

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DP600-8XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
CMT TEKNİĞİ İLE BİRLEŞTİRİLE BİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat KONAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdiç İLHAN

Şubat 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

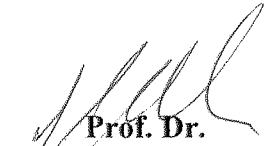
DP600-8XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
CMT TEKNİĞİ İLE BİRLEŞTİRİLE BİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Murat KONAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 17.03.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Ömer SAVAŞ
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Erdinç İLHAN
Üye

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.

Murat KONAR

30.01.2017

TEŞEKKÜR

Otomotiv sektöründe kullanılan DP 600 çelik sacı ile 8006 alüminyum alaşımlı levhanın MIG-lehimleme uygulaması ile ilgili çalışmaların yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Yrd. Doç.Dr. Erdiñ İLHAN'a Prof.Dr. Salim ASLANLAR'a, Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a, Yrd. Doç.Dr. Faruk VAROL'a SEM Uzmanı Hüsnü ÖZTÜRK ve Fuat KAYIŞ'a DP 600 çelik sacın tedarikinde ERMETAL firması ve çalışanı Yasin KARACAN'a arkadaşlarım Murat YÜCEL ve Sevil BAKKALOĞLU'na, 8006 alüminyum alaşımlı levhanın tedarigi ve denemelerin yapılmasını sağlayan ASAŞ Alüminyum firmasına ve Ar-Ge müdürü Sadık M.AYAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren aileme, bana hayatımın her alanında olduğu gibi yüksek lisans eğitimin boyunca destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca teknik ve manevi desteğinden doalyı meslektaşım olan abim Kadir KONAR'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. Tarihçe.....	4
2.2. Genel Özellikler.....	6
2.3. Alüminyum Alaşımalarının Sınıflandırılması.....	10
2.3.1. Dövme alüminyum alaşımları.....	11
2.3.1.1. Alüminyum alaşımı 1XXX serisi.....	12
2.3.1.2. Alüminyum alaşımı 2XXX serisi.....	13
2.3.1.3. Alüminyum alaşımları 3XXX serisi.....	14
2.3.1.4. Alüminyum alaşımları 4XXX serisi.....	15
2.3.1.5. Alüminyum alaşımları 5XXX serisi.....	16
2.3.1.6. Alüminyum alaşımları 6XXX serisi.....	17
2.3.1.7. Alüminyum alaşımları 7XXX serisi.....	18
2.3.1.8. Alüminyum alaşımları 8XXX serisi.....	19
2.3.1.9. Alüminyum alaşımları 9XXX serisi.....	19
2.3.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	19

2.4. Alaşım Elementelerinin Alüminyuma Etkisi.....	20
2.4.1. Bakırın alüminyuma etkisi.....	20
2.4.2. Manganın alüminyuma etkisi.....	20
2.4.3. Silisyumun alüminyuma etkisi.....	20
2.4.4. Magnezyumun alüminyuma etkisi.....	21
2.4.5. Çinkonun alüminyuma etkisi.....	21
2.4.6. Demirin alüminyuma etkisi.....	21
2.4.7. Geçiş metallerinin alüminyuma etkisi.....	22
2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının faz diyagramları.....	22
2.6. Üretim Yöntemleri.....	26
2.6.1. Sürekli döküm tekniği ile alüminyum saç veya levha üretimi..	29
2.7. Alüminyum Alaşımları Kaynak Yapılabilirliği.....	34
2.7.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri.....	36
BÖLÜM 3.	
DUAL FAZ ÇELİKLERİ.....	
3.1. Dual Fazlı Çeliklerin Tanımı ve Ferritik – Perlitik Çelikler ile karşılaştırılması.....	39
3.2. Dual Faz Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	40
3.3. Lehimleme.....	45
3.3.1. Yumuşak lehimleme.....	46
3.3.2. Sert lehimleme.....	47
BÖLÜM 4.	
KULLANILAN YÖNTEMLER.....	
4.1. Soğuk Metal Transferi Tekniği (Cold Metal Transfer-CMT, MIG Kaynağı).....	48
4.1.1. Diğer kaynak yöntemlerinde göre avantajları.....	52
4.1.2. Alüminyum kaynağındaki avantajları.....	52
4.1.3. CMT Kaynak yönteminin türevleri.....	54
4.2. Alüminyum ve Alaşımlarında MiG Kaynağının Uygulanması.....	55

