T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİVLERDE KULLANILAN CRASH BOXLARIN CMT YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan YAKUPOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Faruk VAROL

OCAK 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİVLERDE KULLANILAN CRASH BOXLARIN CMT YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan YAKUPOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 21/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Faruk VAROL	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Ömer SAVAŞ	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Cihan YAKUPOĞLU

21/01/2021

TEŞEKKÜR

Otomotivde önemli parçalardan biri olan crash boxın üretiminde kullanılan SCGA440(DP) galvaniz kaplı çelik sacların CMT ile birleştirme uygulamaları ile ilgili çalışmalarımın yapılması ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Doç. Dr. Faruk VAROL'a, Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

SCGA440 galvaniz kaplı çelik sac, CuAl8, CuSi3, SG2 kaynak tellerinin tedarik edilmesinde ve Ak-Pres Otomotiv fabrikasında bulunan tüm ekipman ve imkanların kullanımında bana maddi ve manevi olarak destek veren başta Küçükoğlu Holding Yönetim Kurulu Başkanı Syn. Oğuzhan KÜÇÜKOĞLU'na, Sanayi Grup Başkanı Syn. Tolga TÜRKASLAN'a, Fabrika Direktörü Syn. Aykut GÖCEKLİ 'ye, Kaynak Üretim Mdr. Syn. Mustafa BOZKUŞ'a, iş arkadaşlarım Gürcan SUCUOĞLU'na, Şerafettin ÇAKIR'a, Ufuk ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

CMT ile birleştirme işlemlerinin yapılmasında desteklerini veren FRONIUS-Türkiye VSP İstanbul – Anadolu satış mühendisi Gökhan SARAC'a ve Lütfü DOĞANAY'a, ABB-Türkiye Servis Müdürü Özgen ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklı numunelerin mekanik testlerinin yapılmasında TÜVASAŞ mekanik labaratuar yetkilisi Kadir KORKMAZ'a, numunelerin lazer kesimi için Mısırlıoğlu İml. Ltd. Şti. firması ve Mehmet MISIRLIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan anneme, babama ve herzaman yanımda olup yılmadan destek veren çok değerli eşim Deniz YAKUPOĞLU'na minnettarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN ..... **i**
TEŞEKKÜR ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **vi**
SİMGELER ..... **vii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiii**

BÖLÜM 1
GİRİŞ **1**

BÖLÜM 2
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK **3**
2.1. Otomotiv Endütrisinde Kullanılan Çelikler 5
2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan AHSS Türü Çelikler 6
2.2.1. Kompleks fazlı (CP) çelikler 6
2.2.2. Çift fazlı (DP / SCGA) çelikler 7
2.2.3. Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler 8
2.2.4. İkizleme ile plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler 8
2.2.5. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler 9

BÖLÜM 3
ÇİFT FAZLI ÇELİKLER VE CRASH BOX **10**
3.1. Genel 10
3.2. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları 11
3.3. Çift Fazlı Çeliklerin Türüne Göre Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı 12
3.4. Crash Box 13

BÖLÜM 4
LEHİMLEME 16
4.1. Lehimleme 16
4.2. Yumuşak Lehimleme 17
4.3. Sert Lehimleme 17
4.4. MİG Lehimleme 18
4.4.1. CMT (Soğuk Metal Transferi) yöntemi 19
4.4.2. CMT lehimleme yöntem türleri 20
4.4.3. CMT lehimleme yönteminin avantajları 22

BÖLÜM 5
DENEYSEL ÇALIŞMALAR 23
5.1. Genel 23
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Spektral Analizi 23
5.3. Deneylerde Uygulanan Birleştirme İşlemleri 25
5.3.1. Deney numuneleri hazırlama 26
5.3.2. CMT-Lehimleme işlemleri 29
5.4. Sertlik Ölçümleri ve Metalografik Analiz Numune Hazırlama 31
5.5. Eğme Deneyi 34
5.6. Çekme Deneyi 34
5.7. Mikroyapı ve Makroyapı incelenme 35
5.7.1. Mikroyapı 35
5.7.2. Makroyapı 36
5.7.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizi 37
5.8. Deneyde kullanılan parametreler 37

BÖLÜM 6
DENEYSEL SONUÇLAR 38
6.1. Crash Boxlarda Kullanılan 1.2 mm ve 2 mm SCGA440 Galvanizli Sacların CMT Birleştirme Yöntemi İle Alın Birleştirilmeleri 38
6.1.1. CuSi3 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi 38
6.1.1.1. CuSi3 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 38
6.1.1.2. CuSi3 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi 40
6.1.1.3. CuSi3 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 41
6.1.1.4. CuSi3 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 44
6.1.2. CuAl8 lehim telinin birleştirmedeki özelliklerine etkileri 46
6.1.2.1. CuAl8 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 46
6.1.2.2. CuSi3 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi 48
6.1.2.3. CuSi3 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 50
6.1.2.4. CuSi3 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 52
6.1.3. SG2 kaynak telinin birleştirmedeki özelliklerine etkileri 55
6.1.3.1. SG2 kaynak telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 55
6.1.3.2. SG2 kaynak telinin bağlantının sertliğine etkisi 57

6.1.3.3. SG2 kaynak telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 58
6.1.3.4. SG2 kaynak telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 60
6.2. Crash Boxlarda Kullanılan 1.2 mm ve 2 mm SCGA440 Galvanizli Sacların CMT Birleştirme Yöntemi İle Alın Birleştirilmeleri 62
6.2.1. CuSi3 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi 62
6.2.1.1. CuSi3 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 62
6.2.1.2. CuSi3 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi 64
6.2.1.3. CuSi3 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 65
6.2.1.4. CuSi3 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 67
6.2.2. CuAl8 lehim telinin birleştirmedeki özelliklerine etkileri 69
6.2.2.1. CuAl8 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 69
6.2.2.2. CuAl8 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi 71
6.2.2.3. CuAl8 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 73
6.2.2.4. CuAl8 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 75
6.2.3. SG2 kaynak telinin birleştirmedeki özelliklerine etkileri 78
6.2.3.1. SG2 kaynak telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi 78
6.2.3.2. SG2 kaynak telinin bağlantının sertliğine etkisi 80
6.2.3.3. SG2 kaynak telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi 81
6.2.3.4. SG2 kaynak telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi 83

BÖLÜM 7
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 85
7.1. Sonuçlar 85
7.2. Öneriler 91

KAYNAKLAR 92

EKLER 96

ÖZGEÇMİŞ 100

KISALTMALAR

A	: Amper
C	: Karbon
Cm	: Santimetre
CMT	: Cold Metal Transfer
Dk	: Dakika
DP	: Dual Phase
E	: Parça kalınlığı
EN	: European standard
EDS	: Noktasal element analizi
HSS	: High strength steel
I	: Akım şiddeti
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
MAG	: Metal aktif gaz kaynağı
MIG	: Metal inert gaz kaynağı
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
SCGA	: Çift Fazlı Çelik
SEM	: Scanning Electron Microscopy
U	: İlerleme hızı
TRIP	: Transformation Induced Plasticity
TWIP	: Twinning-Induced Plasticity
V	: Voltaj
Zn	: Çinko

SİMGELER

α	: Ferrit
º	: Derece
σ	: Gerilme
σA	: Akma Mukavemeti
σç	: Çekme Mukavemeti
I	: Kaynak Akım Şiddeti (A)
t	: Kaynak Süresi (t)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1: SCGA 440 (DP) 1.2 mm çeliğinin kimyasal bileşimi.....24
Tablo 5.2: SCGA 440 (DP) 2 mm çeliğinin kimyasal bileşimi.....24
Tablo 5.3: SCGA 440 (DP) 1.2 mm çeliğinin mekanik özellikleri. 24
Tablo 5.4: SCGA 440 (DP) 2 mm çeliğinin mekanik özellikleri. 24
Tablo 5.5: CuAl8 lehim metalinin bileşimi - %. 25
Tablo 5.6: CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %.....26
Tablo 5.7: SG2 dolgu metalinin bileşimi - %. 26
Tablo 6.1: CuSi3 ile alın birleştirmelerindeki çekme mukavemeti sonuçları.....38
Tablo 6.2: CuSi3, CuAl8, SG2 alın birleştirmelerini çekme mukavemeti kıyası.....39
Tablo 6.3: CuAl8 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti sonuçları. 47
Tablo 6.4: CuAl8, CuSi3, SG2 alın birleştirmelerdeki çekme mukavemeti kıyası. 48
Tablo 6.5: SG2 alın birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları. 56
Tablo 6.6: SG2, CuAl8, CuSi3 alın birleştirmesi çekme mukavemeti kıyası 57
Tablo 6.7: CuSi3 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları.....64
Tablo 6.8: CuSi3, CuAl8, SG2 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemet kıyası. 65
Tablo 6.9: CuAl8 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları. 72
Tablo 6.10: CuAl8, CuSi3, SG2 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemet kıyası. 73
Tablo 6.11: SG2 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları……. 81
Tablo 6.12: SG2, CuAl8, CuSi3 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemeti kıyası..... 82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı 4
Şekil 2.2: GM'nin geçmiş-yakın zaman-gelecek öngörülerine göre çelik kullanımı 5
Şekil 2.3: AHSS saclar, HSS saclar ve LSS saclar arasındaki ilişki 6
Şekil 2.4: TRIP çeliğinin sembolik mikroyapısı 7
Şekil 2.5: Martenzitik 1200 mikroyapısı 9
Şekil 3.1: Çift fazlı çeliğin mikro yapısı 11
Şekil 3.2: Çelik türleri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği 12
Şekil 3.3: Otomotivde kullanılan DP(SCGA) serisi saçlar ile üretilen parçalar görseli 13
Şekil 3.4: Crash boxların kullanım yeri ve görselleri 14
Şekil 3.5: Crash boxların imalat ve farklı tip görselleri 15
Şekil 4.1: CMT lehimleme yöntemi işlem adımları 20
Şekil 4.2: CMT döngüsü ve darbe döngüsü oluşumu 20
Şekil 4.3: CMT negatif - pozitif CMT döngüleri kombinasyonu 21
Şekil 4.4: CMT negatif - pozitif darbe döngüleri kombinasyonu 21
Şekil 5.1: SCGA440 sacının alın birleştirme için 1.2 mm numune ebatları 27
Şekil 5.2: SCGA440 sacının alın birleştirme için 2 mm numune ebatları 27
Şekil 5.3: SCGA440 sacının bindirme birleştirme için 2 mm numune ebatları 28
Şekil 5.4: SCGA440 sacının bindirme birleştirme için 1.2 mm numune ebatları 28
Şekil 5.5: Birleştirme işlemi sonrası SCGA440 sacının test numune yerleri 29
Şekil 5.6: Birleştirme işlemi için kullanılan makine ve robot görselleri 30
Şekil 5.7: Birleştirme işlemi yapılmış üç farklı dolgu teline ait dikişlerin görselleri 31
Şekil 5.8: Alın birleştirmesi sertlik ölçüm numunesi ve bakılacak sertlik noktaları 32
Şekil 5.9: Bindirme birleştirmesi sertlik ölçüm numunesi ve bakılacak sertlik noktaları 32
Şekil 5.10: Alın birleştirmesi ısı girdileri 33
Şekil 5.11: Bindirme birleştirmesi ısı girdileri 33
Şekil 5.12: Eğme numunesi 34
Şekil 5.13: Çekme numunesi 35
Şekil 5.14: Bindirme ve alın birleştirme mikroyapıları 35
Şekil 5.15: Bindirme birleştirme numunelerinde makroyapı ölçüm alınan noktalar 36
Şekil 5.16: Alın birleştirme numunelerinde makroyapı ölçüm alınan noktalar 36
Şekil 5.17: Alın birleştirme numunelerinde kaynak prarmetreleri 37
Şekil 5.18: Bindirme birleştirme numunelerinde kaynak prarmetreleri 37
Şekil 6.1: CuSi3 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri 39
Şekil 6.2: CuSi3, CuAl8, SG2 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği 39
Şekil 6.3: CuSi3 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 40
Şekil 6.4: 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğinin CuSi3, alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri 41
Şekil 6.5: 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuSi3 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 41
Şekil 6.6: SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 42
Şekil 6.7: CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 42
Şekil 6.8: CuSi3 0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri 43
Şekil 6.9: CuSi3 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi 43
Şekil 6.10: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 44
Şekil 6.11: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 44

Şekil 6.12: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 45
Şekil 6.13: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 45
Şekil 6.14: SG2, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi 45
Şekil 6.15: CuAl8 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri 47
Şekil 6.16: CuAl8, CuSi3, SG2 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği 47
Şekil 6.17: CuAl8 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 48
Şekil 6.18: 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğin CuAl8 alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri 49
Şekil 6.19: 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuAl8 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 50
Şekil 6.20: SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 51
Şekil 6.21: CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 51
Şekil 6.22: CuAl8 0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri 51
Şekil 6.23: CuAl8 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi 52
Şekil 6.24: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 53
Şekil 6.25: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 53
Şekil 6.26: 1,2 mm birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 53
Şekil 6.27: 2 mm birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 54
Şekil 6.28: SG2, CuAl8 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi 54
Şekil 6.29: SG2 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri 55
Şekil 6.30: SG2, CuAl8, CuSi3 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği 56
Şekil 6.31: SG2 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 57
Şekil 6.32: 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğinin SG2 alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri 57
Şekil 6.33: 60 cm/dk sabit hızda yapılan SG2 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 58
Şekil 6.34: Cusi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 59
Şekil 6.35: CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 59
Şekil 6.36: SG2 0,5 mm birleştirme aralığı SEM görüntüleri 59
Şekil 6.37: SG2 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi 60
Şekil 6.38: SG2 ile birleştirme sonrası makro görüntüler 60
Şekil 6.39: SG2 ile birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 61
Şekil 6.40: SG2, CuAl8, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi 61
Şekil 6.41: CuSi3 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri 62
Şekil 6.42: CuSi3, CuAl8, SG2 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti 63
Şekil 6.43: CuSi3 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 64
Şekil 6.44: 1,2 mm ve 2 mm çeliklere CuSİ3 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri 64
Şekil 6.45: 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuSi3 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 65
Şekil 6.46: SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 66
Şekil 6.47: CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 66
Şekil 6.48: CuSi3 0,5 mm bindirme lehim aralığı SEM görüntüleri 66
Şekil 6.49: CuSi3 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi 67
Şekil 6.50: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 67
Şekil 6.51: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 68
Şekil 6.52: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 68
Şekil 6.53: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 68
Şekil 6.54: SG2, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi 69
Şekil 6.55: CuAl8 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri 70
Şekil 6.56: CuAl8, CuSi3, SG2 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti 71
Şekil 6.57: CuAl8 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 71
Şekil 6.58: 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin CuAl8 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri 72
Şekil 6.59: 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuAl8 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 73
Şekil 6.60: SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 74
Şekil 6.61: CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 74
Şekil 6.62: CuAl8 0,5 mm bindirme lehim aralığı SEM görüntüleri 74
Şekil 6.63: CuAl8 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi 75
Şekil 6.64: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 76

Şekil 6.65: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler 76
Şekil 6.66: 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 76
Şekil 6.67: 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge 77
Şekil 6.68: SG2, CuAl8 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi..... 77
Şekil 6.69: SG2 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri..... 78
Şekil 6.70: SG2, CuSl8, CuSi3 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti 79
Şekil 6.71: SG2 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri 80
Şekil 6.72: 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin SG2 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri..... 80
Şekil 6.73: 60 cm/dk sabit hızda yapılan SG2 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler 81
Şekil 6.74: CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri..... 82
Şekil 6.75: CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri 82
Şekil 6.76: SG2 0,5 mm bindirme birleştirme aralığı SEM görüntüleri..... 82
Şekil 6.77: SG2 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi..... 83
Şekil 6.78: SG2 ile birleştirme sonrası makro görüntüler 83
Şekil 6.79: SG2 ile birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge..... 84
Şekil 6.80: SG2 ile birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge..... 84
Şekil A 1: Alın bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları 97
Şekil B 1: Bindirme bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları..... 98
Şekil C 1: Alın ve bindirme bağlantılarındaki darbe deneyi raporları 99

OTOMOTİVLERDE KULLANILAN CRASH BOXLARIN CMT YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan, her geçen gün artan bir üretim trendi olması SCGA (DP) galvaniz kaplı sacların araç üzerinde bir çok parçanın üretiminde kullanılmasını da arttırmaktadır. Üretilecek araçların ana gövdesinde bulunan, şasi üzerine montajı yapılarak araçlarda çarpışma esnasındaki güvenlik önlemlerinin bir parçası olarak kullanılan, oldukça önem taşıyan crash boxlarında (çarpışma kutusu) üretiminde kullanılan galvaniz kaplı SCGA (DP) çelik saclar yüksek mukavemetli, uygun fiyatlı, hafif, kolay şekil alabilen, iyi korozyon direncine sahip olduğundan otomotiv üreticileri tarafından tercih edilmektedir.

SCGA440 (DP) galvaniz kaplı çelik sacların kaynaklı birleştirmeleri, örtülü gaz metal ark gibi geleneksel MİG-MAG yöntemleri ile kaynaklı imalatı yapıldığında yüksek ısı girdisi nedeni ile ana metal yüzeydeki çinkonun buharlaşma oksidasyonu oluştuğu, yapılan kaynaklarda delinmelerin oluştuğu görülmekte ve yüksek ısı girdisi metal sacın çarpılma riskini oldukça arttırmaktadır. CMT (Cold Metal Transfer) soğuk metal transferi yöntemi geleneksel kaynaklı birleştirme yöntemlerine göre oldukça düşük ısı girdisi sunduğundan bu yöntem çinkonun oksidasyonu min. seviyelere çekmekte ve çarpılma riskini azaltmakta, ayrıca hızlı bir üretim sunduğundan otomotiv ve otomotiv yedek parça üreticileri için CMT yöntemi ile birleştirme yapmak tercih sebebi olmaktadır.

Yapmış olduğum bu soğuk metal transfer yöntemi ile kaynaklı birleştirme çalışmasında crash boxın gövde kısmında kullanılan 1.2 mm kalınlıkta SCGA440 galvaniz kaplı çelik sac ve braket kısmında kullanılan 2 mm kalınlıkta SCGA440 galvaniz kaplı çelik sac değerlendirilmiştir. CMT birleştirme yöntemi SG2, CuAl8, CuSi3 olacak şekilde üç faklı özellikte birleştirme tellerinin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan birleştirme işlemleri alın kaynağı ve bindirme kaynağı olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak sonuçlandırılmıştır. CMT birleştirme yöntemi yapılırken tatbik edilen parametreler, akım şiddeti, ilerleme hızı, voltaj farkı, tel sürme hızı olarak seçilmiştir.

CMT birleştirme işlemi sonrası malzemelerin sonuçlarını almak üzere, mukavemet özellikleri, eğme kuvveti, darbe tokluğu, bağlantı noktalarındaki sertlik değerlerinin incelenmesi, ITAB bölgelerin analizi yapılmıştır. Makro ve mikroyapı analizlerinin yapılması için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı (EDS) kullanılarak araştırma tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: SCGA440 galvaniz kaplı sac, CMT-Birleştirme, crash box, CuAl8, Cusi3, SG2

INVESTIGATION OF THE COMBINABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF CRASH BOXES USED IN AUTOMOTIVE WITH THE CMT METHOD

SUMMARY

High strength, suitable for galvanized SCGA (DP) steel sheets used in the production of crash boxes (collision box), which is used in the automotive body, which is used in the automotive body, which is a part of the safety measures during the collision of vehicles on the main body of the vehicle. It is preferred by automotive manufacturers since it is priced, light and has high corrosion resistance.

It is observed that the welded joints of SCGA440 (DP) galvanized steel sheets are welded by traditional MIG-MAG methods such as covered gas metal arc, and due to the high heat input, evaporation oxidation of zinc on the main metal surface is observed, and the high heat input increases the risk of metal sheet distortion. Since the CMT (Cold Metal Transfer) cold metal transfer method offers very low heat input compared to traditional welded joining methods, this method oxidation of zinc is min. It is preferred to combine with CMT method for automotive and automotive spare parts manufacturers since it increases the levels and reduces the risk of distortion.

In this welded joining work with the cold metal transfer method I have made, the 1.2 mm thick SCGA440 galvanized steel sheet used in the body part of the Crash box and the 2 mm thick SCGA440 galvanized heart steel sheet used in the bracket section were evaluated. The CMT-soldering method was carried out by using three different fusion wires such as SG2, CuAl8, CuSi3. The joining processes have been concluded by using two different methods, butt welding and thrust welding. The parameters applied when making CMT-soldering method were chosen as current intensity, feed rate, gas pressure, soldering range.

In order to get the results of the materials after joining with CMT-soldering process, the strength properties, bending force, the hardness values at the connection points, and the analysis of ITAB regions were performed. The research was completed by using optical microscope, scanning electron microscope (SEM) and point element analysis device (EDS) to perform macro and microstructure examinations.

Keywords: SCGA440 galvanized sheet, CMT-soldering, crash box, CuAl8, Cusi3, Sg2

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv sanayisi araçları üretirken parçaların büyük bir oranını çelik sacları kullanarak elde etmektedir. Crash boxlar şu an için tamamen çelik saçlardan üretilmektedir. Özellikle gövde, şasi ve kaporta grupların büyük bir kısmı çelik olan bu araçlar için sacların önemi oldukça fazladır. Kullanılan sacların başlıca özellikleri, yüksek mukavemetli; HSS çekme dayanımı 270-900 MPa olan çelikler, yüksek korozyon direnç, galvaniz kaplı tabaka, hafiflik, aynı mukavemet değerlerine sahip daha ince saçlar, uygun maliyet, kolay şekil alabilmedir. Kullanılan sacların bu özellikleri üretilen araçlarda, daha hafif olma, düşük yakıt tüketimi sağlama, çevreye duyarlı ve güvenli olma, geri dönüşüme uygunluk, kolay tamir edilebilme, kolay kaplama ve boya yapılabilme gibi avantajları sunması otomotiv sektöründe bu sacları kullanımı arttırmıştır [1].

Sektörde araç üretiminde kullanılan saclar mukavemet değerlerine göre, çekme dayanımı 270 MPa altında düşük mukavemetli, çekme dayanımı 270-700 MPa arasında yüksek mukavemetli, 700 MPa nın üzerindekilerde ultra-yüksek mukavemetli saclar olarak sınıflandırılmış olup kullanım yerlerine göre aracın farklı bölmelerinde değerlendirilmektedir [2]. Crash boxlarda üretimi yapılırken bu saclardan yüksek mukavemetli olan sınıfı tercih edilmektedir.

Her geçen gün otomotiv sektöründe artan bir üretim olması ve trafiğe çıkan araç sayısının artması sonucunda paralel olarak trafik kazalarında artması gözlemlenmektedir. Yolcu ve sürücü güvenliğini arttırmak için birden fazla güvenlik önlemleri alınması yanında kazaların etkilerini azaltmak amaçlı pasif güvenlik sistemlerinin bir parçası olan enerji yutucular (crash box) kullanılmaktadır. Crash boxlar güvenlik parçaları olarak kullanılmakta ve üretim aşamalarında delta(S) olarak sınıflandırılmaktadır. Enerji yutucuların üretildiği saclar ve birleştirme yöntemi de oldukça önem kazanmaktadır.

Yeni nesil diye de adlandırılmakta olan bu DP(SCGA) serisi çelikler (SCGA tanımı DP tanımı ile aynı içeriğe sahip olup Japon adlandırmasına göre tanımlamasıdır.) otomobil

üretiminde önemli bir yer almıştır. Çalışmamda kullanılan SCGA440 galvanizli sac, 440 MPa çekme kuvvetine sahip olup otomobillerin şasisinde çarpışma sönümlemek, güvenlik, hafiflik, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci sağlayan ve kaynaklı birleştirmeye uygun olması ile o bölgedeki çarpışma kutusu (crash box) kullanımına uygun olarak tasarlanmıştır. Kaynaklı birleştirme yapılmaktadır fakat bu birleştirme SG2 metal dolgu teli ile yapılmakta olup kaynak esnasında yaşanılan birtakım sorunlar ortaya çıkartmaktadır. Bu sorunlar SG2 (1530 °C) dolgu telinin ergime sıcaklığının Zn (910 °C) kaplamanın buharlama sıcaklığından yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda yüksek ısı girdisinin olmasından kaynaklı olup parçada zaman zaman gözlenen birleştirmelerde (bindirme ve alın kaynağında) delinmeler oluşmaktadır. Bu yaşanılan sorunların minimize edilmesi ve istenilen birleştirme özelliklerini iyileştirmek amaçlı bu çalışmamda birleştirme işlemlerini daha düşük ısı girdisi oluşacak şekilde CuAl8 ve CuSi3 lehim telleri ile lehimleme işlemlerini yapılmıştır.

Geleneksel yöntemlere göre çok daha avantajlı olan CMT (Cold Metal Transfer) soğuk metal transfer kaynak ve lehimleme yöntemi Fronius tarafından geliştirilmiş MIG/MAG yöntemidir [3]. Bu yöntem düşük ısı girdisi ve sıçramayı en aza indirmeye çalışarak ana metal parçasını deforme etmeden minimum çinko buharlaşması hedeflenerek gerekli birleştirme işlemini yapmayı amaçlamaktadır. Çalışmamda Fronius'un geliştirmiş olduğu bu teknolojiyi kullanarak birleştirmeleri en iyi seviyede yapmak amaçlanmıştır.

Bu çalışma otomotivde çarpışma kutularının (crash box) üretiminde kullanılan SCGA440 galvanizli çelik sacların CMT birleştirme ile üç farklı dolgu teli kullanılarak (SG2, CuAl8, CuSi3), 2 farklı kalınlıkta (1,2 mm, 2 mm) alın ve bindirme kaynak yöntemlerini uygulanarak farklı voltaj, farklı akım, farklı ilerleme hızları ile birleştirilebilirliğini ve mekanik özellikleri incelenecektir. Ayrıca lehim genişliği, ITAB aralığı ve kep yükseklik değerleri tespit edilecektir. SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacın diğer birleştirme yöntemlerine göre üstünlükleri ispatlanmaya çalışılacaktır.

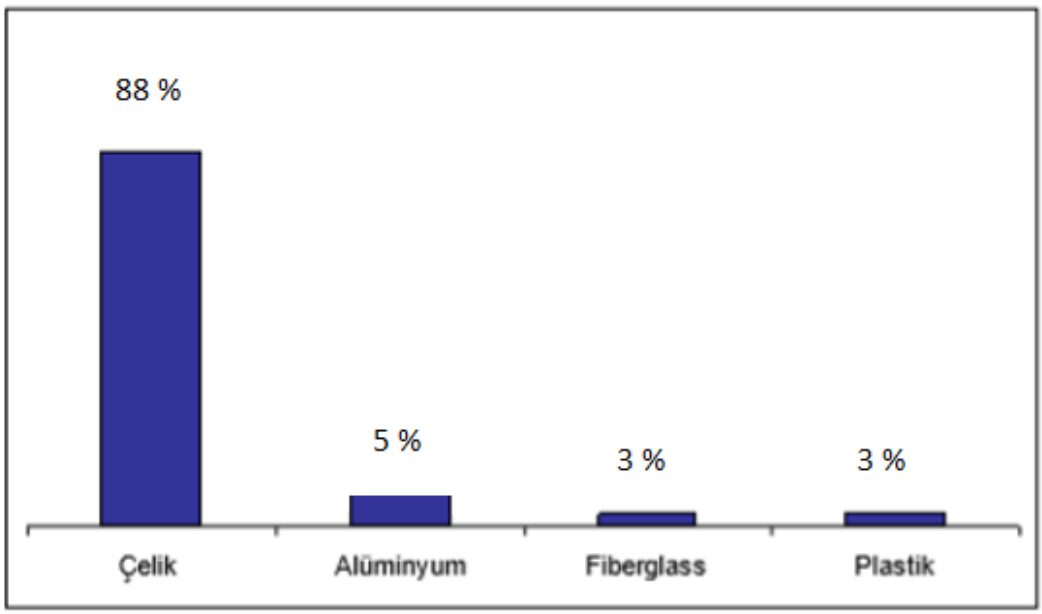
BÖLÜM 2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

Demir çelik sanayisinin ham maddesidir demir elementi, bu element dünyanın en çok kullanılan alanına sahiptir. Tercih edilmesindeki ana sebepler uygun fiyat, işlenebilirlik, kolay erişebilirlik, bulunabilir hammadde ve geri dönüşüm ile tekrar üretilebilirliktir. Bu avantajlar neticesinde, makina imalatı, inşaat sektörü, savunma sanayi, mobilya üretimi, taşımacılık, dekoratif amaçlı olarak sektörlerin vazgeçilmez malzemesi olmaktadır. Bu kadar büyük bir talebe sahip olan çelik ve türevleri için gerekli araştırma-geliştirme (AR-GE) ihtiyacı duyulmakta ve bunları hayata geçirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan AR-GE çalışmaları sonucunda hitap edilen sektör genişlemekte ve yeni sektörlere de kazanımlar sağlanmaktadır. Teknolojinin de gelişmesi ile bu çalışmalar mevcut durumdaki çelik geliştirilerek yeni nesil olarak da adlandırılan daha hafif, daha mukavemetli çelikler olarak bilinmeye başlanmıştır. Yüksek mukavemetli bu çeliklerin üretilmesi otomotiv sektöründe sağladığı; toplam kütledeki hafiflik, yakıt tasarrufu, kolay işlene bilirlik, yüksek dayanım, gibi avantajlar nedeni ile tercihleri tamamen bu çeliklere odaklamaktadır [4].

Dünyada otomotiv sanayi göz önüne alındığında ciddi bir oranda çelik önemli bir yer almaktadır. Bu kullanım, malzemenin seçimi için önemli parametreler yer almaktadır ve bunların koşulsuz olarak sağlanması istenmekteki, çelik bu koşulları sağlamaktadır. İstenilen parametreler; kaliteli ve sağlam, hammadde ve süreç maliyeti, süreklilik, korozyon direnci ve mukavemet, kolay işlenebilme ve en önemlilerinden biri geri dönüşüme uygun olmasıdır [5].

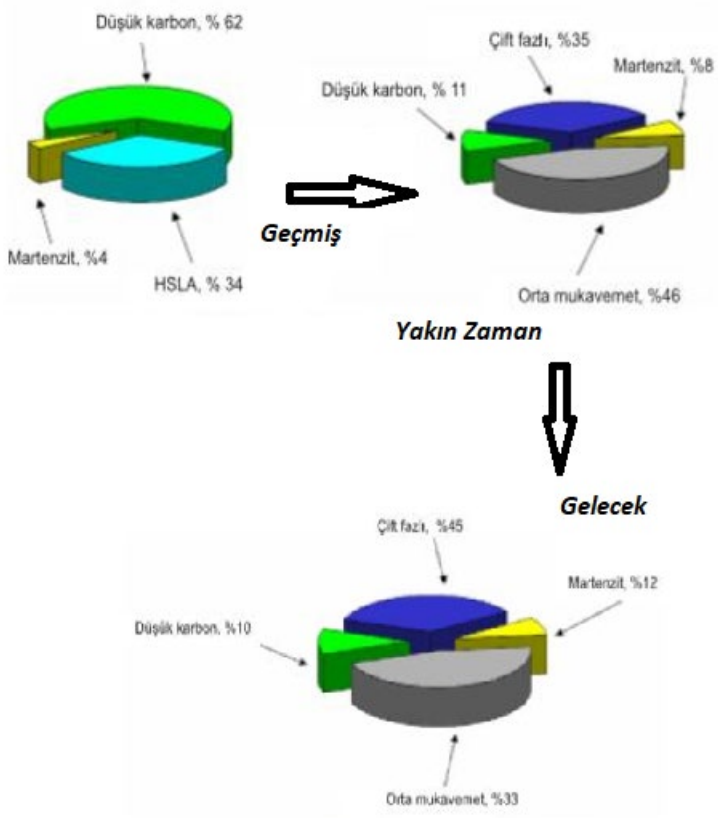
Çeliklerin yüksek mukavemet özellikleri taşıtlardaki en önemli etmenlerinden biri olan güvenlik özelliğini geliştirmede de büyük katkı sağlamaktadır. Gerçekleşen taşıt kazaları incelendiğinde tercih edilen malzeme türüne göre koruma yüzdeleri Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu inceleme sonucundan çelik işe üretilmiş taşıtlarda can kaybını %88 oranında azaltma mümkün iken Alüminyum %5 ve diğer plastik ürünlerden üretildiğinde bu değer %3 civarlarında olduğu saptanmıştır. İlerleyen trend ise elektrikli araçların

piyasaya sürülmesi ile çelik saçların yerlerini Alüminyum sacların alacağı görülmektedir. Bu sonuç güvenlik açısından çelik ürünün tercih edilmesini sağlamaktadır, fakat gelişen Alüminyum sanayisi de yüksek mukavemetli Alüminyum saclar imal ederek çelik sacların kullanım oranlarını düşürmeyi hedeflemektedir. Elektrikli araçlarda istenilen bir özellikte hafif olmasıdır bununda getirmiş olduğu bir avantaj ile Alüminyum saçların tercih sebepleri artmaktadır [6].



Şekil 2.1: Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı [6].

Taşıtların üretimine bakıldığında gövde kısmının tamamen sac olarak üretildiği ve bu da toplam kütlenin %25'ni oluşturmaktadır. Burada kullanılacak olan çeliklerin ağırlıkları genel toplamda oldukça etkili olacağından yeni nesil yüksek mukavemetli ve daha hafif çelikler tercih edilmektedir. Otomotiv sektörüne istenileni verilmesi sonucunda hızlıca kullanım oranları artmaktadır. Yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı yıllara göre Şekil 2.2'de gösterilmiştir [4,6].



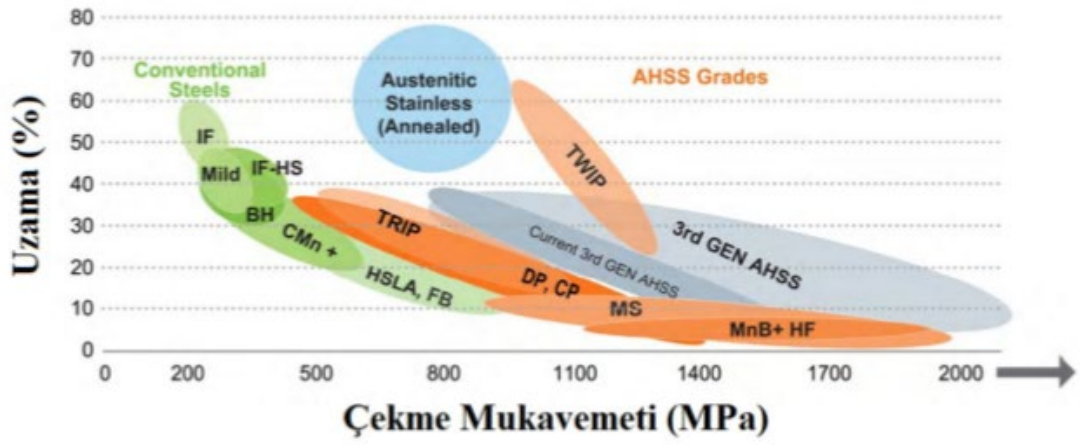
Şekil 2.2 : GM'nin geçmiş-yakın zaman-gelecek öngörülerine göre çelik kullanımı [6].

2.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Çelikler

Otomotiv üretiminde kullanılan çelikler belirli özelliklerine göre sınıflara ayrıştırılmaktadır. Birçok sınıflandırma çeşidi vardır fakat biz metalürjik olarak mukavemetlerine göre sınıflandırmayı aşağıdaki gibi yapmaktayız [7].

- Düşük mukavametli çelikler (LSS). (alaşımsız)
- Konvaksiyonel yüksek mukavemetli çelikler (HSS). (düşük alaşımlı)
- Yeni nesil yüksek mukavemetli çelikler (AHSS).

Sınıflandırılma sonucunda AHSS, HSS, LSS çeliklerin mukavemet- % uzama grafiği Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : AHSS saclar, HSS saclar ve LSS saclar arasındaki ilişki [7].

2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan AHSS Türü Çelikler

Otomotiv üretiminde kullanılan bu AHSS türü çelikler diğer geleneksel çelik üretimlerinden farklı olarak östenit veya östenit + ferrit fazlarından belirlenerek kontrollü soğutma ile sıcak haddelenmiş ürünlerde hadde işlemi sırasında, tavlama veya kaplama yapılan ürünler için tav fırınlarında imal edilirler. İmal edilen bu malzemelerden yüksek mukavemetle birlikte yüksek sünekliğe sahip olan çeliklerin üretimi sağlanabilmektedir [8].

