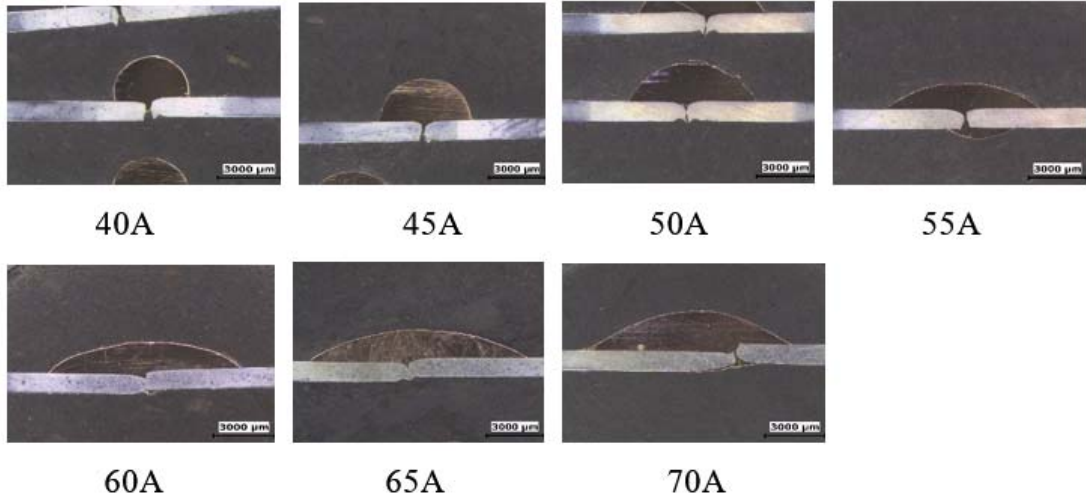


Şekil 6.1. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

Şekil 6.1.'de görüldüğü üzere DP 600 sacının CuSn1 ilave teli ile CMT kaynak yönteminde alın birleştirmelerinin artan akım şiddetine göre çekme dayanımlarının değişimleri verilmiştir. 40A' de çekme mukavemeti 124 MPa iken, 70A' de 598 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. Kaynak akım şiddetinin artması ile elde edilen çekme mukavemetindeki artış yaklaşık % 80 civarındadır. 40A, 45A ve 50A akım şiddetlerinde numuneler kaynaktan kopmuştur. 55A, 60A, 65A ve 70A akım şiddetlerinde numuneler ITAB' dan kopmuşlardır. 70A sonrasında yapılan çalışmalarda birleşme sağlanamamıştır.

6.1.1.2. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

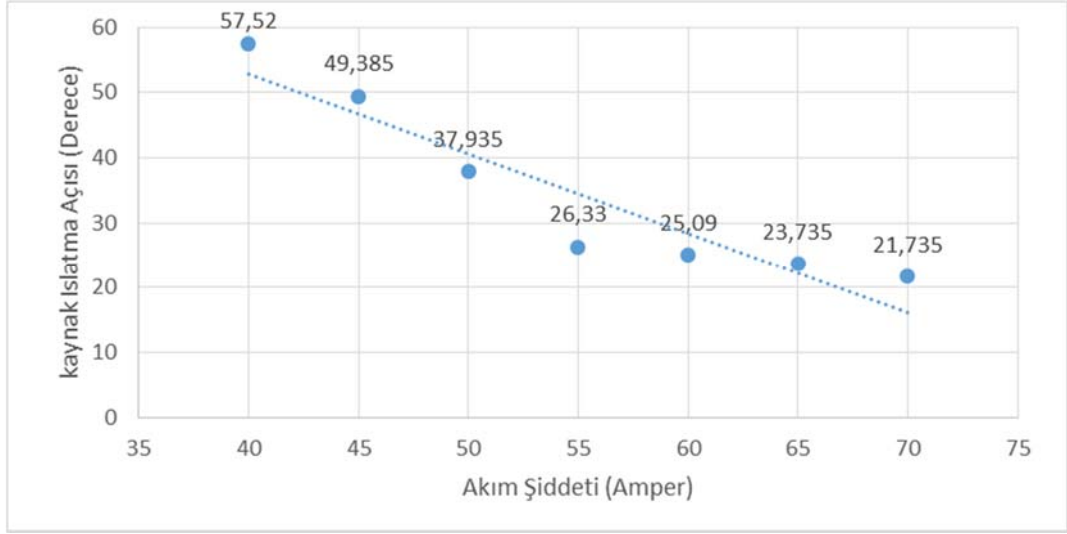
Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisini inceleyebilmek için DP 600 sacının CuSn1 ilave metali kullanılarak CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve daha önce metalografik işlemlerden geçirilmiş numuneleri için makro yapı fotoğrafları Şekil 6.2.'de verilmiştir. Çekilen makro görüntülerden gerekli ölçüler alınarak ıslatma açıları tespit edilmiştir.



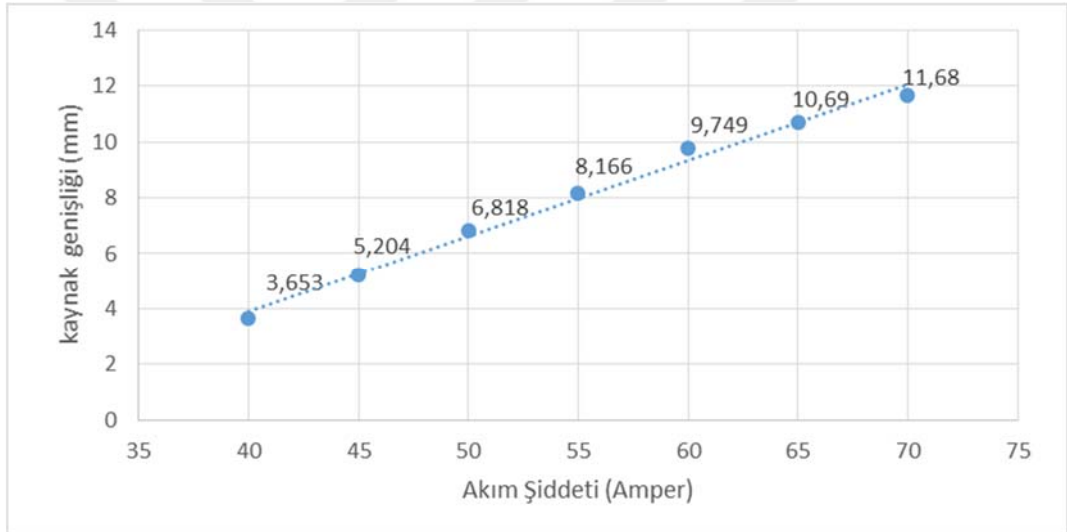
Şekil 6.2. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri

Yukarıda verilen Şekil 6.2. incelendiğinde 40A, 45A ve 50A akım şiddetlerinde ilave metalin nüfuziyetinin yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. 55A akım şiddetinin nüfuziyet iyi olmasına rağmen ıslatma açısının düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 6.3.'te DP 600 sacının CuSn1 ilave metali kullanılarak CMT kaynağında farklı akım şiddetlerinin ıslatma açısı grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde eğim çizgisi üzerinde akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır. Akım şiddetindeki artış ilave metal ve ana metalde ısı girişini arttıracığından ergime daha fazla olacaktır. Bunun sonucu olarak ıslatma açısında düşüş meydana gelmektedir. Mukavemet ve ıslatma açıları arasındaki ilişki incelendiğinde, 40A, 50A ve 55A akım şiddetinde birleştirilen numuneler kaynaktan koptukları için bu akım şiddetlerinde ıslatma açılarının uygun olmadıkları gözlemlenmiştir. 55A ve 70A akım şiddeti aralıklarında çekme mukavemetleri, makro ve mikroyapı görüntüleri ve ıslatma açıları incelendiğinde kabul edilebilir akım şiddetleri olduğu belirlenmiştir.

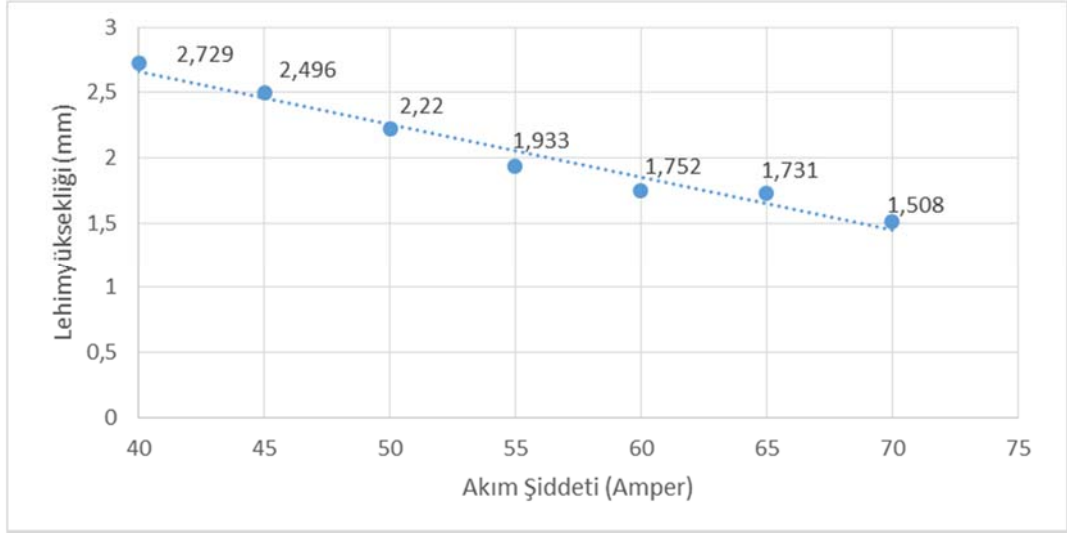


Şekil 6.3. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde ıslatma açıları grafiği



Şekil 6.4. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği

Yukarıda verilen Şekil 6.4.'te artan akım şiddetiyle kaynak kepi genişliğindeki değişim verilmiştir. Grafik incelendiğinde DP 600 çeliğinin artan akım şiddeti ile beraber kaynak genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

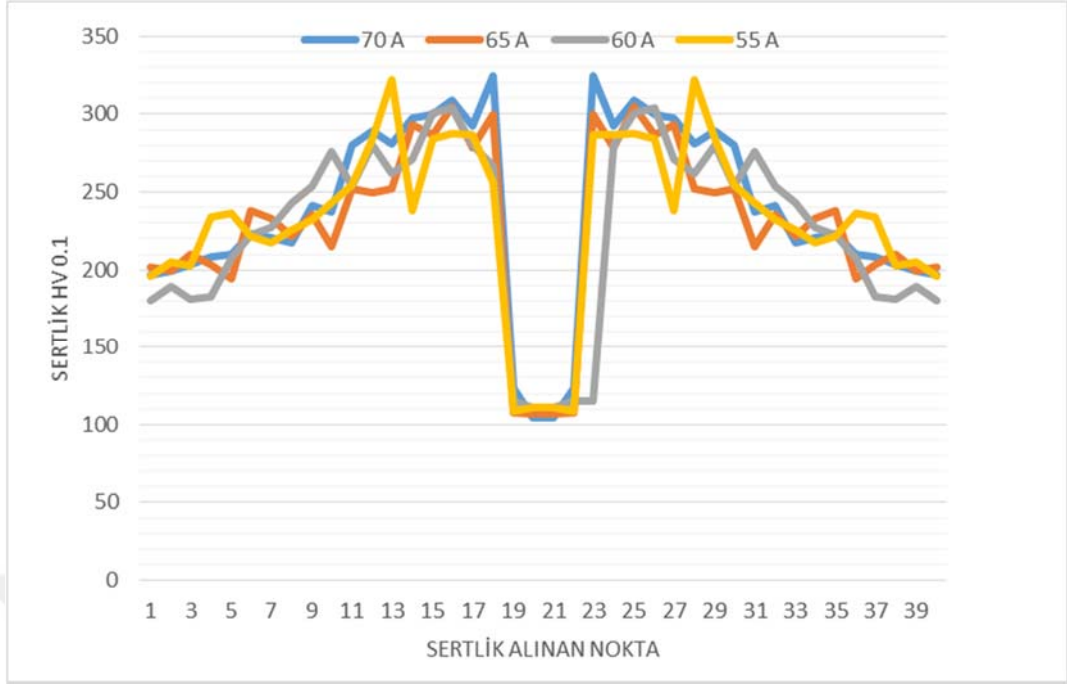


Şekil 6.5. CuSn1 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.

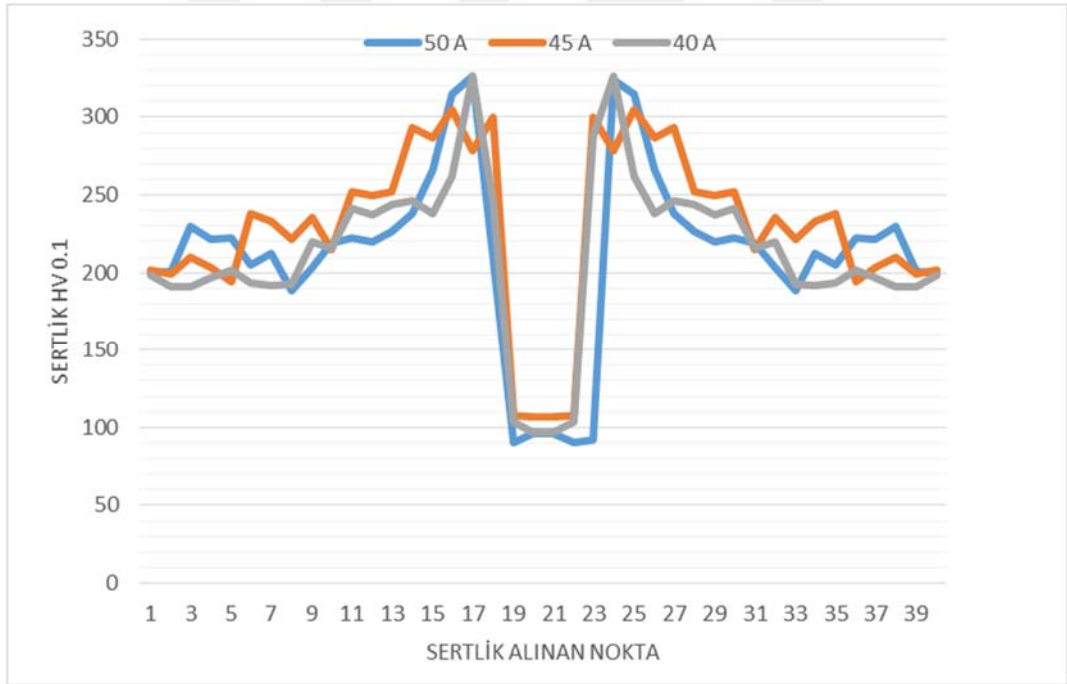
Yukarıda verilen Şekil 6.5.'te DP 600 çeliğinin değişen akım şiddetlerinde kaynak yükseklikleri görülmektedir. Kaynak yüksekliğindeki düşüş, artan akım şiddeti ile ısı girdisinin yükselmesi sonucu gözlemlenmiştir. Ayrıca artan akım şiddeti ve buna bağlı olarak artan ısı girdisi kaynak telinin ısılatma özelliğini artırarak kaynak yüksekliğinin azaltmaktadır.