4.3. Taguchi Metodu.....	57
4.3.1. Sistem tasarımı.....	58
4.3.2. Parametre tasarımı.....	58
4.3.3. Tolerans tasarımı.....	58
4.3.4. Kayıp fonksiyonu.....	59
4.3.5. Taguchi'nin üretim/kalite sistemi ve deney tasarımı.....	60
4.3.6. Taguchi'nin sinyal/gürültü oranı.....	61
4.3.7. Robust tasarımı.....	62
4.3.8. Değerlendirecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi.....	63
4.3.9. Faktör düzeylerini seçilmesi.....	63
4.3.10. Uygun ortogonal dizisinin seçilmesi.....	64
4.3.11. Deney Faktörleri ve seviyeleri.....	65
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	66
5.1. Genel.....	66
5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	66
5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri.....	67
5.3.1. Lehimleme Numunesi hazırlama.....	68
5.3.2. MIG-lehimleme işlemleri.....	69
5.4. Sertlik Ölçümleri.....	70
5.5. Mikroyapı.....	70
5.5.1. Optik mikroskop.....	70
5.5.1.1. Numune hazırlama.....	71
5.5.1.2. Bakalite alma.....	71
5.5.1.3. Zımparalama.....	72
5.5.1.4. Parlatma.....	72
5.5.1.5. Numune inceleme.....	73
5.5.2. Makroyapı.....	73
5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	74
5.6. Çekme Deneyi.....	74
5.6.1.Çekme-Sıyırma test numunesi hazırlama.....	74

5.6.2. Çekme –Makaslama test numunesi hazırlama.....	75
5.6.3. Haç tipi çekme test numunesi hazırlama.....	76
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	77
6.1. Genel.....	77
6.2. Çekme Test Sonuçları.....	78
6.2.1. Çekme-Makaslama Test Sonuçları.....	78
6.2.1.1. Çekme-makaslama manova analizi.....	81
6.2.2. Çekme-Sıyırma test sonuçları.....	82
6.2.2.1. Çekme-sıyırma manova analizi.....	84
6.2.3. Haç Biçimi çekme test sonuçları.....	85
6.2.3.1. Haç biçimi çekme manova analizi.....	88
6.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	89
6.4. Makro Yapı İncelemesi.....	93
6.5. Mikroyapı İncelemesi.....	94
6.5.1. Optimum parametreler ile yapılan MIG-lehimleme mikroyapı incelmesi.....	95
6.6. SEM ve EDS Analiz İncelemeleri.....	96
6.6.1. Optimum birleşme SEM ve EDS analizleri.....	96
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100
7.1. Sonuçlar.....	100
7.2. Öneriler.....	103
KAYNAKLAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Ferrit
γ	: Östenit
CMT	: Soğuk metal transferi
DP	: Dual phase
EDX	: Enerji dağılımı spektrometresi
ITAB	: Isı tesiri altındaki bölge
MIG	: Metal inert gaz kaynağı
NY	: Numune yok
MAG	: Metal aktif gaz kaynağı
RSW	: Direnç nokta kaynağı
RCU	: Robot kontrol ünitesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
S/N	: Signal/Noise

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yüksek saflıktaki alüminyumun teleskop aynası olarak kullanımı.....	13
Şekil 2.2. Uçak yapılarında alüminyum alaşımlarının kullanımı	14
Şekil 2.3. 3003 alaşımının endüstriyel alanda ısı değiştiricilerde kullanımı	15
Şekil 2.4. 6xxx serisi alaşımların makine elemanı, motorsiklet gövdesi ve otomobil gövdesi olarak kullanımı	18
Şekil 2.5. Cu- Al alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı .	23
Şekil 2.6. Al- Mn alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı .	24
Şekil 2.7. Al- Si alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı	24
Şekil 2.8. Al- Mg alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı	25
Şekil 2.9. 10Al- Mg ₂ Si alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren diyagram	25
Şekil 2.10. Al- Zn alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı	26
Şekil 2.11. Dünya birincil alüminyum üretimi dağılımı	27
Şekil 2.12. İkiz merdane dökümü detay görüntüsü sürekli döküm .	29
Şekil 2.13. Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması	30
Şekil 2.14. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirlikleri	36
Şekil 3.1. Dual faz mikroyapı şeması	39
Şekil 3.2. Dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları	42
Şekil 3.3. Dual fazlı ve düşük karbonlu çelikler için saç kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi	43