AHSS (Advanced High Strength Steel) yüksek mukavemetli çeliklerin çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Kompleks fazlı (CP) çelikler
- Çift fazlı (DP / SCGA) çelikler
- Dönüşümle plastikliği arttırılmış (TRIP) çelikler
- İkizlemeyle plastikliği arttırılmış (TWIP) çelikler
- Martenzitik (M/MS/Mart) çelikleri
- Ferritik-Beynitik (FB) çelikler

2.2.1. Kompleks Fazlı (CP) Çelikler

Kimyasal kompozisyonunda kalıntı östenit bulundurmayan kompleks fazlı çelikler TRIP ve DP çeliklerinin içeriğindeki bulunan benzer alaşım elementleri kullanılır, yüksek çekme mukavemetine sahip çeliklerdir. Bünyesinde sert fazlar oluşmakta ve oluşan bu sert fazlar çökelme sertleşmesi beynit ve martenzitten elde edilmektedir. Kompleks fazlı

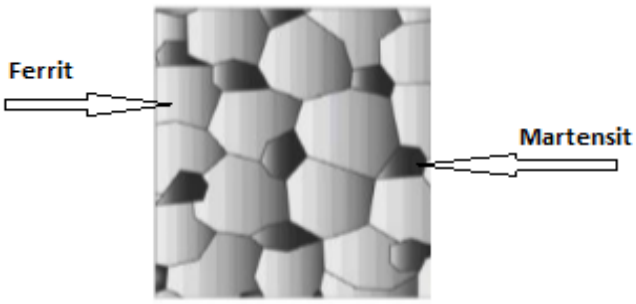
çelikler 800 – 1000 MPa çekme dayanımlarında yüksek akma dayanımı sergilemektedir. Yüksek mukavemet değerleri nedeniyle otomotivde çarpmaya dayanımlı bölgelerde kullanılmaktadır. Kompleks fazlı çeliklerde tane küçültmelerini özel elementler ile gerçekleştirilir titanyum, vanadyum gibi [9].

2.2.2. Çift Fazlı (DP / SCGA) Çelikler

Çift fazlı çelikler geliştirilmesi, üretilmesi, kullanılması 2000'li yılların başı olarak değerlendirilebilir. İki fazı da içerdiğinden çift fazlı çelik diye adlandırılırlar. Çift fazlı çelikler için kolay şekil verilebilmesi için özel bir tavlama ve ferritik özelliklerinin arttırılması ile sağlanırken mukavemet özelliğinin yükseltilmesi ikinci fazda da martenzit fazının oluşturulması ile sağlanmaktadır. İkinci faz %20 martenzittir. Karbon içerikleri % 0.1 altında olduğundan kaynaklana bilirlik özelliğine sahiptir [10].

Çift fazlı çeliklerin üretimi için kimyasal kompozisyon ve yapılan işlemleri sırası ile, Fe-Fe3C faz diyagramında A1-A3 sıcaklıkları aralığında (α+γ bölgesinden) belirli bir sıcaklığa kadar çıkılıp, bir süre bekletildikten sonra östenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulma işlemlerine tabi tutulması sonucunda elde edilir [11].

Çift fazlı çeliklerin otomotivde tercih sebebi olmasının en önemli iki özelliği yüksek mukavemet ve yüksek sünekliktir. Bu iki özelliği mikro yapıda sağlayan yapı ferrit ve martenzit yapıların bir arada bulunması sonucunda gerçekleşmektedir. Ferrit fazı yüksek sünekliği sağlarken martenzitik yapı ise mukavemet ve yüksek sertlik değerlerini sağlamaktadır. Çift fazlı çeliklerin, mikroyapılarında ferrit matrisi içine adacıklar halinde martenzit patikülleri içeren az miktarda karbonlu, az miktarda alaşımlı veya alaşımsız yüksek dayanımlı gelişmiş çelik çeşitleridir. Çift fazlı çeliklerin mikroyapısı şematik olarak Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Çift fazlı çeliklerin sembolik mikroyapısı [16].

Talep edilen çift fazlı çeliklerin özellikleri için, ticari olan çift fazlı çeliklerde maksimum %0,3 C ve %15-26 martenzit hacim oranında yapılması istenilir. Soğutmadan sonra ikinci fazı gerçekleştiren martenzit harici beynit, perlit veya kalıntı ostenit fazlarından meydana gelmesi, istenilen çift-fazlı çelik özelliklerinin sağlanamamasına neden olur. Talep edilen çift-fazlı çelik özelliklerini oluşturmak için kimyasal içeriğiyle beraber, üretim koşullarını ve ısıl işlem zamanını bilinmesi gerekmektedir [9].

2.2.3. Dönüşümle Plastikliği Arttırılmış (TRIP) Çelikler

Dönüşümle plastikliği arttırılmış bu (TRIP) çeliklerin mikro yapıları incelendiğinde gözlemlenen mikroyapıda yumuşak ferrit matrisi içinde yer alan beynit ve kalıntı östenit tanelerinden meydana gelmektedir. Deformasyon esnasında kalıntı östenitlerin martenzite dönüşümü ile çok iyi bir seviyede şekillenebilirlik özelliği kazandırmaktadır [12].

Otomotiv sektöründe TRIP çeliklerinin tercih edilmesindeki en önemli özellikleri, yüksek uzama değerlerinde sergilemiş olduğu üst düzey şekillenebilirlik ve yüksek enerji absorbe etme kabiliyetinin bulunmasıdır.

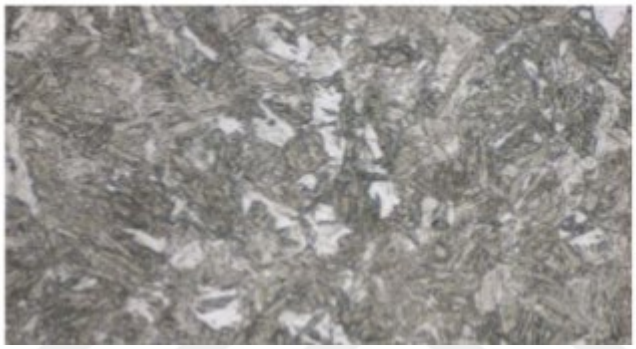
2.2.4. İkizleme ile Plastikliği Arttırılmış (TWIP) Çelikler

TWIP (TWinning Induced Plasticity) çelikleri yüksek mangan içerikleri ile östenitik yapıda çelikler olarak üretilmektedir. İkizlenme katkılı plastik (TWIP) çelikleri tamamen östenit fazı içerirler, gerekli kadar alaşım element katkısı ile oda sıcaklığında tamamen östenitik yapıda olurlar. İkizlenme katkılı plastik (TWIP) çelikleri sağladığı yüksek mukavemet (>950 MPa) ve yüksek süneklik (>%50) özellikleri otomotiv üretiminde aşağıdaki parçalarda kullanımını sağlamaktadır [13].

- Tekerlek yuvası
- Döşeme traversi
- Kapı darbe kirişi
- Tekerlek jantı
- Üst kiriş bağlantısı
- Arka tampon darbe semeri
- Teker bağlantı yuvası

2.2.5. Martenzitik (M/MS/Mart) çelikler

Yüksek mukavemetli çelikler arasında martenzitik çelikler tek fazlı olarak tamamen martenzitik yapıda olan çeliklerdir. Martenzitik yapı oluşumu, malzeme yapısını tamamen öztenitleşme sıcaklığına kadar ısıtarak, martenzit başlama sıcaklığının (Ms) hızlıca soğutulma işlemi ile elde edilir. Bu soğutma sonucu oluşan yapıya martenzit olarak adlandırılır. Oluşan martenzit çeliklerin mikro yapısı %99 gibi martenzit geri kalan oranda da ferrit ve beynit içeren çeliklerdir [12,14]. Martenzittik için mikroyapı görüntüsü Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5 : Martenzitik 1200 mikroyapısı [14].

Karbon oranı yükseldikçe martenzitik çeliklerde çekme mukavemeti değeri de yükselmektedir. Çekme dayanım değerleri 1700 Mpa'a kadar çıkmaktadır. Çeliğin sertlik değerini yükseltmek için bor, mangan, molibden, silisyum, nikel ilave edilebilir [12,14].

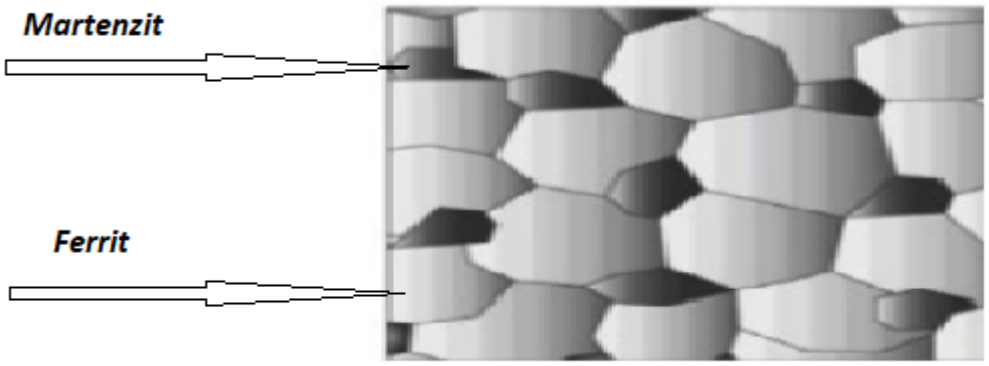
BÖLÜM 3. ÇİFT FAZLI ÇELİKLER VE CRASH BOX

3.1. Genel

Gün geçtikçe otomotiv sanayisinde kullanılan yüksek mukavemetli çeliklerin oranı da artmakta, gelişen araç üreticileri bir ürün ortaya çıkartırken onu oluşturan parçaların analizlerini daha sıkı yapmaya başladılar. Yapılan bu iyileştirme çalışmaları yakıt tüketimi, güvenlik, hafiflik, konfor, yedek parça maliyeti kapsamında değerlendirildiğinde, yüksek mukavemetli yeni nesil çeliklerin kullanılması aracın toplam ağırlığında bir hafiflik sağlarken yakıt tüketimini azaltmakta, sürücü ve yolcu güvenliği arttırmakta olduğundan, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin yerine tercih edilmelerinin sebebi ise çarpışma enerjisini, emme kapasitesi ve yorulma dayanımı olduğu görülmektedir [15].

Çift fazlı çelikler çoğunlukla % 0.1'den daha az miktarda karbon içerdiği ve buda kaynaklanabilme kabiliyetleri arttırır. Tavlamadan sonra hızlı soğutma işlemiyle mikroyapıdaki martenzitin %20'si meydana gelir. %1 ile 1.5 arasında manganez, hızlı soğutma işlemi sonrası martensitin oluşmasını sağlayacaktır. Sert ve dayanımlı martenzit ile yumuşak ve sünek olan ferrit fazının karışımından oluşan çift-fazlı çeliğin çekme mukavemet özellikleri incelendiğinde, dayanaklığı martenzitin, sünekliğide daha çok ferrit fazının özellikleri verdiği gözlemlenmiştir [15].

Şekil 3.1'de ferrit ve martenzit fazını bir arada bulunduran bu yapıların hem yüksek mukavemet hem de yüksek süneklik özellikleri vardır. Yapısındaki ferrit (α) fazı yüksek sünekliği tayin etmekte, martenzit (M) fazıda bize sertlik ve mukavemeti artıran yapıyı göstermektedir.

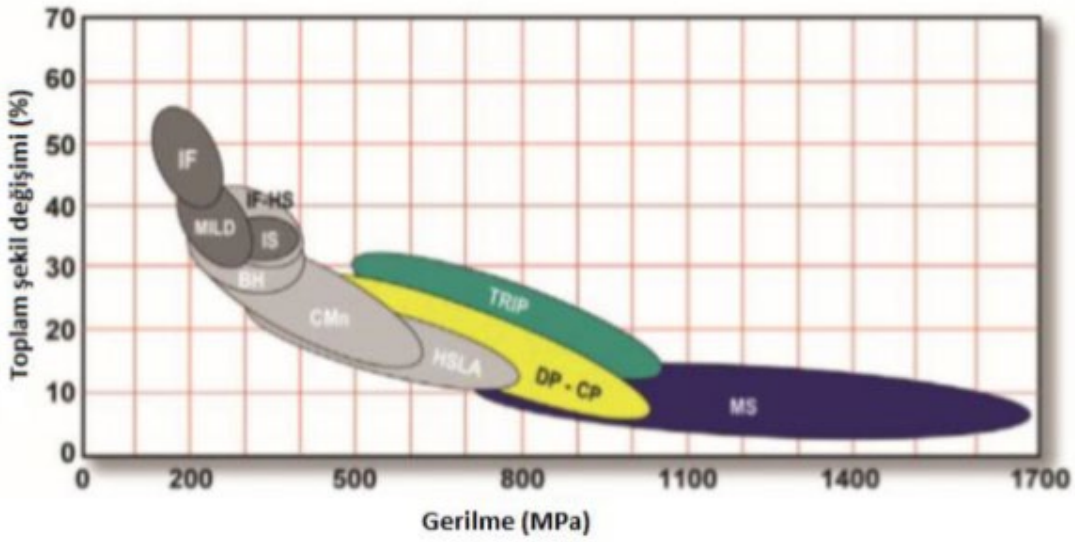


Şekil 3.1 : Çift fazlı çeliğin mikro yapısı [16].

Çift fazlı çeliklerin, mikroyapılarında ferrit matrisi içine adacıklar halinde martenzit partikülleri içeren az miktarda karbonlu, az miktarda alaşımlı veya alaşımsız yüksek dayanımlı gelişmiş çelik çeşitleridir. Deneyimde kullanmış olduğum SCGA diye adlandırılan galvaniz kaplı çelik, DP çift fazlı galvaniz kaplı çelik ile aynı özelliklerde olup isim farklılığı vardır. SCGA adı Japon üreticiler tarafından verilmiş bir tanımlamadır.

3.2. Çift Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

DP(SCGA) çelikler 1970'lerde geliştirilme çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan bu çalışma mevcut durumda kullanılan ürünlerin yerine, daha hafif, mukavemetli, yakıt tasarrufu sağlayacak, güvenlik kat sayısı yüksek ürün elde etmek amaçlıdır. Sonucunda bu ürünün tüm üretim proseslerine uygun olması istenmektedir [16]. Yüksek mukavemet, işlenebilirlik, hafiflik, kolay şekil alabilme ve uygun maliyetli avantajı çevresel ve ekonomik bir yarar sağlamış olmaktadır. Çift fazlı çeliklerin yapısına bakıldığında ferrit ve matris olmak üzere iki fazdan oluştuğu görülmektedir. Bu fazlar çeliklere farklı özellikler yüklemektedir. Mukavemet yükseltici olarak yapıdaki sert martenzit fazının görülmesi, şekil verilebilme yeteneğinin iyi olması ise yapıda ince ferrit fazının bulunmasıdır. Çekme dayanımı ve uzama katsayı oranları diğer yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler ile kıyaslandığında Şekil 3.2'deki gibi bir kıyaslama görülmektedir [17].



Şekil 3.2 : Çelik türleri ve gerilme-şekil değiştirme grafiği [17].

DP çelikler bu fazların sağlamış olduğu bu özellikler ile aşağıdaki avantajları da sunmaktadır;

- Akma mukavemeti ile çekme mukavemeti oranının düşük olması
- Sürekli akma davranışı
- Pekleşme katsayısının optimum düzeyde olması
- Uzama değerlerinin yüksek ve orantılı olmasıdır

Çift fazlı çeliklerin kullanım alanları, tampon kapı panelleri, şasi, kaporta parçaları, tekerlek jant, tampon çarpışma kutusu, gibi ağırlığı fazla olan parçalarda kullanılarak ortalama % 10 gibi bir ağırlık azaltılması sağlanmış olmaktadır bu durum tamponlarda % 25 civarında olurken teker jantta uygulandığında % 12 gibi bir avantaj sağlamaktadır. Bu yapılan ağırlık azaltmaları ciddi miktarlarda olup en büyük etkisi de yakıt tasarrufunda ortaya çıkmasıdır [2,15]. Azalan yakıt tüketimi, çarpışmalarda daha mukavemetli bir gövde, üretimde de daha kolay şekillenebilen, kaynak kabiliyeti iyi olan, korozyona karşı direnç gösteren parçalar elde edilmiş olmaktadır [21].

3.3. Çift Fazlı Çeliklerin Türüne Göre Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı

Çift fazlı çelikler türüne göre otomotiv sanayisinde yer almakta, ihtiyaç olan yerin özelliklerine göre DP(SCGA) sacları içerisinden maliyet, güvenlik, enerji, konfor kriterleri değerlendirilerek şartlara en uygun çelik sac seçilir ve parça imal edilir [18, 19].

DP(SCGA) serisi sac çeşitleri ve araçlarda kullanım alanları aşağıdaki verilmiştir [20,21];

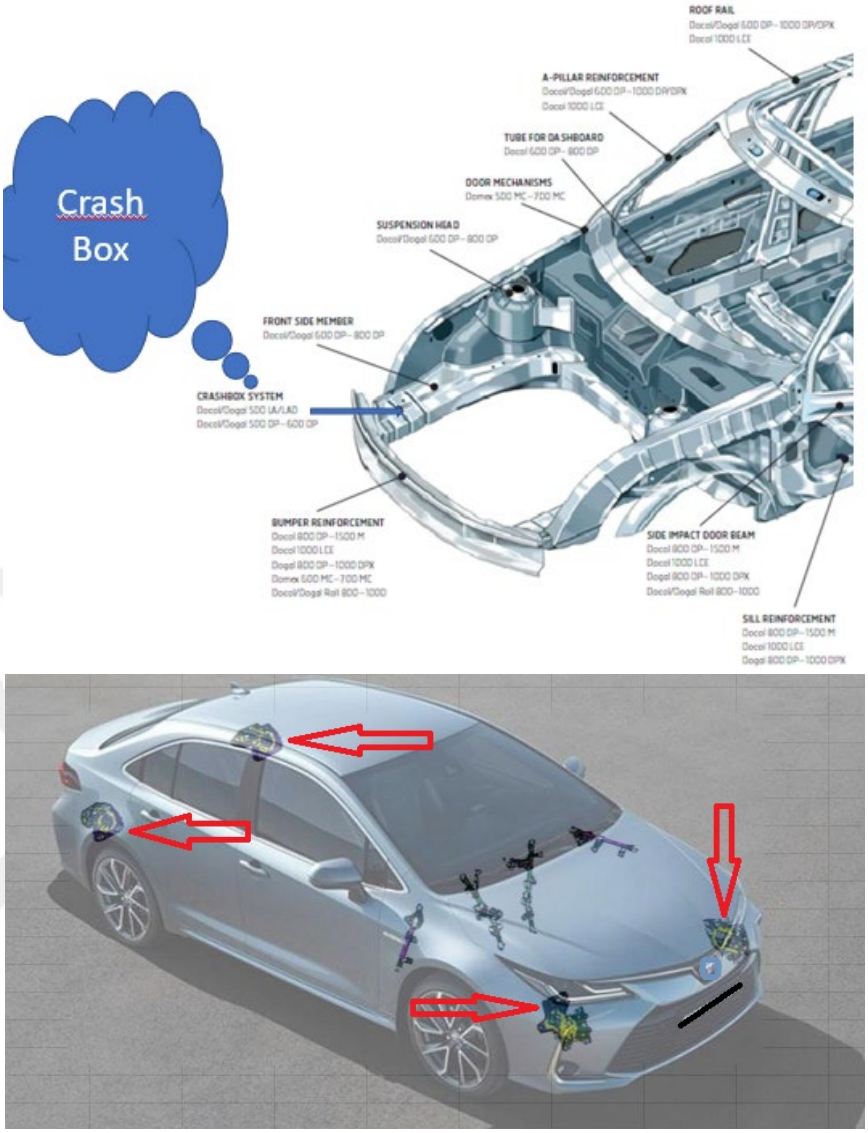
- SCGA290(DP270) (Kaput kapak içi, sağ/sol kapı içi)
- SCGA440(DP400) (Crash Box)
- SCGA530(DP500) (Tavan dış, kapı dış, taban panel, ön/arka konsol)
- SCGA590(DP600) (Dış kapak, dış kaporta, crash box)
- SCGA780(DP800) (İç yan karoser, arka ray)
- SCGA970(DP980) (Yan direkler)
- SCGA1000(DP1000) (Üst kuşak)
- SCGA1100(DP1100) (Üst B direk)



Şekil 3.3 : Otomotivde kullanılan DP(SCGA) serisi saçlar ile üretilen parçalar görseli [18,19].

3.4. Crash Box (Çarpışma Kutusu)

Araçların pasif güvenlik sistemlerinden bir parça olan ve çarpışma kutusu (enerji yutucu) olarak adlandırılan crash boxların ana görevi çarpışma anındaki darbeyi sönümleyerek araç içerisindeki sürücü ve yolculara zarar gelmesini engellemektir. Bu yüzden crash boxların görevi oldukça önemlidir. Günümüzde enerji yutucuların performansını arttırmak ve daha fazla enerji sönümleyip kaza anındaki zararı en aza indirmek için tasarımından kullanılan hammaddeye ve birleştirme yöntemlerinde çalışma yapılmaktadır. Çarpışma kutuları ön ve arka tamponda kullanılır örnek Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Crash boxların kullanım yeri ve görselleri [22].

Çarpışma sönümleyiciler çok farklı tasarımlar ile üretilmektedir. Bu farklı tasarımlar çarpışma sönümleyicilerin kullanıldığı araçlar için özel dizayn edilmektedir. Her bir aracın farklı fiziki özelliklere sahip olması ve motor gücünün vermiş olduğu bir hız limiti vardır. Aracın özelliklerine göre şekil alan bu sönümleyiciler araçta kaza anında oluşabilecek darbelerin minumum seviyelere indirmesi görevini üstlenmektedir. Çarpışma sönümleyici olarak görev yapan ve araçların öndeki ve arkadaki tamponlarında bulunan crash boxların imalat aşamasındaki kaynaklı birleştirmiş bölgeleri ve farklı tiplerine ait görseller Şekil 3.5'te verilmiştir. Görüldüğü üzere üretim birden çok parçanın birleşmesi ile imal edilmektedir. Bu birleştirmedeki kaynaklar çok yüksek öneme sahiptir.



Şekil 3.5 : Crash boxların imalat ve farklı tip görselleri [36].

BÖLÜM 4. LEHİMLEME

4.1. Lehimleme

Birden fazla aynı veya farklı metalik malzemelerin birleştirilmesi işlemi sırasından uygun ilave bir dolgu metali kullanarak, birleştirilecek olan metalin ergime sıcaklığından az dolgu metalin ergimesi için yeterli sıcaklık kullanılarak ergime işlemi sağlanması sonucu uygulanan birleştirme metoduna 'lehimleme' denir. Lehimleme ile birleştirmede ana metalde ergime olmadan dolgu metali ergiyerek birleştirme sağlamaktır [12,23]. Yapılan bu birleştirme işlemi kaynaklı birleştirilmedeki gibi ana metalin ergiyerek birleşime katılması gibi olmayıp sadece dolgu metalinin ergimesi sonucunda birleştirme işlemi sağlanmaktadır.

Lehimleme ile birleştirme işlemi farklı metallerin birleştirilmesinde de uygulanabilmektedir. Uygulamaların hepsinde ana metalde bir ergime söz konusu olmayıp sadece dolgu metalinde bir ergime ile birleştirme yapılmaktadır. Lehimlemenin bize avantajları [12,15,23].

- Farklı metallerin birleştirilmesi
- Kaynaklanabilirliği zor olan metallerin birleştirilmesi
- Düşük ısı girdisi ile ana metalde çarpılmaların az olması
- Düşük ısı girdisi ile metal kaplı ise kaplı yüzeyin daha az deforme olması
- Kaynak yüzeyinin düzgün ve temiz olması

Lehimleme ile birleştirme işlemleri lehimlenecek yerin ara mesafesine göre ikiye ayrılır, 1-Kapiler lehimleme, 2- Lehim kaynağı [12,24]

Kapiler lehimleme, kapiler kuvvet etkisinden yararlanılarak ergimiş dolgu metalinin 0,03 – 0,2 mm arasındaki lehimleme aralığında oluşturduğu etki sonucunda yayılması ile yapılan bir yöntemdir.

Lehim kaynağı, bu yöntem ise uygulanacak parçalar için (V) veya (X) gibi kaynak ağızları açılarak ergimiş dolgu metalinin bu açılan ağızlara doldurulması ile birleştirilme işlemini gerçekleştirilmesidir.

Lehimleme ile birleştirme işlemlerinde kullanılacak olan dolgu metalinin ergime sıcaklığına göre ikiye ayrıldığı görülmektedir. Baz alınan sıcaklık 450 ºC'dir. Bu sıcaklığın altında bir sıcaklıkta dolgu metali ergiyerek birleştirme işlemi yapılıyorsa buna yumuşak lehimle, eğer 450 ºC'nin üzerinde bir sıcaklıkta dolgu metali ergiyerek birleştirme yapılıyorsa buna da sert lehimleme denilmektedir. Her iki işlemde de sıcaklık ne olursa olsun lehimleme işleminin ana mantığı olan, lehimlenecek olan ana metalde bir ergime söz konusu olmadan sadece dolgu metalinin ergimesi ile birleştirilme olmasıdır. Her iki metoda da temel kavramlar benzerlik gösterse bile farklılık gösteren kriterler vardır, birleştirilen ürünler, ısıtma yöntemi, birleşme dizaynı, birleşme bölgesindeki ön hazırlık gibi. Lehimle birleştirme elektrik, uzay, makina, savunma, uzay endüstrisi gibi birçok farklı dallarda kullanılmaktadır [12,15,25,26].

4.2. Yumuşak Lehimleme

Lehimle birleştirme işleminde dolgu telinin ergime sıcaklığı 450 ºC'nin altında bir değerde ergime sağlanarak yapılan birleştirmeye yumuşak lehimleme adı verilmektedir. Başka lehimleme yöntemlerinde ana metaller arasında bulunan bağlantı, birleştirilecek malzemenin birleşim yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi ile ıslatılması ve bu durumda katılaşma sürecinde soğutulması sonucu oluşmaktadır. Yumuşak lehimleme; kaynaklanması ucuz ve pratik olmayan malzemelerin birleştirilmesinde, kaynaklı birleştirmenin zor olduğu bölgelerde, farklı birleştirme metotlarının kullanımı uygun olmayacak kadar küçük oranda olan malzemelerin birleştirilmesinde, elektronik, uzay, makina, savunma, uzay endüstrisi gibi birçok farklı dallarda ve tamir işlemlerinde sıkça tercih edilmekte ve kullanılmaktadır [23].

4.3. Sert Lehimleme

Sert lehimleme, ana metale 450 ºC'nin üzerinde bir sıcaklıkta dolgu metali ergiyerek ergimiş sıvı durumdaki ilave dolgu metalinin ıslatması ile dolgu metalinin lehimleme arasına yayılması yani kapilar etkinin görüldüğü ve ana metal ile dolgu metali arasında metalurjik bir bağ yapması sonucu meydana gelen birleştirmeye denir. Bu birleştirme işlemi uygulanırken kurallara doğru bir şekilde uyulur ve uygulanırsa ergiyen dolgu metali iyi bir katılaşma sağlanırsa lehimleme bölgesinin mukavemet değerleri ana

metalim mukavemet değerlerinden daha yüksek çıkabildiği gözlenmiştir [23,27].

Sert lehimleme yöntemi ile birleştirme işlemleri birden çok avantaj oluşturmaktadır.

- Demir esaslı metaller ve demir dışı metallerin birleştirilmesi
- Metal ile seramiklerin birleştirilmesi
- Farklı öz kütleye sahip metallerin birleştirilmesi
- Birleşim yerlerinin darbe ve titreşime dayanıklı olması
- Karmaşık geometride olan malzemelerin birleştirilmesi
- Düşük ısı girdisi ile ana metal deformasyonu olmaz

4.4. MİG - Lehimleme

MiG lehimleme işlemi ilk kullanımlarında yüzeysel dolgu işlemleri ve dikiş olarak yapılmaktaydı son zamanlarda bu geliştirilerek MİG kaynağının yerini alarak kullanımı sağlanmaktadır. MİG kaynağı yerine kullanılmasının en büyük etkeni ısı girdisiniz daha az olması ile galvaniz kaplı olan çeliklerde yüzeyde bulunan Zn metalini daha az ana metalden uzaklaşmasını sağlamaktır.

MİG kaynağı yapılırken ergiyen dolgu metalinin ergime sıcaklığı birleştirme yapılacak olan ana metalin yüzeyinde kaplı olduğu Zn metalinin buharlaşma sıcaklığından yüksek olmaktadır. Örneğin: ana metal ve kaynak telinin ergime sıcaklığı 1520 ºC'de iken yüzeyde kaplı olan Zn metalinin buharlaşma sıcaklığı 910 ºC dir. Buradaki sıcaklık farkının çok olması ana metale kaynak yapılırken yüzeyde bulunan (Zn) kaplamayı buharlaştırarak uçmasını neden olmaktadır, ana metalden uzaklaşan kaplama (Zn) sonucunda korozyon direncinin düşmesine neden olmaktadır [12,15,27].

MIG lehimlemenin bize sunduğu avantajlar aşağıdaki gibidir;

- Düşük ısı girdisi ile çarpılmalar azalır
- Kaynak sıçraması oldukça azdır
- Yumuşak ve sakin damla geçişleri vardır
- Düşük ısı girdisi ile yüzeyde daha az Zn uzaklaşması
- Kaynak boyunca daha iyi sızdırmazlık

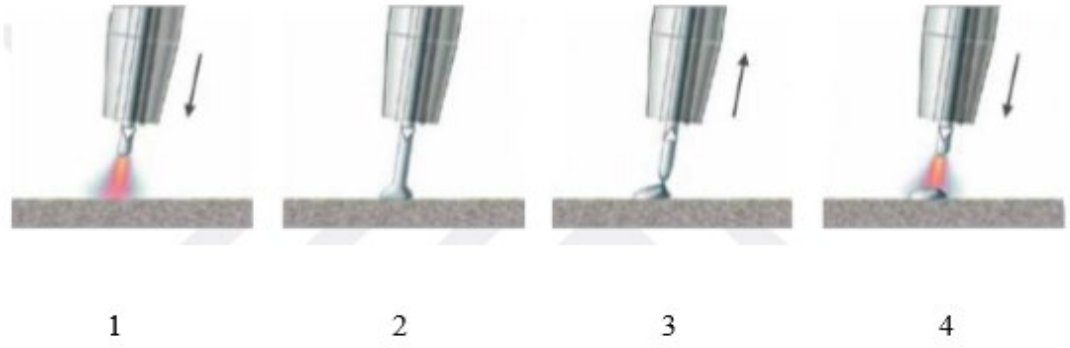
MIG lehimleme işleminde çelikler için kullanılan teller genellikle CuSi3, CuAl8, CuAl7, CuSn6 olarak bilinmektedir. Tel kalınlıkları 0.8mm, 1mm, 1.2mm, 1.6mm olarak belirlenmiştir. Koruyucu gaz olarak da %100 Argon kullanılması uygun görülmüştür.

4.4.1. CMT (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi

Soğuk metal transfer yöntemi (CMT – Cold metal transfer) ile birleştirme tekniklerinde teknolojinin en güncel halini kullanarak geliştirmiş olan Fronius firması şuan için sektörüm lideri konumdadır. Bu sistem MIG/MAG proseslerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. Burada temel amaç düşük ısı girdisi sağlayarak ana metale zarar vermeden uygun birleştirmeyi yapmaktır. Isı girdisini, kaynak başladığında oluşan kısa devre esnasında dolgu telinin mekanik olarak geri çekilmesi azaltılmış olur. Mekanik olarak geri çekilen dolgu teli orada oluşacak akım yükselmesini önler veya az seviyelere çeker. Bu süreçte kontrollü bir şekilde damlacık transferi sağlandığı düşünülerek sıçramanın da az olduğu görülmektedir [12,15,28]. Dolgu telinin beslenmesi sabit bir hız ile sağlanmaktadır bu hareket mekanik olarak geri çekme ileri süre işlemleri ile tatbik edilir. Geri-İleri işlemi saniyede 90 defa yapılmaktadır. Fronius markasının geliştirmeleri devam etmekte ve en son piyasaya sürdüğü ürün CMTi özelliklerinde geri-ileri işlemi saniyede 140 defa olarak geliştirmiştir.

CMT lehimleme yönteminde işlem kısa arkın oluşma periyoduna göre şekillenmektedir. İşlem sırasında "sıcak-soğuk-sıcak-soğuk" olarak farklılaşan bir proses mevcuttur. Bu "sıcak-soğuk" prosesi arktaki basıncın büyük ölçüde indirgemektedir. CMT yöntemini diğer benzer kısa ark yöntemlerden ayıran üç önemli özellik mevcuttur. Telin hareketleri proses regülasyonuyla birleştirilir, ısı girdisi azaltılır ve metalin transferinde sıçrama olmaksızın yapılır [27,29].

CMT-lehimleme yönteminin yapılışı yanma fazında bulunan arkın oluşturduğu kaynak banyosuna dolgu metali daldırılarak başlar. Dolgu teli kaynak banyosuna daldırılması ile ark söner ve akım azalması olur. Telin geriye doğru hareket etmesiyle kısa devre sırasında damlacık meydana gelmesine yardımcı olur. Kısa devre akımı düşük oranda tutulur. Tel hareket yönü zıt yöne döndürülerek prosese yeniden başlanılır. Şekil 4.1'de CMT birleştirme yöntemine ait işlem basamaklarının örnek görüntüsü verilmiştir [30].



Şekil 4.1 : CMT lehimleme yöntemi işlem adımları [30].

1. Arkın yanma fazı
2. Dolgu telinin banyoya daldırılması
3. Telin geri yöndeki hareketi ve damlacık transferi
4. Telin ileri doğru sürülmesi ve tekrarlanması

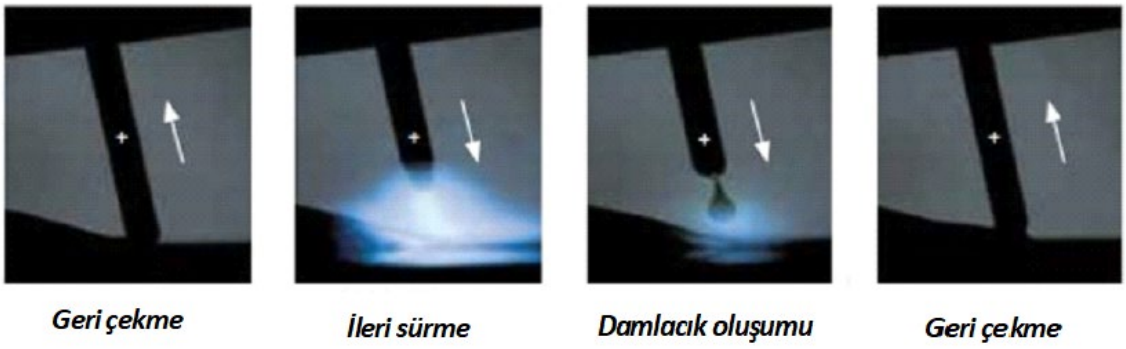
4.4.2. CMT Lehimleme Yöntem Türleri

Üç adet lehimleme yöntemi aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. CMT Pulse
2. CMT Advanced
3. CMT Advanced Pulse

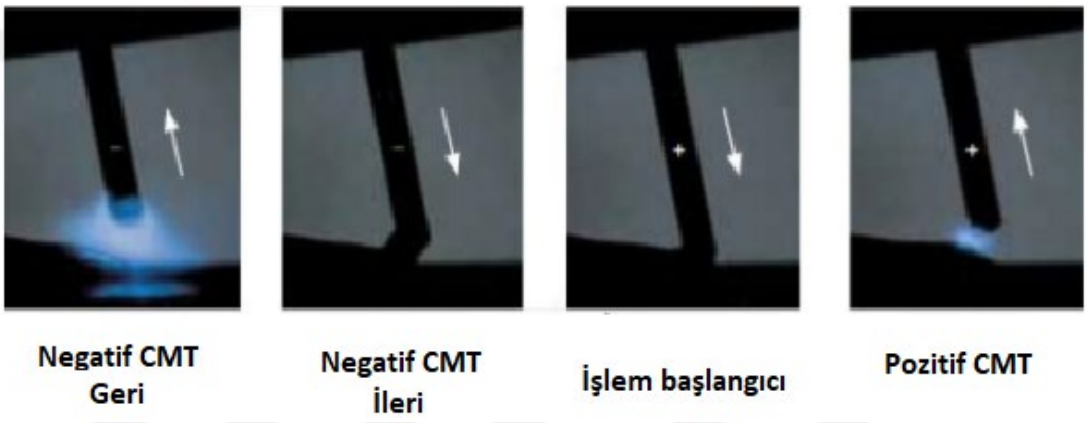
Bu yöntemleri kısaca tanımlamak gerekirse;

CMT Pulse; darbe döngüsünün CMT döngüsü ile birleştirilmesi ile sağlanır. Bu işlemde yüksek ısı verilir. Değişken olan darbe ilavesi ayarlanabilir ve büyük güç aralığı ile esneklik sağlanır. Şekil 4.2'de CMT' ait darbe döngüleriyle oluşan şema verilmiştir [30,31].