6.1.1.3. Kaynak akım şiddetinin kaynaklı bağlantının sertliğine etkisi

DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi kullanılarak CuSn1 ilave metali ile alın birleştirmelerinin farklı akım şiddetlerinde oluşan sertlik değerleri ile ilgili grafikler aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımlar üç bölge olacak şekilde incelenmiştir. Bunlar, ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge ve kaynak metalidir. Alınan sıra sertlikler kaynak bölgesinde 0,1 mm aralıklarla alınırken, diğer bölgelerde 0,5 mm mesafeler ile alınmıştır.



Şekil 6.6. CuSn1 alnı birleştirmede 70A, 65A, 60A, 55A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.



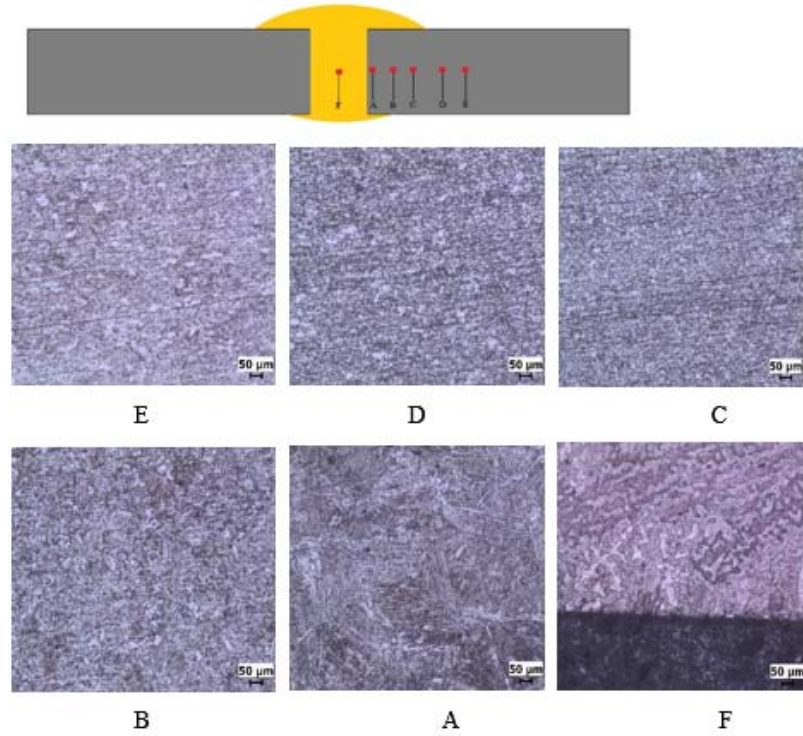
Şekil 6.7. CuSn1 alnı birleştirmede 50A, 45A, 40A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

Şekil 6.6. ve Şekil 6.7. incelendiğinde mikro sertlik dağılımlarının ana malzemeden başlayarak ısı tesiri altında kalan bölge boyunca arttığı görülmektedir. Kaynak metalinin bulunduğu kaynak bölgesinde mikro sertlik

değerleri en düşük değerler olan 100 HV-150 HV arasındadır. Ana malzeme ve kaynak metalinin geçiş noktası olan 15-19 numaralı noktalarda mikro sertlik değerleri en yüksek olup 300 HV-350 HV aralığındadır. Isı girdisinin en yüksek olduğu kaynak bölgesi olan CuSn1 bölgesinde, kaynak gerilimi arttıkça mikro sertlik değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ısı girdisinin artması ile ana malzemeden geçen elementlerin difüzyonu olduğu, çekilen mikroyapı fotoğraflarında anlaşılmaktadır. Yapılan çekme testi sonuçları ele alındığında 55A ve sonrası için malzemeler ısı tesiri altında kalan bölgeden yani yukarıdaki grafiklerden de anlaşılabacağı gibi mikro sertlik değeri en yüksek olan bölgeden kopma gerçekleşmiştir.

6.1.1.4. Kaynak akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

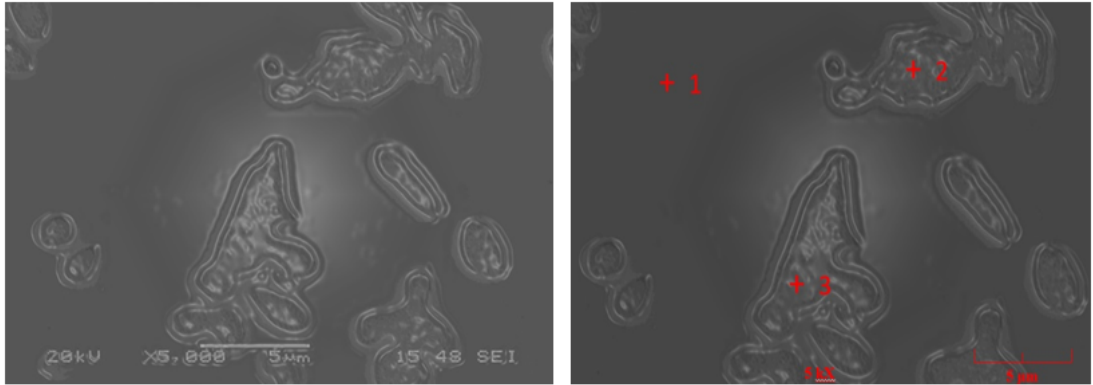
DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn1 ilave metali kullanılarak yapılan alın birleştirmelerin mikroyapıları incelendiğinde A, B, C, D, E noktalarının ITAB bölgesinde yer aldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.8. CuSn1 alın birleştirmede 70A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.8.'de çekme mukavemetleri, ıslatma açıları ve sertlik değerleri incelenerek seçilmiş olan 70 A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Kaynaklı bölgeye yakın bölgelerdeki sertlik değerindeki değişimleri ve mikroyapıdaki görülen değişim, bu bölgede ITAB oluşumunu göstermektedir. A bölgesi ve B bölgesi sertlik değerleri de göz önüne alındığında en yüksek sertliğe sahip iri taneli bölgelerdir. C bölgesi ITAB' da yer alan ince taneli bölge, D bölgesi kısmen dönüşüme uğramış bölge ve E bölgesi ana metal olarak görülmektedir. Uygun parametre olarak belirlenen 70 A akım şiddetinde kaynak metalinde oluşan dentridli yapı F bölgesinde verilmiştir.

70 A akım şiddetinde kaynak bölgesinin SEM görüntüleri şekil 6.9. da verilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan dentridler ana malzemeden kaynak bölgesine elementlerin atomsal yayılımı sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 6.9. CuSn1 aln birleştirmede 70A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Meydana gelen bu difüzyon sonucu oluşan dentridlerin EDS analizleri Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. CuSn1 aln birleştirmede 70A akım şiddetinde EDS analizi.

Point	Element (wt %)						
	Sn	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	8,201	0,123	0,090	0,381	3,584	82,508	1,024
2	9,245	-	0,812	0,715	81,119	6,102	0,542
3	10,541	-	0,912	0,531	79,912	7,254	0,446

Tablo 6.2. incelendiğinde 1 numaralı bölgeden alınan EDS analiz sonuçlarına göre CuSn1 ilave metalinde bulunan Cu elementi değerin yüksek olduğu belirlenmiştir. 2 ve 3 numaralı bölgeler incelendiğinde, oluşan dendritlerde ana malzemeden atomsal yayınma ile kaynak metaline geçmiş Fe elementinin yüksek olduğu görülmektedir.

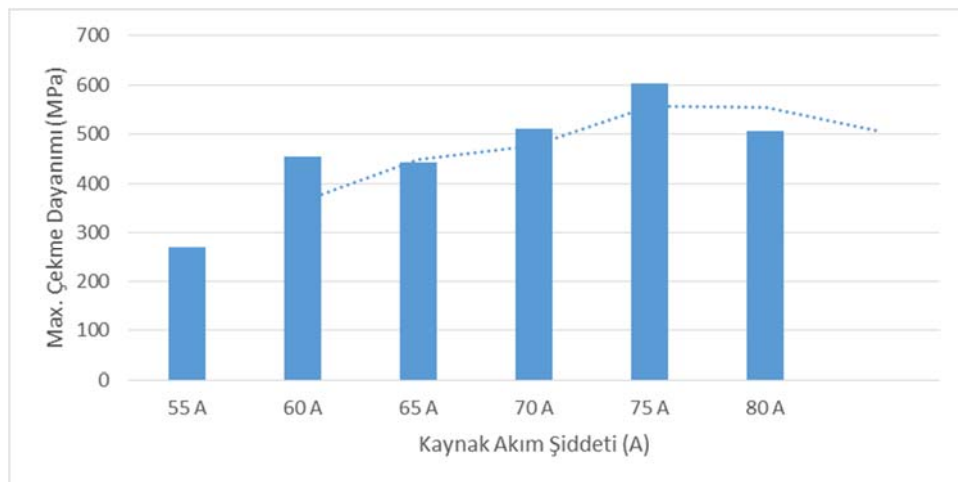
6.1.2. CuSn1 ilave metali ile yapılan bindirme birleştirmeler

6.1.2.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.3.'te DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn1 ilave metali kullanılarak yapılan bindirme birleştirmelerinin kaynak parametreleri ve çekme mukavemet değerleri verilmiştir.

Tablo 6.3. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri

Kaynak Akım Şiddeti (A)	Gaz Debisi (L/dk)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Kaynak Aralığı (mm)	Kaynak Teli Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Çekme Muk. (MPa)
55	12	24	0,8	3,6	8,4	272
60	12	24	0,8	3,9	8,5	374
65	12	24	0,8	4,1	8,5	442
70	12	24	0,8	4,4	8,6	512
75	12	24	0,8	4,6	8,7	603
80	12	24	0,8	4,9	8,8	506

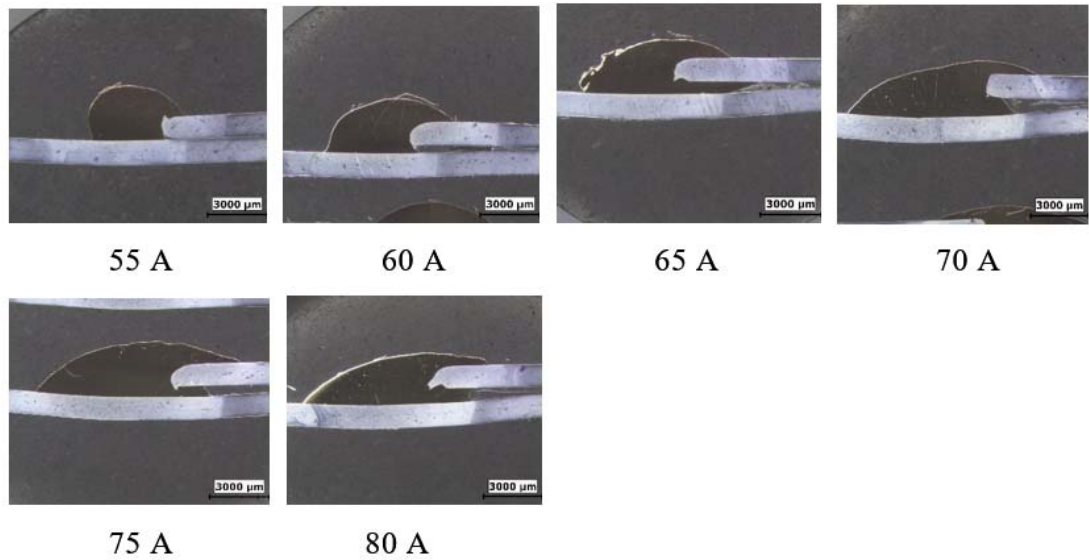


Şekil 6.10. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.

Daha önce yapılan CuSn1 alın birleştirme çekme mukavemet sonuçları ve bağlantının mekanik özellikleri incelendiğinde, bindirme bağlantılarında 55 A akım şiddeti başlangıç olarak kabul edilmiştir. Şekil 6.10.'da verilen grafik incelendiğinde 55 A akım şiddetinde DP 600 çeliğinin CuSn1 ilave metali ile CMT kaynak yöntemi kullanılarak yapılan bindirme bağlatısında çekme mukavemet değerinin düşük ve yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Çekme mukavemet testinde bağlantının kaynaktan kopması da bu sonucu doğrulamıştır. 60 A ve 80 A akım şiddetleri aralığında çekme mukavemet değerleri kabul edilebilir olup 80 A akım şiddeti üzerinde kaynaklı bağlantının göz ile muayenesinde sıcak çatlakların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çekme mukavemet değerlerine göre CuSn1 ilave metali ile yapılan bindirme bağlantılarında uygun akım şiddetinin 75 A olduğu Şekil 6.10.'dan anlaşılmaktadır.