Şekil 3.4. Dual fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi	44
Şekil 3.5. 100, 175 ve 250 C' de temperlenmiş alaşımsız dual fazlı çeliklerde,ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış	44
Şekil 4.1. CMT Kaynak aşamaları	49
Şekil 4.2. CMT Kaynak yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı	49
Şekil 4.3. CMT robotik kaynağında akım ve voltajın zamanla ilişkisi	50
Şekil 4.4. Robotik uygulamada CMT sistem konfigürasyonu 1) TPS 3200/4000/5000 CMT güç kaynağı, 2) RCU 5000i uzaktan kumanda ünitesi, 3) Soğutma ünitesi 4) Robot arayüzü, 5) CMT tel besleyici 6) Robot 7) Tel tamponu 8) Tel desteği	51
Şekil 4.5. Tez çalışmasında kullanılan robotik CMT kaynak makinesi	51
Şekil 4.6. 0,3mm kalınlığında alüminyum levhanın CMT kaynağı	52
Şekil 4.7. Diğer kaynak yöntemlerine göre ısı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması	53
Şekil 4.8. 2 mm kalınlığındaki alüminyum levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti	53
Şekil 4.9.CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyonu	54
Şekil 4.10. Negatif CMT ve pozitif CMT kaynağı kombinasyonu	54
Şekil 4.11. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon	55
Şekil 4.12. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu	60
Şekil 5.1. Galvaniz tabaka kalınlığı	67
Şekil 5.2. Numune ebatları	68
Şekil 5.3. CMT kaynak robotu	69
Şekil 5.4. Pense ile sabitleme işlemi	69
Şekil 5.5. Sertlik ölçüm bölgeleri	70
Şekil 5.6. Numune kesme cihazı	71
Şekil 5.7. Zımparalama Cihazı	72
Şekil 5.8. Optik mikroskopta numune inceleme	73
Şekil 5.9. 20X Büyütme kullanılarak yapılan numune inceleme	73

Şekil 5.10. Çekme sıyırma test numunesi	74
Şekil 5.11. Çekme sıyırma deneyi	75
Şekil 5.12. Çekme -makaslama test numunesi	75
Şekil 5.13. Çekme makaslama deneyi	76
Şekil 5.14. H tipi çekme kalıbı ve test numunesi	76
Şekil 6.1. Main Effects plot for means	79
Şekil 6.2. Main Effects plot for SN ratios	80
Şekil 6.3. Main effects plot for StDevs	80
Şekil 6.4. Main Effects plot for means	83
Şekil 6.5. Main Effects plot for SN ratios	83
Şekil 6.6. Main effects plot for StDevs	83
Şekil 6.7. Main Effects plot for means	86
Şekil 6.8. Main effects plot for StDevs	87
Şekil 6.9. Main Effects plot for SN ratios	87
Şekil 6.10. Sertlik ölçüm Şablonu	89
Şekil 6.11. Sertlik alınan numunelerin görüntüleri	89
Şekil 6.12. 1-5 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler	93
Şekil 6.13. 6-10 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler	93
Şekil 6.14. 11-15 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler	93
Şekil 6.15. 16-20 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler	93
Şekil 6.16. 20-25 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler	93
Şekil 6.17. Mikro görüntü alınan bölgeler	95
Şekil 6.18. A bölgesi mikro yapı incelemesi	95
Şekil 6.19. B bölgesi mikro yapı incelemesi	96
Şekil 6.20. C bölgesi mikro yapı incelemesi	96
Şekil 6.21. A bölgesi SEM görüntüleri	97
Şekil 6.22. C bölgesi SEM görüntüleri	98