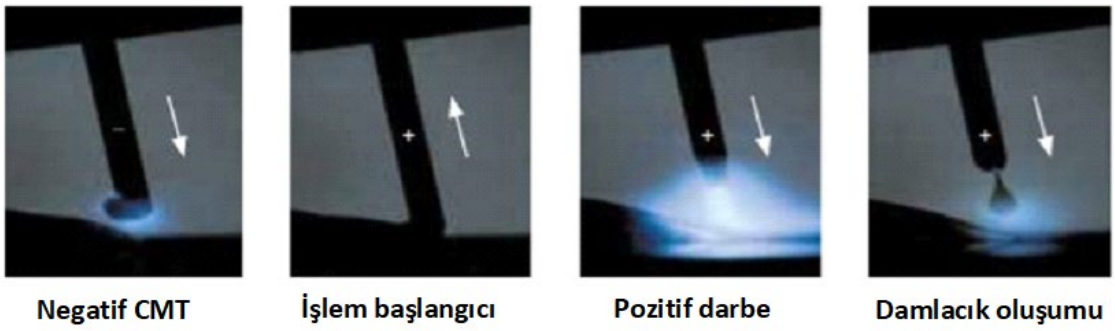
Şekil 4.2 : CMT döngüsü ve darbe döngüsü oluşumu [31].

CMT Advanced; negatif ve pozitif CMT kombinasyonun uygulanması CMT modun da daha da düşük ısı girdisi elde etmek amaçlıdır. Bunu sağlamak için kaynak akımındaki polarite proses regülasyonuna entegre haldeyken polarite değişimi kısa devre fazında oluşmaktadır. Dolayısı ile ispatlanmış olan CMT ait yapının kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmış olur. Sonuçta olarak istenilen ısı girdisine, büyük oranda boşluk doldurma kabiliyetine ve %60'a kadar erime gücünü sağlamıştır. Oluşan kombinasyon görseli Şekil 4.3'de yer almaktadır [30,31].



Şekil 4.3 : CMT negatif - pozitif CMT döngüleri kombinasyonu [31].

CMT Advanced Pulse; bu prosestede CMT negatif kutuplu döngülerinin pozitif kutuplu darbe döngülerinin combine edilmesi ile oluşturulmaktadır. Burada hedef yüksek düzeyde ark hakimiyeti ve arkın kesin doğruluğudur. Şekil 4.4'de verilmiştir



Şekil 4.4 : CMT negatif - pozitif darbe döngüleri kombinasyonu [31].

4.4.3. CMT Lehimleme Yöntemi Avantajları

MİG/MAG yöntemi olarak Fronius tarafından geliştirilen bu CMT lehimleme ile yapılan birleştirme işlemlerinde başlıca aşağıdaki avantajlar sunulmaktadır [12,15,27].

- Kararlı bir ark yapısı; elle ayarlanan ark boyu neticesinde yüzey veya hız değişse de ark değişmez.
- Düşük ısı gidisi; dolgu teli ileri doğru hareketi ile kısa bir ark oluşumu sağlanır ve tel geri çekilme hareketi yapar burada oluşan ark çok kısa süre ısı vermesi ile sağlanır.
- Entegre hareketli tel ile uygun damlacık oluşumu; kısa devre algılama sistemi ile saniyede 90 kez ileri geri hareket yapılması ve damlacık geçişini sağlama.
- Çapaksız birleştirme; dolgu telinin geriye çekilmesi ile damlacık transferine yardımcı olası ile sağlanır.
- İnce metallerin birleştirilebilirliği; ısı girdisinin düşük olması 0,3 mm kadar metallerin birleştirilmesiniz sağlar.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Yapmış olduğum bu deneysel çalışmada otomotiv endüstrisinin crash box (çarpışma kutusu) üretiminde kullandığı galvaniz kaplı çelik saclardan 1.2 mm ve 2 mm kalınlıkta SCGA440 (DP) serisi çelik sacın CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. CMT yöntemi ile SCGA440 (DP) serisi galvaniz kaplı sacın birleştirme sırasında 3 farklı telin vermiş olduğu değerler, lehimleme/birleştirme sabit hızda, koruyucu gaz basıncıyla, uygun lehimleme/birleştirme aralığında gerçekleştirileceğini belirlemek için her bir parametre ile incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar bölümünde, bu deneyde kullanmış olduğum malzemeler hakkında bilgi verilmiş olup, birleştirilen numunelere uygulanan mikroyapı, mikrosertlik, çekme, eğme ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının ne şekilde uygulandığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında ayrıntılı bilgi aktarılmıştır.

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektral Analizi

Bu deneysel çalışmalarım kapsamında kullanmış olduğum saclar, otomotiv sanayisinde kullanılan tüm yüzeyleri galvaniz kaplı 1.2 mm ve 2 mm kalınlıklarında SCGA440 serisi saclardır. Galvaniz kaplı tabakanın kalınlığı bir yüzeyde 350-400 g/m^2 ölçülmüş olup iki yanal yüzey için toplamda 700-800 g/m^2'dır. Buda yaklaşık 100 µm kalınlığında çinko kaplı olduğunu göstermektedir. Yüksek mukavemet, kolay birleştirile bilirlik ve şekillendirilme kabiliyetine sahip olması ile otomobil güvenlik (crash box), şasi, panel, kaporta ve gövde parçaları için kullanılmaktadır. SCGA440 (DP) galvaniz kaplı çeliğinin spektral analizi 1.2 mm için Tablo 5.1'de 2 mm için Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1 : SCGA 440 (DP) 1.2 mm çeliğinin kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ti	%Ni	%Al
0,1608	0,017	0,618	0,016	0,007	0,029	0,002	0,024	0,035

Tablo 5.2 : SCGA 440 (DP) 2 mm çeliğinin kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ti	%Ni	%Al
0,151	0,019	0,594	0,012	0,005	0,032	0,001	0,023	0,037

SCGA 440 (DP) serisi galvaniz kalpı çelik sacın mekanik özellikleri 1.2 mm kalınlık için Tablo 5.3'de, 2 mm kalınlık için Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.3 : SCGA 440 (DP) 1.2 mm çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı(N/mm2)	Çekme Dayanımı(N/mm2)	Uzama (%)	Sertlik(HV)
374	473	33	160-170

Tablo 5.4 : SCGA 440 (DP) 2 mm çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı(N/mm^2):	Çekme Dayanımı(N/mm^2):	Uzama (%):	Sertlik(HV):
367	468	36	160-170

SCGA440 çeliğine ait bu değerler üretim yapan yurtdışı menşei firmalardan temin edilmiş olup ürünlerin üzerlerinde bulunan sertifikalarda kanıt belge olarak sunulmaktadır. Kalite belgeleri yanı sıra yapılan testlere ait bilgilerde bu veriler ile sunulmaktadır. Kendi laboratuvarlarında alınan sonuçlar ile akredite olan tarafsız bir firma aracılığı ile teyit edilmektedir. Sonuçlar için kullanılan cihazlar kalibrasyon edildiği teyit edilmektedir. Üretilen saclar plaka halinde olmayıp rulolar halinde üretilmektedir. Üretilen saclar rulo haline gelmeden her bir rulo için testler yapılmaktadır.

5.3. Deneylerde Uygulanan Birleştirme İşlemleri

SCGA440 (DP) galvaniz kaplı çeliğinin 1.2 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki numuneleri CMT yöntemi ile birleştirilmesinde 1 mm çapında CuAl8, CuSi3, SG2 üç farklı dolgu telleri kullanılarak uygulama yapılmıştır.

CuAl8;

Alüminyum bronz (bakır-alüminyum) MIG lehim telidir. Bakır %8 Al içeren lehim telidir. Metaldeki aşınmaya, deniz suyu ve asitler gibi korozif sıvılara temas eden parçalarda tercih edilir. Koruyucu gaz olarak Ar(%100), Ar+%30He, He gazları seçilebilir. Birleştirme Akım Türü: MIG D.C. (+).

MIG lehimleme işleminde tatbik edilen CuAl8 bileşimli lehim teli ile birleştirme yapılabilen çelikler Mn, CuAl5, CuAl8, G-CuAl8, CuAl5 As, CuZn20Al2.

Tablo 5.5 : CuAl8 lehim metalinin bileşimi - %

Cu	Al	Mn	Fe	Sn
Kalan %	8,0	<0,5	<0,5	<0,5

MIG Lehimleme de kullanılan CuAl8 bileşimli dolgu telinin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir [32].

Akma Mukavemeti(N/mm2): 200 Mpa, Çekme Mukavemeti(N/mm2): 430 Mpa Uzama oranı (Lo=5 do) (%): 40, Sertlik: 100 HB, Ergime Isısı: 1030-1035 ^{0}C, Genleşme (25-300°C) (106 /K): 17, Isı İletimi (20°C'de) (W/mK): 67, Elektrik İletkenlik [S*m/mm2]: 8

CuSi3;

Silisyum bronzlu (bakır-silisyum) MIG lehim telidir. Bakır-silis kaynak dolgu teli silisyum bronzlu galvanizli çeliklerin birleştirilmesinde galvanizi yakmadan kaynak yapabilme özelliği mevcuttur. Koruyucu gaz olarak Argon gazı belirlenmiştir. Kaynak Akım Türü: MIG D.C. (+).

MIG lehimleme de kullanılan CuSi3 içerikli lehim teli ile birleştirilebilir çelikler galvaniz kaplı çelikler, CuSi2, Mn, CuSi3 Mn, CuMn5, CuMn2, Bakır-Çinko (Pirinç) alaşımları, Bakır-Mangan Alaşımlarıdır.

Tablo 5.6 : CuSi3 lehim metalinin bileşimi - %

Cu	Si	Mn	Fe	Ni
Kalan %	3,0	1	<0,20	0,10

MIG Lehimleme de kullanılan CuSi3 içerikli dolgu telinin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir [32].

Akma Dayanımı(N/mm2): 130, Çekme Dayanımı(N/mm2): 220, Uzama (Lo=5 do) (%): 30, Sertlik: 55HB, Genleşme (25 - 300°C) (106 /K): 18, Isı İletimi (20°C'de) (W/mK): 38 Ergime Sıcaklığı: 970-1025 ^{0}C, Elektrik İletkenlik [S*m/mm2]: 3,8-4

SG2;

CMT birleştirmede metal dolgu telidir. Yüzey kısmı bakır kaplı veya kapsız olup alaşımsız çeliklerin yarı otomatik ve tam otomatik kaynaklı birleştirmelerinde kullanılan kaynak telidir. 50 ile 450°C arasındaki sıcaklıklarda çalışan malzemelerin birleşiminde ve çekme mukavemeti 540 N/mm²'ye kadar olan alaşımsız yapı çeliklerinin, ince taneli karbon-manganez çelik saclarında ve gemi sac levhalarında gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde tercih edilir [32].

Tablo 5.7 : SG2 dolgu metalinin bileşimi - %

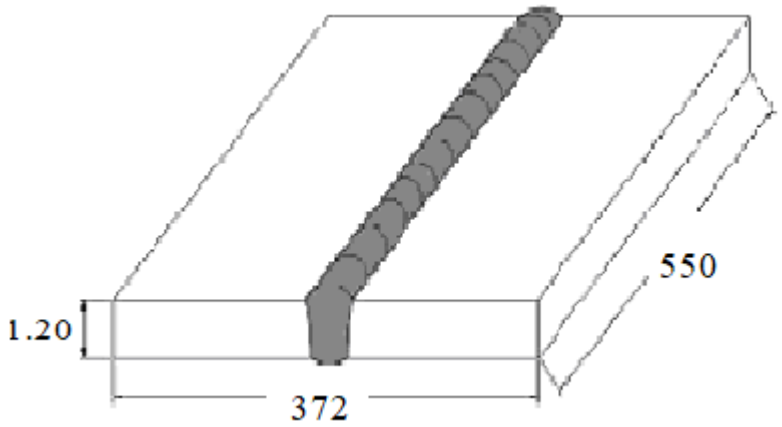
C	Si	Mn
0,08	0,85	1,5

Akma Dayanımı(N/mm2): 440, Çekme Dayanımı(N/mm2): 540, Uzama (Lo=5 do) (%): 30, Sertlik: 155 HB, Ergime Sıcaklığı: 1400-1600 ^{0}C

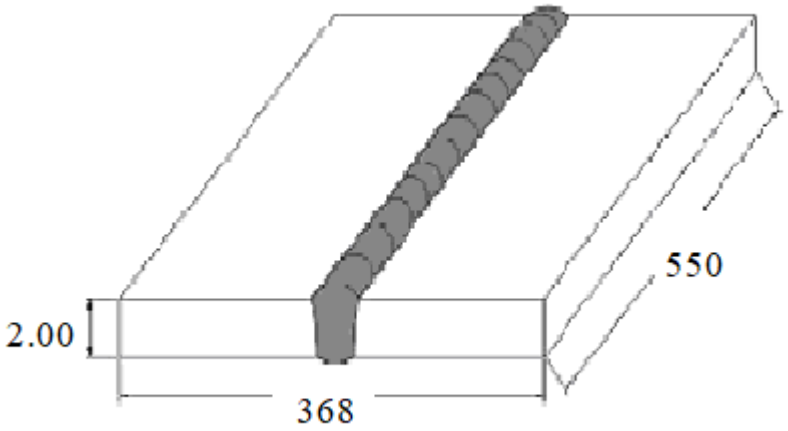
5.3.1. Deney Numuneleri Hazırlama

Birleştirme işleminin deneyinde kullanılmak üzere SCGA440 galvanizli çelik sac malzemeden 1.2 mm kalınlık ve 2 mm kalınlıklarda olacak şekilde aşağıdaki ölçülerde giyotin makasta rulodan kesilerek gerekli yüzey temizlikleri aseton ile yapılarak numuneler hazırlanmıştır.

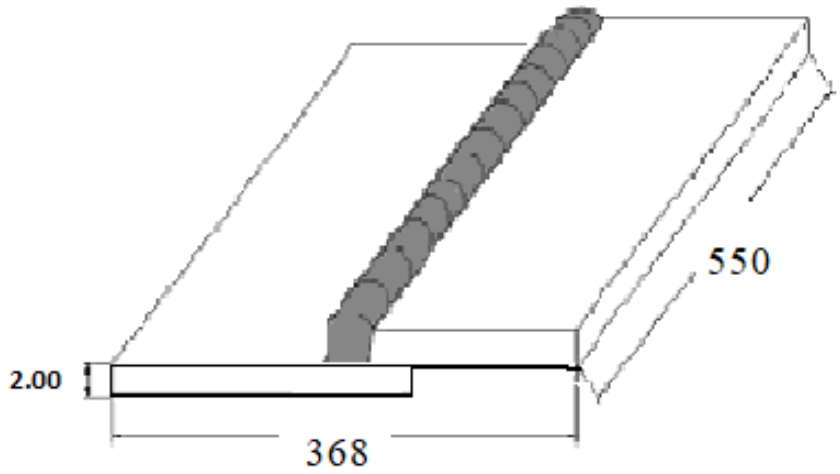
Numune ölçüleri (mm) ; 550x186x1.2 mm ve 550x184x2 mm alın birleştirme için Şekil 5.1 ve 5.2'de [15], bindirme birleştirme için Şekil 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.



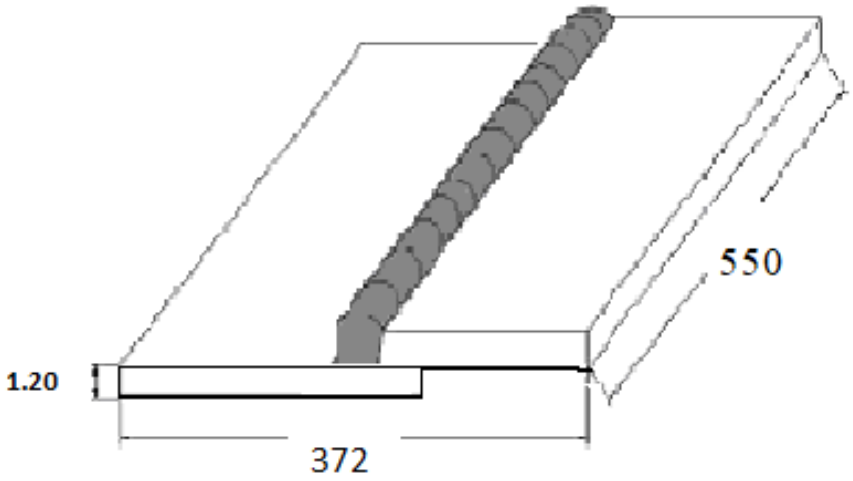
Şekil 5.1 : SCGA440 sacının alın birleştirme için 1.2 mm numune ebatları.



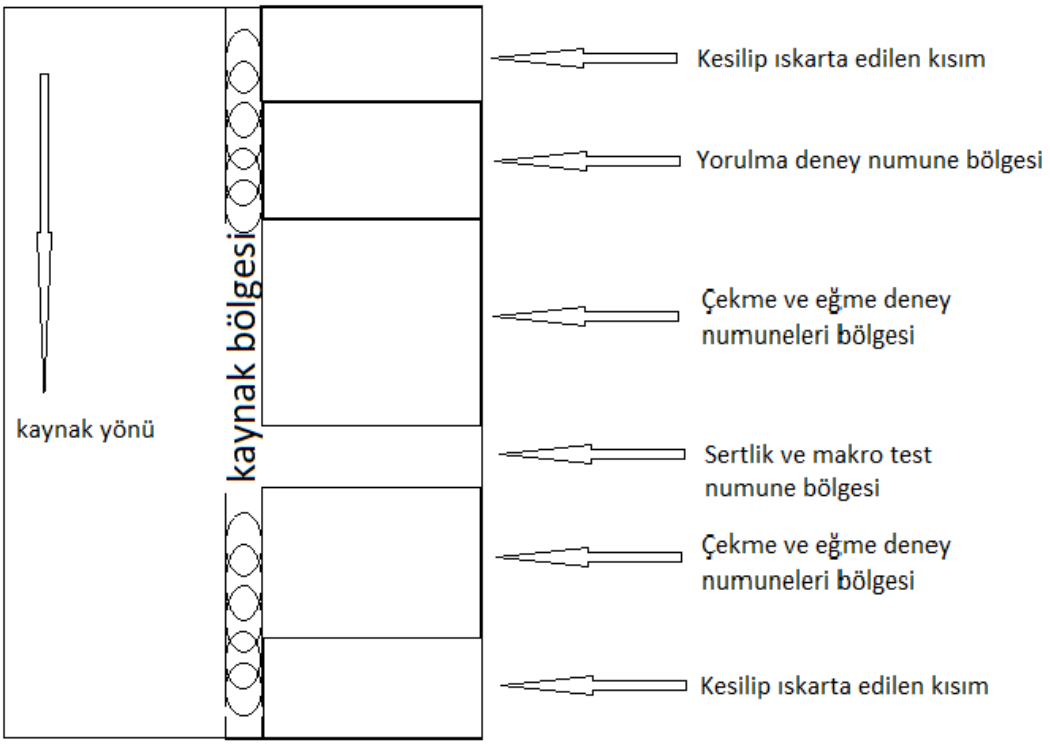
Şekil 5.2 : SCGA440 sacının alın birleştirme için 2 mm numune ebatları.



Şekil 5.3 : SCGA440 sacının bindirme birleştirme için 2 mm numune ebatları



Şekil 5.4 : SCGA440 sacının bindirme birleştirme için 1.2 mm numune ebatları.



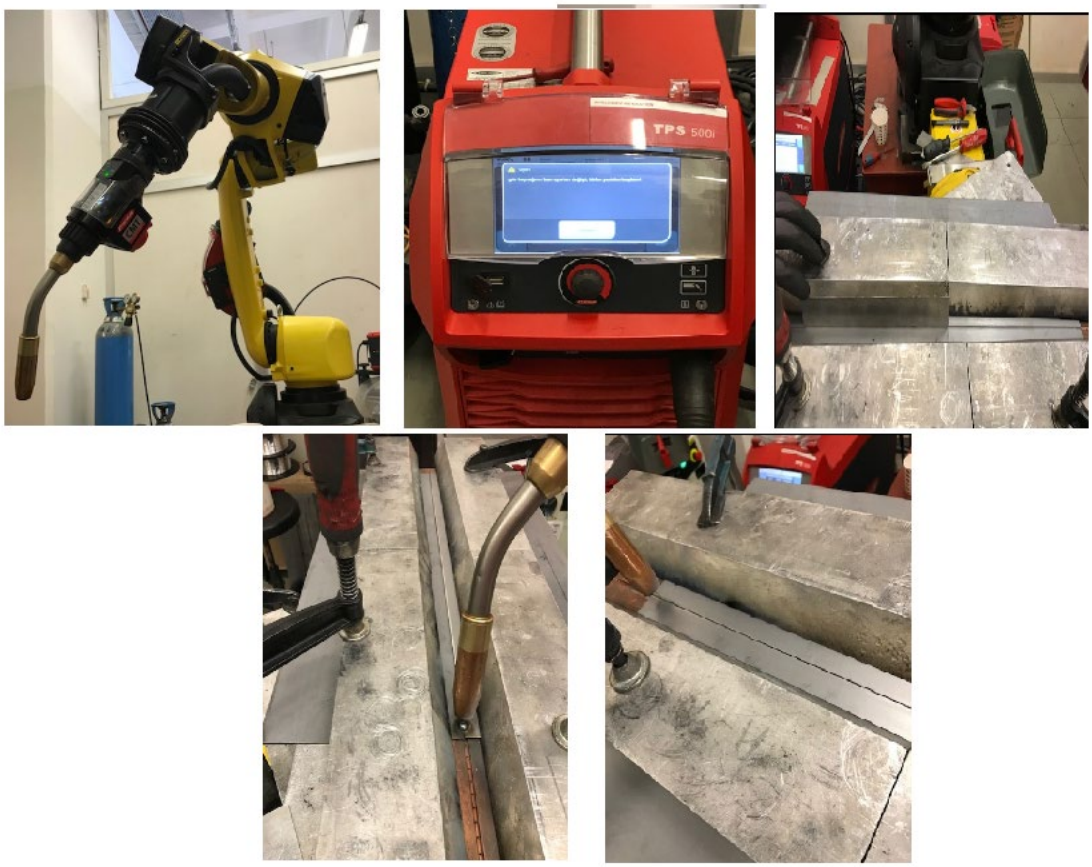
Şekil 5.5 : Birleştirme işlemi sonrası SCGA440 sacının test numune yerleri.

5.3.2. CMT-Lehimleme İşlemleri

Lehimleme uygulamaları akım kontrollü, 500 Amper kapasiteli Fronius TPS 500i CMT-lehimleme makinası ile yapılmıştır. Birleştirme uygulaması tatbik edilirken dikkat edilmesinde fayda olan bir hususta numunelerin hadde yönüne dik (90º) olacak şekilde lehimleme yapılmasıdır. Yapılan alın ve bindirme birleştirme işlemleri hadde yönüne dik bir şekilde yapılmıştır. Lehimleme sırasında malzemelerin sabit kalması birleştirmenin stabil olarak devam etmesi çarpılmaların en aza indirilmesi için vidalı alt bağlantı sistemi ile birleştirme işlemi yapılmıştır.

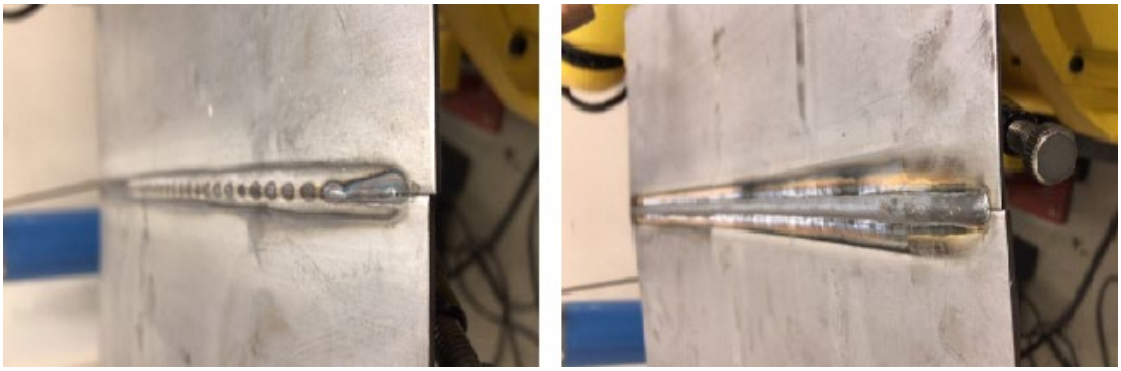
Yapmış olduğum birleştirme işleminde düzgün ve hızlı sonuçlar alabilmesi için lehimleme hızının sabit olabilmesi ve torç boynunun sabit kalabilmesi sağlayan CMT makinası ile birlikte uyum içerisinde çalışan Fanuc marka bir robot kullanılmıştır.

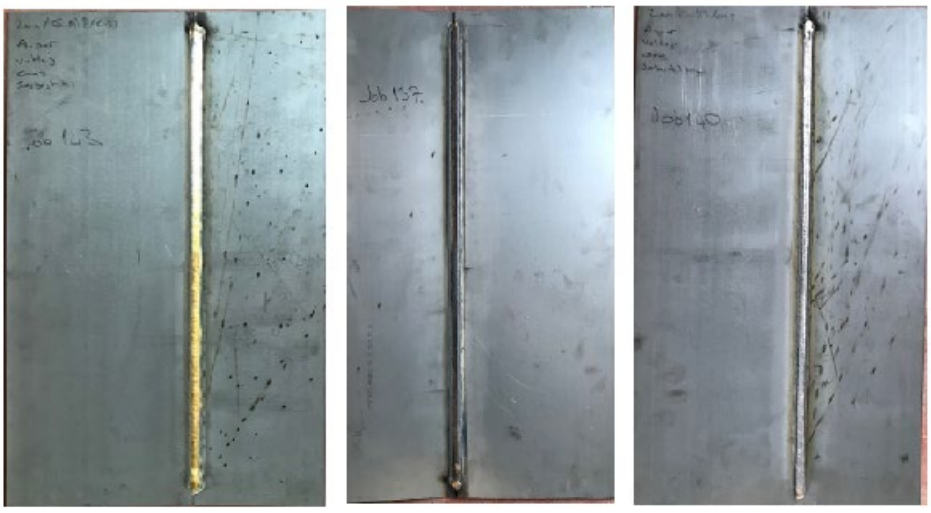
Uygulama esnasında kullanılan kaynak makine ve kaynak robotuna ait görseller Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6 : Birleştirme işlemi için kullanılan makine ve robot görselleri.

Üç farklı dolgu metali ile birleştirilmesi yapılmış olan sacların birleşim dikişlerini önden ve arkadan olmak üzere görselleri Şekil 5.7’de verilmiştir.





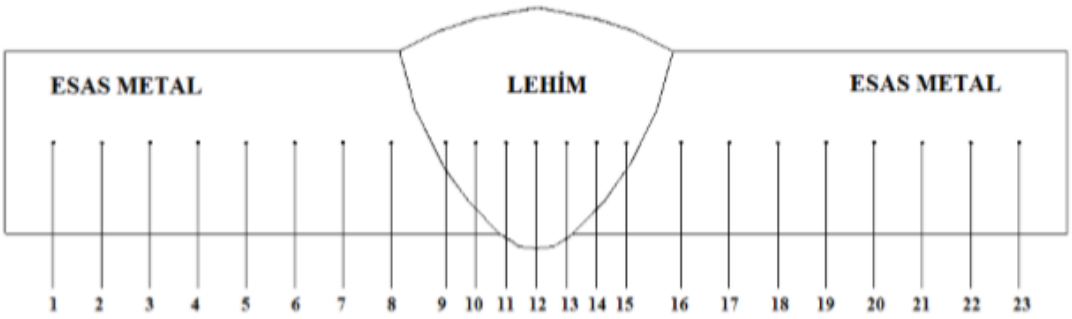
Şekil 5.7 : Birleştirme işlemi yapılmış üç farklı dolgu teline ait dikişlerin görselleri.

5.4. Sertlik Ölçümleri ve Metalografik Analiz Numune Hazırlama

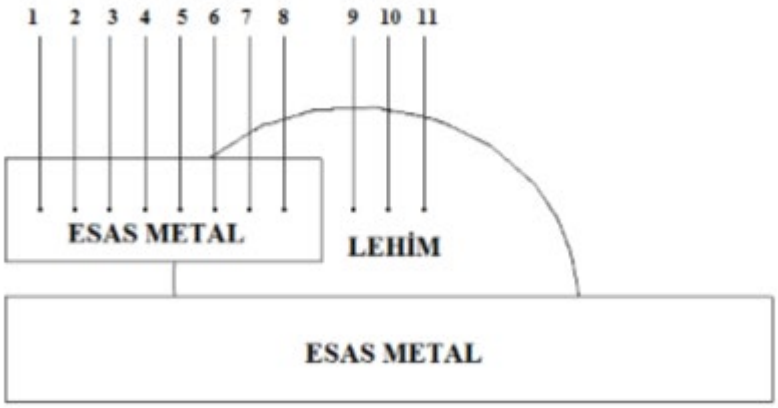
Yapılan birleştirmeler sonucunda meydana gelen levhalar üzerinden farklı deneyler için numuneler çıkarılmaktadır sertlik derecelerini ölçmek ve değerlendirmek içinde kaynaklı bölgenin tam orta kısmından kesilmek suretiyle, alın birleştirmesi Şekil 5.6'da bindirme birleştirmesi Şekil 5.7'de ki numune örneği gibi hazırlanıp aşağıdaki adımları izlenerek sertlik ölçümü gerçekleşir.

- Kesilen parçanın bakalite alınması
- Yüzeydeki deforme olan tabakayı kaldırmak için zımpara yapılması
- Zımpara izlerini yok etme amaçlı yüzeyi elmas süspansiyon ile parlatma.
- Mikro yapı görüntüsü için yüzeyi Nitrat ile dağlama yapılması

Alın birleştirmede sertlik bakılma sıklığı lehim kısmında 0,1 mm aralıkta alınırken diğer kısımlarda ise 0, 5 mm aralıklarla bakılmaktadır. Bindirme birleştirmede ise sertlik lehim kısmından sonra 0,5 mm aralıklarda bakılmaktadır [12,15,27].



Şekil 5.8 : Alın birleştirmesi sertlik ölçüm numunesi ve bakılacak sertlik noktaları.



Şekil 5.9 : Bindirme birleştirmesi sertlik ölçüm numunesi ve bakılacak sertlik noktaları.

Yapmış olduğumuz sertlik ölçümlerimiz laboratuvar ortamında yapılmış olup 100 gr yük ve piramit batıcı uç ile yapılmıştır. Mikro sertlik değerleri Vickers sertlik ölçüm test yöntemi kullanılarak yapılmış,

SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacına CMT ile yapılan birleştirme deneylerinde ısı girdisi hesabı aşağıdaki formüller ile sağlanmıştır. Denklem 1.1. lineer ısı girdisi, denklem 1.2. normalize ısı girdisi formülleridir [15,33].

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{lineer}} = \frac{(60 \times A \times V) \times \eta}{\text{İ.H.}} \quad \textbf{(1.1)}$$

A = akım şiddeti (Amper), V = Gerilim (Voltaj), η = Kaynak akım verim katsayısı (MIG için 0,7), İ.H.= İlerleme hızı (m/dk)

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{normalize}} = \frac{\text{Isı girdisi}_{\text{lineer}}}{e}$$

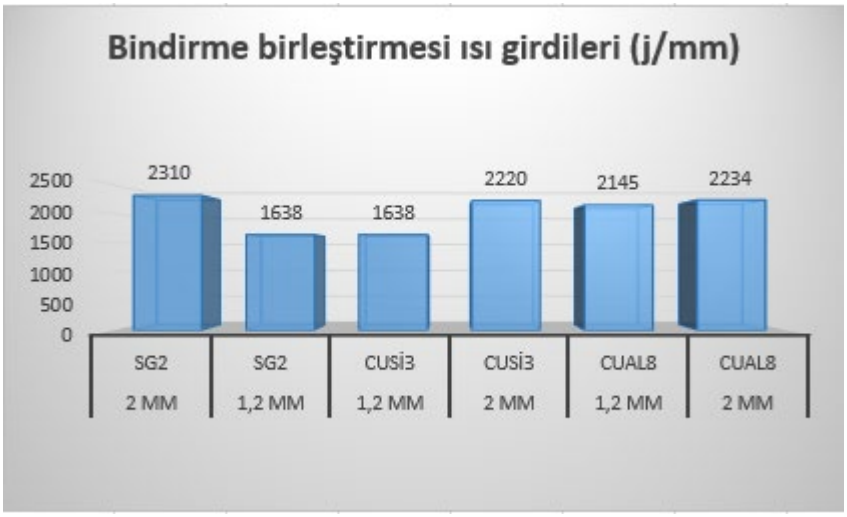
e = parça kalınlığı

(2.2)

Alın ve bindirme birleştirmeler için hesaplanan ısı girdileri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.10 : Alın birleştirmesi ısı girdileri.



Şekil 5.11 : Bindirme birleştirmesi ısı girdileri.

5.5. Eğme Deneyi

Birleştirme işlemleri yapılmış olan plakalardan SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacın farklı dolgu metallerine göre mekanik özelliklerin incelenmesi adına 300 kN kapasiteli Instron UTM-HYD 300DX markalı cihazla lehim kepi ve kökü eğme işlemi üç eksen eğme testleri olacak şekilde uygulanmıştır. TS EN ISO 5173:2010/A1 normu standardına göre eğme deneyi yapılmıştır. Numune boyutları Şekil 5.12'de verilmiştir [15].



Şekil 5.12 : Eğme numunesi

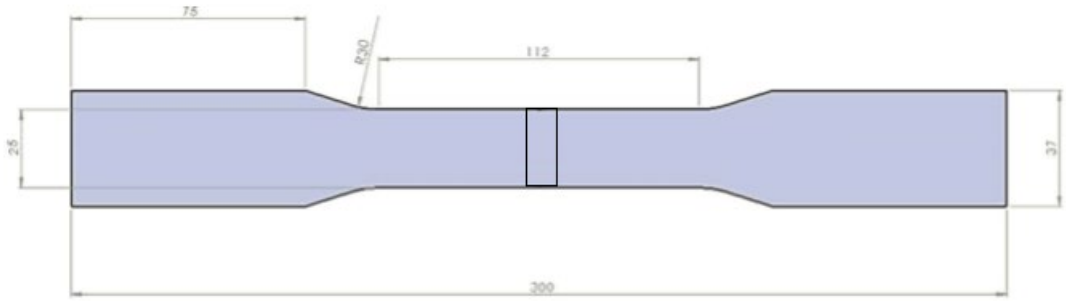
5.6. Çekme Deneyi

Birleştirme işlemleri yapılmış olan plakalardan SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacın farklı dolgu metallerine göre mekanik özelliklerin incelenmesi adına 300 kN kapasiteli Instron UTM-HYD 300DX marka çekme cihazı ile 10 mm/dk hızında deneyler uygulanmıştır.

Çekme deneyi sonucunda hesaplanan mekanik özellikler;

- Akma mukavemeti
- Çekme mukavemeti
- Birim şekil değişimi
- Kesit daralması
- Rezilyans
- Tokluk

Deney numuneleri TS EN ISO 4136:2012 normu standardına göre hazırlanmıştır. Numune ölçüleri Şekil 5.13'de verilmiştir.

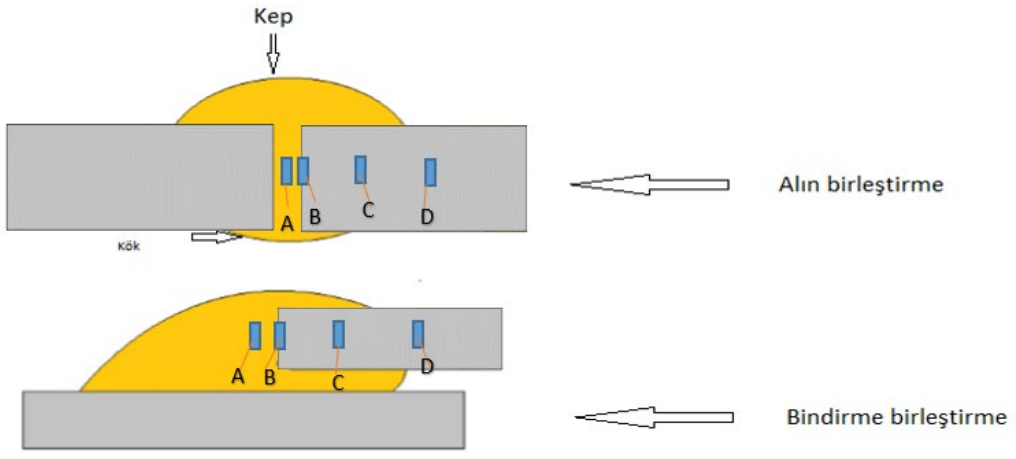


Şekil 5.13 : Çekme numunesi [34].