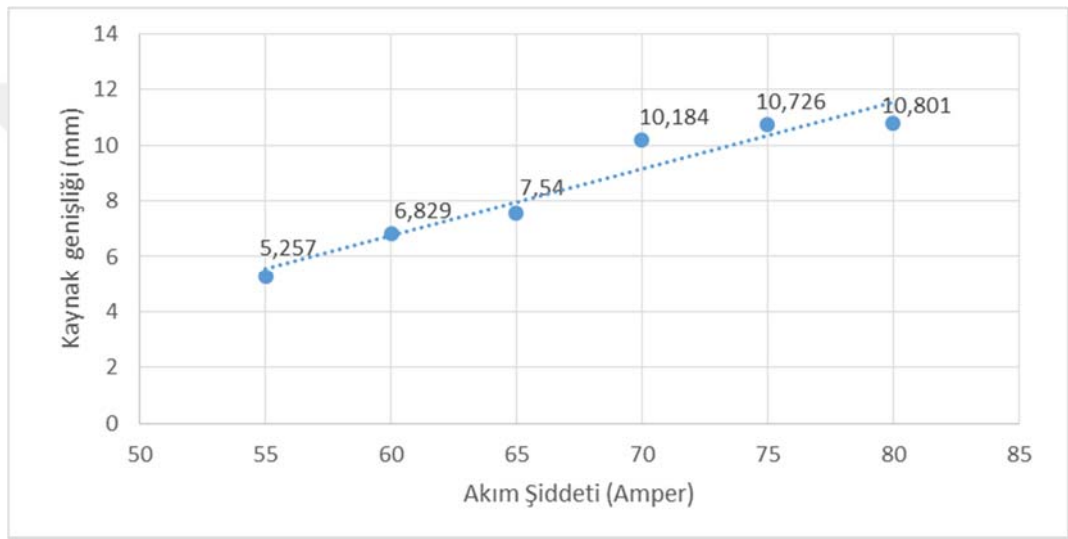
6.1.2.2. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

Cusn1 ilave metali ile birleştirilmiş DP 600 çeliğinin bindirme bağlantılarının çekilen makro yapı görüntüleri Şekil 6.11.'de verilmiştir. Makro yapı görüntülerinden gereken ölçümler alınarak ısıtma açıları, kaynak dikiş yüksekliği, kaynak dikiş genişlikleri hesaplanmıştır.

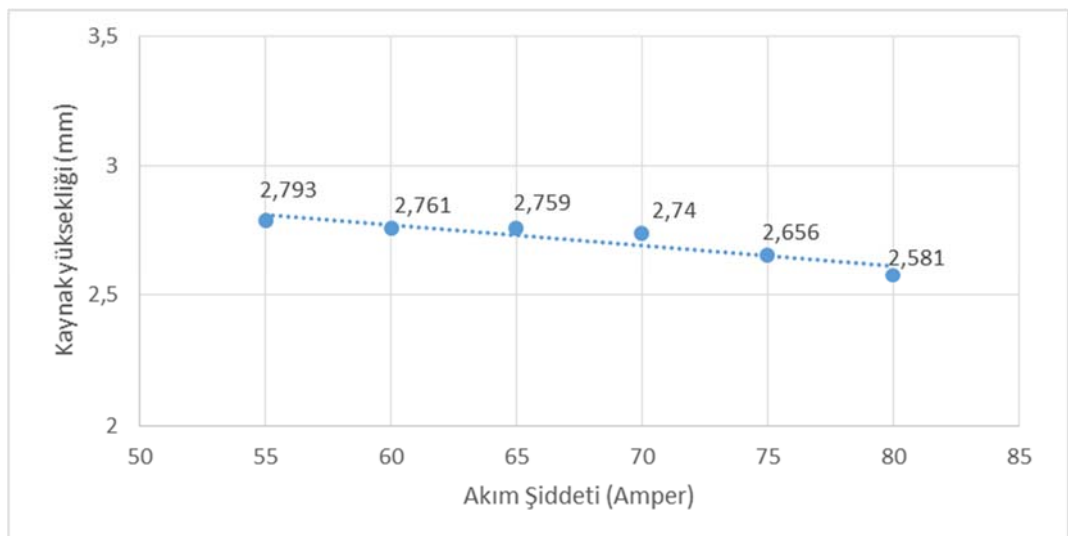


Şekil 6.11. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.

Şekil 6.11.'de verilen makro yapı görüntüleri incelendiğinde CuSn1 ile yapılan bindirme bağlantılarında 55 A ve 60 A akım şiddetlerinde dikiş yüksekliği ve ıslatma açıları ele alındığında bağlantının yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu akım şiddetlerinde yapılan birleştirmelerin çekme mukavemet değerleri de çekilen makro yapı görüntülerini doğrulamaktadır. 55 A akım şiddeti için 272 MPa ve 60 A akım şiddeti için 374 MPa bağlantının yetersiz olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca yapılan çekme testlerinde 55 A ve 60 A akım şiddetleri için bağlantılar kaynaktan kopmuştur.



Şekil 6.12. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.

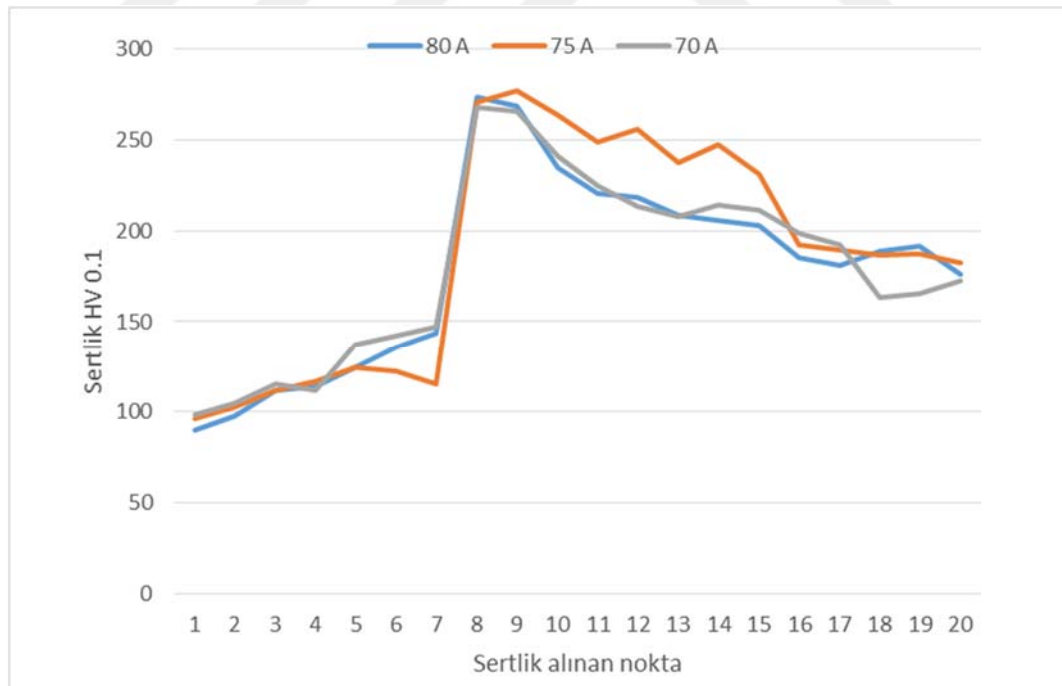


Şekil 6.13. CuSn1 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.

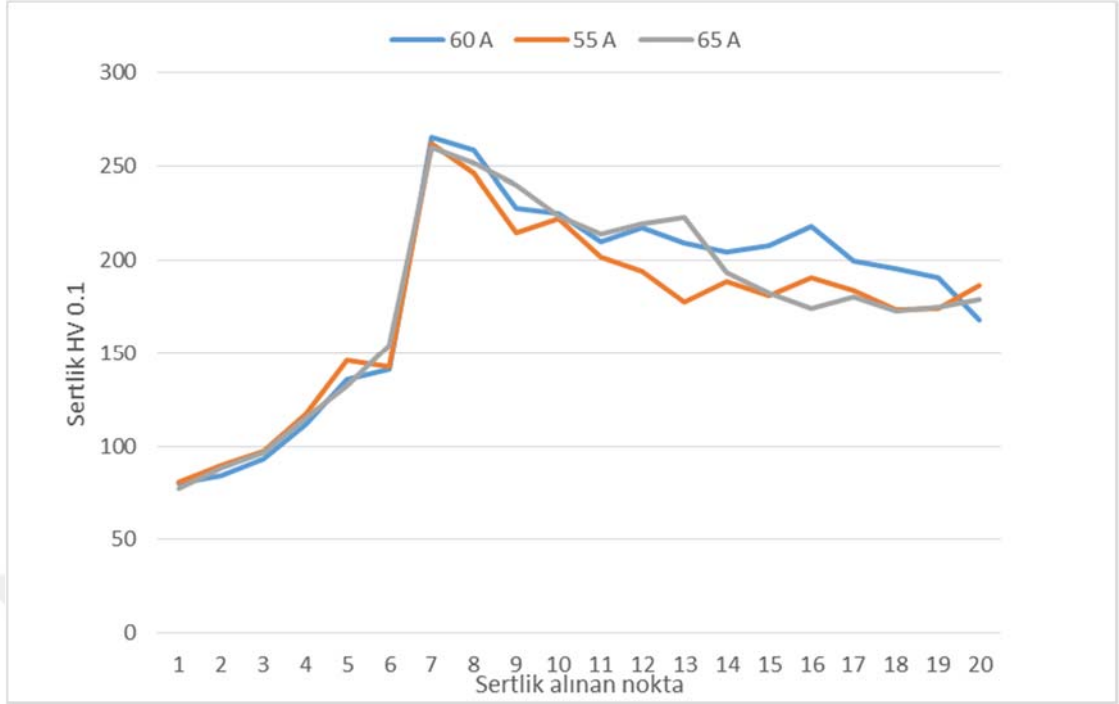
Makro yapılardan alınan ölçüler ile oluşturulan Şekil 6.12. incelendiğinde kaynak genişliğinde ki artış oranının kaynak akım şiddeti ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Artan akım şiddeti ile ısı girdisinde artış olacağından ergime daha fazla olacaktır. Bu durum kaynak genişliğinin artmasına neden olmaktadır. 75 A akım şiddetinde kaynak genişliği ölçüsü 10,726 mm iken, kaynak yüksekliği ölçüsü 2,656 mm' dir. Kaynak geometrisi ve çekme mukavemet değerleri göz önünde bulundurulduğunda 75 A akım şiddeti CuSn1 ilave metali ile bindirme bağlantıları için uygun parametre olarak görülmektedir.

6.1.2.3. Kaynak akım şiddetinin kaynaklı bağlantının sertliğine etkisi

Akım şiddetlerindeki değişikliklerle oluşturulan mikro sertlik değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Sıra sertlikler kaynak bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 6.14. CuSn1 bindirme birleştirmede 80 A, 75 A ve 70 A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

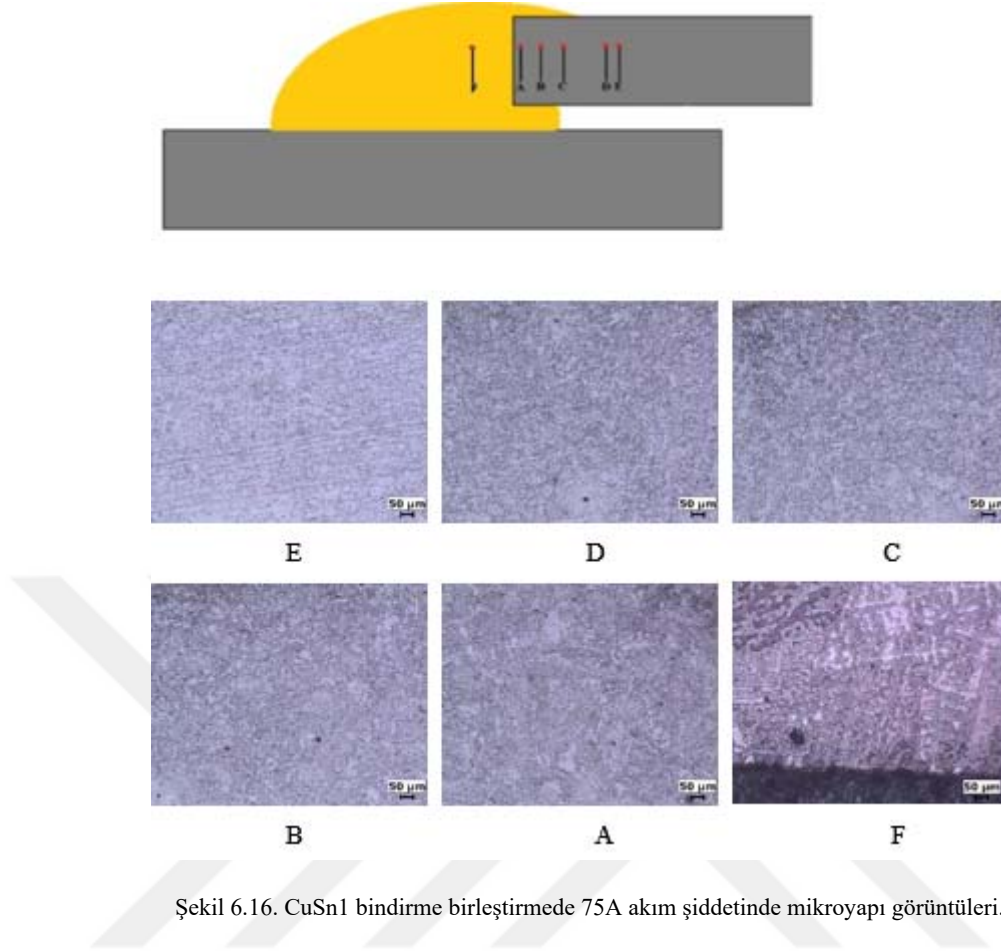


Şekil 6.15. CuSn1 bindirme birleştirmede 65 A, 60 A ve 55 A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

Yukarıda verilen Şekil 6.14. ve Şekil 6.15. incelendiğinde 55 A, 60 A ve 65 A akım şiddetlerinde yapılan birleştirmeler sertliğin düşük olduğu akım şiddetleridir. Akım şiddeti ile düşen ısı girdisinin azalması ile malzeme sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Akım şiddetleri 70 A, 75 A ve 80 A olan numuneler ise sertliğin en fazla olduğu birleştirmelerdir. Genel olarak sertlik değerleri incelendiğinde CuSn1 ilave telinin olduğu kaynaklı olan bölge en düşük sertliğe sahiptir. Grafiklerden de anlaşılabacağı üzere en yüksek sertlik ITAB yani ısı tesiri altında kalan bölgede gözlemlenmiştir.