5.7. Mikroyapı ve Makroyapı İncelenme

5.7.1. Mikroyapı

Bu deneyde SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacın hem alın hem bindirme birleştirilmesi sonrasında alınan numunenin kesiti metalografik inceleme yapmak amaçlı mikroyapılarına bakılmıştır. Mikroyapıya bakmak için kesilen parça zımparalanır, parlatılır, dağlanır akabinde mikro yapı incelenmesi için optik mikroskopta görüntü alınmıştır. Bindirme ve alın birleştirilmesinde alınan mikroyapı görüntüler bölgesel olarak Şekil 5.14'de belirtilmiştir.

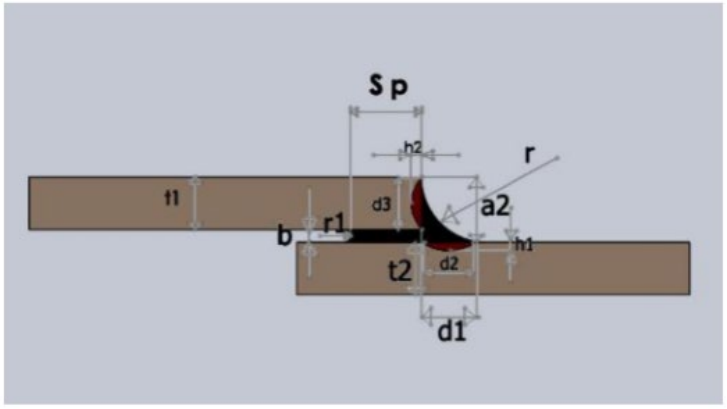


Şekil 5.14 : Bindirme ve alın birleştirme mikroyapıları [27].

5.7.2. Makroyapı

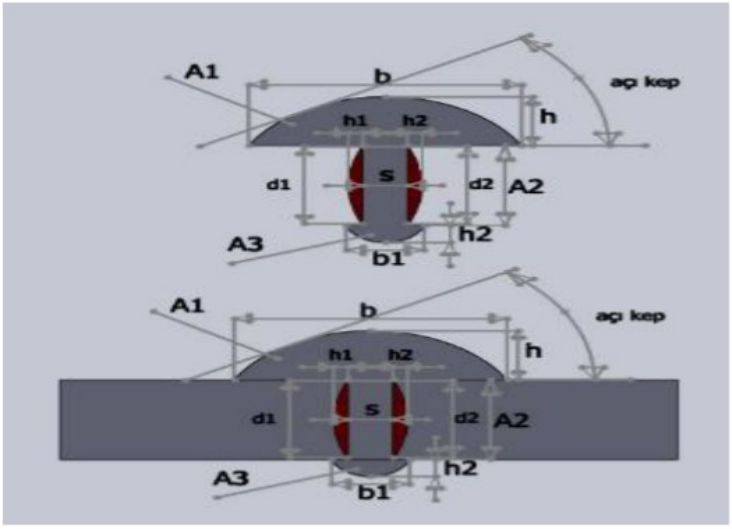
Birleştirme yapılan numunelerin makroyapı incelendiğinde, lehim birleşimindeki lehim dikişinin yüksekliğinin, lehim dikişinin genişliği ve lehim ıslatma açılarının ölçümü ile optimum lehim parametre değerlerinin sağlanması analiz edilmektedir.

Şekil 5.15'de bindirme birleştirme için makroyapı görüntüleri ile ölçümlerin alındığı kısımlar verilmiştir [27].



Şekil 5.15 : Bindirme birleştirme numunelerinde makroyapı ölçüm alınan noktalar [27].

Şekil 5.16'da alın birleştirme için makroyapı fotoğraflarında ölçümlerin alındığı bölgeler verilmiştir [27].



Şekil 5.16 : Alın birleştirme numunelerinde makroyapı ölçüm alınan noktalar [27].

5.7.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizi

Bu deneyde SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacın SG2, CuSi3 ve CuAl8 dolgu telleri ile birleştirilmesi sonucu oluşturulan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ara bölge, lehim bölgesi ve ana metal olmak üzere SEM görüntüleri alınmıştır. Görüntü alımı için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır [15].

SEM görüntüleri alınana bu kısımlarda EDS (elektron kırınım spektroskopisi) analizleri de alınmıştır. EDS analizleri ara bölge ve lehim bölgesi ve ana metal olmak üzere üç bölgeden toplam 5 noktadan olmak üzere her bir numuneden alınmıştır. Bu analizde incelenen bölgelerin element miktarlarının % olarak görmemizi sağlamaktadır. Analizler sonrası elementlere ait % oranlar birbirleri arasında kıyaslanmıştır.

5.8. Deneyde kullanılan parametreler

Birleştirme işlemleri yapılırken aşağıdaki kaynak parametreleri kullanılmıştır.

KAYNAK PARAMETRELERİ						
SAC KALINLIĞI	2 MM	1,2 MM	1,2 MM	2 MM	1,2 MM	2 MM
DOLGU TELİ	SG2	SG2	CUSİ3	CUSİ3	CUALB	CUALB
KAYAK YÖNTEMİ	ALIN	ALIN	ALIN	ALIN	ALIN	ALIN
İŞ KODLARI	JOB-135	JOB-136	JOB-138	JOB-139	JOB-142	JOB-144
Kaynak Akım Ş. (Amper)	187	154	128	145	115	160
Kaynak Gerilimi (V)	16,8	14,7	19,9	20,7	18,5	20,4
Kaynak Hızı (cm/dk)	60	60	60	60	60	60
Tel Sürme Hızı(m/dk)	8,8	7	7,2	8,2	6,2	8,8
Kullanılan Gaz	M20 Ar+8-10%CO2	M20 Ar+8-10%CO2	%100 Ar	%100 Ar	%100 Ar	%100 Ar

Şekil 5.17 : Alın birleştirme numunelerinde kaynak parametreleri.

KAYNAK PARAMETRELERİ						
SAC KALINLIĞI	2 MM	1,2 MM	1,2 MM	2 MM	1,2 MM	2 MM
DOLGU TELİ	SG2	SG2	CUSİ3	CUSİ3	CUALB	CUALB
KAYAK YÖNTEMİ	BİNDİRME	BİNDİRME	BİNDİRME	BİNDİRME	BİNDİRME	BİNDİRME
İŞ KODLARI	JOB-133	JOB-134	JOB-137	JOB-140	JOB-141	JOB-143
Kaynak Akım Ş. (Amper)	193	157	120	151	154	158
Kaynak Gerilimi (V)	17,1	14,9	19,5	21	19,9	20,2
Kaynak Hızı (cm/dk)	60	60	60	60	60	60
Tel Sürme Hızı(m/dk)	9,2	7,2	6,8	8,6	8,2	8,6
Kullanılan Gaz	M20 Ar+8-10%CO2	M20 Ar+8-10%CO2	%100 Ar	%100 Ar	%100 Ar	%100 Ar

Şekil 5.18 : Bindirme birleştirme numunelerinde kaynak parametreleri.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Crash Boxlarda Kullanılan 1.2 mm ve 2 mm SCGA440 Galvanizli Sacların CMT Birleştirme Yöntemi İle Alın Birleştirilmeleri

6.1.1. CuSi3 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

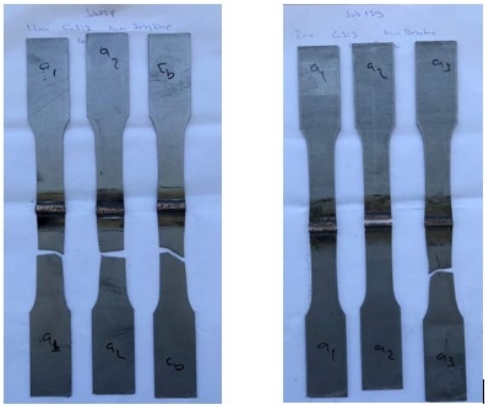
6.1.1.1. CuSi3 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın CuSi3 lehim teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuAl8, SG2) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.1 : CuSi3 ile alın birleştirmelerindeki çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	128	19,9	60	7,2	%100 Ar	539
2 mm	145	20,7	60	8,2	%100 Ar	524

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 539 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 524 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çekme testlerinde numuneler üzerindeki kopma noktaları analiz edildiğinde tüm numuneler için kopmanın ana metalden gerçekleştiği görülmektedir. Kopmanın olduğu bölgeler Şekil 6.1’ de gösterilmiştir.

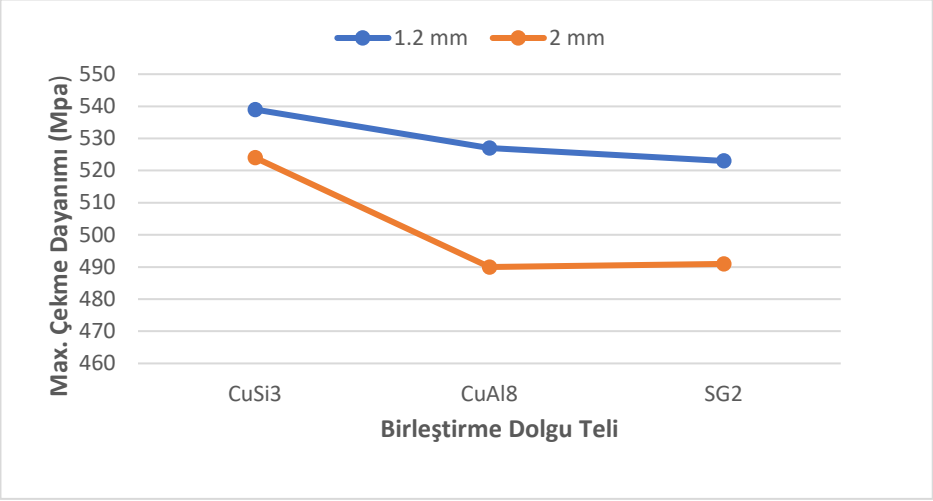


Şekil 6.1 : CuSi3 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, çekme mukavemetleri 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuSi3 539 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuSi3 524 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.2 ve Şekil 6.2.de verilmiştir.

Tablo 6.2 : CuSi3, CuAl8, SG2 alın birleştirmelerini çekme mukavemeti kıyası.

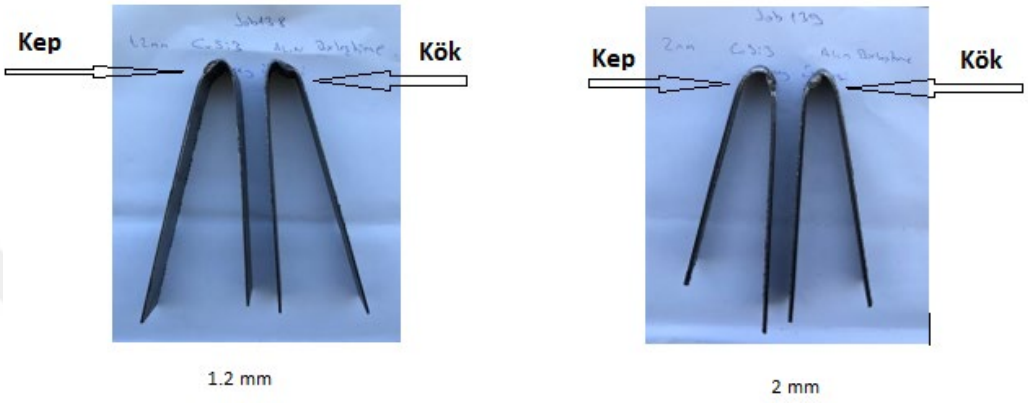
Kalınlık	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	539	527	517
2 mm	524	490	491



Şekil 6.2 : CuSi3, CuAl8, SG2 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği.

CuSi3 lehim teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

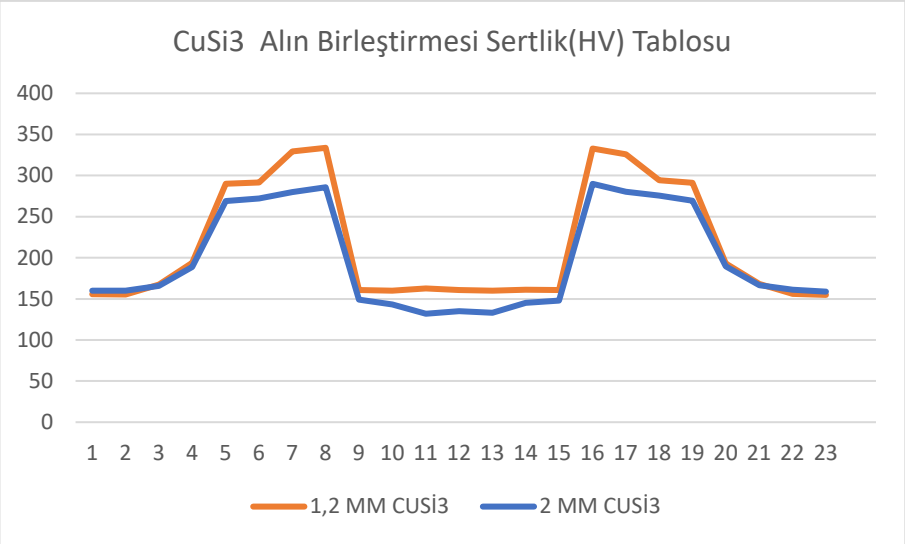
TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile uygulanan kepteki ve kökteki eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : CuSi3 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

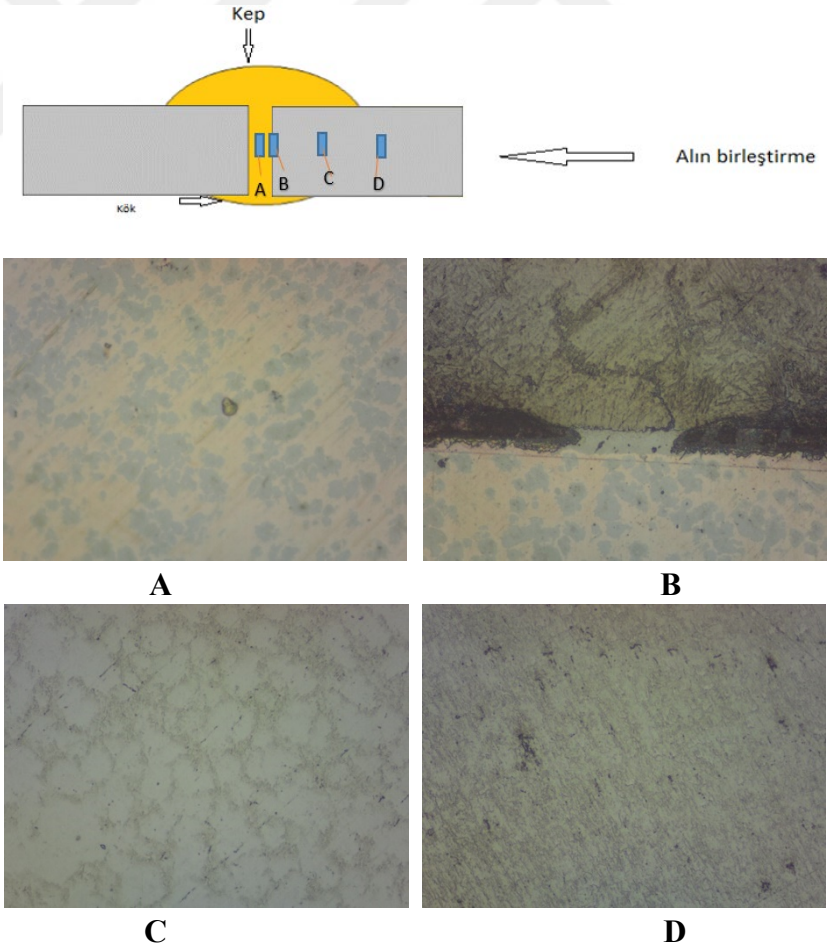
6.1.1.2. CuSi3 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.4'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, CuSi3 dolgu teli ile yapılan lehimleme uygulaması ile elde edilen sertlik derecelerini gösteren grafik verilmiştir. Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), lehim bölgesi, ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik değeri sonuçlarının en yüksek olarak tespit edildiği nokta ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonra ana metalde ve en düşük tespit noktası lehim bölgesinin olduğu belirlenmiştir. Lehim bölgesinde 140-150 Hv, ITAB bölgesinde 270-320 Hv değerleri arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı tespit edilmiş, CuSi3 ile yapılan birleştirmenin çekme mukavemeti yüksek olması ısı girdisi ile ITAB bölgesinden lehim bölgesine difüze olan Fe atomlarının dentrit yapılarını oluşturması ile intermetalik oluşumu neticesinde mukavemet ve sertlik artışı gözlemlenmiştir.



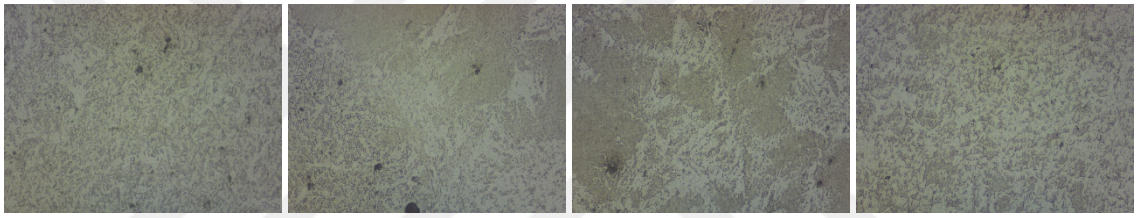
Şekil 6.4 : 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğinin CuSi3, alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri

6.1.1.3. CuSi3 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

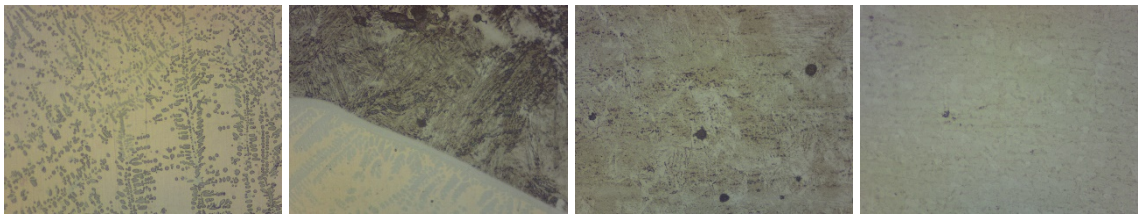


Şekil 6.5 : 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuSi3 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.5’de 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi lehim bölge B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntülerinde görüldüğü gibi lehimleme uygulamasının yapıldığı bölgede, komşu bölgelerin tane boyutları daha büyük ve ana metale doğru ilerledikçe tane boyuta küçülmeler görülmektedir. Burada tespit edilen durum tane boyutunun büyük olduğu yerlerde en yüksek sertlik değerlerine ulaşılması olmuştur. Bu oluşumun nedeni ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölge olarak tespit edilmesidir. Ayrıca B bölgesinde lehimleme uygulaması yapılırken ana metalden lehim bölgesine geçiş yapan elementlerin meydana getirdiği dentritleri görebiliyoruz.

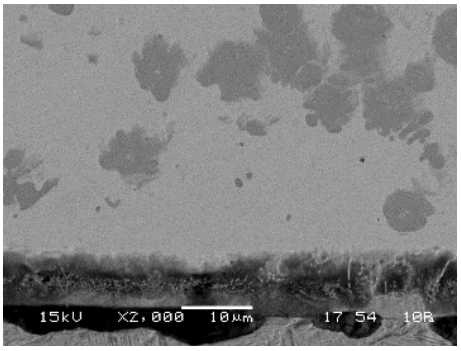


Şekil 6.6 : SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

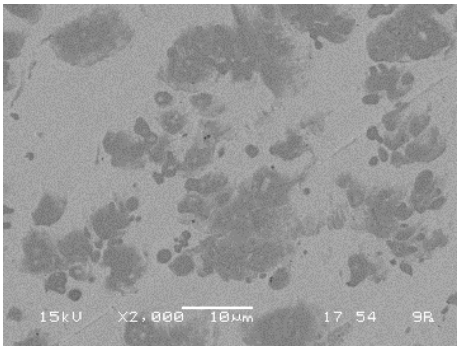


Şekil 6.7 : CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.6’da SG2 dolgu metalinde diğer dolgu tellerinden farklı olarak mikroyapı birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.7’de CuAl8 dolgu telinde CuSi3 dolgu telindeki gibi benzer mikro yapı görüntüleri gözlemlenmiştir.



Ara bölge

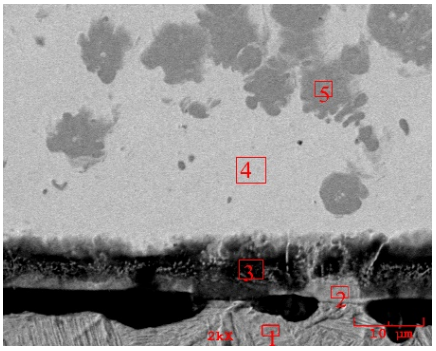


Lehim bölgesi

Şekil 6.8 : CuSi3 0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.5'de gösterilen lehim bölge mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, dentritlerin oluşumu görülmektedir. Isı girdisi artışındaki etki dentritlerin yoğunluğunu artmasına neden olmuştur. Dentritlerin burada artış olması lehim bölgesindeki sertliğinde artmasını sağlamıştır. Şekil 6.8'de numunenin ara bölgesi ve lehim bölgesinden alınan SEM görselleri paylaşılmıştır. Dentritlerin meydan gelmesi ana metal elementlerinin lehim bölgesine doğru atomsal yayınım yapması sonucunda görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin EDS analizi Şekil 6.9'da verilmiştir.

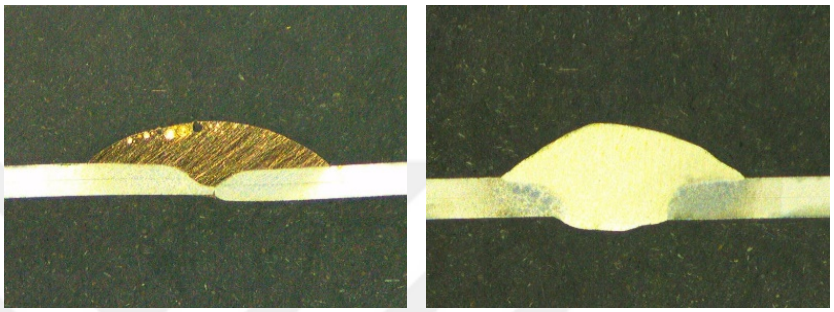


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.588	0.250	0.496	0.433	95.702	2.531
2	0.136	0.731	7.153	0.632	81.974	9.374
3	1.421	0.487	24.565	0.068	48.408	25.052
4	0.000	0.297	2.578	0.813	4.858	91.454
5	0.000	0.175	12.500	0.415	76.649	10.260

Şekil 6.9 : CuSi3 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

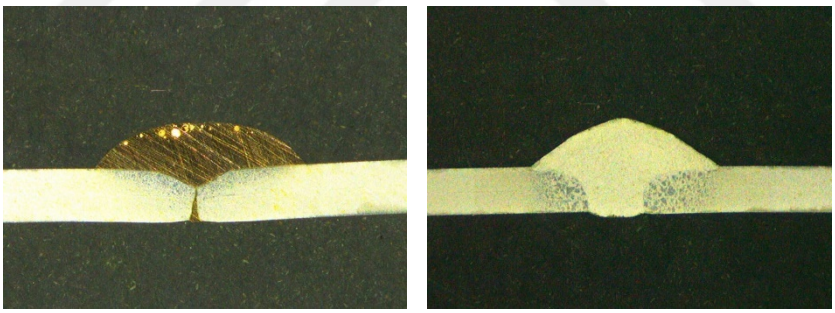
6.1.1.4. CuSi3 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak ve CuSi3 dolgu teli ile yapılan CMT-lehimleme makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 50X yakınlaştırma ile alınmıştır. SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işlemindeki ısı girdisi CuSi3 lehimle işlemine göre daha yüksek olduğundan ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

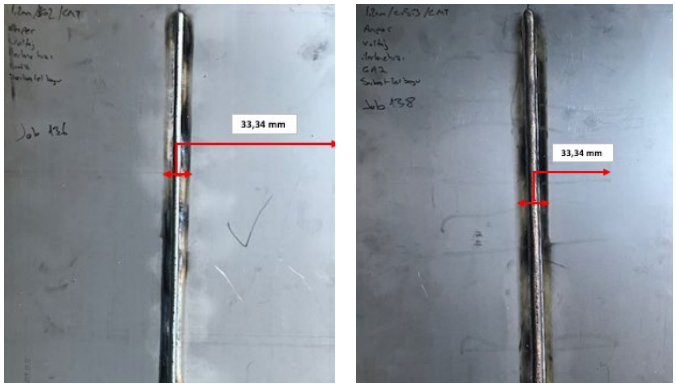
Şekil 6.10 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a)$CuSi_3$ b)Sg2



(a) (b)

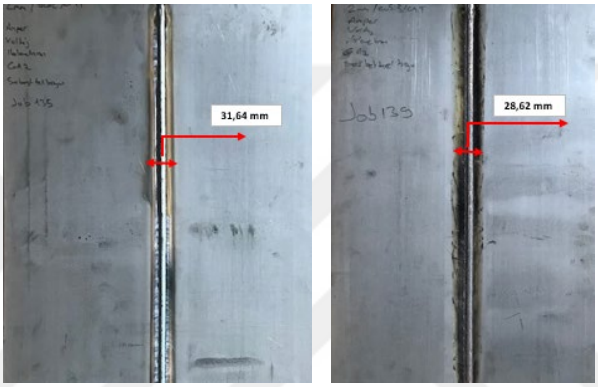
Şekil 6.11 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a)$CuSi_3$ b)Sg2

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 33,34 mm, CuSi3'de ITAB aralığı 21,88 mm ve 2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,64 mm, CuSi3'de ITAB aralığı 28,62 mm olarak ölçülmüş olup Şekil 6.12'de ve Şekil 6.13'de gösterilmiştir. SG2 ile yapılan kaynakta Zn buharlaşmasının daha fazla olduğunun tespiti yapılmıştır.



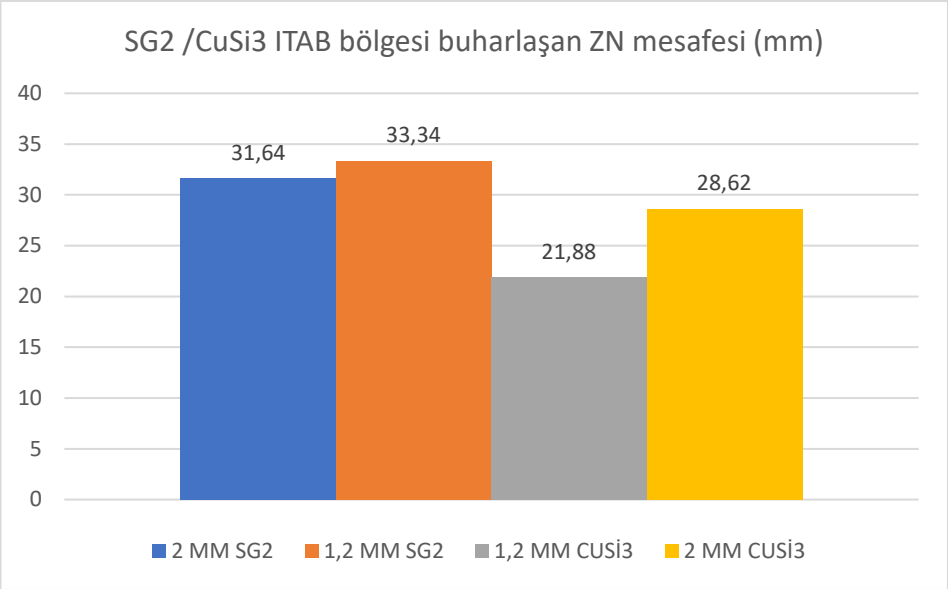
(a) (b)

Şekil 6.12 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)$CuSi_3$



(a) (b)

Şekil 6.13 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)$CuSi_3$



Şekil 6.14. SG2, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.14'de görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuSi3 dolu teline göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha yüksek aralıkta olmasına sebep olmuştur. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olmasında malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

6.1.2. CuAl8 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

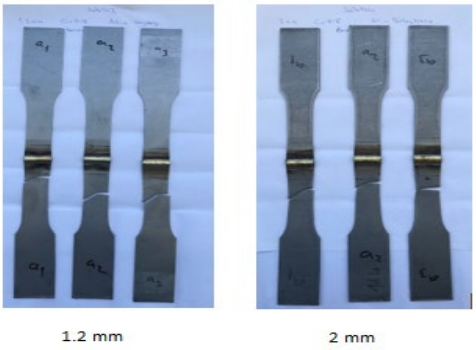
6.1.2.1. CuAl8 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın CuAl8 lehim teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuSi3, SG2) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.3: CuAl8 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	115	18,5	60	6,2	%100 Ar	527
2 mm	160	20,4	60	8,8	%100 Ar	490

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 527 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 490 Mpa olduğu gözlemlenmiştir.

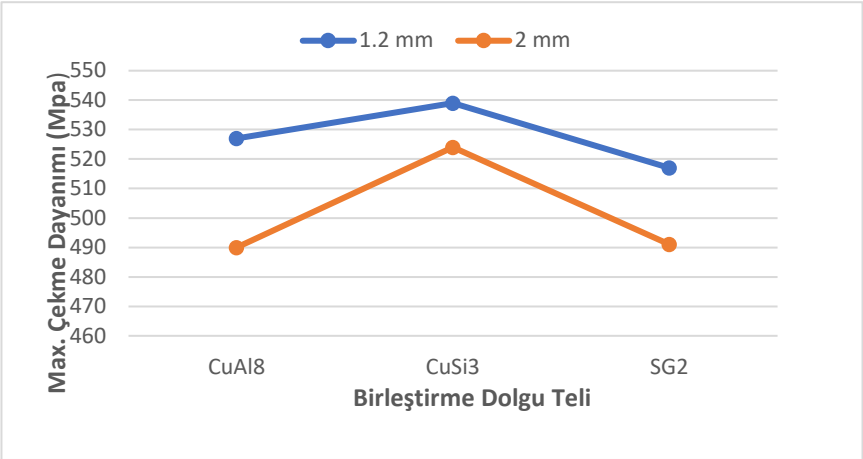


Şekil 6.15 : CuAl8 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Yapılan çekme testlerinde numuneler üzerindeki kopma noktaları analiz edildiğinde tüm numuneler için kopmanın ana metalden gerçekleştiği görülmektedir. Kopmanın olduğu bölgeler Şekil 6.15' verilmiştir. Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, çekme mukavemetleri 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuSi3 539 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuSi3 524 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.4 ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir.

Tablo 6.4: CuAl8, CuSi3, SG2 alın birleştirmelerdeki çekme mukavemeti kıyası.

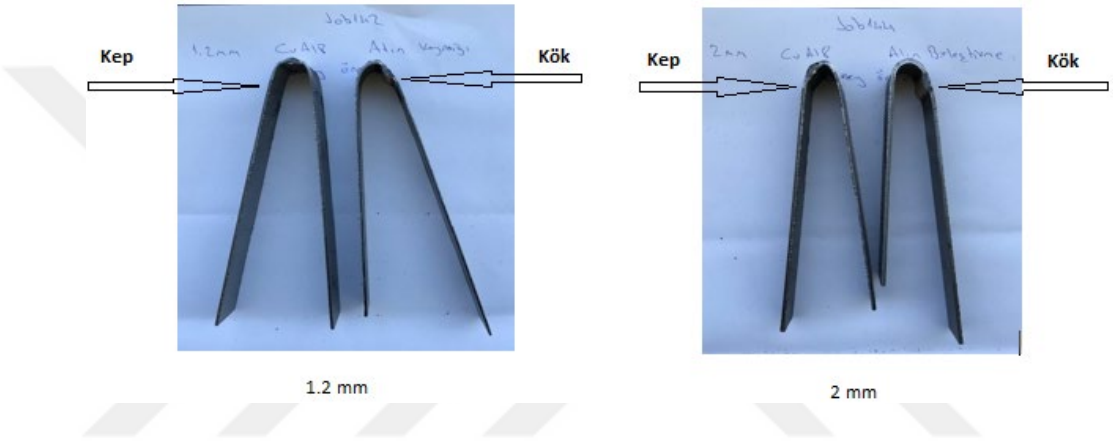
Kalınlık	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	527	539	517
2 mm	490	524	491



Şekil 6.16 : CuAl8, CuSi3, SG2 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği.

CuAl8 lehim teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile uygulanan kepteki ve kökteki eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.17'de gösterildiği gibi numuneler alın bağlantı noktalarından bir tarafında kep olacak açıdan ve diğer tarafında kök olacak açıdan yük uygulanarak teste tabi tutulmasının sonucunda görseldeki gibi şekilleri almalarına rağmen herhangi bir deformasyonla karşılaşılmamıştır.

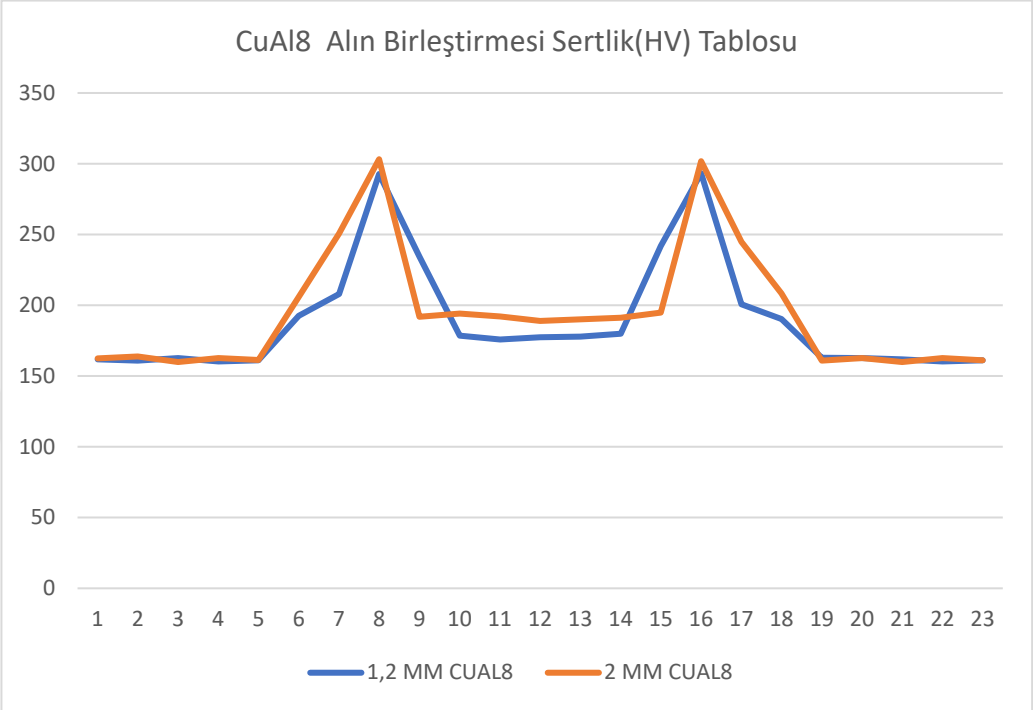


Şekil 6.17 : CuAl8 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

6.1.2.2. CuAl8 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.18'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, CuAl8 dolgu teli ile yapılan lehimleme uygulaması ile elde edilen sertlik derecelerini gösteren grafik verilmiştir. Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), lehim bölgesi, ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik değeri sonuçlarının en yüksek olarak tespit edildiği nokta ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonra lehim bölgesinin ve en düşük tespit noktası ana metalde olduğu belirlenmiştir. Lehim bölgesinde 160-170 Hv, ana metal 150-160 Hv, ITAB bölgesinde 290-300 Hv değerleri arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı izlenmiştir.