6.1.2.4. Kaynak akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

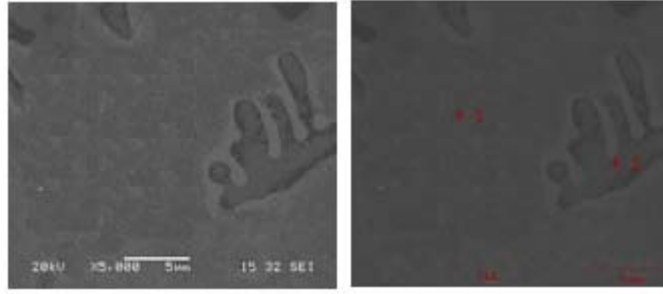
DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn1 ilave metali kullanılarak yapılan bindirme birleştirmelerin mikroyapıları incelendiğinde, Şekil 6.16.'da verilen A, B, C, D noktaları ITAB' da yer almaktadır. F noktası ise kaynak metalinin olduğu bölgeyi göstermektedir.



Şekil 6.16. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.16.'da verilen ve çekme mukavemet değerleri ile sertlik sonuçları ele alındığında CMT kaynak yöntemi kullanılarak yapılan CuSn1 ilave teli ile bindirme bağlantısında 75 A için mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Kaynaklı bölgeye yakın bölgelerdeki sertlik değerindeki değişimleri ve mikroyapıdaki görülen değişim, bu bölgede ITAB oluşumunu göstermektedir. Şekil 6.16. – E ‘de görüldüğü üzere ana malzemenin ince taneli yapısı mevcuttur. Isı tesirinin altında kalan bölge içerisinde kalan Şekil 6.16. – A ise iri taneli bölge olup, çekme mukavemet testinde kopmanın gerçekleştiği ve sertliğin en yüksek olduğu bölgedir. Şekil 6.16. – F’ de verilen ilave telin yapısında ana malzemeden atomsal yayılma ile difüze olarak geçmiş elementlerin dentrit yapıları görülmektedir.

75 A akım şiddetinde kaynak bölgesinin SEM görüntüleri Şkil 6.17.’de verilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan dentridler ana malzemeden kaynak bölgesine elementlerin atomsal yayılımı sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 6.17. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Meydana gelen bu difüzyon sonucu oluşan dendritlerin EDS analizleri Tablo 6.4.'te verilmiştir.

Tablo 6.4. CuSn1 bindirme birleştirmede 75A akım şiddetinde EDS analizi.

Point	Element (wt %)						
	Sn	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	10,141	0,111	0,089	0,378	4,421	83,412	0,989
2	9,125	0,100	0,718	0,816	80,795	7,89	0,459

Şekil 6.17. ve Tablo 6.4. incelendiğinde ana metalden kaynak metaline atomsal yayınmamanın gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 6.4.-1'de verilen element miktarları incelendiğinde ilave metal olan Cu oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.4.-2 incelendiğinde ise oluşan ana malzemedan ilave metale difüze olmuş elementlerin yoğunluğu görülmektedir.

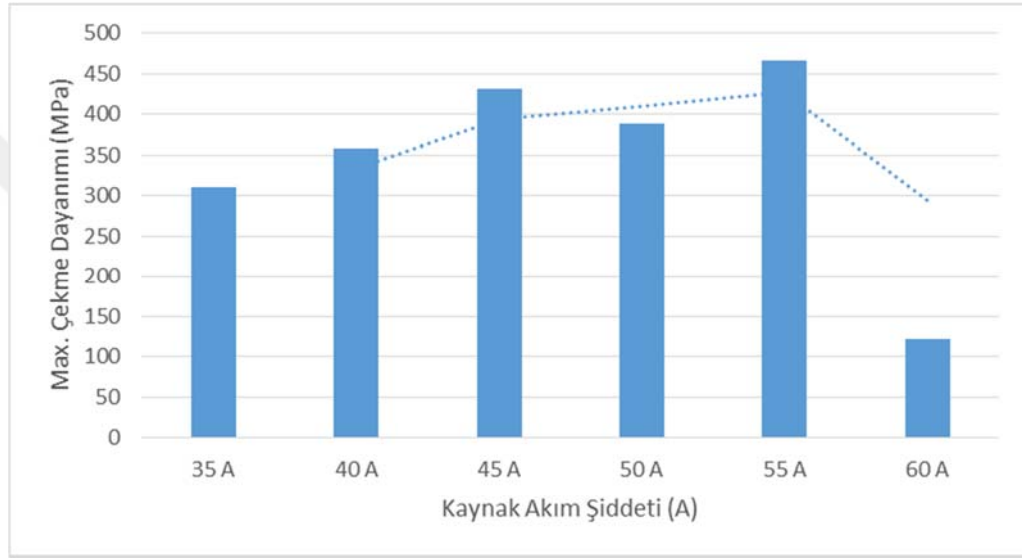
6.1.3. CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmeler

6.1.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.5.'te DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn6 ilave metali kullanılarak yapılan alın birleştirmelerinin kaynak parametreleri ve çekme mukavemet değerleri verilmiştir.

Tablo 6.5. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri.

Kaynak Akım şiddeti (A)	Gaz Debisi (L/dk)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Kaynak Aralığı (mm)	Kaynak Teli Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Çekme Muk. (MPa)
35	12	24	0,5	2,4	8,4	310
40	12	24	0,5	2,8	8,4	358
45	12	24	0,5	3,2	8,4	431
50	12	24	0,5	3,4	8,4	388
55	12	24	0,5	3,6	8,4	466
60	12	24	0,5	3,9	8,5	121

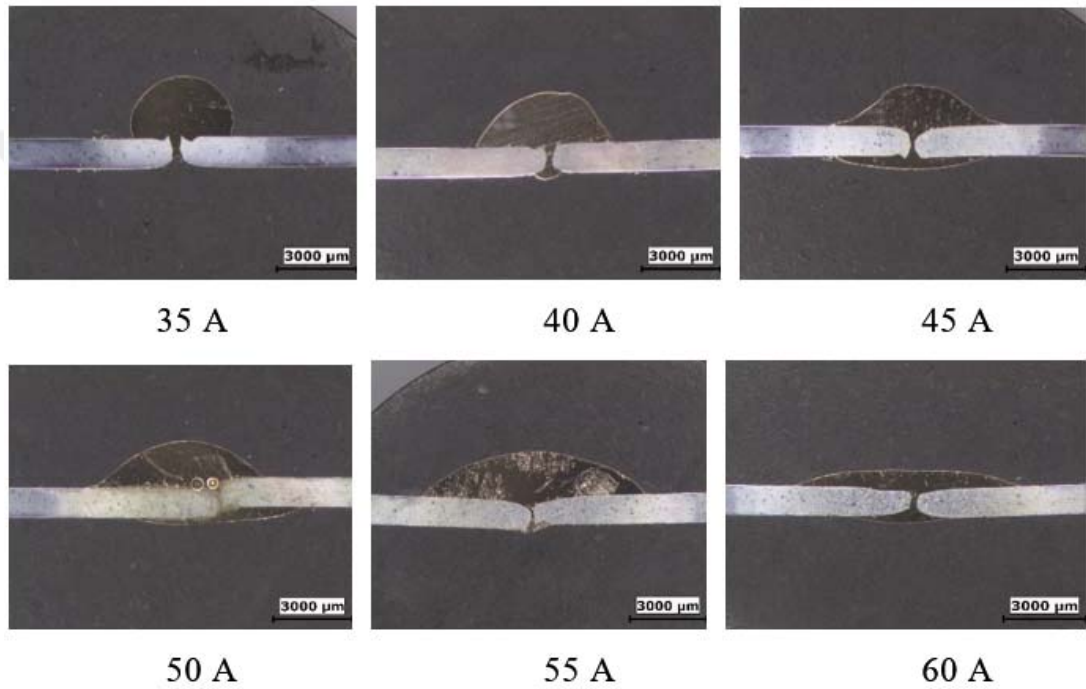


Şekil 6.18. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiğı.

CuSn6 ilave metali kullanılarak CMT kaynak yöntemi ile alın birleştirmesi yapılan DP 600 çeliklerinin çekme mukavemet değerleri Tablo 6.5.'te verilmiştir. Şekil 6.18.'de verilen grafik incelendiğinde artan akım şiddeti ile çekme mukavemet değerlerinde de genel olarak artış gözlemlenmiştir. 35 A akım şiddetinde çekme mukavemeti 310 MPa iken, 55 A akım şiddetinde bu değer 466 MPa' a yani malzeme çekme mukavemeti olan 600 MPa' a yakın bir sonuç elde edilmiştir. Çekme mukavemeti değerleri göz önüne alındığında CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde 55 A akım şiddeti uygun parametre olarak belirlenebilir. 60 A ve üzeri akım şiddetlerinde yapılan birleştirmeler kaynaktan kopmuştur.

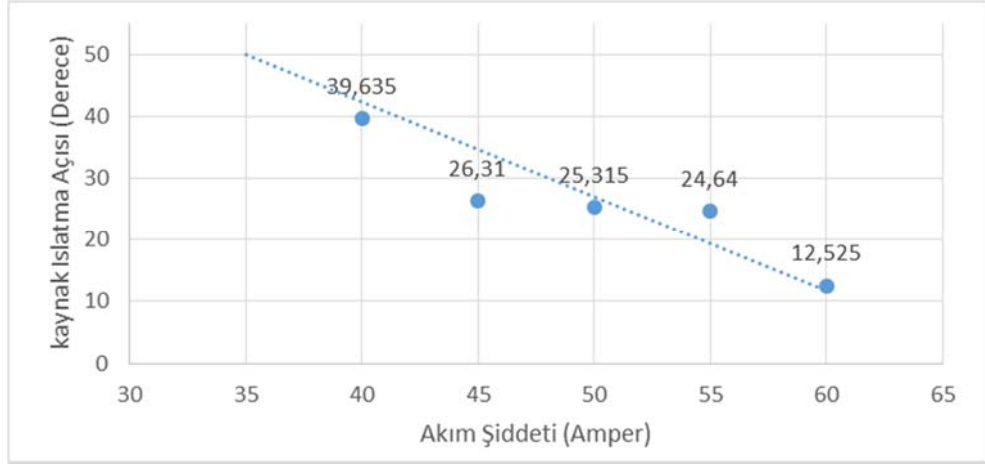
6.1.3.2. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisini inceleyebilmek için DP 600 sacının CuSn6 ilave metali kullanılarak CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve daha önce metalografik işlemlerden geçirilmiş numuneleri için makro yapı fotoğrafları Şekil 6.19.'da verilmiştir. Çekilen makro görüntülerden gerekli ölçüler alınarak ısılatma açıları tespit edilmiştir.

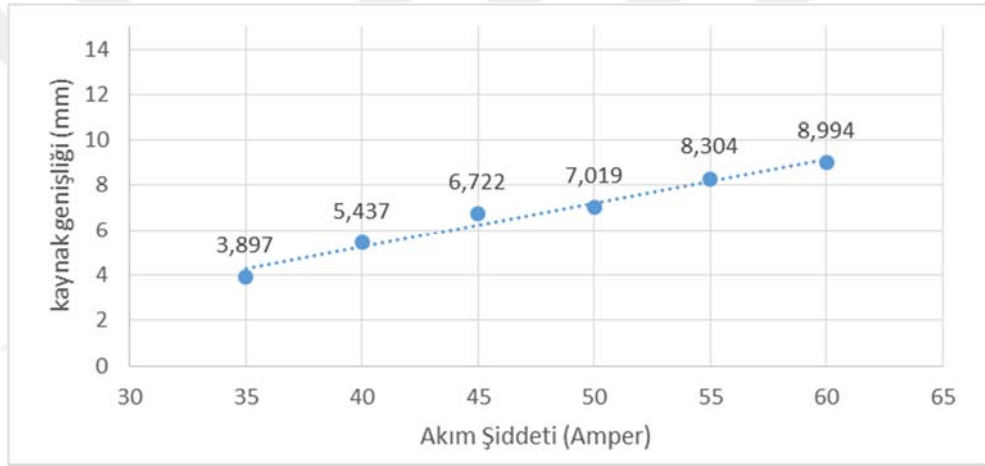


Şekil 6.19. CuSn6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.