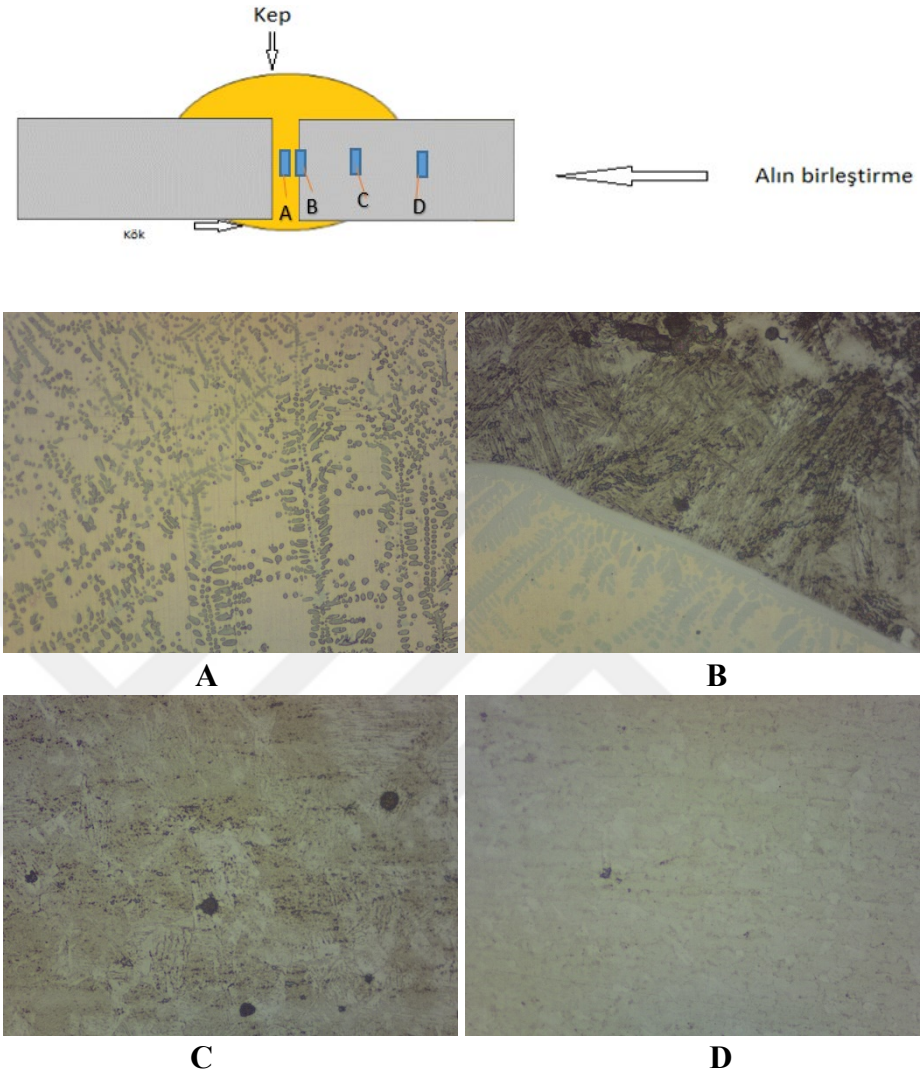
ITAB bölgesindeki sertlik değerlerinin artması ısı girdisinin yüksek olmasından kaynaklı olarak ölçülmüştür. Isı girdisi ile tane yapısı kabalaşmış ve sertlik değerleri yükselmiştir. Ana metalden lehim bölgesine doğru dentritlerin oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.18 : 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğin CuAl8 alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri.

CuAl8 ile yapılan birleştirmenin çekme mukavemeti yüksek olması ısı girdisi ile ITAB bölgesinden lehim bölgesine difüze olan Fe atomlarının dentrit yapılarını oluşturması ile intermetalik oluşumu neticesinde mukavemet ve sertlik artışı gözlemlenmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. Mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölgedir, esas metale doğru gidildikçe sertlik azalmaktadır. Bu bölgelerde ince taneli bölge, kısmen dönüşmüş bölge ve esas metal bölgesi olarak sıralanmıştır.

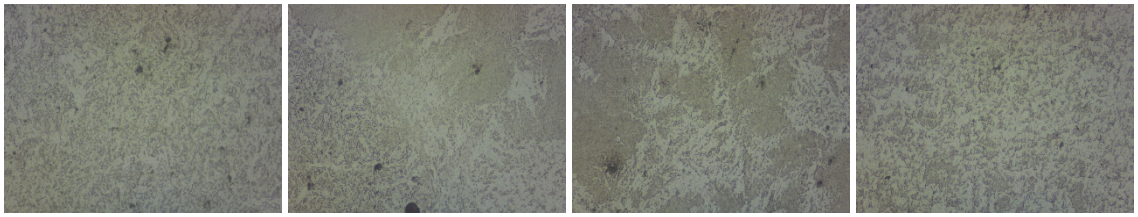
6.1.2.3. CuAl8 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi



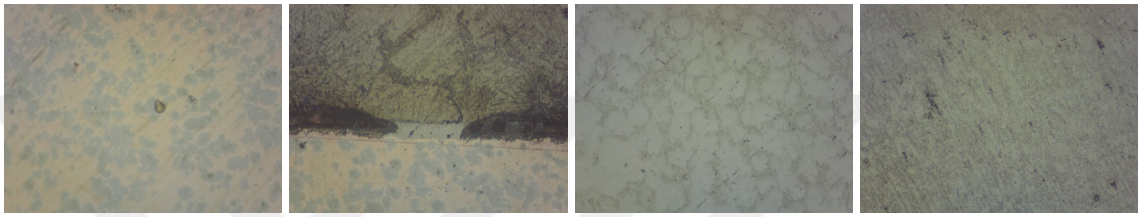
Şekil 6.19 : 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuAl8 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.19'da 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi lehim bölge B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntülerinde görüldüğü gibi lehimleme uygulamasının yapıldığı bölgede, komşu bölgelerin tane boyutları daha büyük ve ana metale doğru ilerledikçe tane boyuta küçülmeler görülmektedir. Burada tespit edilen durum tane boyutunun büyük olduğu yerlerde en yüksek sertlik değerlerine ulaşılması olmuştur. Bu oluşumun nedeni ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölge olarak tespit edilmesidir. Ayrıca B bölgesinde

lehimleme uygulaması yapılırken ana metalden lehim bölgesine geçiş yapan elementlerin meydana getirdiği dentritleri görebiliyoruz.

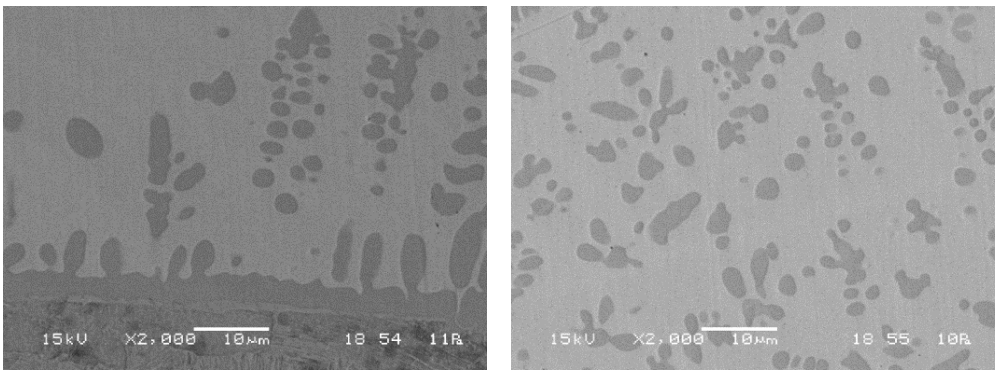


Şekil 6.20 : SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.21 : CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.20'de SG2 dolgu metalinde diğer dolgu tellerinden farklı olarak mikroyapı birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.21'de CuAl8 dolgu telinde CuSi3 dolgu telindeki gibi benzer mikro yapı görüntüleri gözlemlenmiştir.



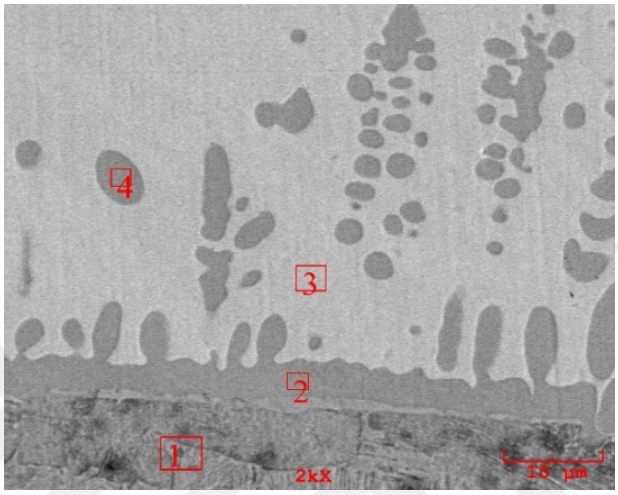
Ara bölge Lehim bölgesi

Şekil 6.22 : CuAl8 0,5 mm lehim aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.19'da gösterilen lehim bölge mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, dentritlerin oluşumu görülmektedir. Isı girdisi artışındaki etki dentritlerin yoğunluğunu artmasına neden olmuştur. Dentritlerin burada artış olması lehim bölgesindeki sertliğinde artmasını sağlamıştır. Şekil 6.22'de numunenin ara bölgesi ve lehim bölgesinden alınan SEM

görselleri paylaşılmıştır. Dentritlerin meydan gelmesi ana metal elementlerinin lehim bölgesine doğru atomsal yayınım yapması sonucunda görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin EDS analizi Şekil 6.23'de verilmiştir.

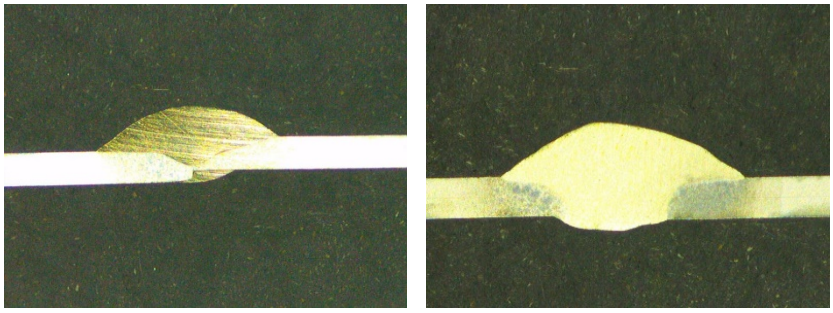


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.852	1.618	0.283	0.822	93.028	3.396
2	0.000	7.001	0.360	0.310	77.038	15.291
3	0.000	8.329	0.415	0.549	6.529	84.179
4	0.000	7.492	0.735	0.249	73.207	18.316

Şekil 6.23 : CuAl8 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

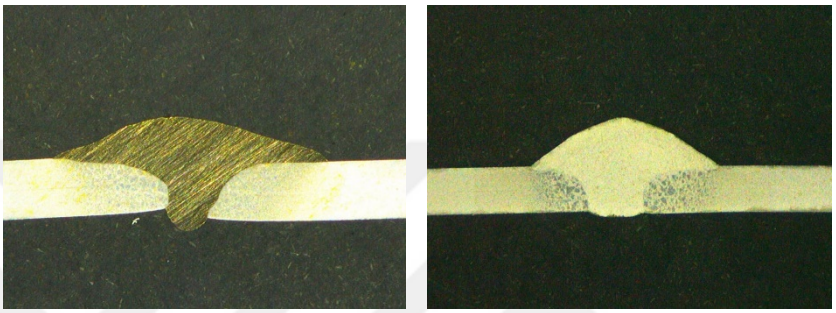
6.1.2.4. CuAl8 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak ve CuAl8 dolgu teli ile yapılan CMT-lehimleme makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 50X yakınlaştırma ile alınmıştır. SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işlemindeki ısı girdisi CuAl8 lehimle işlemine göre daha yüksek olduğundan ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

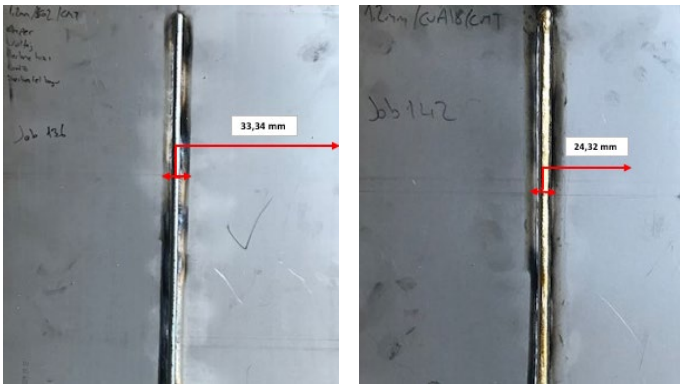
Şekil 6.24 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) CuAl8, b) SG2



(a) (b)

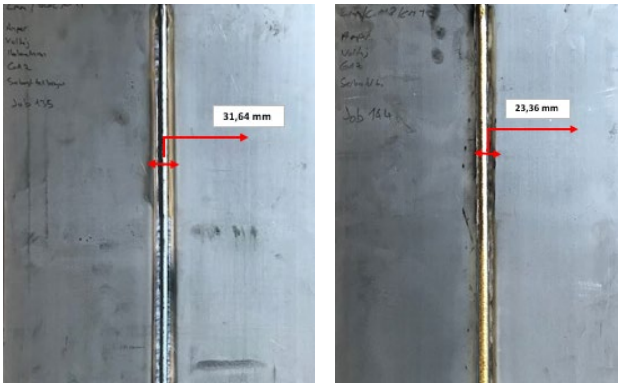
Şekil 6.25 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) CuAl8, b) SG2

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 33,34 mm, CuAl8'de ITAB aralığı 24,12 mm ve ,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,64 mm, CuAl8'de ITAB aralığı 23,16 mm olarak ölçülmüş olup Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'de gösterilmiştir. SG2 ile yapılan kaynakta buharlaşma daha fazla olduğu görülmüştür.



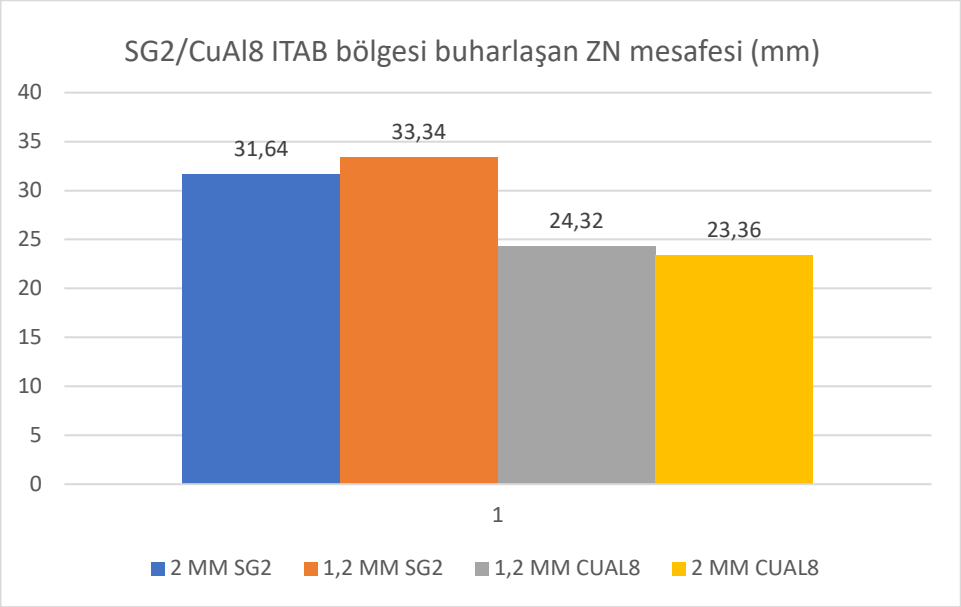
(a) (b)

Şekil 6.26. 1,2 mm birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)CuAl8



(a) (b)

Şekil 6.27 : 2 mm birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)CuAl8



Şekil 6.28. SG2, CuAl8 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.28'de görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuAl8 dolu teline göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha fazla olmasına neden olmuştur. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olması malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

6.1.3. SG2 kaynak telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

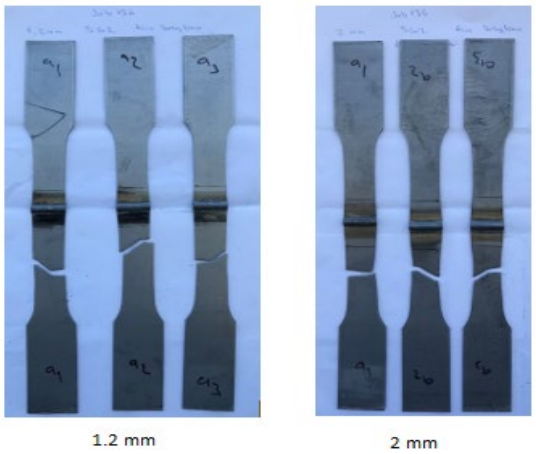
6.1.3.1. SG2 kaynak telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın SG2 kaynak teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuSi3, CuAl8) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.5 : SG2 alın birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	154	14,7	60	7	M20 Ar+8-10%CO2	517
2 mm	187	16,8	60	8,8	M20 Ar+8-10%CO2	491

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 517 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 491 Mpa olduğu gözlemlenmiştir.

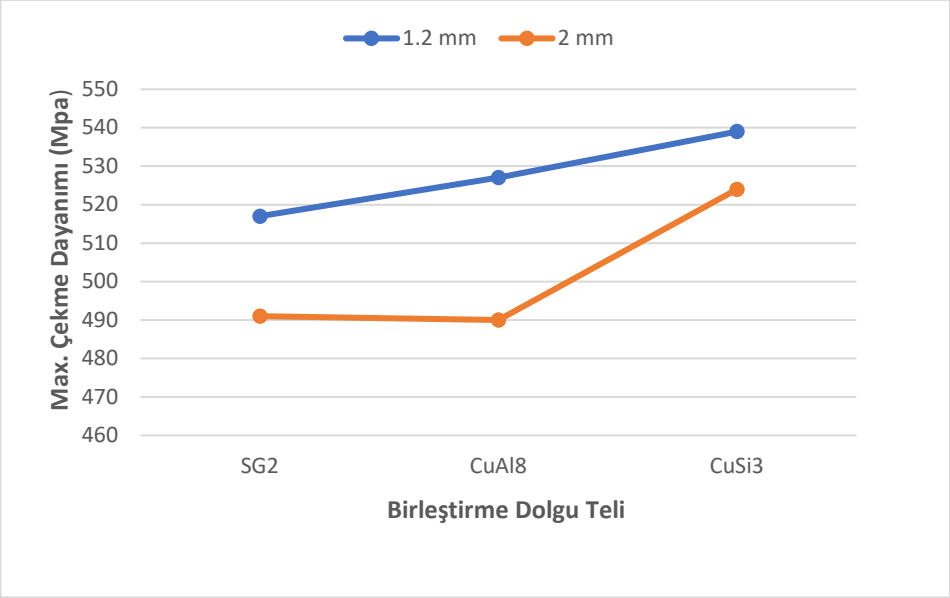


Şekil 6.29. SG2 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, çekme mukavemetleri 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuSi3 539 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuSi3 524Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.6 ve Şekil 6.30'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6 : SG2, CuAl8, CuSi3 alın birleştirmesi çekme mukavemeti kıyası.

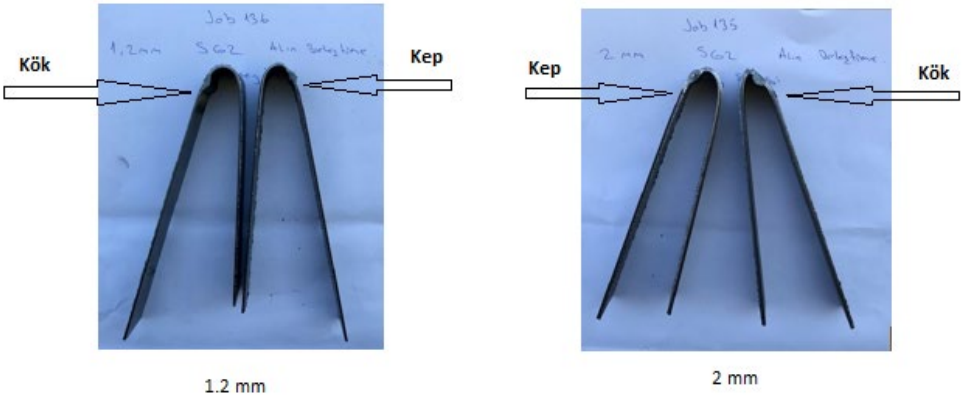
Kalınlık	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	517	527	539
2 mm	491	490	524



Şekil 6.30 : SG2, CuAl8, CuSi3 alın birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti grafiği.

SG2 kaynak teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

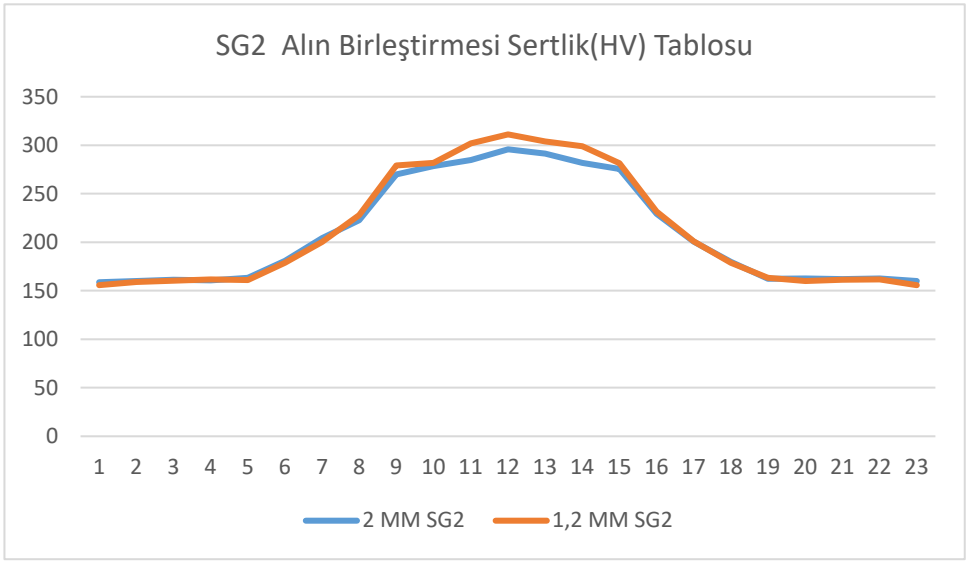
TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile uygulanan kepteki ve kökteki eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



Şekil 6.31:. SG2 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

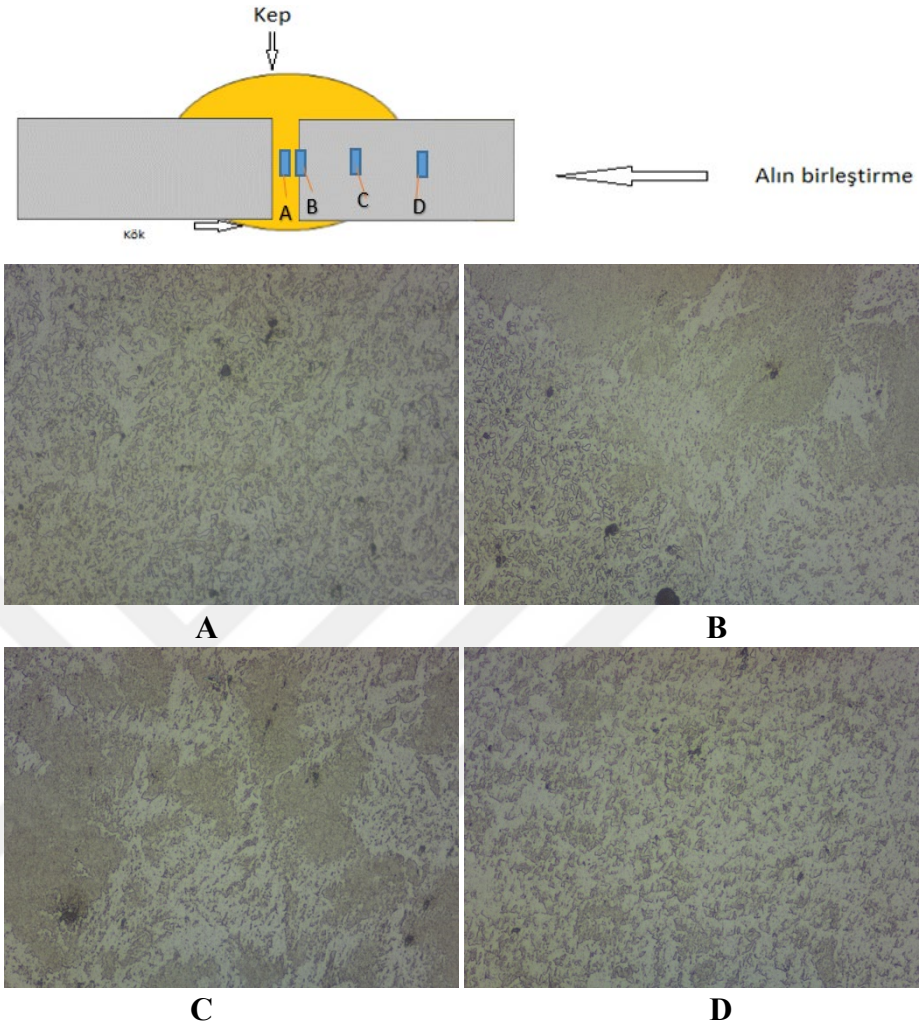
6.1.3.2. SG2 kaynak telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.32'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirmede elde edilen sertlik değerlerine ait grafik verilmiştir. Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik sonuçlarının en yüksek değeri birleştirme bölgesinde daha sonra ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde ve en düşük ise ana metalde olduğu görülmüştür. Ana metalde bölgesinde 140-150 Hv, ITAB bölgesinde 270-280 Hv birleştirme bölgesinde 300-310 Hv arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı izlenmiştir.



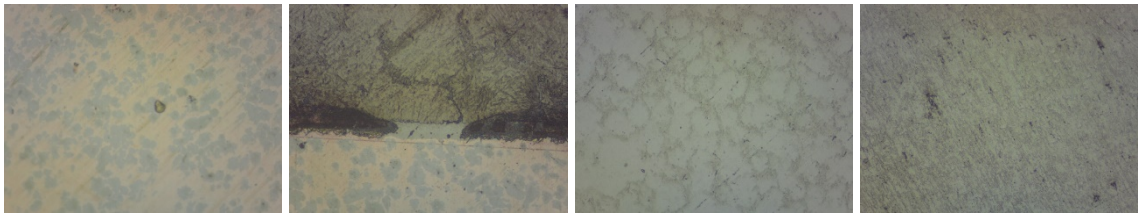
Şekil 6.32 : 1,2 mm ve 2 mm SCGA 440 çeliğinin SG2 alın birleştirmesi sertlik(HV) değerleri.

6.1.3.3. SG2 kaynak telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

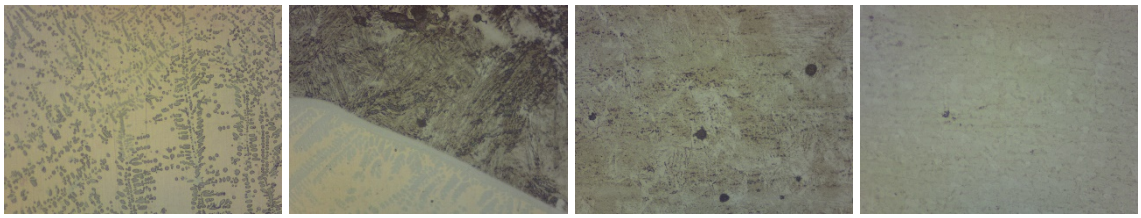


Şekil 6.33. 60 cm/dk sabit hızda yapılan SG2 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.33'de 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi dolgu metali B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntüleri lehimleme işleminin gibi olmamaktadır. Tane boyutunun en yüksek olduğu yer kaynak A bölgesidir, birleşmenin gerçekleştirildiği bölgenin komşu bölgelerinde tane boyutları birbirlerine yakın olduğu görülmüş fakat kaynak metalinde soğuma hızına etkisi ile oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, beynit ve perlit olabileceği söz konusudur. Ark kaynak metodunda kaynak metaline en yakın bölgelerde ısı girdisinin etkisiyle kaba tanelerin oluştuğunu ve oluşan kısımlarda en yüksek sertlik değerleri ulaştığı gözlemlenmiştir.

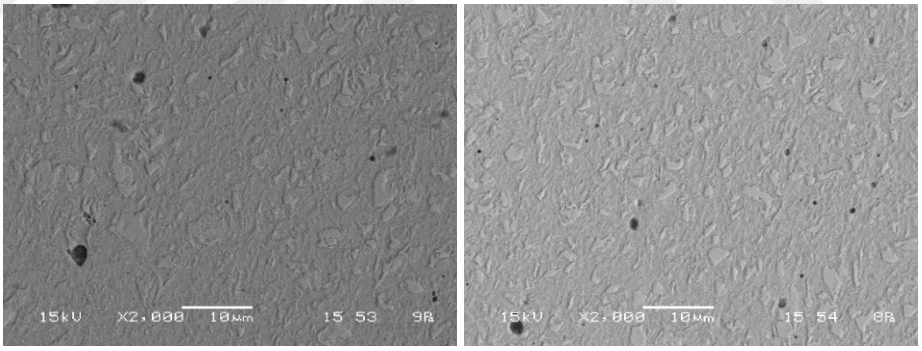


Şekil 6.34 : Cusi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.35 : CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.34'de CuSi3 ve Şekil 6.35'de CuAl8 dolgu telleri farklı olarak birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde mikro görüntüleri birbirlerine çok farklı olduğu gözlemlenmiştir.

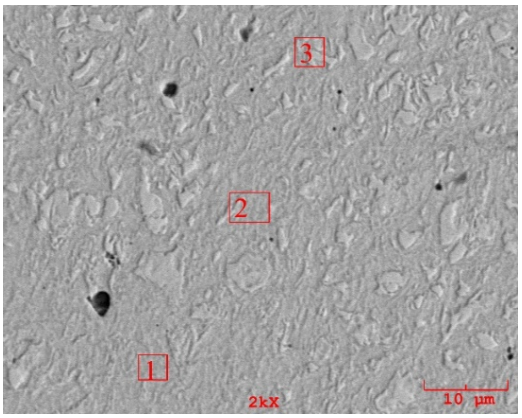


Ara bölge Kaynak bölgesi

Şekil 6.36 : SG2 0,5 mm birleştirme aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.33'de verilen birleşme bölgesi mikroyapı görüntülerine bakıldığında dentritlerin oluşu birleşmenden kaynak orta noktasına gidildikçe sertliği de arttırdığı görülmüştür. Şekil 6.36'da numunenin ara bölge ve kaynak bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Ana metale yakın bölgelerin dentrit yapıya sahip ve ITAB' iri ve ince taneli yapılar oluştuğu görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesindeki dentritlerin EDS analizi EDS analizi Şekil 6.37'de verilmiştir.

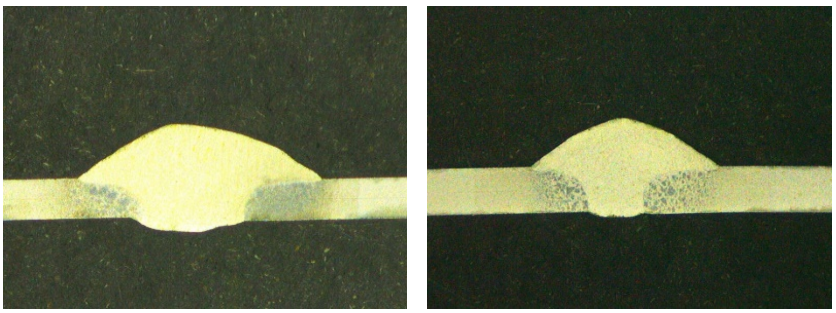


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.000	0.156	0.360	1.078	97.681	0.725
2	0.077	0.182	0.573	0.825	97.997	0.346
3	0.000	0.057	0.971	0.739	98.233	0.000

Şekil 6.37 : SG2 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

6.1.3.4. SG2 kaynak telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

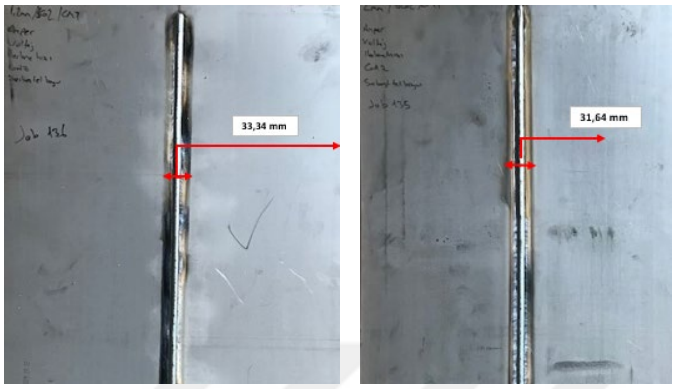
1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.38'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 50X yakınlaştırma ile alınmıştır. 1,2 mm SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işleminde ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

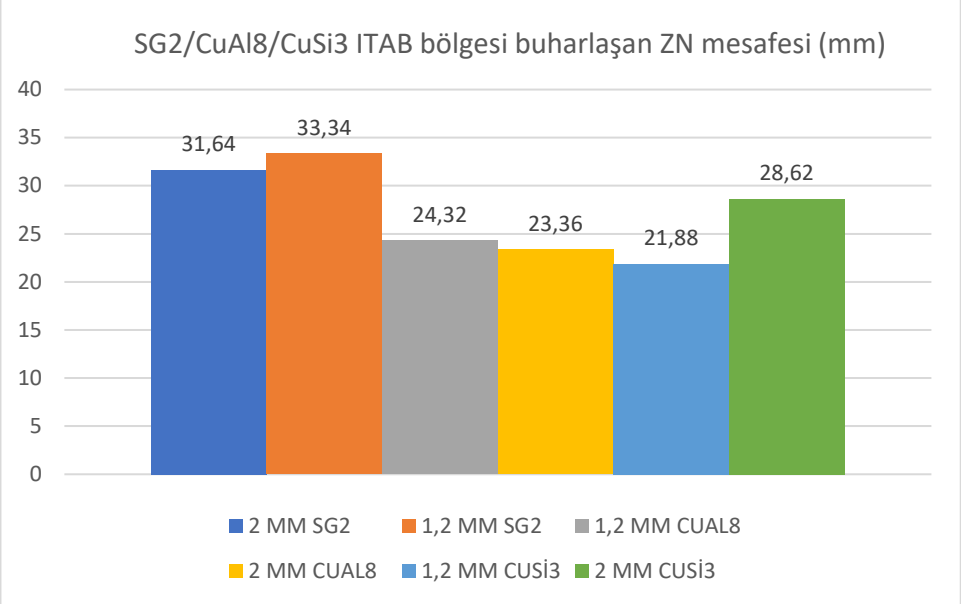
Şekil 6.38 : SG2 ile birleştirme sonrası makro görüntüler. a)1,2mm b)2 mm

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 33,34 mm, ve 2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,64 mm, ölçülmüş olup Şekil 6.39'da gösterilmiştir. 1,2 mm SG2 ile yapılan kaynakta buharlaşma daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.39 : SG2 ile birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)1,2mm b)2 mm



Şekil 6.40 : SG2, CuAl8, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.40'da görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuAl8 ve CuSi3 dolu tellerine göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha fazla olmasına neden olmuştur. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olması malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

6.2. Crash Boxlarda Kullanılan 1.2 mm ve 2 mm SCGA440 Galvanizli Sacların CMT Birleştirme Yöntemi İle Bindirme Birleştirilmeleri

6.2.1. CuSi3 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

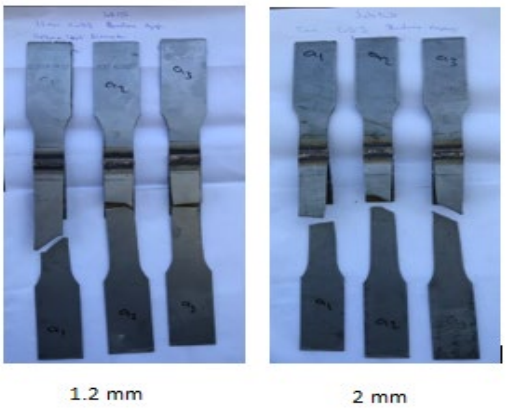
6.2.1.1. CuSi3 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın CuSi3 lehim teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuAl8, SG2) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.7 : CuSi3 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	120	19,5	60	6,8	%100 Ar	505
2 mm	151	21	60	8,6	%100 Ar	486

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 505 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 486 Mpa olduğu gözlemlenmiştir.

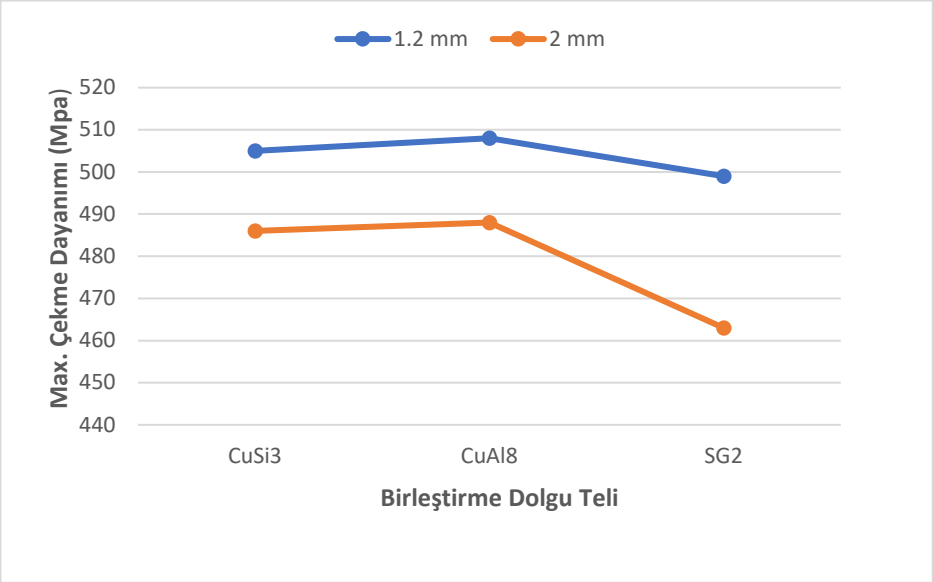


Şekil 6.41 : CuSi3 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Yapılan çekme testi sonuçlarına bakıldığında kopma yerleri tüm numunelerde ana metalden olduğu görülmüştür. Kaynak bölgelerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuAl8 508 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuAl8 488 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.8 ve Şekil 6.42'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8 : CuSi3, CuAl8, SG2 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemeti kıyası.

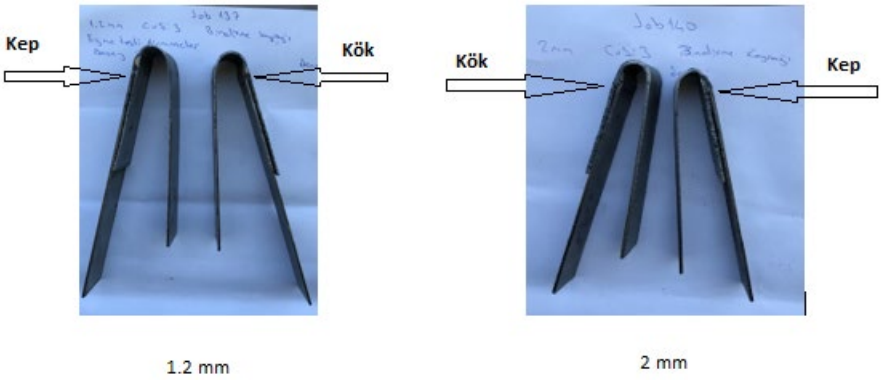
Kalınlık	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	505	508	499
2 mm	486	488	463



Şekil 6.42 : CuSi3, CuAl8, SG2 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti.

CuSi3 lehim teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

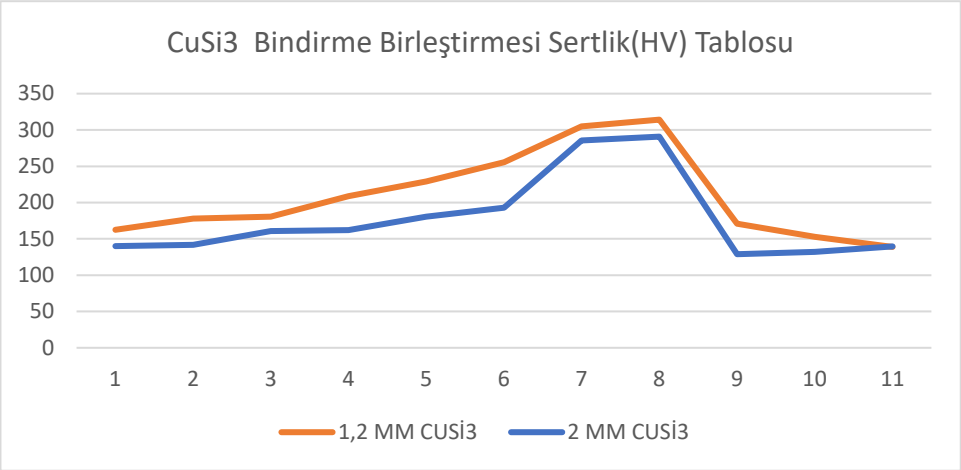
TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile yapılan kep ve kök eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.43.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.43 : CuSi3 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

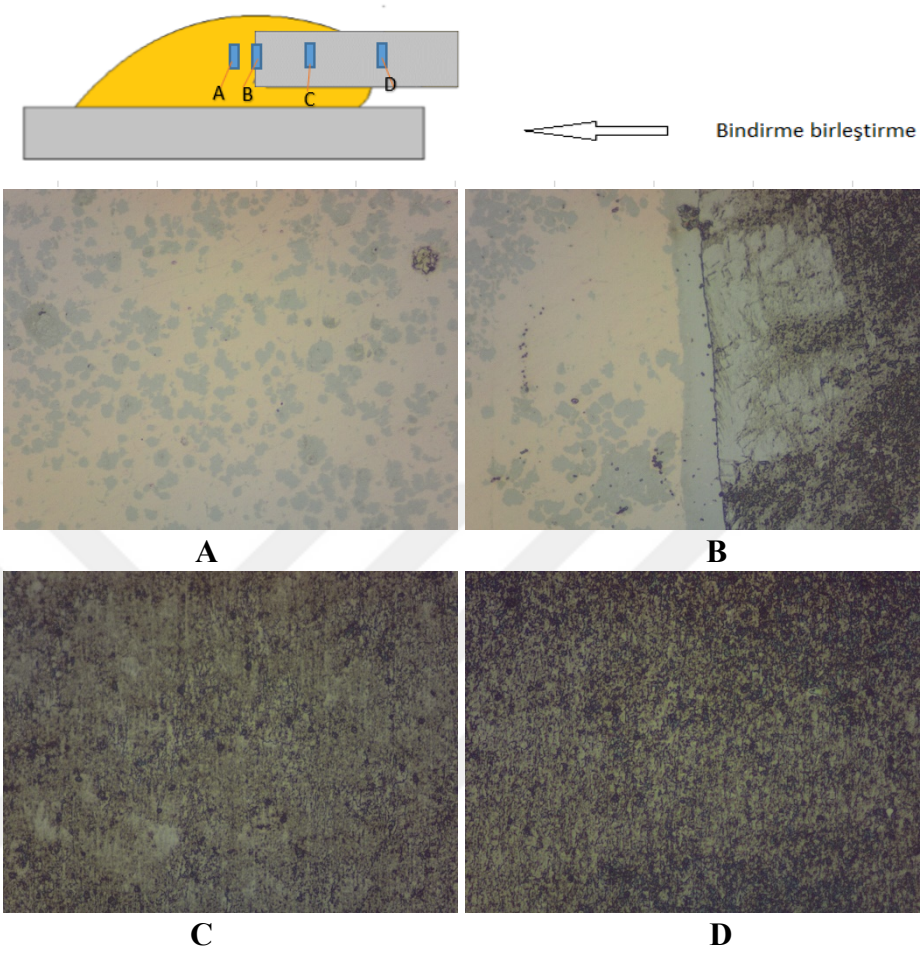
6.2.1.2. CuSi3 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.44'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, CuSi3 dolgu teli ile yapılan lehimleme uygulaması ile elde edilen sertlik derecelerini gösteren grafik verilmiştir. Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), lehim bölgesi, ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik değeri sonuçlarının en yüksek olarak tespit edildiği nokta ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonra ana metalde ve en düşük tespit noktası lehim bölgesinin olduğu belirlenmiştir. Lehim bölgesinde 130-140 Hv, ana metal 150-160 Hv, ITAB bölgesinde 290-320 Hv değerleri arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı izlenmiştir.



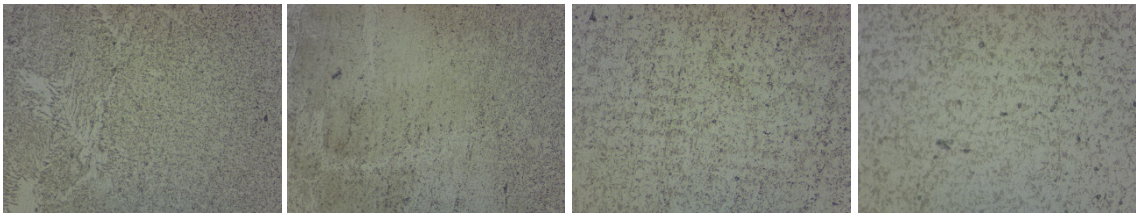
Şekil 6.44 : 1,2 mm ve 2 mm çeliklere CuSi3 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri.

6.2.1.3. CuSi3 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

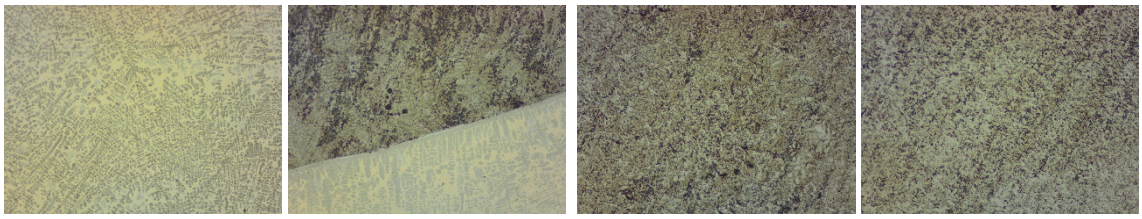


Şekil 6.45 : 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuSi3 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.45'de 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi lehim bölge B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntülerinde görüldüğü gibi lehimleme uygulamasının yapıldığı bölgede, komşu bölgelerin tane boyutları daha büyük ve ana metale doğru ilerledikçe tane boyuta küçülmeler görülmektedir. Burada tespit edilen durum tane boyutunun büyük olduğu yerlerde en yüksek sertlik değerlerine ulaşılması olmuştur. Bu oluşumun nedeni ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölge olarak tespit edilmesidir. Ayrıca B bölgesinde lehimleme uygulaması yapılırken ana metalden lehim bölgesine geçiş yapan elementlerin meydana getirdiği dentritleri görebiliyoruz.

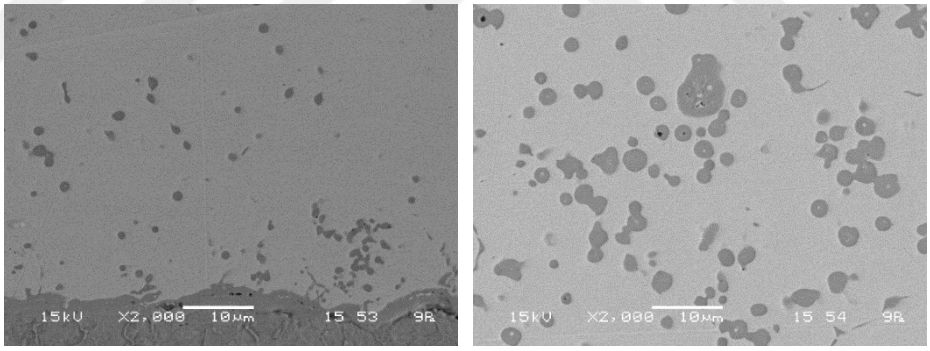


Şekil 6.46 : SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.47 : CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.46'da SG2 dolgu metalindeki mikroyapı diğer dolgu tellerinden farklı olarak birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.47'de CuAl8 dolgu telinde CuSi3 dolgu telindeki gibi benzer mikro yapı görüntüleri gözlemlenmiştir.

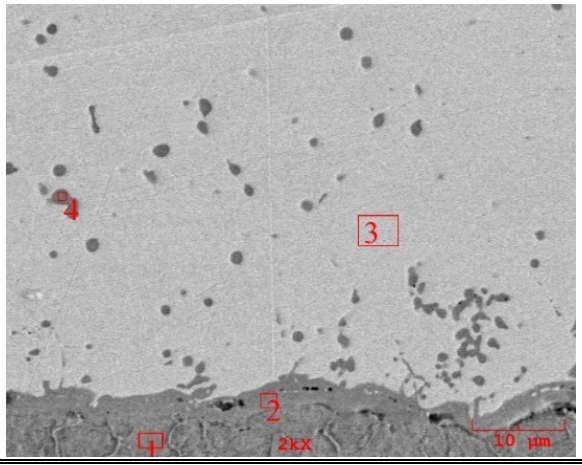


Ara bölge Lehim bölgesi

Şekil 6.48 : CuSi3 0,5 mm bindirme lehim aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.45'de gösterilen lehim bölge mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, dentritlerin oluşumu görülmektedir. Isı girdisi artışındaki etki dentritlerin yoğunluğunu artmasına neden olmuştur. Dentritlerin burada artmış olması lehim bölgesindeki sertliğinde artmasını sağlamıştır. Şekil 6.48'de numunenin ara bölgesi ve lehim bölgesinden alınan SEM görselleri paylaşılmıştır. Dentritlerin meydan gelmesi ana metal elementlerinin lehim bölgesine doğru atomsal yayınım yapması sonucunda görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin EDS analizi analizi Şekil 6.49'da verilmiştir.

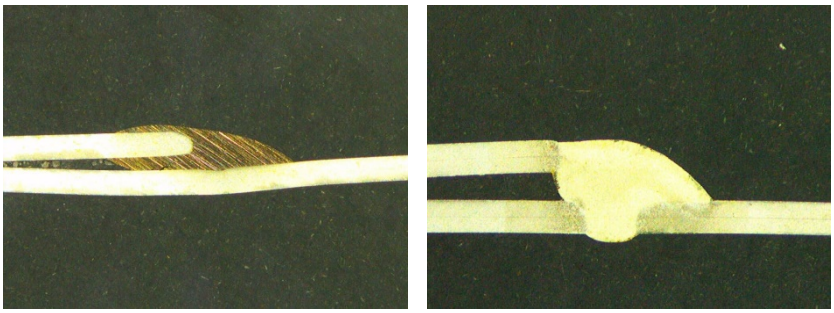


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.000	0.372	0.573	0.776	95.568	2.711
2	0.000	0.307	8.114	0.531	85.582	5.466
3	0.000	0.569	3.262	0.490	3.035	92.644
4	0.000	0.159	16.061	2.011	67.144	14.626

Şekil 6.49 : CuSi3 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

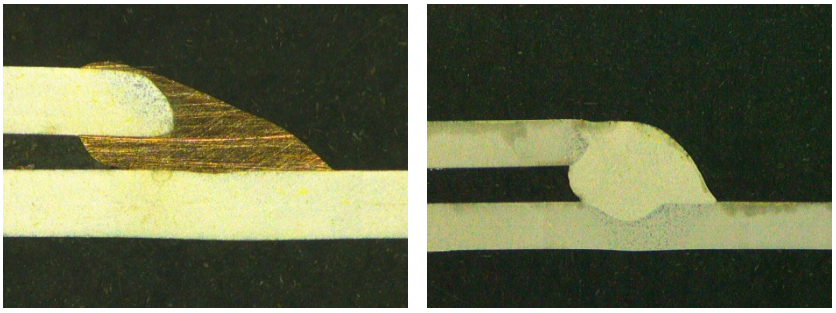
6.2.1.4. CuSi3 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.50'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak ve CuSi3 dolgu teli ile yapılan CMT-lehimleme makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 50X yakınlaştırma ile alınmıştır.SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işlemindeki ısı girdisi CuSi3 lehimle işlemine göre daha yüksek olduğundan ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.50 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) $CuSi_3$, b)SG2



(a) (b)

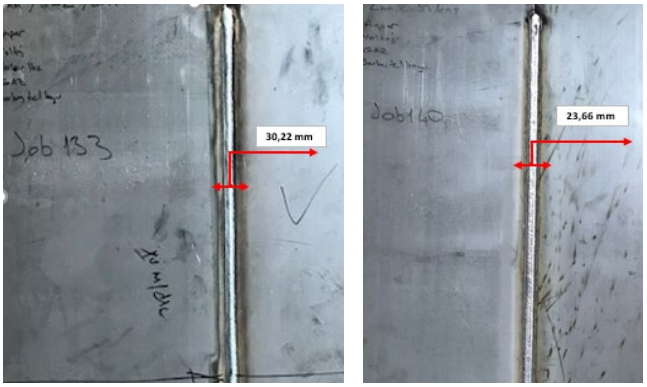
Şekil 6.51 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) $CuSi_3$, b)SG2

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,12 mm, CuSi3'de ITAB aralığı 24,16 mm ve 2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 30,22 mm, CuSi3'de ITAB aralığı 23,66 mm olarak ölçülmüş olup Şekil 6.52 ve Şekil 6.53'de gösterilmiştir. SG2 ile yapılan kaynakta buharlaşma daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



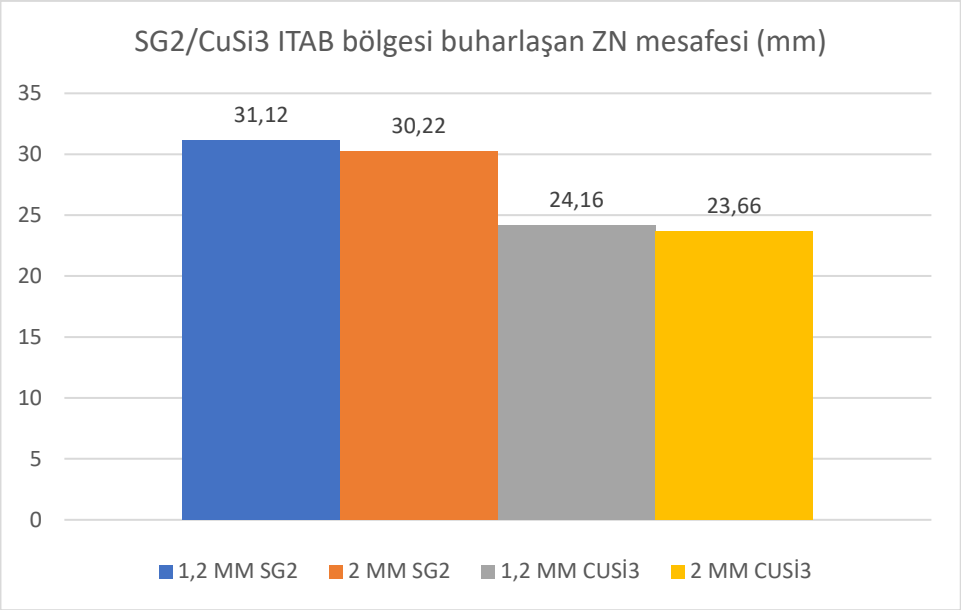
(a) (b)

Şekil 6.52 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)$CuSi_3$



(a) (b)

Şekil 6.53 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)$CuSi_3$



Şekil 6.54 : SG2, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.54'de görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuSi3 dolu teline göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha fazla olmasına sebebiyet vermiştir. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olması malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

6.2.2. CuAl8 lehim telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

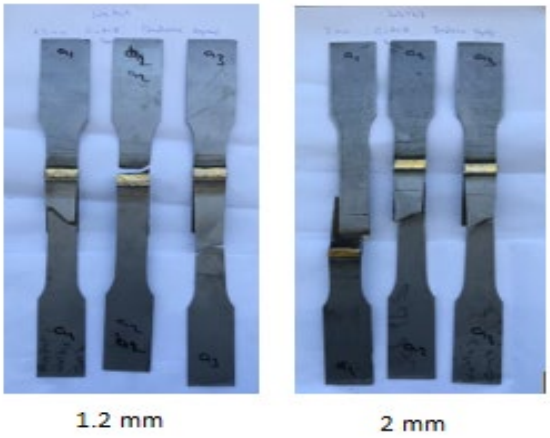
6.2.2.1. CuAl8 lehim telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın CuAl8 lehim teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuSi3, SG2) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.9: CuAl8 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	154	19,9	60	8,2	%100 Ar	508
2 mm	158	20,2	60	8,6	%100 Ar	488

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 508 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 488 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çekme testlerinde numuneler üzerindeki kopma noktaları analiz edildiğinde tüm numuneler için kopmanın ana metalden gerçekleştiği görülmektedir. Kopmanın olduğu bölgeler Şekil 6.55'de gösterilmektedir.

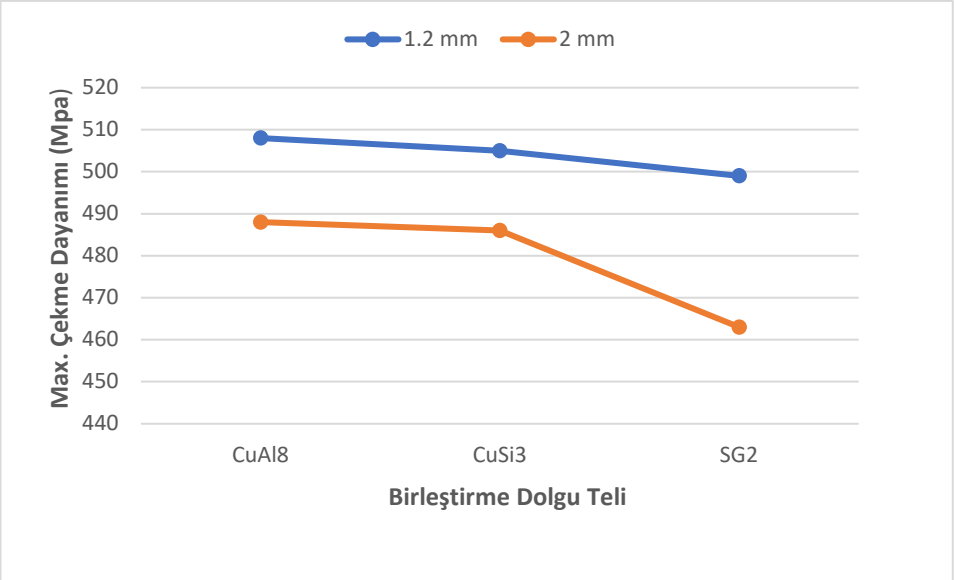


Şekil 6.55 : CuAl8 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuAl8 508 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuAl8 488 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.10 ve Şekil 6.56'da gösterilmiştir.

Tablo 6.10: CuAl8, CuSi3, SG2 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemeti kıyası.

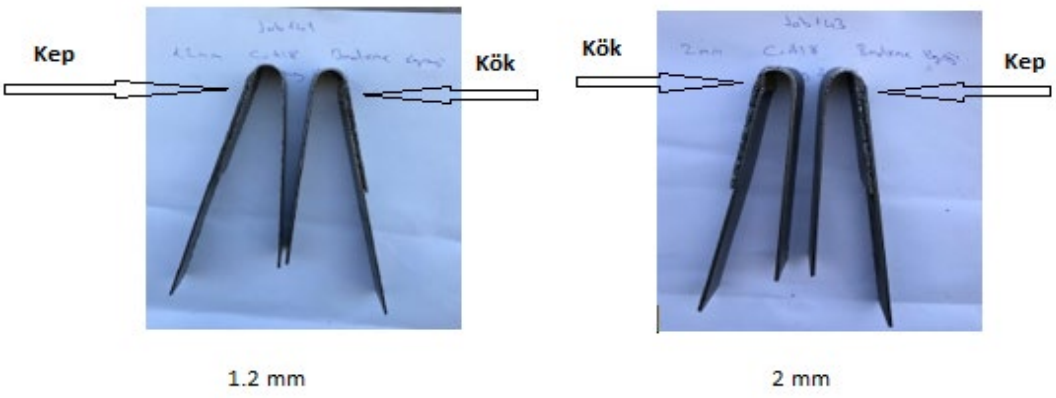
Kalınlık	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	508	505	499
2 mm	488	486	463



Şekil 6.56 : CuAl8, CuSi3, SG2 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti.

CuAl8 lehim teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile yapılan kep ve kök eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.57'de gösterilmiştir.

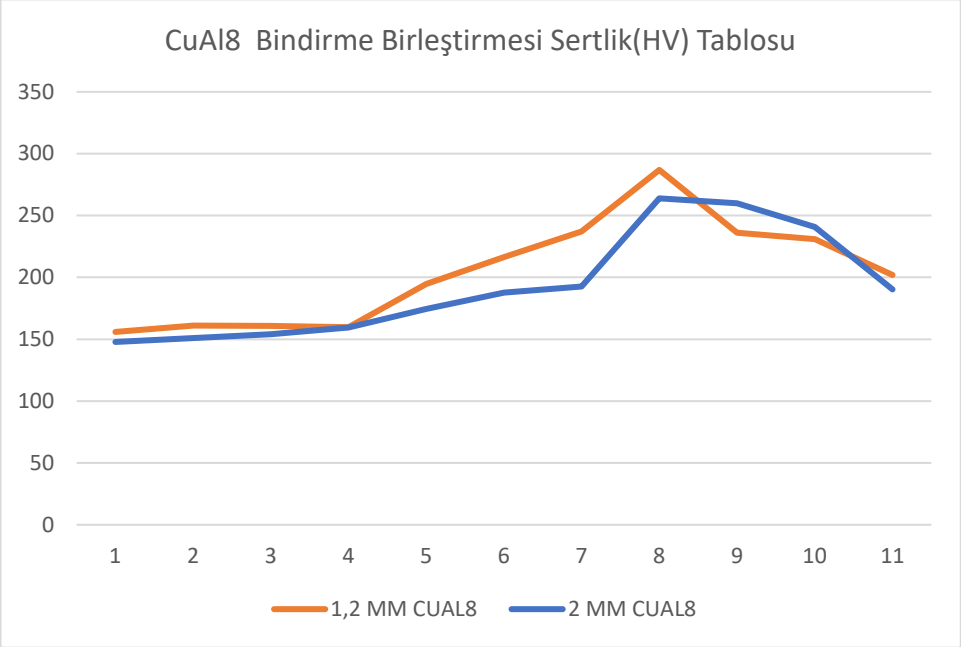


Şekil 6.57 : CuAl8 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

6.2.2.2. CuAl8 lehim telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.58'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, CuAl8 dolgu teli ile yapılan lehimleme uygulaması ile elde edilen sertlik derecelerini gösteren grafik verilmiştir.

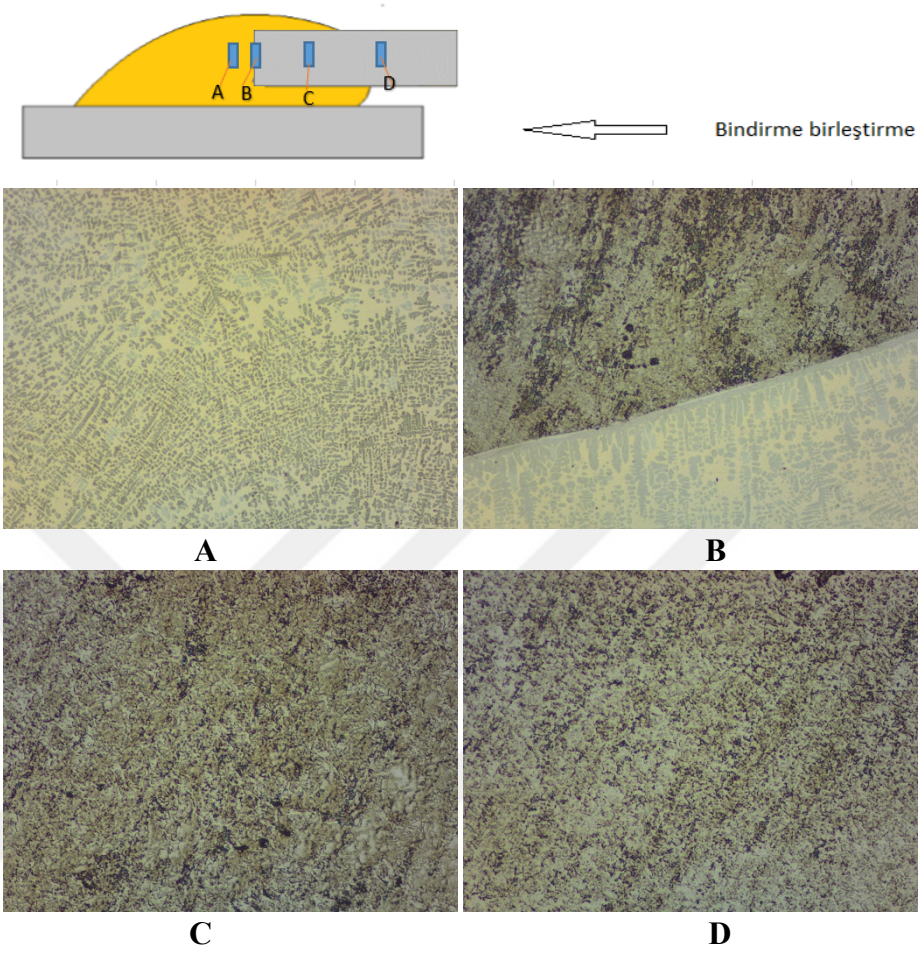
Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), lehim bölgesi, ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik değeri sonuçlarının en yüksek olarak tespit edildiği nokta ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonra lehim bölgesinde ve en düşük tespit noktası ana metalde olduğu belirlenmiştir. Lehim bölgesinde 160-170 Hv, ana metal 150-160 Hv, ITAB bölgesinde 280-290 Hv değerleri arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı izlenmiştir.



Şekil 6.58 : 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin CuAl8 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri.

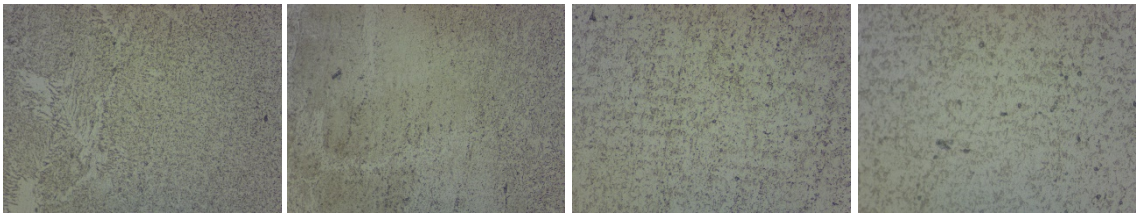
CuAl8 ile yapılan birleştirmenin çekme mukavemeti yüksek olması ısı girdisi ile ITAB bölgesinden lehim bölgesine difüze olan Fe atomlarının dentrit yapılarını oluşturması ile intermetalik oluşumu neticesinde mukavemet ve sertlik artışı gözlemlenmiştir. Lehimlenmiş bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı ve mikroyapıdaki bu değişim burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. Mikrosertlik değeri en yüksek çıkan iri taneli bölgedir, esas metale doğru gidildikçe sertlik azalmaktadır. Bu bölgelerde ince taneli bölge, kısmen dönüşmüş bölge ve esas metal bölgesi olarak sıralanmıştır.

6.2.2.3. CuAl8 lehim telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

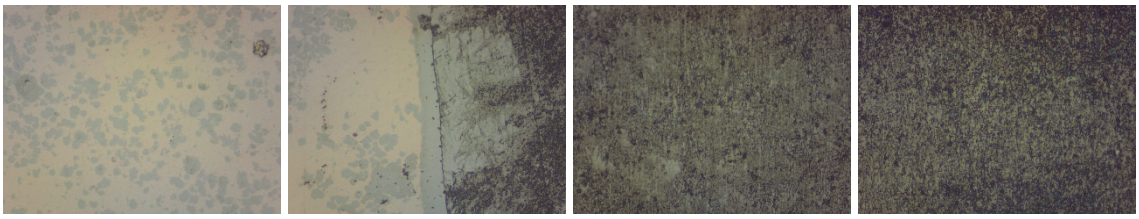


Şekil 6.59 : 60 cm/dk sabit hızda yapılan CuAl8 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.59'de 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi lehim bölge B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntülerinde görüldüğü gibi lehimleme uygulamasının yapıldığı bölgede, komşu bölgelerin tane boyutları daha büyük ve ana metale doğru ilerledikçe tane boyuta küçülmeler görülmektedir. Burada tespit edilen durum tane boyutunun büyük olduğu yerlerde en yüksek sertlik değerlerine ulaşılması olmuştur. Bu oluşumun nedeni ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölge olarak tespit edilmesidir. Ayrıca B bölgesinde lehimleme uygulaması yapılırken ana metalden lehim bölgesine geçiş yapan elementlerin meydana getirdiği dentritleri görebiliyoruz.

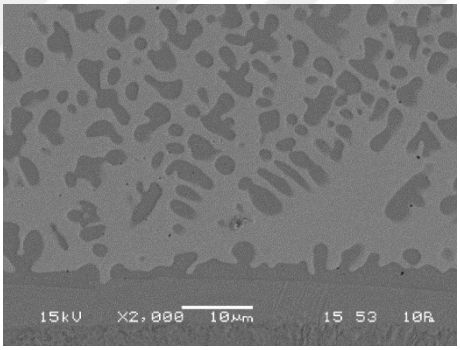


Şekil 6.60 : SG2 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

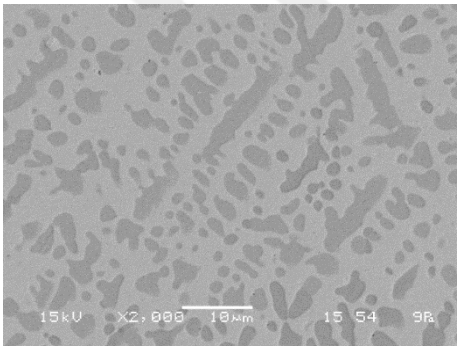


Şekil 6.61 : CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.60'da SG2 dolgu metalindeki mikroyapı diğer dolgu tellerinden farklı olarak birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.61'de CuAl8 dolgu telinde CuSi3 dolgu telindeki gibi benzer mikro yapı görüntüleri gözlemlenmiştir.



Ara bölge

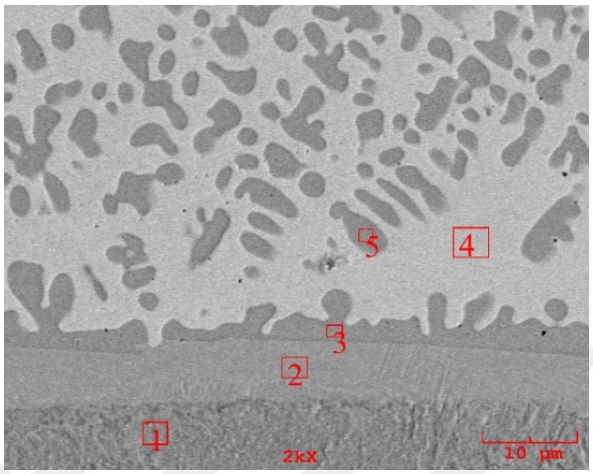


Lehim bölgesi

Şekil 6.62 : CuAl8 0,5 mm bindirme lehim aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.59'da gösterilen lehim bölge mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, dentritlerin oluşumu görülmektedir. Isı girdisi artışındaki etki dentritlerin yoğunluğunu artmasına neden olmuştur. Dentritlerin burada artmış olması lehim bölgesindeki sertliğinde artmasını sağlamıştır. Şekil 6.62'de numunenin ara bölgesi ve lehim bölgesinden alınan SEM görselleri paylaşılmıştır. Dentritlerin meydan gelmesi ana metal elementlerinin lehim bölgesine doğru atomsal yayınım yapması sonucunda görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin EDS analizi Şekil 6.63'de verilmiştir.