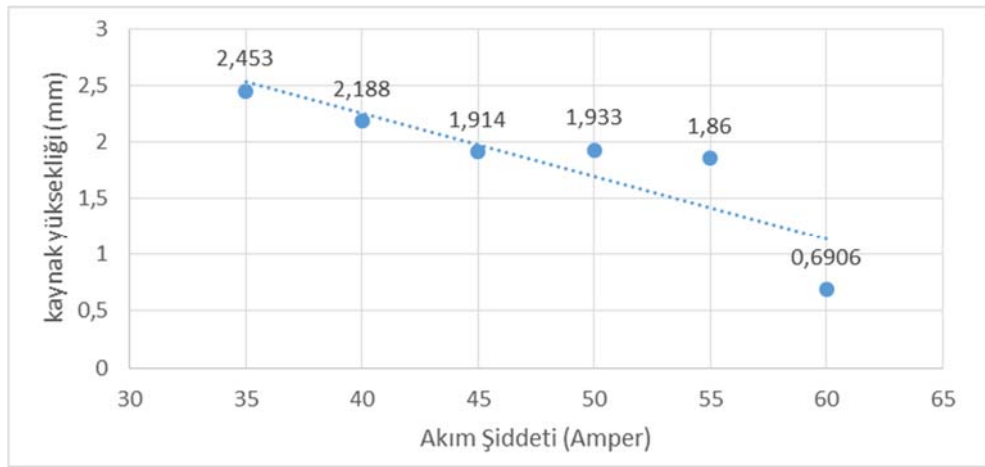
Şekil 6.19. incelendiğinde CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde kaynak akım şiddetindeki artışın kaynak geometrisine etkisi gözlemlenebilir. Yapılan çekme mukavemeti testi sonuçları ele alındığında 60 A akım şiddetinde yapılan birleştirmede bağlantının yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Makro yapı görüntüleri de incelendiğinde 60 A akım şiddetindeki kaynak yüksekliği ve kaynak genişliği bakımından uygun birleşme sağlanamamıştır. 35 A ve 40 A akım şiddetlerinde makro yapıda görülen kaynak geometrileri yanında çekme mukavemet değerleri de birleştirme için yeterli değildir.



Şekil 6.20. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak ısıtma açıları grafiği.



Şekil 6.21. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.

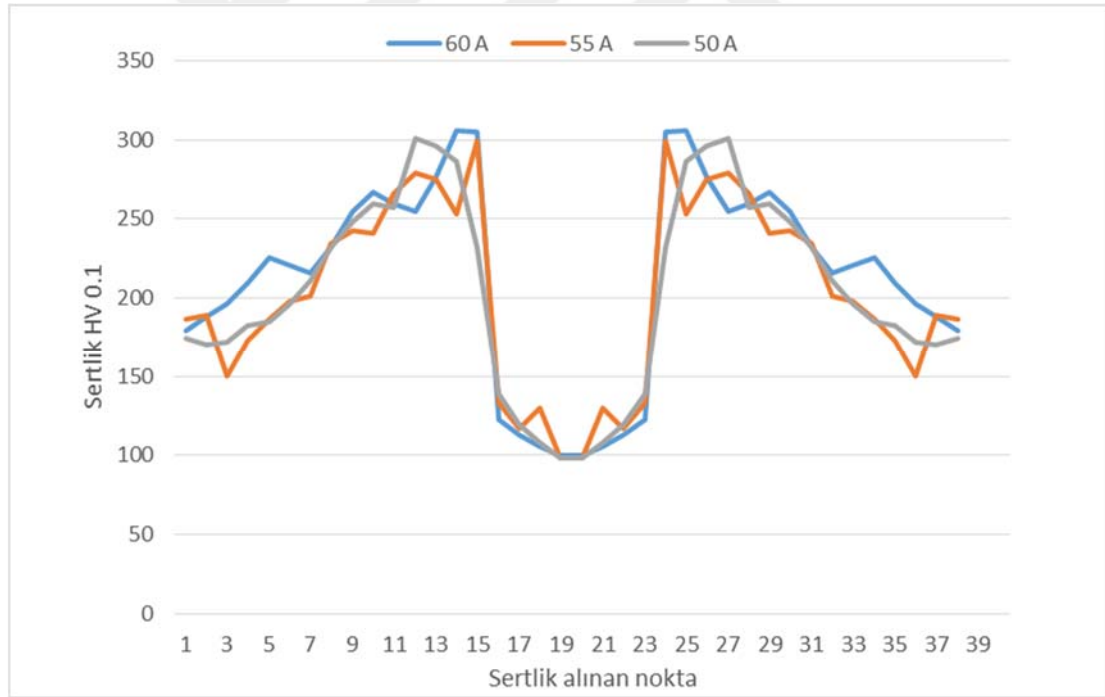


Şekil 6.22. CuS6 alın birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.

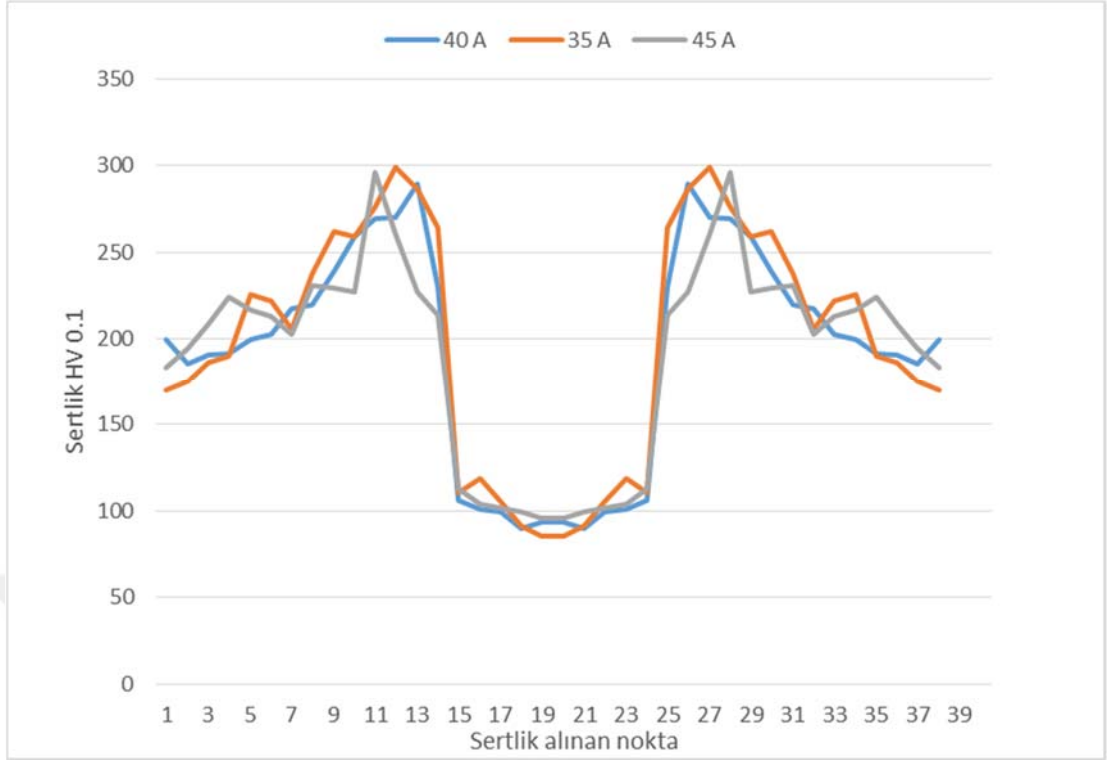
Yukarıda verilen Şekil 6.22.'de verilen akım şiddeti – kaynak yüksekliği grafiği incelendiğinde akım şiddetindeki artış ile kaynak yüksekliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 6.21.'de verilen akım şiddeti – kaynak genişliği grafiği incelendiğinde artan akım şiddeti ile kaynak genişliğinde artış gözlemlenmiştir.

6.1.3.3. Kaynak akım şiddetinin kaynaklı bağlantının sertliğine etkisi

DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi kullanılarak CuSn6 ilave metali ile alın birleştirmelerinin farklı akım şiddetlerinde oluşan sertlik değerleri ile ilgili grafikler aşağıda verilmiştir. Mikro sertlik dağılımlar üç bölge olacak şekilde incelenmiştir. Bunlar, ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge ve kaynak metalidir. Alınan sıra sertlikler kaynak bölgesinde 0,1 mm aralıklarla alınırken, diğer bölgelerde 0,5 mm mesafeler ile alınmıştır.



Şekil 6.23. CuSn6 alın birleştirmede 50A, 55A ve 60A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

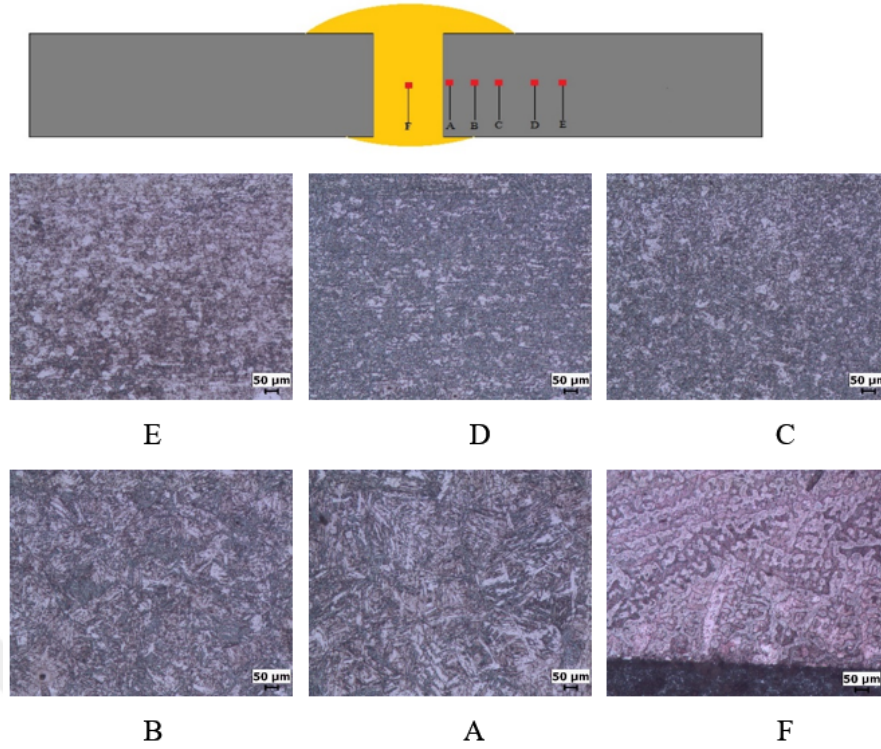


Şekil 6.24. CuSn6 alın birleştirmede 35A, 40A ve 45A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

Şekil 6.23. ve Şekil 6.24. incelendiğinde mikro sertlik dağılımlarının ana malzemeden başlayarak ısı tesiri altında kalan bölge boyunca arttığı görülmektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik en düşük değere sahip olup 100 HV civarındadır. Ana malzeme ve kaynak metalinin geçiş noktalarında mikro sertlik değerleri en yüksek olup 250 HV – 300 HV aralığındadır. Isı girdisinin en yüksek olduğu kaynak bölgesi olan CuSn6 bölgesinde, kaynak gerilimi arttıkça mikro sertlik değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. 50A, 55A akım şiddetlerinde malzeme ITAB’ dan kopmuştur. Mikro sertlik değerleri incelendiğinde ITAB’ da oluşan en yüksek değerler bu akım şiddetlerinde gözlemlenmiştir. Diğer akım şiddetlerinde bağlantı kaynak bölgesinden kopmuştur.

6.1.3.4. Kaynak akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

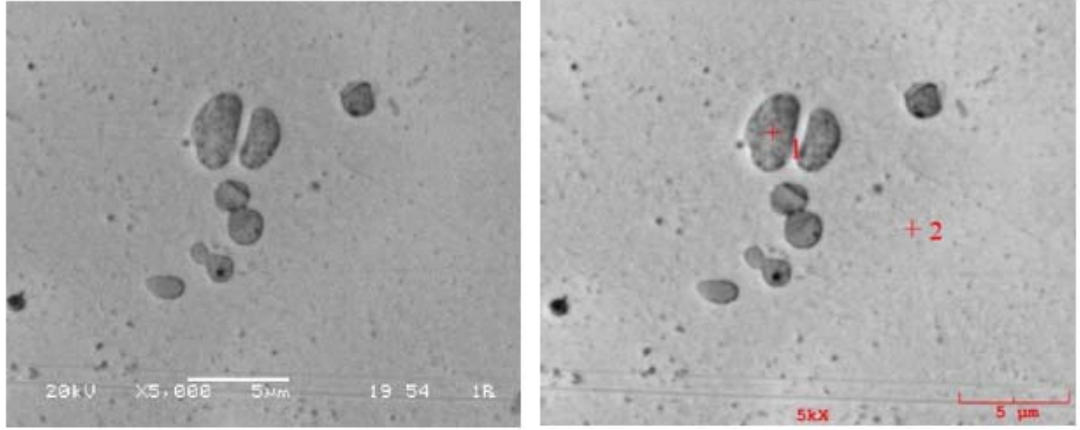
DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn6 ilave metali kullanılarak yapılan alın birleştirmelerin mikroyapıları incelendiğinde A, B, C, D, E noktalarının ITAB bölgesinde yer aldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.25. CuSn6 alın birleştirmede 55 A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Çekme mukavemet değerleri, sertlik ölçümleri ve ıslatma açıları ele alındığında CuSn6 ilave teli kullanılarak birleştirilen numunelerde 55 A akım şiddeti uygun parametre olarak seçilmiştir. Şekil 6.25.'de 55 A akım şiddeti ile yapılan birleştirmenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.25.-E incelendiğinde ana malzemenin mikroyapısı görülmektedir. Çekme testinde kopmanın gerçekleştiği ve ortalama 300 HV sertliğe sahip iri taneli bölge ise Şekil 6.25.-A' da verilmiştir. Ana malzemedan ilave tele difüzyon yolu ile geçen elementlerin oluşturduğu dentritik yapı kaynak bölgesi olarak 6.25.-F' de verilmiştir.

55 A akım şiddetinde kaynak bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.26.'de verilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan dentridler ana malzemedan kaynak bölgesine elementlerin atomsal yayınımları sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 6.26. CuSn6 alın birleştirmede 55A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Meydana gelen bu difüzyon sonucu oluşan dendritlerin EDS analizleri Tablo 6.6.'da verilmiştir.

Tablo 6.6. CuSn6 alın birleştirmede 55A akım şiddetinde EDS analizi.

Point	Element (wt %)		
	Sn	Fe	Cu
1	0.305	78.597	18.983
2	7,65	9,206	87,023

Şekil 6.26. ve Tablo 6.6. incelendiğinde ana metalden kaynak metaline atomsal yayınmanın gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 6.6.-1'de verilen element miktarları incelendiğinde ilave metale geçen Fe oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.6.-2 incelendiğinde ise ilave metalde bulunan Cu elementinin oranının yüksek olduğu görülmektedir.

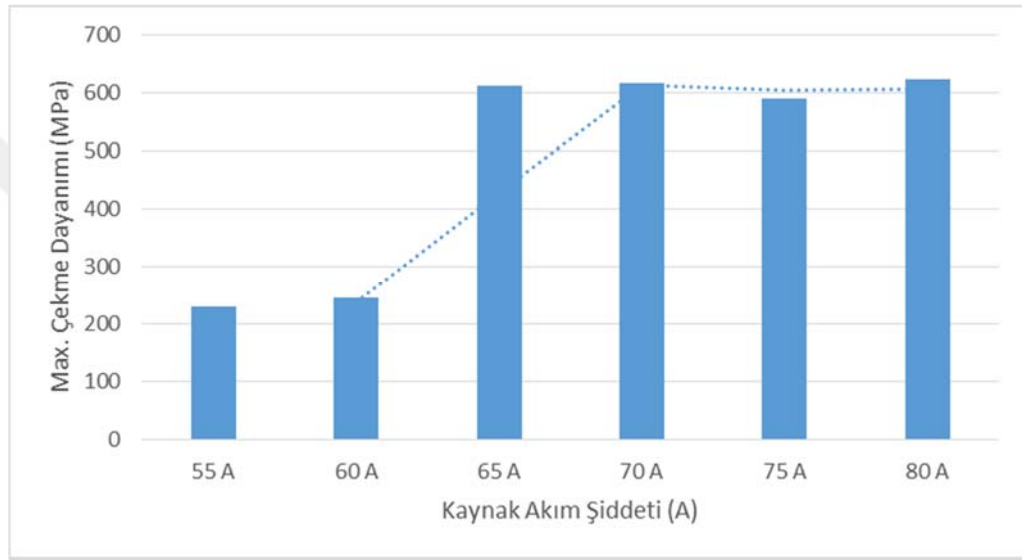
6.1.4. CuSn6 ilave metali ile yapılan bindirme birleştirmeler

6.1.4.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Tablo 6.7.'de DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn6 ilave metali kullanılarak yapılan bindirme birleştirmelerinin kaynak parametreleri ve çekme mukavemet değerleri verilmiştir.

Tablo 6.7. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemetleri

Kaynak Akım şiddeti (A)	Gaz Debisi (L/dk)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Kaynak Aralığı (mm)	Kaynak Teli Hızı (m/dk)	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Çekme Muk. (MPa)
55	12	24	0,8	3,6	8,4	231
60	12	24	0,8	3,9	8,5	247
65	12	24	0,8	4,1	8,5	612
70	12	24	0,8	4,4	8,6	618
75	12	24	0,8	4,6	8,7	591
80	12	24	0,8	4,9	8,8	625



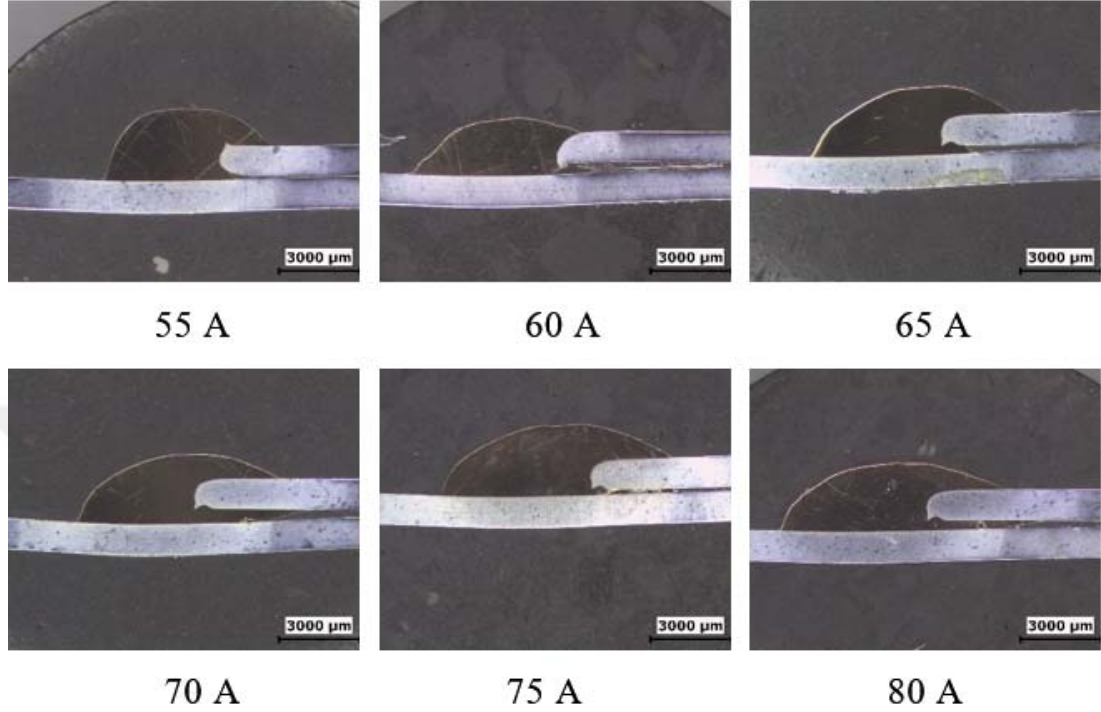
Şekil 6.27. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiğı.

Tablo 6.7.'de verilen çekme mukavemetleri incelendiğinde, CMT kaynak yöntemi ile CuSn6 ilave metali kullanılarak bindirme birleştirme bağılantısı yapılan DP 600 çeliğinin 55 A ve 60 A akım şiddetlerinde birleşmenin uygun olmadığı görölmektedir. 80 A akım şiddetinde yapılan bindirme bağılantısında çekme mukavemet değeri malzeme mukavemetine yakın bir değere sahip olduğı görölmüştür. Bu yüzden CuSn6 ilave teli yapılan bindirme bağılantısında 80 A akım şiddeti uygun parametre olarak belirlenebilir.

6.1.4.2. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

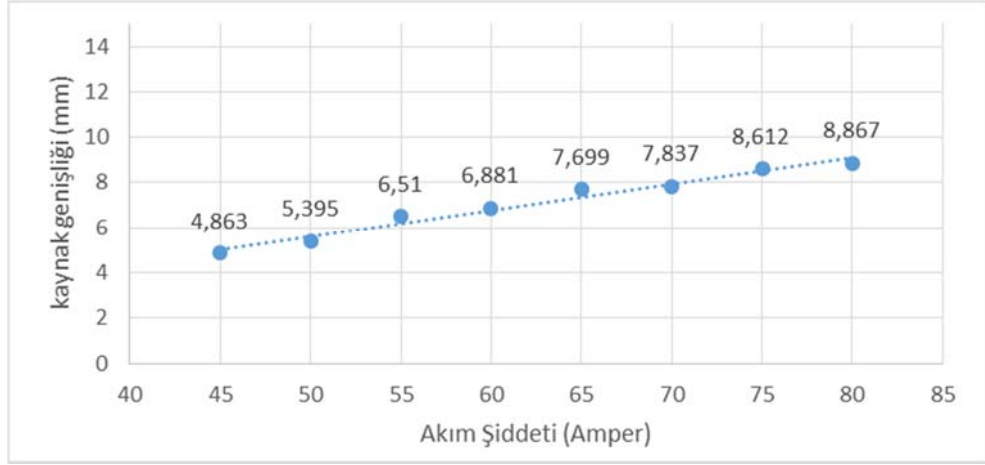
Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisini inceleyebilmek için DP 600 sacının CuSn6 ilave metali kullanılarak CMT kaynak yöntemi ile bindirme

birleştirme yapılmış ve daha önce metalografik işlemlerden geçirilmiş numuneleri için makro yapı fotoğrafları Şekil 6.28.'de verilmiştir.

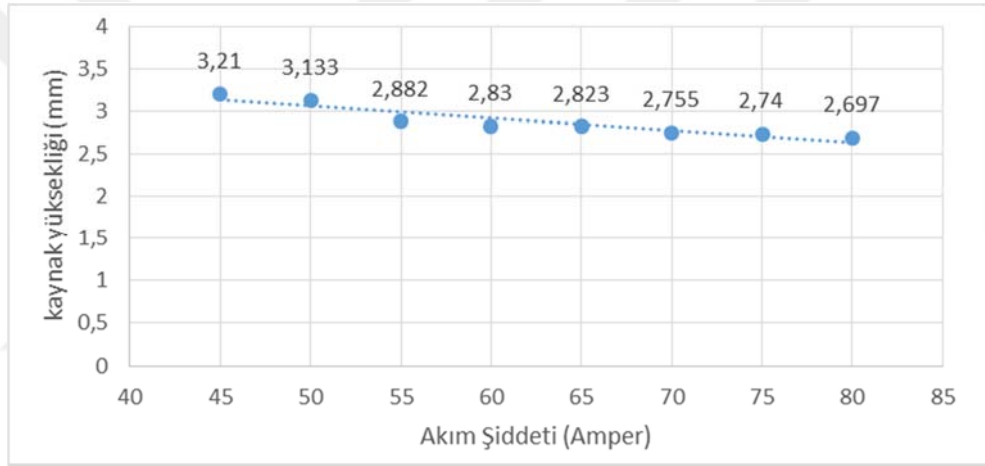


Şekil 6.28. CuSn6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde makro yapı görüntüleri.

Şekil 6.28. incelendiğinde CuSn6 ilave metali ile yapılan bindirme birleştirmelerde kaynak akım şiddetindeki artışın kaynak geometrisine etkisi gözlemlenebilir. 55 A ve 60 A akım şiddetleri incelendiğinde makro yapı görüntülerinde nüfuziyetinin yetersiz olduğu görülmektedir. Yetersiz nüfuziyet ve akım şiddeti çekme mukavemetlerinde de düşüşe neden olmuş ve numuneler kaynak bölgesinden kopmuşlardır. 65 A ve 80 A akım şiddeti aralıklarında yapılan birleştirmeler çekme mukavemet değerleri ve kaynak geometrisi açısından uygundur fakat en iyi sonuç 80 A akım şiddetinde 625 MPa çekme mukavemeti ile bu kaynak parametresinde alınmıştır. Kaynak geometrisi, çekme mukavemetleri ve Şekil 6.29. – 6.30. kaynak yükseklik – genişlik grafikleri incelendiğinde uygun parametre olarak 80 A akım şiddeti seçilebilir.



Şekil 6.29. CuS6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.

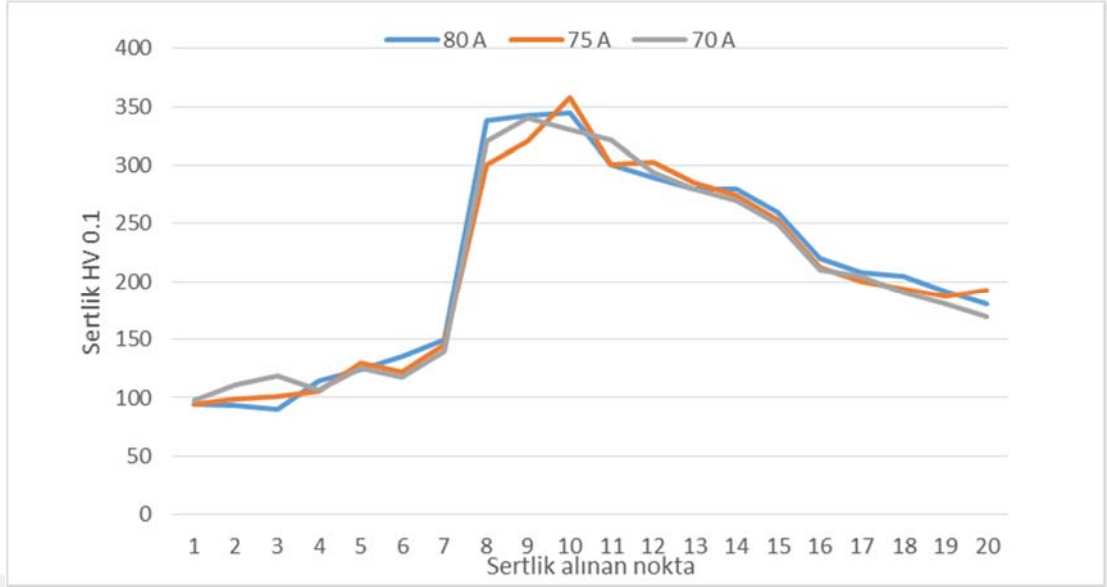


Şekil 6.30. CuS6 bindirme birleştirmede farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.