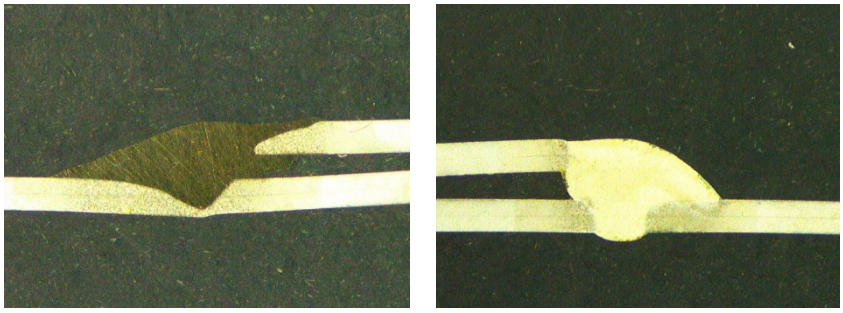


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	1.470	0.658	0.331	0.443	95.090	2.008
2	0.881	4.579	0.376	0.119	82.177	11.868
3	0.027	6.399	0.262	0.214	82.566	10.532
4	0.000	7.683	0.304	0.517	8.591	82.905
5	0.000	7.530	0.377	0.636	77.434	14.023

Şekil 6.63 : CuAl8 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

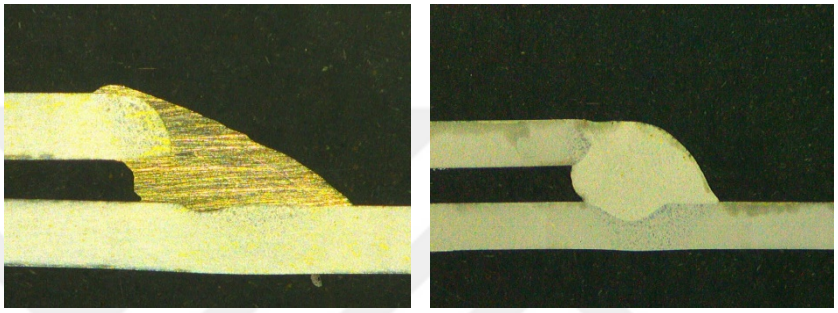
6.2.2.4. CuAl8 lehim telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.64 ve Şekil 6.65'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak ve CuAl8 dolgu teli ile yapılan CMT-lehimleme makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işlemindeki ısı girdisi CuAl8 lehimleme işlemine göre daha yüksek olduğundan ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

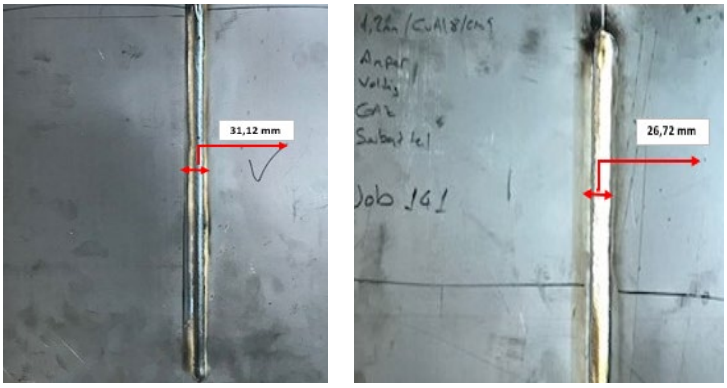
Şekil 6.64 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) CuAl8, b)SG2



(a) (b)

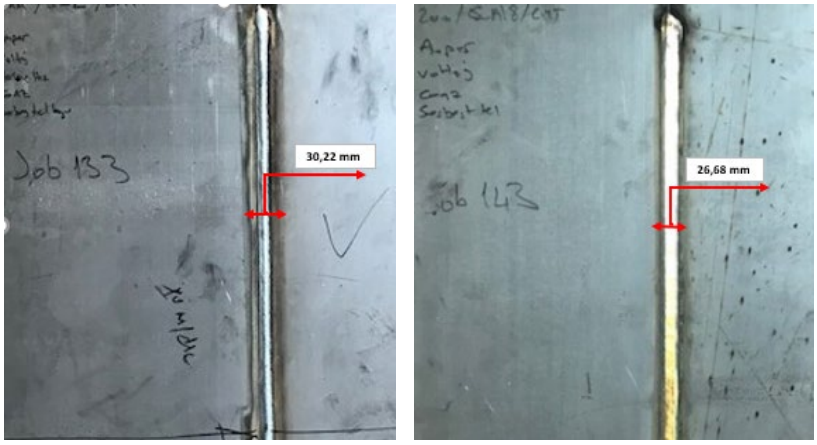
Şekil 6.65 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası makro görüntüler. a) CuAl8, b)SG2

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,12 mm, CuAl8'de ITAB aralığı 26,72 mm ve 2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 30,22 mm, CuAl8'de ITAB aralığı 26,68 mm olarak ölçülmüş olup Şekil 6.66 ve Şekil 6.67'de gösterilmiştir. SG2 ile yapılan kaynakta buharlaşma daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



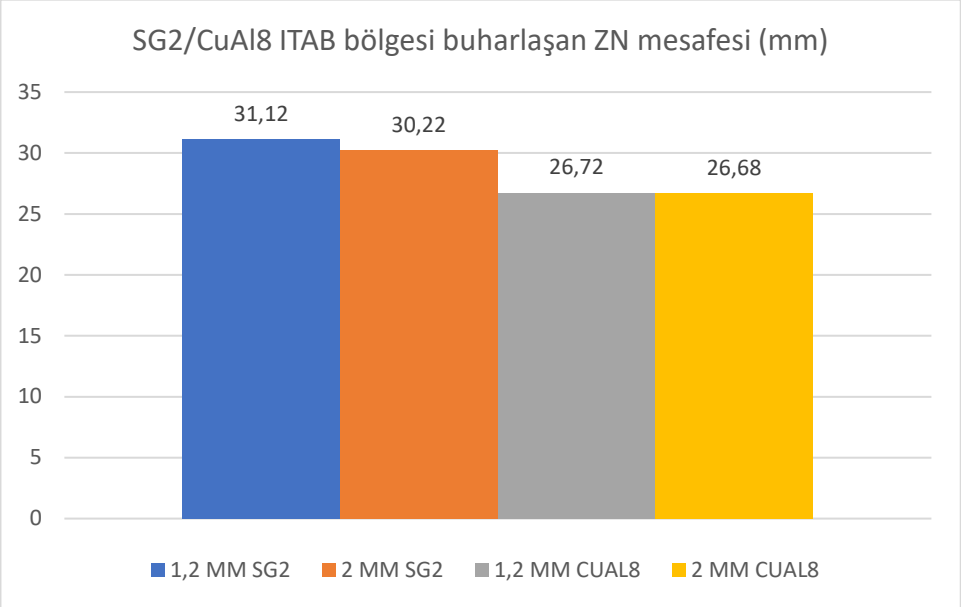
(a) (b)

Şekil 6.66 : 1,2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)CuAl8



(a) (b)

Şekil 6.67 : 2 mm çelikteki birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)SG2, b)CuAl8



Şekil 6.68 : SG2, CuAl8 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.68'de görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuAl8 dolu teline göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha fazla olmasına sebebiyet vermiştir. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olması malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

6.2.3. SG2 kaynak telinin birleştirmedeki özelliklere etkisi

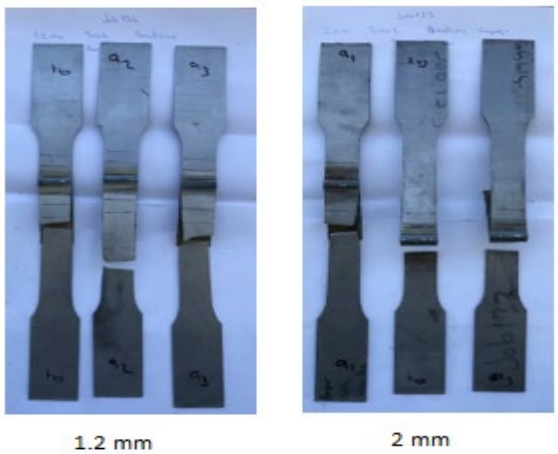
6.2.3.1. SG2 kaynak telinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

1.2 mm ve 2 mm kalınlıkları sahip SCGA 440 galvaniz kaplı çelik sacın SG2 kaynak teli kullanılarak CMT yöntemiyle aşağıdaki parametreler kullanılarak birleştirilmesinin sonucunda çekme mukavemetine etkisi izlenmiştir. Parametrelerin seçimi için, birleşme yapılacak olan ana metal içeriği, kaynak telinin özellikleri, kaynak yöntemi, koyucu gaz, ve pozisyon bilgilerini Fronius CMT kaynak makinasına girilmesi ile en uygun kaynak parametre seçimleri yapılmıştır. Alınan çekme deney sonucu ile diğer birleştirme tellerinin (CuSi3, CuAl8) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 6.11: SG2 bindirme birleştirmesi çekme mukavemeti sonuçları.

Kalınlık	Kaynak Akım Şiddeti [A]	Kaynak Gerilimi [V]	Kaynak Hızı[cm/dk]	Tel Sürme Hızı[m/dk]	Kullanılan Gaz	Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	157	14,9	60	7,2	M20 Ar+8-10%CO2	499
2 mm	193	17,1	60	9,2	M20 Ar+8-10%CO2	463

Çekme testi sonucunda çekme mukavemetleri oda sıcaklığında 1,2 mm kalınlıktaki sacın birleştirmesinde 499 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde 463 Mpa olduğu gözlemlenmiştir.

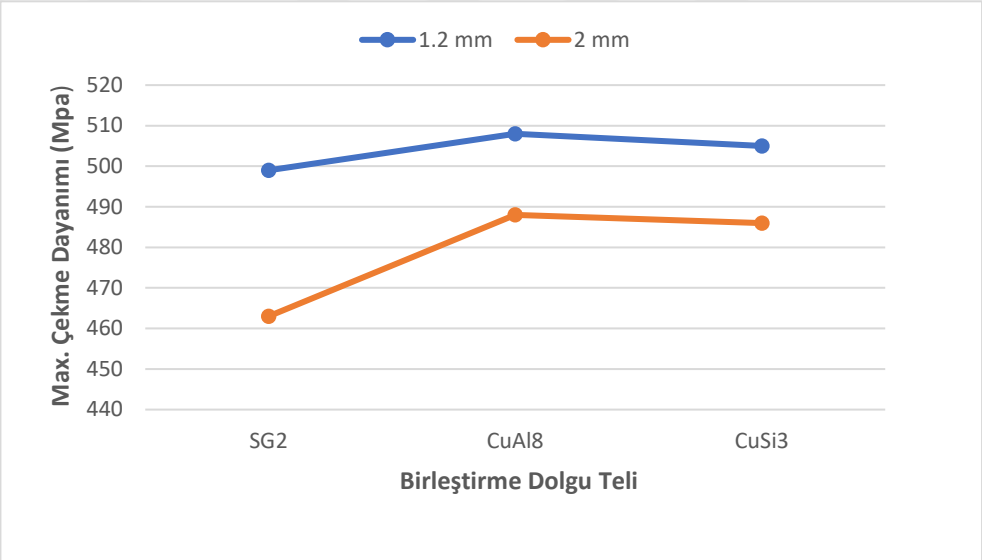


Şekil 6.69 : SG2 birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme numuneleri test sonu görselleri.

Çekme testi sonucuna göre diğer dolgu tellerine kıyası, 1,2 mm kalınlıktaki için en yüksek CuAl8 508 MPa, 2 mm kalınlıktaki sacın birleştirilmesinde en yüksek CuAl8 488 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.12 ve Şekil 6.70'de gösterilmiştir.

Tablo 6.12: SG2, CuAl8, CuSi3 bindirme birleştirmeleri çekme mukavemeti kıyası.

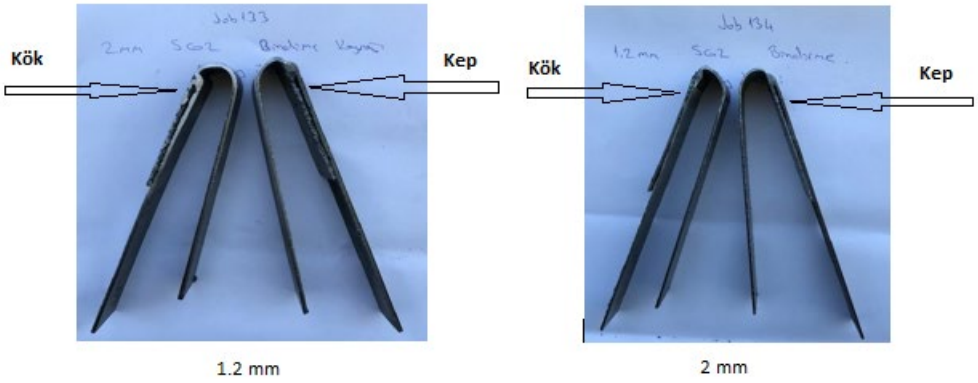
Kalınlık	SG2 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuAl8 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]	CuSi3 Maksimum Çekme Mukavemeti [Mpa]
1.2 mm	499	508	505
2 mm	463	488	486



Şekil 6.70 : SG2, CuSl8, CuSi3 bindirme birleştirmesi 1.2 mm, 2 mm çekme mukavemeti.

SG2 kaynak teli ile birleştirmede eğme testi sonuçları;

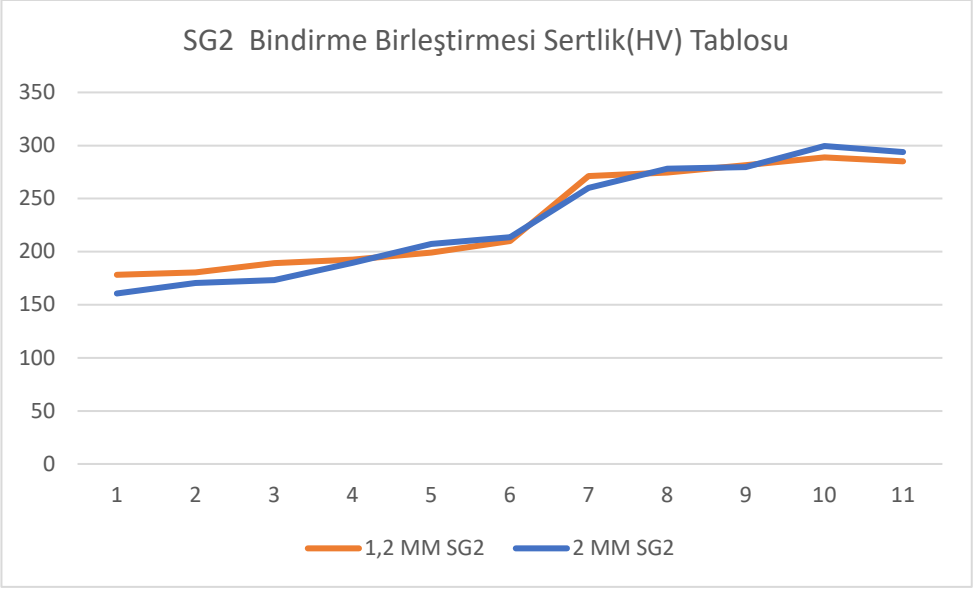
TS EN ISO 5173:2010/A1 normu ile yapılan kep ve kök eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Test sonrası görüntüler Şekil 6.71'de gösterilmiştir.



Şekil 6.71:. SG2 ile birleştirmede kep ve kökün eğme testi test sonrası görüntüleri.

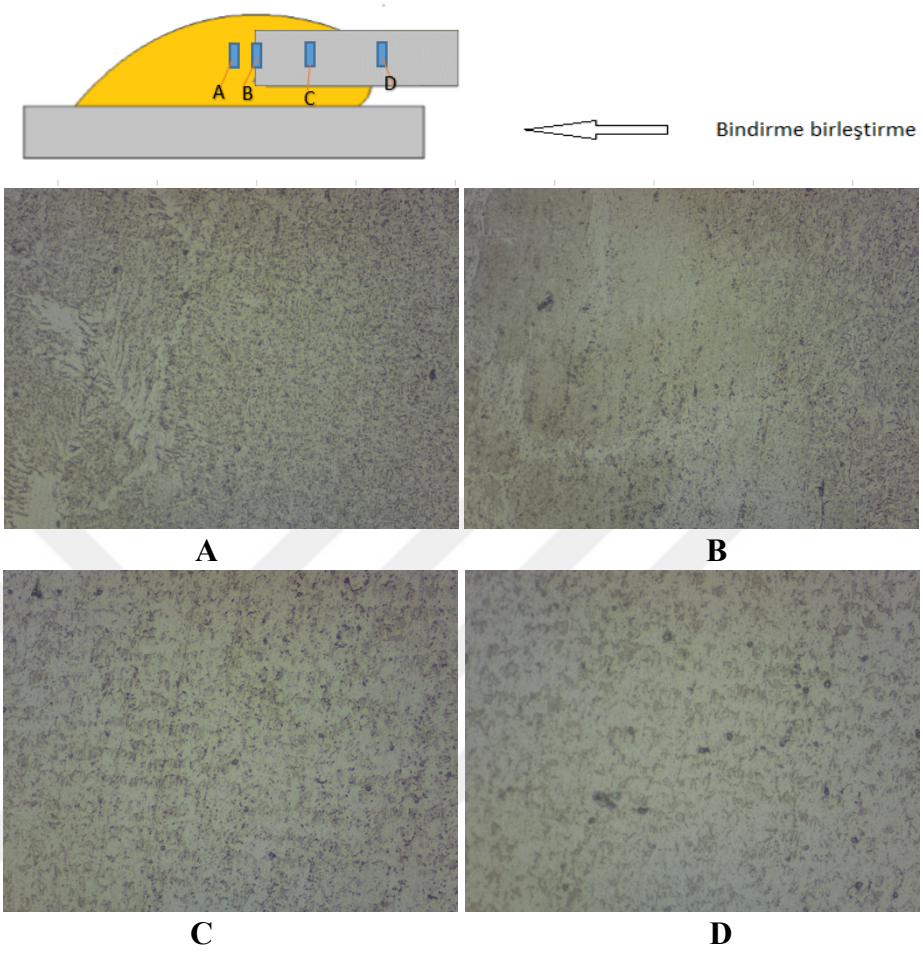
6.2.3.2. SG2 kaynak telinin bağlantının sertliğine etkisi

Şekil 6.72'de iki farklı kalınlıktaki metal kendi aralarında, SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirmede elde edilen sertlik değerlerine ait grafik verilmiştir. Mikro sertlik ölçümü yapılan bölgeler lehim bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metalin bulunduğu üç ayrı noktadan oluşmaktadır. Sertlik sonuçlarının en yüksek değeri birleştirme bölgesinde daha sonra ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde ve en düşük ise ana metalde olduğu görülmüştür. Ana metal bölgesinde 160-170 Hv, ITAB bölgesinde 270-280 Hv birleştirme bölgesinde 300-310 Hv arasında farklılıklar gösterdiği ve ana metale doğru ilerledikçe sertlik değerinin azaldığı izlenmiştir.



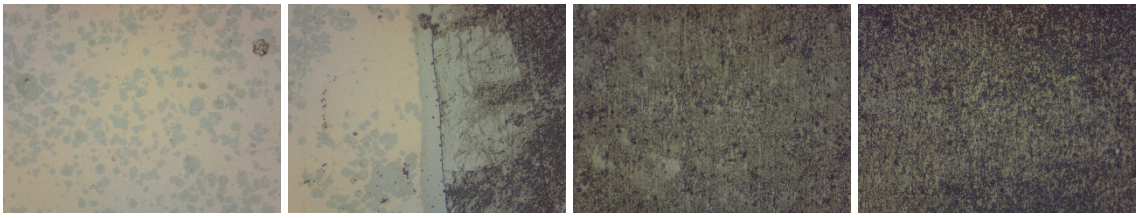
Şekil 6.72 : 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin SG2 bindirme birleştirmesi sertlik(HV) değerleri.

6.2.3.3. SG2 kaynak telinin bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

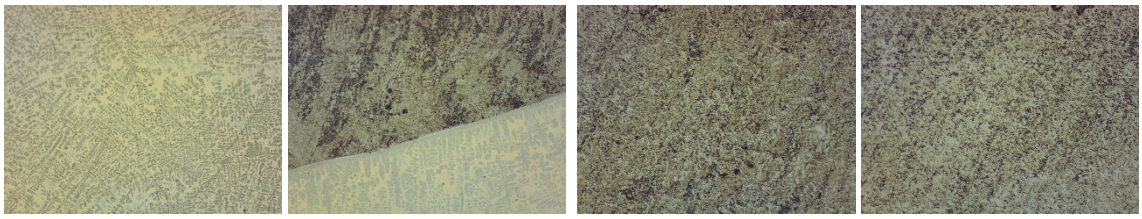


Şekil 6.73 : 60 cm/dk sabit hızda yapılan SG2 ile birleştirmedeki görüntü alınan bölgeler.

Şekil 6.73'de 60 cm/dk sabit hız ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri belirtilmiştir. Görüntüler 200X yakınlaştırma ile alınmıştır. A bölgesi lehim bölge B bölgesi ara bölge , C kesiti ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), D kesiti ise ana metalin görsellerini belirtmektedir. Mikroyapı görüntüleri lehimleme işleminin gibi olmamaktadır. Tane boyutunun en yüksek olduğu yer kaynak A bölgesidir, birleşmenin gerçekleştirildiği bölgenin komşu bölgelerinde tane boyutları birbirlerine yakın olduğu görülmüş fakat kaynak metalinde soğuma hızına etkisi ile oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, beynit ve perlit olabileceği söz konusudur. Ark kaynak metodunda kaynak metaline en yakın bölgelerde ısı girdisinin etkisiyle kaba tanelerin oluştuğunu ve oluşan kısımlarda en yüksek sertlik değerleri ulaştığı gözlemlenmiştir.

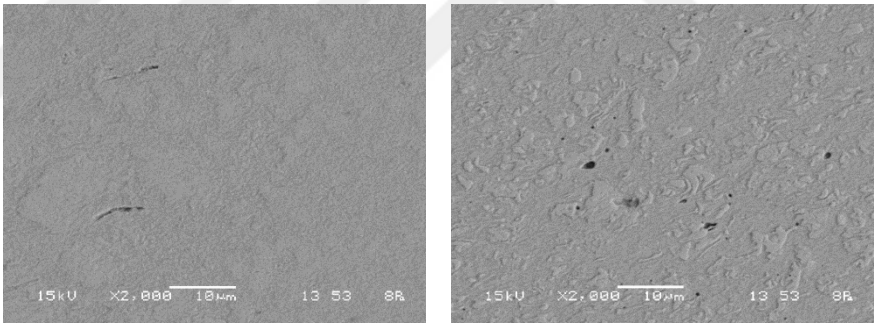


Şekil 6.74 : CuSi3 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.75 : CuAl8 dolgu teli a, b, c, d bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.74 CuSi3 ve Şekil 6.75 CuAl8 dolgu telleri farklı olarak birleşme bölgesi, dolgu metali ve ana metalde mikro görüntüleri birbirlerine çok farklı olduğu gözlemlenmiştir.

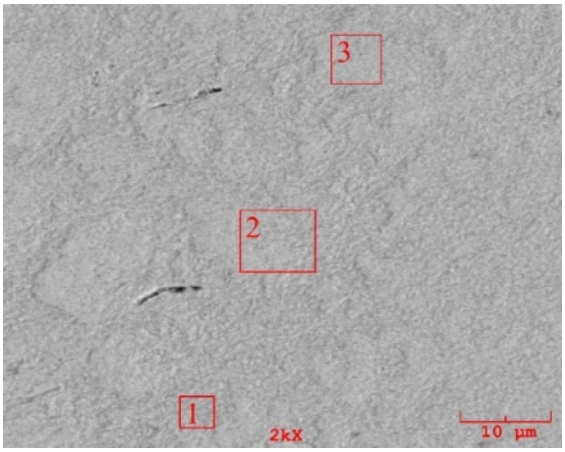


Ara bölge Kaynak bölgesi

Şekil 6.76 : SG2 0,5 mm bindirme birleştirme aralığı SEM görüntüleri.

Şekil 6.73'de verilen birleşme bölgesi mikroyapı görüntülerine bakıldığında dentritlerin oluşu birleşmenden kaynak orta noktasına gidildikçe sertliği de arttırdığı görülmüştür. Şekil 6.76'de numunenin ara bölge ve kaynak bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Ana metale yakın bölgelerin dentrit yapıya sahip ve ITAB' iri ve ince taneli yapılar oluştuğu görülmektedir.

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin birleştirme bölgesinde oluşan dentritin EDS analizi Şekil 6.77'de verilmiştir.

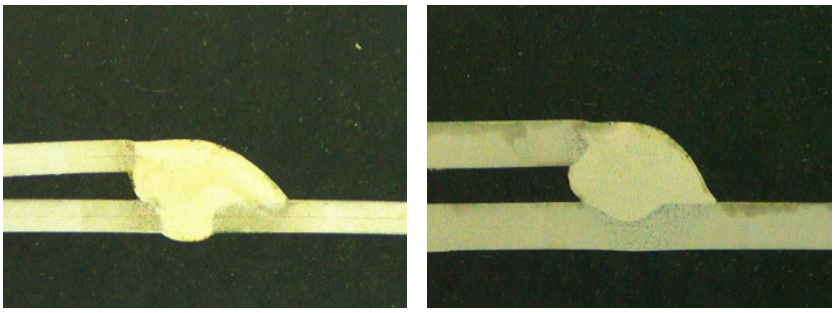


Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.066	0.220	0.173	1.085	97.843	0.612
2	0.248	0.271	0.244	0.390	98.825	0.022
3	0.020	0.196	0.252	0.503	98.819	0.210

Şekil 6.77 : SG2 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

6.2.3.4. SG2 kaynak telinin ana metalden buharlaşan ZN miktarına etkisi

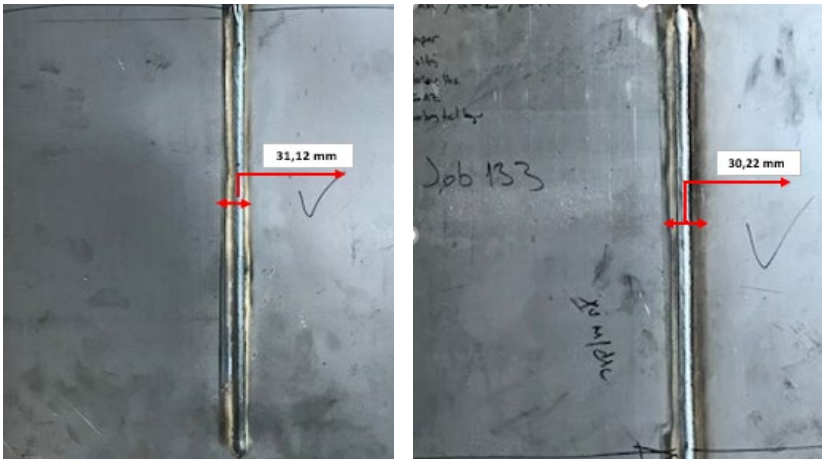
1,2 mm ve 2 mm galvaniz kaplı çeliklerde Şekil 6.78'de SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-kaynak makro görüntüleri verilmiştir. Görüntüler 50X yakınlaştırma ile alınmıştır. 1,2 mm SG2 dolgu teli ile yapılan kaynak işleminde ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) (b)

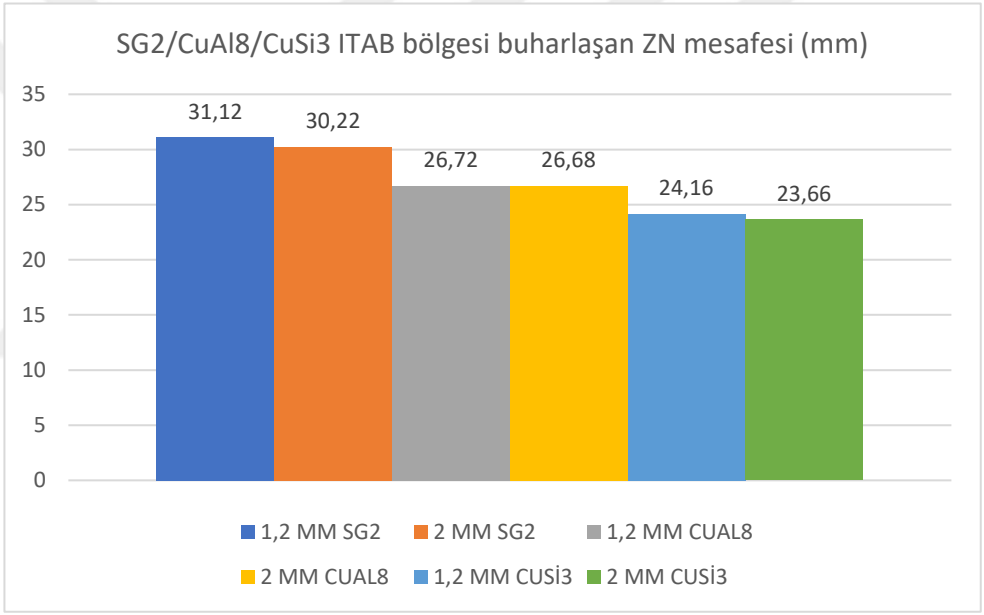
Şekil 6.78 : SG2 ile birleştirme sonrası makro görüntüler. a)1,2mm b)2 mm

Birleştirme sonrası ITAB'daki galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. 1,2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 33,34 mm, ve 2 mm çelikte SG2'de ITAB aralığı 31,64 mm, ölçülmüş olup Şekil 6.79'da gösterilmiştir. 1,2 mm SG2 ile yapılan kaynakta buharlaşma daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.79 : SG2 ile birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölge. a)1,2mm b)2 mm



Şekil 6.80 : SG2, CuAl8, CuSi3 ITAB bölgesi buharlaşan ZN mesafesi.

Şekil 6.80'de görüldüğü üzere SG2 dolgu teli ile birleştirme sonucunda CuAl8 ve CuSi3 dolu tellerine göre ısı girdisinin yüksek olması ITAB bölgesindeki buharlaşan ZN miktarının daha fazla olmasına sebebiyet vermiştir. Malzemede buharlaşan ZN miktarının fazla olması malzemenin korozyon direncini azaltarak malzeme ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmamda otomotivlerin crash box üretimlerinde kullanılan 1.2 mm ve 2 mm kalınlığında SCGA440 galvaniz kaplı çelik sac numunelerinin CMT yöntemi ile birleştirilmesi işlemini CuAl8, CuSi3, SG2 ilave tellerin kullanımıyla alın ve bindirme yöntemi olmak üzere iki farklı bağlantı şeklinde birleştirilmesi uygulanmıştır. SCGA440 galvaniz kaplı çelik saclar alın ve bindirme birleştirme yöntemleri için daha önce belirlenmiş parametrelerde kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak birleştirilmiştir. Bu parametreler akım şiddeti, kaynak ilerleme hızı, gaz çeşidi, kaynak gerilimi ve tel sürme hızı olarak uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerden çekme deneyi, mukavemet özellikleri, eğme testi kep ve kökteki tahribat, bağlantı kısımlarındaki mikro sertlik değerleri ölçümü yapılmıştır. Birleşme bölgelerinde ve ısı tesiri altında kalan bölgelerin mikro ve makro görüntülere bakılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal elemen analizi (EDS) yapılarak bağlantı kısımları analiz edilmiştir. SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacının CuAl8, CuSi3, SG2 ilave tellerin kullanılarak alın birleştirme ve bindirme birleştirme yöntemlerinin ana malzemede oluşan reaksiyonların sonuçları çalışıldı. Yapılan bu çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. 1,2 mm kalınlığındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacı farklı dolgu telleri kullanılarak ve kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak CMT birleştirme yöntemi ile alın alına birleştirilmesinde en yüksek çekme mukavemeti değerini 539 Mpa CuSi3 dolgu teli ile birleştirmede elde edilmiştir. Diğer dolgu telleri ile birleştirmede çekme mukavemeti sırası ile 527 Mpa CuAl8 dolgu teliyle birleştirme ve en düşük çekme mukavemet değeri 517 Mpa SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme olmuştur. Çekme mukavemeti incelenen bu birleştirmelerde tüm numunelerde ITAB bölgesinden kopma olduğu görülmüştür. CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan birleştirmelerinin çekme mukavemeti, SG2 tel ile yapılan birleştirmeden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

2 mm kalınlığındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacı farklı dolgu telleri kullanılarak ve kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak CMT birleştirme yöntemi ile alın alına birleştirilmesinde en yüksek çekme mukavemeti değerini 524 Mpa CuSi3 dolgu teli ile birleştirmede elde edilmiştir. Diğer dolgu telleri ile birleştirmede çekme mukavemeti sırası ile 491 Mpa SG2 dolgu teliyle birleştirme ve en düşük çekme mukavemet değeri 490 Mpa CuAl8 dolgu teli ile yapılan birleştirme olmuştur. Çekme mukavemeti incelenen bu birleştirmelerde tüm numunelerin ana malzemeden koptuğu görülmüştür. CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan birleştirmelerinin çekme mukavemeti SG2 ile yapılan birleştirmedeki çekme mukavemeti daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

1,2 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sac aynı dolgu teli ile alın alına birleştirilmesinde çekme mukavemeti değerleri SG2 için ; 1,2 mm sacda 517 Mpa, 2 mm sacda 491 Mpa olduğu, CuAl8 için ; 1,2 mm sacda 527 Mpa, 2 mm sacda 490 Mpa olduğu, CuSi3 için ; 1,2 mm sacda 539 Mpa, 2 mm sacda 524 Mpa olduğu görülmüştür. Sacın kalınlığı arttıkça ITAB bölgesindeki çekme mukavemet değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

2. Eğme testi oda sıcaklığında yapılmış olup 1,2 mm ve 2 mm kalınlıktaki numunelerin alın birleştirmesinde kep ve kök eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır.

3. Alın birleştirme işleminden sonra 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin birleşim bölgelerinden alınan mikro sertlik değerleri bakıldığında SG2 dolgu telinde dolgu bölgesinde maksimum sertlik 311 HV, ITAB bölgesinde sertlik 281 HV değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. CuAl8 dolgu telinde lehim bölgesinde 160-170 HV, ITAB bölgesinde 292 HV sertlik tespit edilmiştir. CuSi3 dolgu telinde lehim bölgesinde 150 HV, ITAB bölgesinde 333 HV sertlik tespit edilmiştir. ITAB bölgesindeki en yüksek değer CuSi3 dolgu teli ile yapılan birleştirmede tespit edilmiştir. ITAB bölgelerinde ısı girdisinin artması ile ana metaldeki elementlerin birleştirme bölgesine difüzyon olması yani atomsal yayılmayla dentritlerin oluşumu sağlamış ve intermetalik yapı oluşumu görülmüştür. Isı girdisi dentrit oluşumunu arttırmakta ve yüksek sertlik değerlerine ulaştığını

göstermektedir. Birleşme bölgesindeki dentritlerin üzerinden alınan sertliklerin dolgu metali üzerinden alınan sertlikten yüksek olduğu görülmüştür. Ana metale doğru ilerledikçe ısı girdisi azalmakta taneler incelmekte ve sertlik değerleri düşmektedir.

4. Makro yapıların incelenip ITAB bölgesine bakıldığında, SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin alın birleştirmelerinde SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme işlemi ana metaldeki ergimenin CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan birleştirme işlemine göre daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir. Ana metaldeki bu ergimenin SG2 telinin ergimesi için verilen ısının yüksek olmasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. SG2 dolgu telinde nufusiyet diğer iki dolgu teline göre çok yüksek olduğu görülmüştür.
5. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin alın birleştirmelerinde mikroyapı incelemesinde ana metal, dolgu teli ve ITAB bölgesi görüntülerine bakıldığında, ana metalden ITAB bölgesine giderken tane boyutunun ısı etkisi ile büyüdüğü aynı zamanda ısıdan etkilenen ana metaldeki bölgede de tane boyutunun büyüdüğü görülmektedir. Tane kabalaşması bu bölgelerdeki sertliklerin artmasına neden olmaktadır. ITAB bölgesindeki ısı girdisinin artışı, burada ana metalden birleştirme ve lehim bölgesine geçiş yapan elementler ve bu elementlerin oluşturmuş olduğu dentritleri meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu dentritler CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan lehimlemede acık bir şekilde görülmektedir. Oluşan bu dentrit yapılarındaki element yoğunluk oranları alınan SEM görüntüleri sonrası EDS analizinde görülmektedir.
6. Alın birleştirme işleminden sonra SCGA440 çeliğinin ITAB bölgesindeki galvaniz tabakasının buharlaştığı gözlemlenmiştir. 1.2 mm sacda SG2 dolgu teliyle birleştirmede 33,34 mm , CuSi3 dolu teliyle birleştirmede 21,88 mm, CuAl8 dolgu teliyle birleştirmede 24,12 mm olarak ölçülmüştür. 2 mm sacda SG2 dolgu teliyle birleştirmede 31,64 mm , CuSi3 dolu teliyle birleştirmede 28,62 mm CuAl8 dolgu teliyle birleştirmede 23,16 mm olarak ölçülmüştür. ITAB'daki Zn buharlaşması SG2 dolu teli ile yapılan birleştirmelerde en yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. En çok buharlaşmanın SG2 ile yapılan birleştirmede olmasının nedeni yüksek ısı girdisinin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Buharlaşmanın yüksek

olması galvaniz kaplı sacın korozyon direncini de olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

7. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin CMT ile 1,2 mm alın birleştirmesinde en yüksek çekme mukavemeti 539 Mpa (CuSi3), ITAB bölgesi en yüksek sertlik değeri 333 HV (CuSi3), buharlaşan Zn aralığının en düşük değeri 21,88 mm (CuSi3) olarak belirlenmiştir.

   SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin CMT ile 2 mm alın birleştirmesinde en yüksek çekme mukavemeti 524 Mpa (CuSi3), ITAB bölgesindeki en yüksek sertlik değeri 303 HV (CuAl8), buharlaşan Zn aralığının en düşük değeri 23,16 mm (CuAl8) olarak belirlenmiştir.

8. 1,2 mm kalınlığındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacının farklı dolgu telleri kullanılarak ve kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak CMT birleştirme yöntemi ile bindirme birleştirilmesinde en yüksek çekme mukavemeti değerini 508 Mpa CuAl8 dolgu teli ile birleştirmede elde edilmiştir. Diğer dolgu telleri ile birleştirmede çekme mukavemeti sırası ile 505 Mpa CuSi3 dolgu teliyle birleştirme ve en düşük çekme mukavemet değeri 499 Mpa SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme olmuştur. Çekme mukavemeti incelenen bu birleştirmelerde tüm numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu tespit edilmiştir.

   2 mm kalınlığındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacı farklı dolgu telleri kullanılarak ve kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak CMT birleştirme yöntemi ile bindirme birleştirilmesinde en yüksek çekme mukavemeti değerini 488 Mpa CuAl8 dolgu teli ile birleştirmede elde edilmiştir. Diğer dolgu telleri ile birleştirmede çekme mukavemeti sırası ile 486 Mpa CuSi3 dolgu teliyle birleştirme ve en düşük çekme mukavemet değeri 463 Mpa SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme olmuştur. Çekme mukavemeti incelenen bu birleştirmelerde tüm numunelerin ana metalden koptuğu tespit edilmiştir. CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan birleştirmelerinin çekme mukavemeti, SG2 tel ile yapılan birleştirmeden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

   1,2 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki SCGA440 galvaniz kaplı çelik sacların aynı dolgu teli ve kaynak hızı 60 cm/dk sabit tutularak CMT birleştirme yöntemi ile bindirme birleştirilmesinde çekme mukavemeti değerleri SG2 için ; 1,2 mm sacda

499 Mpa, 2 mm sacda 463 Mpa, CuAl8 için ; 1,2 mm sacda 508 Mpa, 2 mm sacda 488 Mpa, CuSi3 için ; 1,2 mm sacda 505 Mpa, 2 mm sacda 486 Mpa olduğu görülmüştür. Sacın kalınlığı arttıkça çekme mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir.

9. Eğme testi oda sıcaklığında yapılmış olup 1,2 mm ve 2 mm kalınlıktaki sacın bindirme birleştirmesinde kep ve kök eğme testleri sonuçlarında kep veya kök kaynaklarında herhangi bir kırılma veya çatlama gözlenmemiş olup test sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır.

10. Bindirme birleştirme işleminden sonra 1,2 mm ve 2 mm çeliklerin birleşim bölgelerinden alınan mikro sertlik değerlerine bakıldığında SG2 dolgu telinde dolgu bölgesinde maksimum sertlik 299 HV, ITAB bölgesindeki sertlik 278 HV değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. CuAl8 dolgu teli ile lehimlemede, lehim bölgesinde 160 HV, ITAB bölgesinde 290 HV sertlik tespit edilmiştir. CuSi3 dolgu teli ile lehimlemede, lehim bölgesinde 140 HV, ITAB bölgesinde 314 HV sertlik tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde en yüksek sertlik CuSi3 dolgu teli ile birleştirmede olduğu tespit edilmiştir ITAB bölgelerinde ısı girdisinin artması ile ana metaldeki elementlerin birleştirme bölgesine difüzyon olması yani atomsal yayılmayla dentritlerin oluşumu sağlamış ve intermetalik yapı oluşumu görülmüştür. Isı girdisi dentrit oluşumunu arttırmakta ve yüksek sertlik değerlerine ulaştığını göstermektedir. Birleşme bölgesindeki dentritlerin üzerinden alınan sertliklerin dolgu metali üzerinden alınan sertlikten yüksek olduğu görülmüştür. Ana metale doğru ilerledikçe ısı girdisi azalmakta taneler incelmekte ve sertlik değerleri düşmektedir.

11. Makro yapıların incelenip ITAB bölgesine bakıldığında, SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin bindirme birleştirmelerinde SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme işlemi ana metaldeki ergimenin CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan birleştirme işlemine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ana metaldeki bu ergime SG2 telinin ergimesindeki ısı girdisinin diğer dolgu tellerinden yüksek bir değere sahip olmasından kaynaklıdır. SG2 dolgu telinde nufusiyet diğer iki dolgu teline göre çok yüksek olduğu görülmüştür. SG2 ile birleştirmede ısı girdisinin yüksek olması ana metalin ergimesi ile ölçüsel farklılıklara sebebiyet vereceği düşünülmektedir.

12. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin bindirme birleştirmelerinde mikroyapı incelemesinde ana metal, dolgu teli ve ITAB bölgesi görüntülerine bakıldığında, ana metalden ITAB bölgesine giderken tane boyutunun büyüme ısı etkisi ile aynı zamanda ısıdan etkilenen ana metaldeki bölgede de tane boyutunun büyüdüğü görülmektedir. Tane kabalaşması bu bölgelerdeki sertliklerin artmasına neden olmaktadır. Burada ana metalden birleştirme ve lehim bölgesine geçen elementler ile elementlerin meydana getirdiği dentritler gözlemlenmiştir. Bu dentritler CuAl8 ve CuSi3 dolgu telleri ile yapılan lehimlemede acık bir şekilde görülmektedir. Oluşan bu dentrit yapılarındaki element yoğunluk oranları alınan SEM görüntüleri sonrası EDS analizinde görülmektedir.

13. Bindirme birleştirme işleminden sonra SCGA440 çeliğinin ITAB bölgesindeki galvaniz tabakasının buharlaştığı gözlemlenmiştir. 1.2 mm sacda SG2 dolgu teliyle birleştirmede 31,12 mm , CuSi3 dolu teliyle birleştirmede 24,16 mm CuAl8 dolgu teliyle birleştirmede 24,12 mm olarak ölçülmüştür. 2 mm sacda SG2 dolgu teliyle birleştirmede 30,22 mm , CuSi3 dolu teliyle birleştirmede 23,66 mm CuAl8 dolgu teliyle birleştirmede 23,16 mm olarak ölçülmüştür. ITAB'daki Zn buharlaşması SG2 dolu teli ile yapılan birleştirmelerde en yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. En çok buharlaşmanın SG2 ile yapılan birleştirmede olmasının nedeni yüksek ısı girdisinin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Buharlaşmanın yüksek olması galvaniz kaplı sacın korozyon direncini de olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

14. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin CMT ile 1,2 mm bindirme birleştirmesinde en yüksek çekme mukavemeti 508 Mpa (CuAl8), ITAB bölgesi en yüksek sertlik değeri 314 HV (CuSi3), buharlaşan Zn aralığının en düşük değeri 21,88 mm (CuSi3) olarak belirlenmiştir.

    SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin CMT ile 2 mm bindirme birleştirmesinde en yüksek çekme mukavemeti 488 Mpa (CuAl8), ITAB bölgesindeki en yüksek sertlik değeri 292 HV (CuSi3), buharlaşan Zn aralığının en düşük değeri 23,16 mm (CuAl8) olarak belirlenmiştir.

7.2. Öneriler

1. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğinin farklı kaynak hızları kullanılarak birleştirilmesi ile bağlantı bölgesindeki mekanik değişimleri, mikro ve makro yapısı incelenebilir.
2. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğinin CMT birleştirmesi ile bağlantı bölgelerinde oluşan yorulma davranışlarında inceleme yapılabilir.
3. SCGA440 galvaniz kaplı çelikten üretilen crash boxların punta kaynak metodu ile birleştirilmesi sonucunda bağlantı noktalarının mekanik özellikleri incelenebilir.
4. SCGA440 galvaniz kaplı çeliğin farklı koruyucu gazlar kullanılarak CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Kılıç, S., Öztürk, F., Ticari TWIP900 ve DP600 yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv endüstrisindeki performanslarının karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 31, Sayı3, s. 567-578, 2016.

[2] Hayat, F., TRIP çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 25, No 4, s.701-712, 2010.

[3] Wang, P., Hu, S., Shen, J., Liang, Y., Characterization the contribution and limitation of the characteristic processing parameters in cold metal transfer deposition of an Alloy, Journal of Materials Processing Technology, 245, s.122-133, 2017.

[4] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, Emrah., Otomotiv endüstrisindeki yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:50, Sayı:596, 2009.

[5] Varol, F., Ferik, E., Ozrasac, U., Aslanlar, S., Influence of curent intensity and heat input in Metal Inert Gas-brazed joints of TRIP 800 thin zinc coated steel plates, Materials and Design, 52, s.1099-1105, 2013.

[6] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:50, Sayı:596, 2009.

[7] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Commitee on Automotive Applications, March 2014, Erişim Tarihi: 06.04.2020.

[8] Otomotiv Endüstrisi ve Çelik: Yeni Nesil Çelikler, Tübitak MAM Malzeme Enstitüsü, s.43-73, 2008.

[9] Ferik, E., TRIP 800 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.

[10] 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.

[11] http://slideplayer.biz.tr/slide/2310693/, Erişim Tarihi: 18.04.2020

[12] Gül, Ü., 1200M çeliğinin (CMT) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.

[13] http://www.metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/47/gelistirilmis-yuksekmukavemetli-otomotiv-celik-kaliteleri.html, Erişim Tarihi: 08.04.2020.

[14] www.worldautosteel.org, Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines, International Iron & Steel Institute Commitee on Automotive Applications, March 2005, Erişim Tarihi: 06.04.2020

[15] Varol F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

[16] McCallum B. (2014). Characterization of DP600 steel subject to electrohydraulic forming. (Yüksek lisans tezi). ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No: 1456443)

[17] Granbom, Y., Structure and mechanical properties of dual phase steels an experimental and theoretical analysis, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management Materials Science and Engineering Division of Mechanical Metallurgy, 2010.

[18] Zhang, X. Q., Chen, G. L., Zhang, Y. S. ve Bohn L. (2008). Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels. Material and Design, 29, 1, 279-283. doi: 10.1016/j.matdes.2006.10.025

[19] Ma, C., Chen, D. L, Bhole, S. D., Boudreau, G., Lee, A. ve Biro, E. (2008). Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel. Material Science and Engineering A, 485, 1-2, 334-346 doi: 10.1016/j.msea.2007.08.010

[20] Clark D. D. (2013). Response of DP 600 products to dynamic impact loads. (Yüksek lisans tezi). ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No: 1456443)

[21] Ferik, E., TWIP-DP yeni nesil çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında hasar modunun belirlenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

[22] Yıldız, A.R., Karagöz S. Taşıt çarpışma analizlerinin sac metal şekillendirme geçmişidikkate alınarak incelenmesi, Makale, Makine ve mühendis Cilt 56, Sayı 667, Sayfa 46-52, 2009.

[23] Kaya, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enst. 2008

[24] Çınar, S., Bakır ve alaşımlarının sert lehiminde farklı kimyasal kompozisyonlara sahip ilave tellerin bağlantının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

[25] Yavuz, G., Ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı ve ultrasonik yöntemle lehimleme uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

[26] Karavolis, M., Jha, S., Forster, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, D.L. OLSON, T.A. SIEWERT, S. LIU, AND G.R. EDQARDS, eds., ASM International, Materials Park, OH, 1993.

[27] Acar İ., DP800 çelik sacların CMT lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mekanik özelliğinin incelenmesi ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[28] Allvar, M., MIG/MAG brazing with cold metal transfer, Master of Science Thesis, KTH Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2012.

[29] http://www.makinamagazin.com.tr/index.php, Erişim Tarihi: 10.04.2020

[30] http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-03792BE3CE174961/fronius_uk/TR_leaflet_CMT_113_www_109526_snapshot.pdf, Erişim Tarihi: 15.04.2020.

[31] http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B3CCE53BE1561288/fronius_istanbul/hs.xsl/35_9922.htm#.WFk1M1WLTIU, Erişim Tarihi: 10.04.2020.

[32] http://www.gedikkaynak.com.tr/Urun/280/r4al/, Ürün Katoloğu, Erişim Tarihi: 03.04.2020

[33] CHOVET, C., GUIHEUX, S., Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications. International Conference Super High Strength Steels, organized by AIM, Roma 2005.

[34] Dieter, G. E., "Mechanical Metallurgy SI Metric Editions", McGraw-Hill Book Company, Singapur, 1988.

[35] Çanakçı, A, Metalurji laboratuvarı 1 -Çentik darbe testi föyü ders notları, Karadeniz teknik Üniversitesi, 2016.

[36] http://omd.org.tr/teknik-yazilar/teknik-yazilar-1-otomobillerde-kullanilan-carpisma-kutulari/ Erişim Tarihi: 03.05.2020

[37] ÇEVİK, Bekir. "Farklı Özlü Tel Kullanılarak Birleştirilen S275 Yapı ", Gazi Üniversitesi, 2017.

[38] X.M.Lai. “Optimal desing of electrode cooling system for resistance spot welding with the response surface method", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 03/2009

[39] “Vehicle and Autımotive Engineering 2”, Springer Science and Business Media LLC, 2018

[40] M. Büyükyıldız, M. Kurudirek, M Ekici, o. İçelli, Y. Karabul. "Determination of radiation shielding parameters of 304L stainless steel specimens from welding area for photons of various gamma ray sources", Progress in Nuclear Energy, 2017

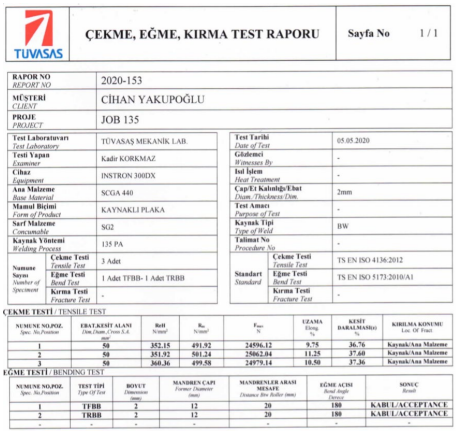
EKLER

EK A : SCGA440 alın bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları

EK B : SCGA440 bindirme bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları

EK C : SCGA440 alın ve bindirme bağlantılarındaki darbe deneyi raporları

EK A : SCGA440 alın bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-153
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 135

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	SG2	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

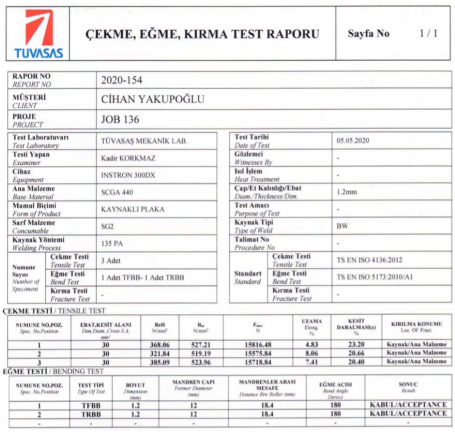
ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	50	352.15	491.92	24596.12	9.75	36.76	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	351.92	501.24	25062.04	11.25	37.60	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	360.36	499.58	24979.14	10.50	37.36	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE

(a)



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-154
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 136

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	SG2	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

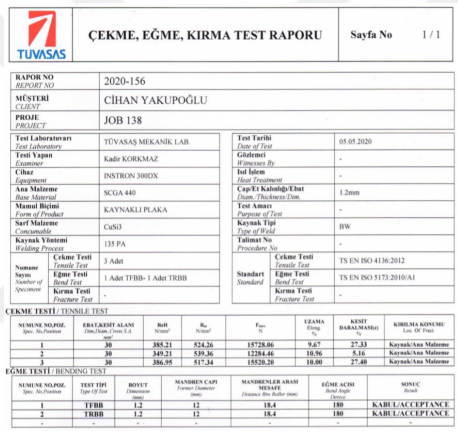
ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	30	368.06	527.21	15816.48	4.83	23.20	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	321.84	519.19	15575.84	8.06	20.66	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	385.09	523.96	15718.84	7.41	20.40	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE

(b)



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-156
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 138

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	CuSi3	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

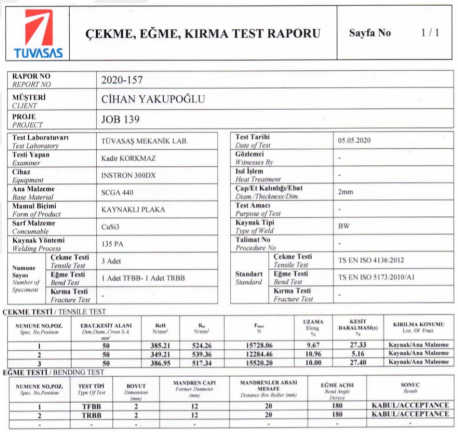
ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	30	385.21	524.26	15728.06	9.67	27.33	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	349.21	539.36	12284.46	10.96	5.16	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	386.95	517.34	15520.20	10.00	27.40	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE

(c)



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-157
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 139

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	CuSi3	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

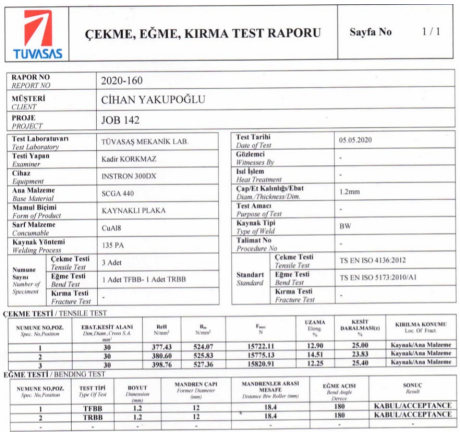
ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	50	385.21	524.26	15728.06	9.67	27.33	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	349.21	539.36	12284.46	10.96	5.16	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	386.95	517.34	15520.20	10.00	27.40	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE

(d)



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-160
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 142

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	CuAlB	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

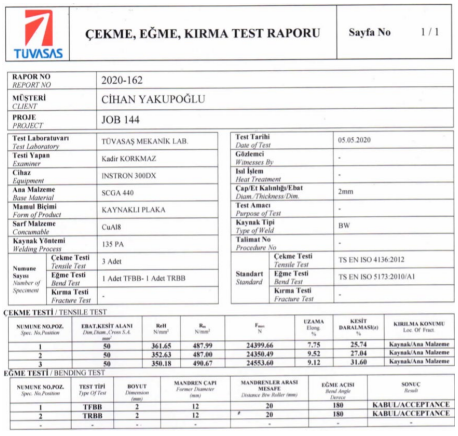
ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	30	377.43	524.07	15722.11	12.90	25.00	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	380.60	525.83	15775.13	14.51	23.83	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	398.76	527.36	15820.91	12.25	25.40	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE

(e)



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-162
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 144

Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.	Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ	Gözlemci / Witnesses By	-
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX	Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440	Cap/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA	Test Amacı / Purpose of Test	-
Sarf Malzeme / Consumable	CuAlB	Kaynak Tipi / Type of Weld	BW
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PA	Talimat No / Procedure No	-
Numune Sayısı / Number of Specimen: Çekme Testi / Tensile Test	3 Adet	Standart / Standard: Çekme Testi / Tensile Test	TS EN ISO 4136:2012
Eğme Testi / Bend Test	1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB	Eğme Testi / Bend Test	TS EN ISO 5173:2010/A1
Kırma Testi / Fracture Test	-	Kırma Testi / Fracture Test	-

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ.	EBAT,KESİT ALANI	ReH	Rm	Fmax	UZAMA	KESİT DARALMASI(z)	KIRILMA KONUMU
1	50	361.65	487.99	24399.66	7.75	25.74	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	352.63	487.00	24350.49	9.52	27.04	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	350.18	490.67	24553.60	9.12	31.60	Kaynak/Ana Malzeme

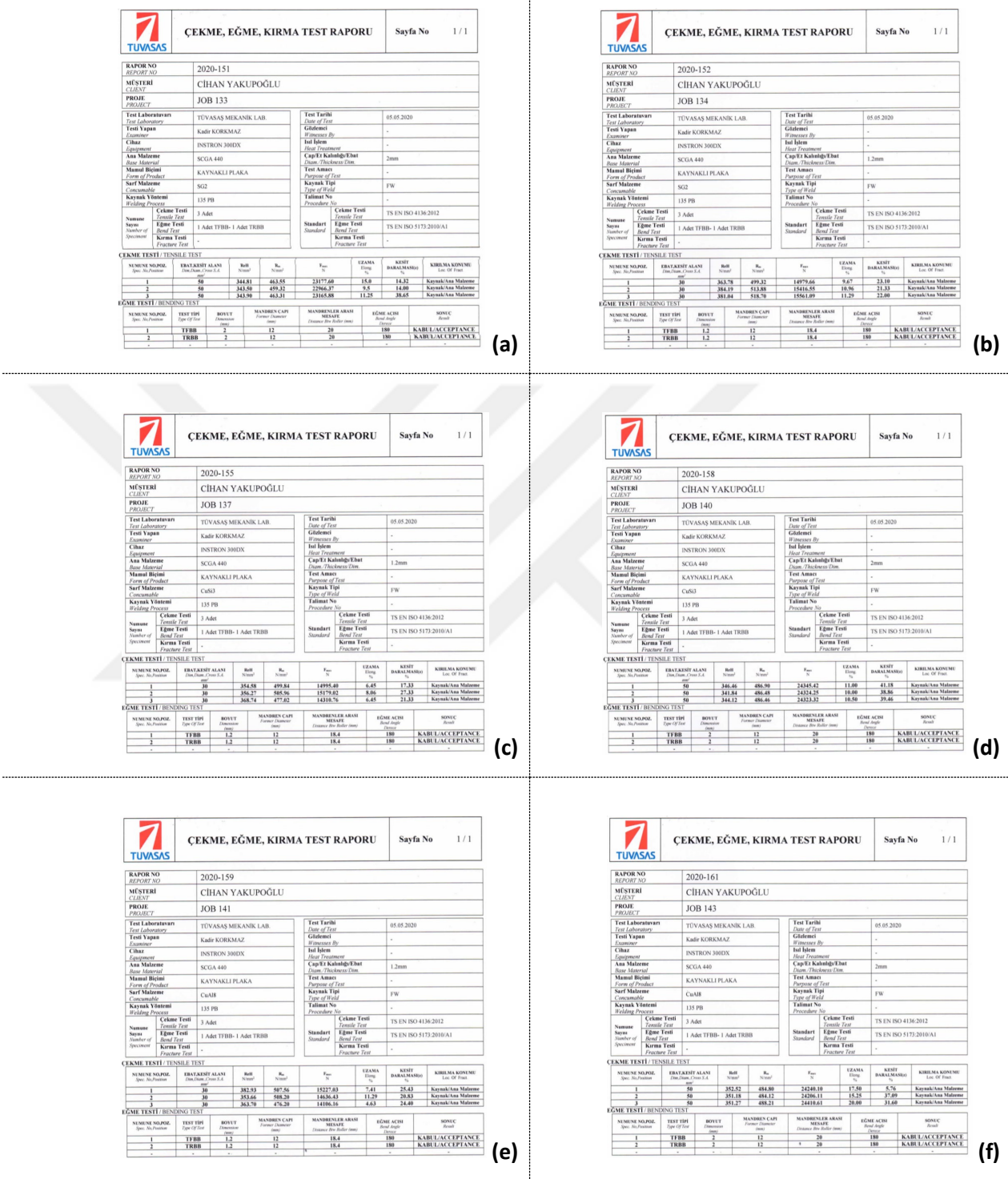
EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ.	TEST TİPİ	BOYUT	MANDREN CAPI	MANDRENLER ARASI MESAFE	EĞME AÇISI	SONUÇ
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE

(f)

Şekil A 1 : Alın bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları

EK B : SCGA440 bindirme bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları



ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-151
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 133
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	SG2
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	50	344.81	463.55	23177.60	15.0	14.32	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	343.50	459.32	22966.37	9.5	14.00	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	343.90	463.31	23165.88	11.25	38.65	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(a)

ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-152
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 134
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	SG2
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	30	363.78	499.32	14979.66	9.67	23.10	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	384.19	513.88	15416.55	10.96	21.33	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	381.04	518.70	15561.09	11.29	22.00	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(b)

ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-155
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 137
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	CuSi3
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	30	354.58	499.84	14995.40	6.45	17.33	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	356.27	505.56	15179.02	8.06	27.33	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	368.74	477.02	14310.76	6.45	21.33	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(c)

ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-158
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 140
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	CuSi3
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	50	346.46	486.90	24345.42	11.00	41.18	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	341.84	486.48	24324.25	10.00	38.86	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	344.12	486.46	24323.32	10.50	39.46	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(d)

ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-159
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 141
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	CuAl8
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	1.2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	30	382.93	507.56	15227.03	7.41	25.43	Kaynak/Ana Malzeme
2	30	353.66	508.20	14636.43	11.29	20.83	Kaynak/Ana Malzeme
3	30	363.70	476.20	14106.16	4.63	24.40	Kaynak/Ana Malzeme

EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	1.2	12	18.4	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(e)

ÇEKME, EĞME, KIRMA TEST RAPORU — Sayfa No 1 / 1

RAPOR NO / REPORT NO	2020-161
MÜŞTERİ / CLIENT	CİHAN YAKUPOĞLU
PROJE / PROJECT	JOB 143
Test Laboratuvarı / Test Laboratory	TÜVASAŞ MEKANİK LAB.
Testi Yapan / Examiner	Kadir KORKMAZ
Cihaz / Equipment	INSTRON 300DX
Ana Malzeme / Base Material	SCGA 440
Mamul Biçimi / Form of Product	KAYNAKLI PLAKA
Sarf Malzeme / Consumable	CuAl8
Kaynak Yöntemi / Welding Process	135 PB
Numune Sayısı / Number of Specimen	Çekme Testi / Tensile Test: 3 Adet; Eğme Testi / Bend Test: 1 Adet TFBB- 1 Adet TRBB; Kırma Testi / Fracture Test: -
Test Tarihi / Date of Test	05.05.2020
Gözlemci / Witnesses By	-
Isıl İşlem / Heat Treatment	-
Cep/Et Kalınlığı/Ebat / Diam./Thickness/Dim.	2mm
Test Amacı / Purpose of Test	-
Kaynak Tipi / Type of Weld	FW
Talimat No / Procedure No	-
Standart / Standard	Çekme Testi / Tensile Test: TS EN ISO 4136:2012; Eğme Testi / Bend Test: TS EN ISO 5173:2010/A1; Kırma Testi / Fracture Test: -

ÇEKME TESTİ / TENSILE TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	EBAT,KESİT ALANI Dim.Diam./Cross S.A. mm²	ReH N/mm²	Rm N/mm²	Fmax N	UZAMA Elong. %	KESİT DARALMASI(z) %	KIRILMA KONUMU Loc. Of Fract.
1	50	352.52	484.80	24240.10	17.50	5.76	Kaynak/Ana Malzeme
2	50	351.18	484.12	24206.11	15.25	37.09	Kaynak/Ana Malzeme
3	50	351.27	488.21	24410.61	20.00	31.60	Kaynak/Ana Malzeme

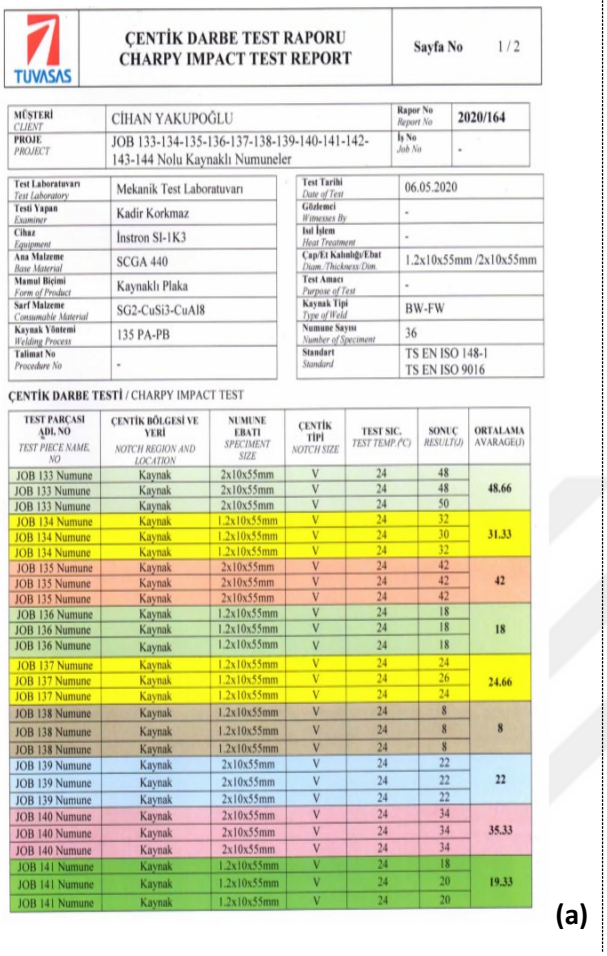
EĞME TESTİ / BENDING TEST

NUMUNE NO.POZ. Spec. No.Position	TEST TİPİ Type Of Test	BOYUT Dimension (mm)	MANDREN CAPI Former Diameter (mm)	MANDRENLER ARASI MESAFE Distance Btw Roller (mm)	EĞME AÇISI Bend Angle Degree	SONUÇ Result
1	TFBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
2	TRBB	2	12	20	180	KABUL/ACCEPTANCE
-	-	-	-	-	-	-

(f)

Şekil B 1 : Bindirme bağlantılarındaki çekme ve eğme deneyi raporları

EK C : SCGA440 alın ve bindirme bağlantılarındaki darbe deneyi raporları



TUVASAS

ÇENTİK DARBE TEST RAPORU
CHARPY IMPACT TEST REPORT

Sayfa No 1 / 2

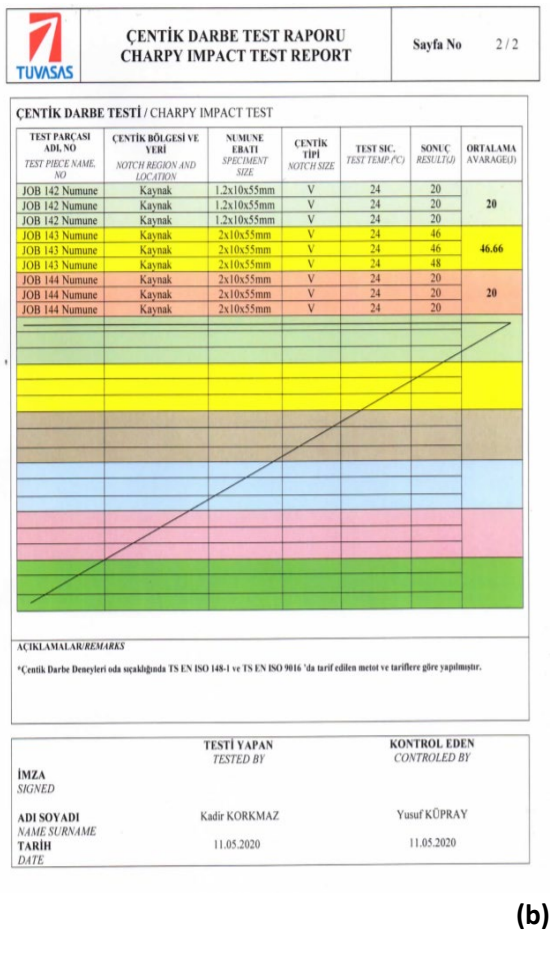
MÜŞTERİ *CLIENT*	CİHAN YAKUPOĞLU	Rapor No *Report No*	2020/164
PROJE *PROJECT*	JOB 133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144 Nolu Kaynaklı Numuneler	İş No *Job No*	-

Test Laboratuvarı *Test Laboratory*	Mekanik Test Laboratuvarı	Test Tarihi *Date of Test*	06.05.2020
Testi Yapan *Examiner*	Kadir Korkmaz	Gözlemci *Witnesses By*	-
Cihaz *Equipment*	İnstron SI-1K3	Isıl İşlem *Heat Treatment*	-
Ana Malzeme *Base Material*	SCGA 440	Çap/Et Kalınlığı/Ebat *Diam./Thickness/Dim.*	1.2x10x55mm /2x10x55mm
Mamul Biçimi *Form of Product*	Kaynaklı Plaka	Test Amacı *Purpose of Test*	-
Sarf Malzeme *Consumable Material*	SG2-CuSi3-CuAl8	Kaynak Tipi *Type of Weld*	BW-FW
Kaynak Yöntemi *Welding Process*	135 PA-PB	Numune Sayısı *Number of Specimen*	36
Talimat No *Procedure No*	-	Standart *Standard*	TS EN ISO 148-1 TS EN ISO 9016

ÇENTİK DARBE TESTİ / CHARPY IMPACT TEST

TEST PARÇASI ADI, NO *TEST PIECE NAME, NO*	ÇENTİK BÖLGESİ VE YERİ *NOTCH REGION AND LOCATION*	NUMUNE EBATI *SPECIMENT SIZE*	ÇENTİK TİPİ *NOTCH SIZE*	TEST SIC. *TEST TEMP.(°C)*	SONUÇ *RESULT(J)*	ORTALAMA AVARAGE(J)
JOB 133 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	48	48.66
JOB 133 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	48	
JOB 133 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	50	
JOB 134 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	32	31.33
JOB 134 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	30	
JOB 134 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	32	
JOB 135 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	42	42
JOB 135 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	42	
JOB 135 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	42	
JOB 136 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	18	18
JOB 136 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	18	
JOB 136 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	18	
JOB 137 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	24	24.66
JOB 137 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	26	
JOB 137 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	24	
JOB 138 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	8	8
JOB 138 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	8	
JOB 138 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	8	
JOB 139 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	22	22
JOB 139 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	22	
JOB 139 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	22	
JOB 140 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	34	35.33
JOB 140 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	34	
JOB 140 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	34	
JOB 141 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	18	19.33
JOB 141 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	20	
JOB 141 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	20	

(a)



TUVASAS

ÇENTİK DARBE TEST RAPORU
CHARPY IMPACT TEST REPORT

Sayfa No 2 / 2

ÇENTİK DARBE TESTİ / CHARPY IMPACT TEST

TEST PARÇASI ADI, NO *TEST PIECE NAME, NO*	ÇENTİK BÖLGESİ VE YERİ *NOTCH REGION AND LOCATION*	NUMUNE EBATI *SPECIMENT SIZE*	ÇENTİK TİPİ *NOTCH SIZE*	TEST SIC. *TEST TEMP.(°C)*	SONUÇ *RESULT(J)*	ORTALAMA AVARAGE(J)
JOB 142 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	20	20
JOB 142 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	20	
JOB 142 Numune	Kaynak	1.2x10x55mm	V	24	20	
JOB 143 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	46	46.66
JOB 143 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	46	
JOB 143 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	48	
JOB 144 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	20	20
JOB 144 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	20	
JOB 144 Numune	Kaynak	2x10x55mm	V	24	20	

AÇIKLAMALAR/*REMARKS*

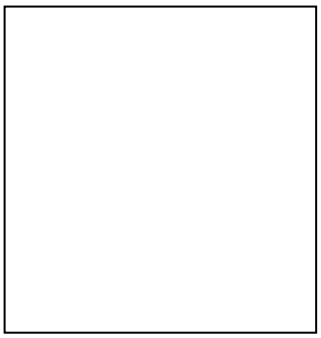
*Çentik Darbe Deneyleri oda sıcaklığında TS EN ISO 148-1 ve TS EN ISO 9016 'da tarif edilen metot ve tariflere göre yapılmıştır.

	TESTİ YAPAN *TESTED BY*	KONTROL EDEN *CONTROLED BY*
İMZA *SIGNED*		
ADI SOYADI *NAME SURNAME*	Kadir KORKMAZ	Yusuf KÜPRAY
TARİH *DATE*	11.05.2020	11.05.2020

(b)

Şekil C 1 : Alın ve bindirme bağlantılarındaki darbe deneyi raporları

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Cihan YAKUPOĞLU

Doğum Tarihi ve Yeri : [redacted]

E-posta : [redacted]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2018-Halen, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019-Halen, Sakarya Üniversitesi, İşletme Enstitüsü, İşletme (MBA) Yüksek Lisans

MESLEKİ DENEYİM :

- 2013-2014 yılları arasında ENKA Elektrik Santralleri A.Ş Adapazarı-Gebze lokasyonun da ürün giriş kontrol uzman yardımcısı olarak çalıştı.
- 2015-2019 yılları arasında Çakmak Vinç A.Ş firmasında 1 yıl saha montaj şefliği, 3 yıl satın alma yetkilisi olarak çalıştı.
- 2019-2020 yılları arasında Küçükoğlu Holding – Akpres Metal Ydk. Parça. A.Ş firmasında satın alma uzmanı olarak çalıştı.
- 2020 - Halen Küçükoğlu Holding – Akpres Metal Ydk. Parça. A.Ş firmasında Kaynak Üretim uzmanı olarak çalışmakta.