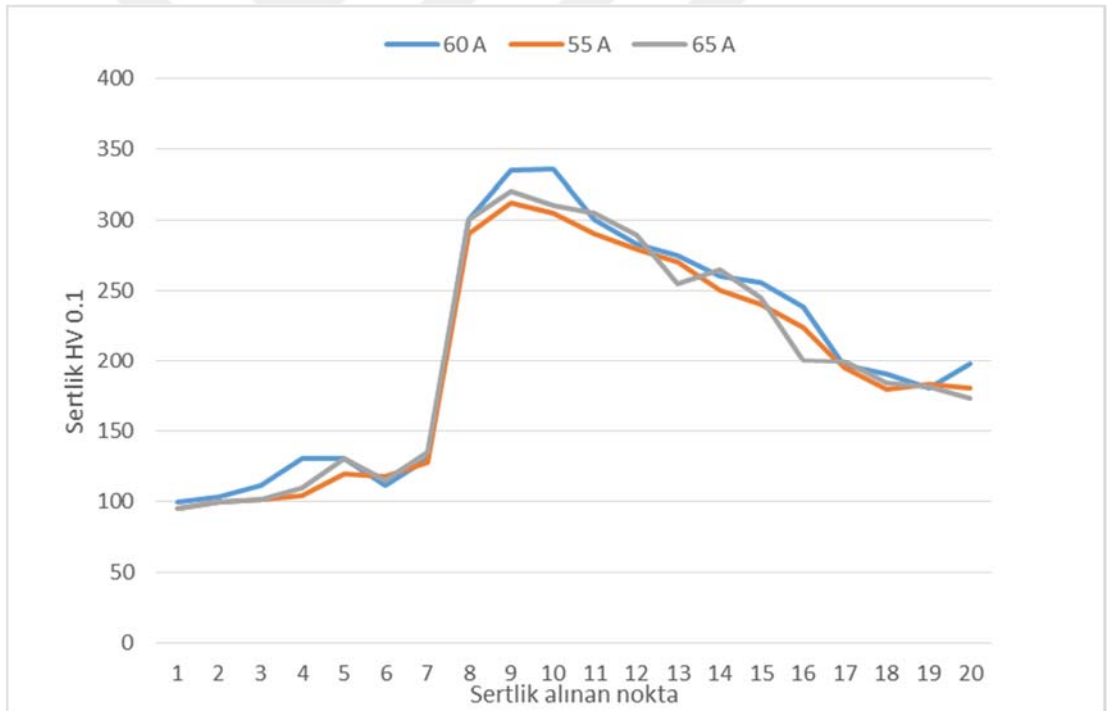
Yukarıda verilen Şekil 6.30.'da verilen akım şiddeti – kaynak yüksekliği grafiği incelendiğinde akım şiddetindeki artış ile kaynak yüksekliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 6.29.'da verilen akım şiddeti – kaynak genişliği grafiği incelendiğinde artan akım şiddeti ile kaynak genişliğinde artış gözlemlenmiştir.

6.1.4.3. Kaynak akım şiddetinin kaynaklı bağlantının sertliğine etkisi

Akım şiddetlerindeki değişikliklerle oluşturulan mikro sertlik değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Sıra sertlikler kaynak bölgesinde itibaren 0,5 mm aralıklarda alınmıştır.



Şekil 6.31. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A, 75A, 70A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.



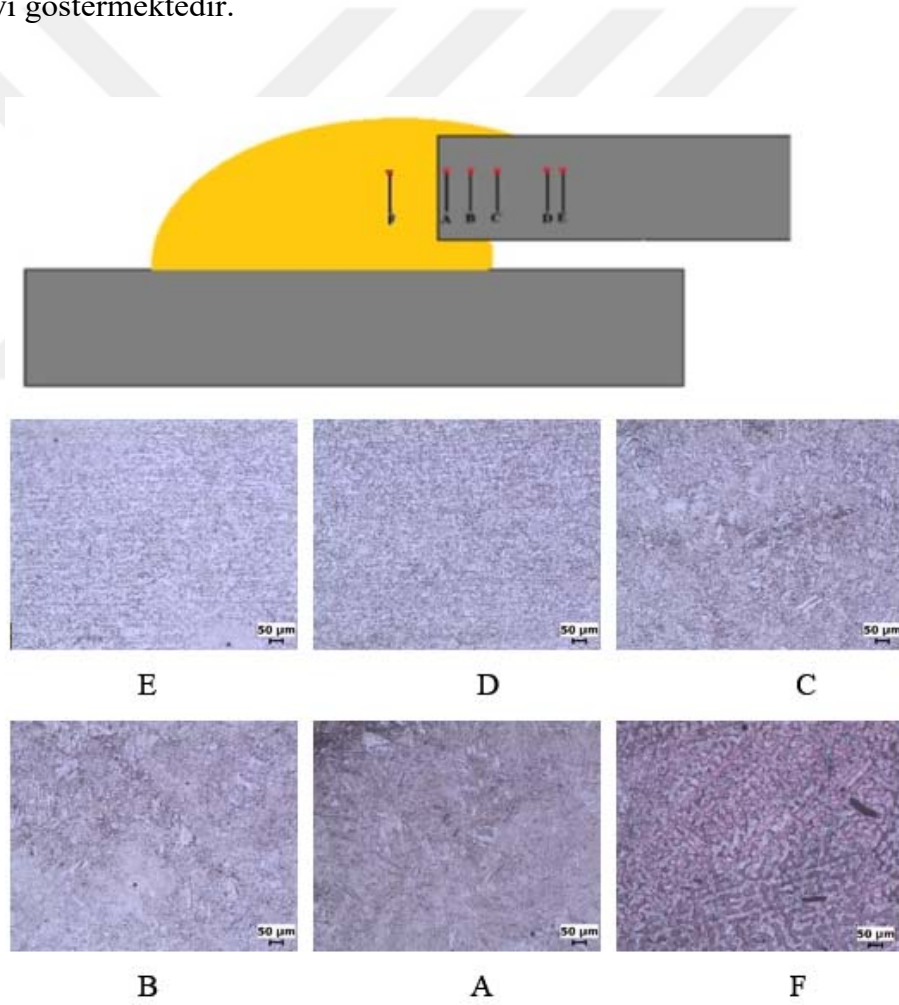
Şekil 6.32. CuSn6 bindirme birleştirmede 60A, 55A, 65A akım şiddetinde mikro sertlik noktaları.

Yukarıda verilen Şekil 6.31. ve Şekil 6.32. incelendiğinde 55 A, 60 A ve 65 A akım şiddetlerinde yapılan birleştirmeler sertliğin düşük olduğu akım şiddetleridir. Akım şiddeti ile düşen ısı girdisinin azalması ile malzeme sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Akım şiddetleri 70 A, 75 A ve 80 A olan numuneler ise

sertliğin en fazla olduğu birleştirmelerdir. Genel olarak sertlik değerleri incelendiğinde CuSn6 ilave telinin olduğu kaynaklı olan bölge en düşük sertliğe sahiptir. Grafiklerden de anlaşılabacağı üzere en yüksek sertlik ITAB yani ısı tesiri altında kalan bölgede gözlemlenmiştir.

6.1.4.4. Kaynak akım şiddetinin mikroyapı özelliklerine etkisi

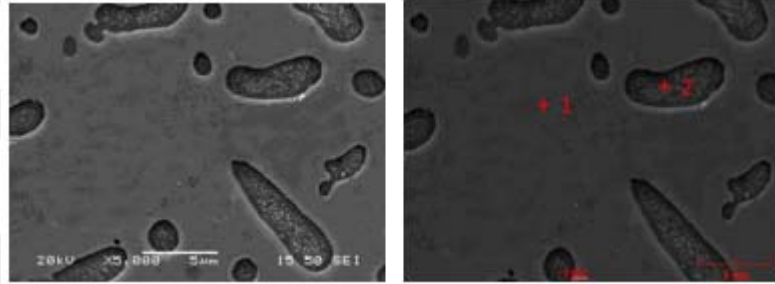
DP 600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile CuSn6 ilave metali kullanılarak yapılan bindirme birleştirmelerin mikroyapıları incelendiğinde, Şekil 6.33'te verilen A, B, C, D noktaları ITAB'da yer almaktadır. F noktası ise kaynak metalinin olduğu bölgeyi göstermektedir.



Şekil 6.33. CuSn6 bindirme birleştirmede 80 A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.33.-E incelendiğinde DP 600 yani ana malzemenin mikroyapısı görülmektedir. Isı tesiri altında kalan bölgeler sırasıyla D – C – B – A bölgeleridir. Şekil 6.33.-A incelendiğinde iri taneli ve en yüksek sertliğin olduğu bölge görülmektedir. Yapılan çekme mukavemet testlerinde malzemenin koptuğu bölgedir. Şekil 6.33.-F incelendiğinde ise kaynak metalindeki dentritik yapılar, ana malzemeden elementlerin difüzyonu sonucu oluştuğu görülmektedir.

80 A akım şiddetinde kaynak bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 6.34. de verilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan dentridler ana malzemeden kaynak bölgesine elementlerin atomsal yayınımları sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 6.34. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A akım şiddetinde SEM görüntüleri.

Meydana gelen bu difüzyon sonucu oluşan dentridlerin EDS analizleri Tablo 6.8.'de verilmiştir.

Tablo 6.8. CuSn6 bindirme birleştirmede 80A akım şiddetinde EDS analizi.

Point	Element (wt %)		
	Sn	Fe	Cu
1	8,731	7,561	82,695
2	1,029	86,532	7,655

Şekil 6.34. ve Tablo 6.8. incelendiğinde ana metalden kaynak metaline atomsal yayının gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 6.8.-1 incelendiğinde ilave metalde bulunan Cu elementinin oranının yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 6.8.-2'de verilen element miktarları incelendiğinde ana metalden ilave metale geçen Fe oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan 1,2 mm kalınlığındaki DP600 sacının CMT kaynak yöntemi ile CuSn1, CuSn6, ilave telleri kullanılarak yapılan bindirme ve alın birleştirmelerinin farklı akım şiddetlerinde sergilemiş oldukları mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Birleştirilen numuneler çeşitli metalografik yöntemlerden geçirilmiş ve çekme mukavemetleri, sertlik değerleri, mikro ve makro yapıları, SEM ve EDS analizleri incelenmiştir. Yapılan bu deneyler sonucu elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda verilmiştir.

1. DP600 sacının CuSn1 ilave teli kullanılarak CMT kaynak yöntemiyle yapılan alın birleştirmelerin sonucu, 40 A akım şiddetinde çekme mukavemet değeri 124 MPa iken, 70 A akım şiddetinde 598 MPa çekme mukavemeti elde edilmiştir. 40 A, 45 A ve 50 A akım şiddetlerinde yapılan çekme testlerinde numuneler kaynaktan kopmuştur. 70 A akım şiddeti üzerinde yapılan çalışmalarda birleşme sağlanamamıştır. Sonuç olarak 70 A akım şiddeti, DP600 sacının CuSn1 ilave metali ile alın birleştirmelerinde çekme mukavemetleri ele alındığında uygun parametre olarak belirlenebilir.

CuSn1 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde, çekme mukavemetleri ve ıslatma açıları arasındaki ilişki incelendiğinde, 40 A, 50 A ve 55 A akım şiddetlerinde birleştirilen numuneler kaynaktan koptukları için bu akım şiddetlerinde ıslatma açılarının uygun olmadıkları elde edilen makroyapı görüntülerinden de anlaşılmaktadır. 55 A ve 70 A akım şiddetleri aralığında çekme

mukavemetleri, makro ve mikro yapı görüntüleri ve ıslatma açıları incelendiğinde kabul edilebilir akım şiddetleri olduğu belirlenmiştir.

DP 600 sacının CuSn1 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde, artan akım şiddeti ile kaynak genişliğinin de arttığı gözlemlenmiştir.

CuSn1 ile yapılan alın birleştirmelerde artan akım şiddeti ile ısı girdisinin yükselmesi kaynak telinin ıslatma özelliğini arttırarak kaynak yüksekliğini azaltmaktadır.

Yapılan mikro sertlik testleri incelendiğinde CuSn1 ilave teli ile yapılan alın birleştirmelerde sertlik dağılımlarının ana malzemeden başlayarak ısı tesiri altında kalan bölge boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Kaynak metalinin bulunduğu kaynak bölgesinde mikro sertlik değerleri en düşük değerler olan 100 HV – 150 HV arasındadır. Ana malzeme ve kaynak metalinin geçiş noktası olan bölgelerde mikro sertlik değerleri en yüksek olup 300 HV – 350 HV arasında bulunmuştur. Sonuç olarak 55 A ve sonrası için malzemeler ısı tesiri altında kalan bölgeden yani mikro sertlik değeri en yüksek olan bölgeden kopma gerçekleşmiştir.

CuSn1 alın birleştirmede uygun parametre olarak belirlenen 70 A akım şiddetinde çekilen mikroyapı görüntüleri kaynak bölgesinde oluşan ITAB' ı göstermektedir. Isı tesiri altında kalan bu bölgede ana malzemeden başlayarak oluşan kısmen dönüşüme uğramış bölge, ince taneli bölge ve kaynak metaline en yakın iri taneli bölgeler incelendiğinde, birleşmenin sertlik değerinin en yüksek olduğu iri taneli bölgeden kopmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Çekilen mikroyapılardan görüleceği üzere kaynak metaline ana metalden difüzyon yolu ile malzeme geçişi sağlanmıştır. Oluşan dentritik yapılar bunu kanıtlamaktadır.

Yapılan EDS analizleri sonucu Cu esaslı kaynak metalinde Cu oranı %82,508 olarak tespit edilmiştir. Ana malzemeden kaynak metaline geçen elementlerin

oluşturmuş olduğu dentritik yapılar incelendiğinde, %81,119 Fe oranı ile difüzyonun gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar neticesinde CMT kaynak yöntemi kullanılarak CuSn1 ilave metali ile DP600 sacının alın bağlantılarında uygun kaynak parametresi 70 A akım şiddeti olarak belirlenmiştir.

2. DP600 sacının CuSn1 ilave teli kullanılarak CMT kaynak yöntemiyle yapılan bindirme birleştirmelerin sonucu, 55 A akım şiddetinde çekme mukavemet değerinin düşük ve yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çekme mukavemeti testi sırasında bağlantının kaynaktan kopması bu durumu kanıtlamaktadır. 60 A ve 80 A akım şiddetleri aralığında çekme mukavemet değerleri kabul edilebilir olup 80 A akım şiddetinin üzerinde yapılan birleştirmelerde yapılan göz ile muayene sonucu sıcak çatlakların meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan çekme mukavemet testleri sonucu 75 A akım şiddetinin bindirme bağlantısında 603 MPa çekme mukavemeti ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çekme testlerinde 55 A ve 60 A akım şiddetlerinde bağlantı kaynaktan kopmuştur.

Artan akım şiddeti ile ısı girdisinin de artması ergimenin daha fazla olmasını sağlamaktadır. Bu durumda kaynak genişliğinin artmasına sebep olmaktadır. Çekilen makroyapı görüntülerinde, uygun parametre olarak belirlenen 75 A akım şiddetinde kaynak genişliğinin ölçüsü 10,726 mm iken, kaynak yüksekliğinin ölçüsü 2,656 mm olarak hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlar bölümünde verilen şekil 6.14 ve şekil 6.15 incelendiğinde 55 A, 60 A ve 65 A akım şiddetlerinde sertliğin düşük olduğu gözlemlenmiştir. 70 A, 75 A ve 80 A akım şiddetlerinde sertliğin en fazla olduğu parametrelerdir.

Çekme mukavemetleri, sertlikler, ıslatma açıları, kaynak genişlikleri ve yükseklikleri incelendiğinde CuSn1 ilave metali ile yapılan bindirme bağlantılarında 75 A akım şiddeti uygun parametre olarak seçilmiş ve mikroyapı-makroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 6.16 – E incelendiğinde ana

malzemenin ince taneli yapısı görülmektedir. ITAB' da kalan Şekil 6.16-A iri taneli bölge olup, kopmanın gerçekleştiği en yüksek sertliğe sahip bölgedir. Şekil 6.16-F incelendiğinde ilave telin yapısında ana malzemeden atomsal yayınma ile difüze olarak geçmiş elementlerin dentritik yapıları görülmektedir.

Çekilen SEM fotoğrafları ve EDS analizleri ele alındığında CuSn1 ilave metali ile yapılan bindirme bağlantılarında, kaynak metaline geçen Fe elementinin %80,795 olduğu dentritik yapılarından alınan noktasal analiz ile tespit edilmiştir. Kaynak metalindeki diğer bölgelerde Cu oranı yüksek olup %83,412 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar neticesinde CMT kaynak yöntemi kullanılarak CuSn1 ilave metali ile DP600 sacının bindirme bağlantılarında uygun kaynak parametresi 75 A akım şiddeti olarak belirlenmiştir.

3. DP600 sacının CuSn6 ilave teli kullanılarak CMT kaynak yöntemiyle yapılan alın birleştirmelerin sonucu, 35 A akım şiddetinde çekme mukavemeti 310 MPa iken, 55 A akım şiddetinde bu değer 466 MPa' a yani malzeme çekme mukavemeti olan 600 MPa' a yakın bir sonuç elde edilmiştir. Çekme testleri sonucunda 55 A akım şiddeti CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde uygun parametre olarak belirlenebilir. Şekil 6.17' de verilen grafik incelendiğinde 55 A üzeri akım şiddetinde çekme mukavemetinde düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak da çekme testinde kopma kaynak metalinden olmuştur.

Çekme test sonuçları ele alındığında 60 A akım şiddetinde bağlantının yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sonucu olarak da çekilen makro yapı görüntülerinde kaynak genişliği ve kaynak yüksekliğinin uygun olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.22. incelendiğinde akım şiddetindeki artış ile kaynak yüksekliğinde düşüş gözlemlenmiştir. 35 A akım şiddetinde kaynak yüksekliği 2,453 mm iken 60 A akım şiddetinde bu değer 0,6906 mm' dir. Kaynak akım şiddetindeki artış ile

beraber kaynak genişliği de artmıştır. Şekil 6.21. incelendiğinde 35 A akım şiddetinde kaynak genişliği 3,897 mm iken, 60 A akım şiddetinde 8,994 mm olarak hesaplanmıştır.

CuSn6 ile yapılan alın birleştirmelerde sertlik ölçümleri ele alındığında mikro sertlik dağılımlarının ana malzemedan başlayarak ısı tesiri altında kalan bölge boyunca arttığı görülmektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik değeri en düşük olup 100 HV civarındadır. Ana malzeme ve kaynak metalinin geçiş noktalarında mikro sertlik değerleri en yüksek olup 250 HV-300 HV aralığındadır. 50 A ve 55 A akım şiddetlerinde malzeme ITAB' dan kopmuştur. Diğer akım şiddetlerinde bağlantının kaynak bölgesinden koptuğu gözlemlenmiştir.

Çekme mukavemet değerleri, sertlik ölçümleri ve ıslatma açıları ele alındığında CuSn6 ilave metali ile yapılan birleştirmelerde 55 A uygun parametre olarak belirlenip mikro – makro yapı görüntüleri çekilmiştir. Şekil 6.25.-E incelendiğinde ana malzemenin ince taneli mikroyapısı görülmektedir. Çekme testinde kopmanın gerçekleştiği ve ortalama 300 HV sertliğe sahip iri taneli bölge ise Şekil 6.25.-A'da verilmiştir. Ana malzemedan kaynak metaline difüze olan elementlerin oluşturduğu dentritik yapı ise Şekil 6.25-F'de gözlemlenmektedir.

CuSn6 ile yapılan alın birleştirmede yapılan EDS analiz sonuçlarında, ana malzemedan difüze olan elementlerin oluşturduğu dentritik yapıdan alınan değerler bağlantının gerçekleştiğini göstermektedir. Kaynak metalinde oluşan dentritik yapının EDS analizinde Fe oranı % 78,597 iken, kaynak metalinde diğer bölgelerden alınan analiz sonuçlarında Cu oranı % 87,023 olarak hesaplanmıştır.

Çekme testleri, mikro sertlikler, mikro-makro yapılar, ıslatma açıları, kaynak yükseklik ve genişlikleri ve SEM-EDS analizleri ele alındığında, CuSn6 ilave metali ile yapılan alın birleştirmelerde 55 A uygun akım şiddeti olarak belirlenmiştir.

4. DP600 sacının CuSn6 ilave teli kullanılarak CMT kaynak yöntemiyle yapılan bindirme bağlantılarında, yapılan çekme mukavemet testleri sonucu 55 A akım şiddetinde 231 MPa ve 60 A akım şiddetinde 247 MPa çekme mukavemetleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde 55 A ve 60 A akım şiddetlerinin uygun olmadığı gözlemlenmiştir. 80 A akım şiddetinde elde edilen 625 MPa çekme mukavemetinin ana malzemenin çekme mukavemet değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde CuSn6 ilave metali ile yapılan bindirme bağlantılarında 80 A akım şiddeti uygun parametre olarak tespit edilebilir.

Şekil 6.28.'de verilen makro yapı görüntüleri incelendiğinde kaynak akım şiddetindeki artışın kaynak geometrisine olan etkileri incelenebilir. 55 A ve 60 A akım şiddetlerinde nüfuziyetin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Yetersiz nüfuziyet sonucu bu akım şiddetlerinde numuneler kaynak metalinden kopmuştur. En iyi sonuç 625 MPa çekme mukavemeti ile 80 A akım şiddetinde alınmıştır. Şekil 6.28.2 de verilen makro yapı görüntüleri de bunu göstermektedir.

Şekil 6.30' da kaynak akım şiddeti-kaynak yüksekliği grafiği incelendiğinde akım şiddetindeki artış ile kaynak yüksekliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 6.29.' da verilen akım şiddeti-kaynak genişliği grafiği incelendiğinde artan akım şiddeti ile kaynak genişliğinde artış gözlemlenmiştir. 45 A akım şiddetinde kaynak genişliği 4,863 mm iken, 80 A akım şiddetinde 8,867 mm olarak hesaplanmıştır. Kaynak yükseklikleri ele alındığında 45 A akım şiddetinde 3,21 mm iken, 80 A akım şiddetinde 2.697 mm'dir.

55 A, 60 A ve 65 A akım şiddetlerinde yapılan bindirme bağlantılarında mikrosertlik değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. 70 A, 75 A, ve 80 A akım şiddetleri ise sertliğin yüksek olduğu bağlantılar olarak tespit edilmiştir. Genel olarak sertlik değerleri incelendiğinde ilave metalin olduğu bölge en düşük sertlik değerlerine sahiptir.

Şekil 6.33. incelendiğinde 80 A akım şiddeti için çekilen mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 6.33.-A incelendiğinde iri taneli bölge ve sertliğin en yüksek olduğu bölge olarak kopma bu bölgede gerçekleşmiştir. Şekil 6.33.-F incelendiğinde ise kaynak metalindeki dentritik yapılar, ana malzemeden elementlerin difüzyonu sonucu oluştuğu belirlenmiştir.

80 A akım şiddetinde kaynak bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri incelendiğinde oluşan dentritlerin atomsal yayınma ile gerçekleştiği belirlenmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre kaynak metalinde alınan analizde Cu oranı % 82,695 iken yine kaynak bölgesinde oluşan dentritlerden alınan analiz sonuçlarında ise Fe oranı % 86,532 olarak belirlenmiştir.

Çekme testleri, mikro sertlikler, mikro-makro yapılar, ısılatma açıları, kaynak yükseklik ve genişlikleri ve SEM-EDS analizleri ele alındığında, CuSn6 ilave metali ile yapılan bindirme bağlantılarında 80 A akım şiddeti uygun akım şiddeti olarak belirlenmiştir.

7.2. Öneriler

1. DP600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde ITAB' da oluşan sıcaklık dağılımları incelenebilir.
2. DP600 çeliğinin CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde yorulma davranışları incelenebilir.
3. DP600 çeliği yüksek çekme mukavemet değerlerine sahip farklı ilave teller ile CMT kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilir ve mekanik özellikleri incelenebilir.
4. DP600 çeliğinin CMT ile birleştirilmesinde farklı gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Hall, J.N., Fekete, J.R., Automotive Steels, Design, Metallurgy, Processing and Applications, Pages 19-45, 2017.
- [2] Uçar, K., Türk otomotiv sektöründeki yapısal değişimin bir uygulamayla incelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [3] Carlsson, B., Choice of Tool Materials for Punching and Forming of Extra and Ultra High Strenght Steel Sheet, 3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, Bursa, Turkey, 2004.
- [4] Hilditch, T.B, Souza, T. De., Hodgson P.D., Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS), Pages 9-28, 2015.
- [5] Eker, T., Otomotiv endüstrisinde kullanılan kaporta sacının plazma ark kaynağı. Teknik - Online Dergi, Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Cilt:9, Sayı:1-2010.
- [6] Hayat, F., TRIP çeliklerinin otomobil endüstrisinde kullanımının incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., Cilt:25, No:4, 701-712, 2010, Ankara.
- [7] Shome, M., Tumuluru, M., Welding and Joining of AHSS. Part.1, Page.1, 2015.
- [8] Thelning, K. E., 1984, Çelik ve Isıl İşlemi Bofors El Kitabı. Çeviri: Doç. Dr. Tekin, A., s. 417, İstanbul.
- [9] Radwanski, K., Wrozyňa, A., Kuziak, R., Role of the advanced microstructures characterization in modeling of mechanical properties of AHSS steels, Materials Sience and Engineering A, 567-574, 2015.

- [10] Güler, H., Yüksek mukavemetli çelik sacların yüksek sıcaklıklardaki şekillendirme parametrelerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2013.
- [11] Ders Notu, Özel Çelikler, Erişim Tarihi : 22.11.2016.
- [12] Uysal, G., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli sacların şekillendirilebilme özelliklerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2006.
- [13] Arcelor Mital, Automotive Worldwide, TRIP (Transformation Induced Plasticity) Steels.
- [14] Varol, F., Mig lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013.
- [15] Ulu, S., Çift fazlı çelikler. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (6), 100-113, Afyonkarahisar, 2009.
- [16] Speich, G.R., Physical metallurgy of dual phase steels, fundamentals of dual-phase steels. ed. by; R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, s.3-45., 1981.
- [17] Demir, B., Ereğli D.Ç. fabrikalarında sürekli tavlama hatlarında çift fazlı çelik üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [18] Demir, B., Ereğli D.Ç. fabrikalarında sürekli tavlama hatlarında çift fazlı çelik üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [19] Kim, N. J., Thomas, G., Effect of Morphology on Mechanical Behavior of Dual-Phase Fe/2 Si/0,1 C steel. Metallurgical Transactions, Vol. 12 A, pp. 483-489, 1981.
- [20] Sarwar, M., and Priestner R., 1996, Influence of Ferrite-Martensite Microstructural Morphology on Tensile of Dual-Phase Steel, Journal of Materials Science, Vol. 31, pp. 2091-2095.

- [21] Marder, A. R., 1981, The Effect of Heat Treatment of The Properties Structure of Molybdenum and Vanadium Dual-Phase Steels, Metallurgical Transactions, Vol. 12A, pp. 1569-1579.
- [22] <http://www.metaldunyasi.com/tr/arsivdergi.asp?aay=12&yiil=2007>, Erişim Tarihi: 09.02.2010.
- [23] Bernard, S. J., Smith, G. D. W., Sarıkaya, M., 1981, Carbon Atom Distribution in a Dual-Phase Steel an Atom Probe Study, Scripta Metallurgia, pp.35-46.
- [24] Rashid, M.S., 1977, Relationship Between Steel Microstructure and Formability of Formable HSLA and Dual Phase Steels, Ed. By., Davenport, A.T., AIME, pp. 1-26.
- [25] Thomas, G., and Koo, J.K., 1979, Developments in Strong Ductile Duplex Ferritic-Martensitic Steels Structure and Properties of Dual-Phase Steels, Ed. By. Kot, R.A., and Morris, J.W., AIME, pp. 184-201.
- [26] Çimenoglu, H., Kayalı, E. S., 1986, Ticari Çift Fazlı Çelik Üretimi, 4. Ulusal Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, s. 13-15.
- [27] <http://www.fronius.com/>, Erişim Tarihi : 06.02.2017.
- [28] <http://oerlikon.com.tr>, Erişim Tarihi: 24.09.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Cengiz Özdemir 1988 yılında Amasya iline bağlı Merzifon ilçesinde doğdu. İlkokulu Samsun Gülsüm Sami Kefeli İlk Öğretim okulunda, ortaokulu Merzifon Mehmetçik İlköğretim okulunda tamamladı. 2007 yılında Merzifon Anadolu Meslek Lisesi Bilgisayar Yazılım bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünde lisans eğitime başladı. 2013 yılında Lisans eğitimi ardından yine aynı yıl içerisinde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen yüksek lisans eğitime devam etmektedir. 2017 yılı içerisinde Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Mühendislik tamamlama programı kapsamında başlamış olduğu lisans eğitimi halen devam etmektedir.