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri ve diğer metaller ile karşılaştırılması .	9
Tablo 2.2. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanlarının malzeme türüne göre sınıflandırılması	9
Tablo 2.3. Alüminyum döküm alaşımları ve gösterimleri.	19
Tablo 2.4. Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları	33
Tablo 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımların birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri	37
Tablo 2.6 . Alüminyum ve alüminyum alaşımların birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri (devam)	38
Tablo 4.1. L ₂₅ Ortogonal dizisi	65
Tablo 4.2. Deney faktörleri ve seviyeleri	65
Tablo 5.1. 8006 alüminyum alaşımı kimyasal bileşimi	67
Tablo 5.2. DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi	67
Tablo 5.3. DP 600 çeliği mekanik özellikleri	67
Tablo 5.4. 8006 alaşımı çeliği mekanik özellikleri	67
Tablo 5.5. AlSi ₅ lehim teli kimyasal bileşimi	68
Tablo 5.6. AlSi ₅ lehim teli mekanik özellikleri	68
Tablo 6.1. Taguchi deney tasarımı	77
Tablo 6.2. Çekme-makaslama test sonuçları	79
Tablo 6.3. Optimum Çekme-makaslama parametreleri	80
Tablo 6.4. Çekme-makaslama manova akım şiddeti analizi	81
Tablo 6.5. Çekme-makaslama manova delik çapı analizi	81
Tablo 6.6. Çekme-makaslama manova robot hızı analizi	81
Tablo 6.7. Çekme-makaslama manova gaz basıncı analizi	82
Tablo 6.8. Çekme-sıyırma test sonuçları	82

Tablo 6.9. Optimum Çekme-sıyırma parametreleri.....	84
Tablo 6.10. Çekme-sıyırma manova akım şiddeti analizi.....	84
Tablo 6.11. Çekme-sıyırma manova delik çapı analizi.....	85
Tablo 6.12. Çekme-sıyırma manova robot hızı analizi.....	85
Tablo 6.13. Çekme-sıyırma manova robot hızı analizi.....	85
Tablo 6.14. H biçimi çekme test sonuçları.....	86
Tablo 6.15. H biçimi Optimum parametreleri.....	87
Tablo 6.16. Haç biçimi çekme manova akım şiddeti analizi	88
Tablo 6.17. Haç biçimi çekme manova delik çapı analizi	88
Tablo 6.18. Haç biçimi çekme manova robot hızı analizi.....	88
Tablo 6.19. Haç biçimi çekme manova robot hızı analizi.....	88
Tablo 6.20. 1-12 bölgelerinin sertlik sonuçları	90
Tablo 6.21. 20-21 Sertlik ölçüm sonuçları.....	91
Tablo 6.22. a1-a5 bölgeleri sertlik ölçüm sonuçları	91
Tablo 6.23. a1-a5 bölgeleri sertlik ölçüm sonuçları (Devam).....	92
Tablo 6.24. Optimum parametreler ile 1-10 bölgesi arası sertlik sonuçları.....	92
Tablo 6.25. Otimum parametreler ile 20-28 bölgesi arası sertlik sonuçları.....	92
Tablo 6.26. Optimum parametreler ile a1-a5 bölgeleri arası sertlik sonuçları.....	92
Tablo 6.27. Lehim yüksekliği.....	94
Tablo 6.28. A bölgesi 1 numaralı EDS analizleri.....	97
Tablo 6.29. A bölgesi 2 numaralı EDS analizleri.....	97
Tablo 6.30. A bölgesi 3 numaralı EDS analizleri.....	98
Tablo 6.31. C bölgesi 1 numaralı EDS analizleri.....	98
Tablo 6.32. C bölgesi 2 numaralı EDS analizleri.....	98
Tablo 6.33. C bölgesi 3 numaralı EDS analizleri.....	99
Tablo 6.34. C bölgesi 4 numaralı EDS analizleri	99
Tablo 7.1. Tasarım doğrulama deneyleri	103

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çift fazlı çelik, DP 600, 8006 alüminyum alaşımı, MIG-lehimleme

Günümüzde çift fazlı yüksek mukavemetli saclarının kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan pazar payı ile araç gövdelerinde düşük fiyat, iyi korozyon dirençleri ve mekanik özelliklerini birleştiren galvanizli çelik sacları kullanmaya başladı. Galvanizli DP 600 çelik saclar özellikle otomotiv endüstrisinde korozyon direnci ile konstrüksiyonlarda geniş oranda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada 1,2 mm kalınlığa sahip DP 600 çelik saclar ile 2,2 mm kalınlığında yaşlandırılmamış 8006 serisi alüminyum alaşımli levhanın MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 teli ile birleştirilmiştir. DP 600 çeliğini belirli parametrelerde delinerek MIG-lehimeleme işlemei yapılmıştır. Lehimeleme tatbikleri dört farklı parametrede, akım şiddeti, delikç çapı, gaz basıncı ve robot hızı, aralığı olarak incelenmiştir.

MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri, çekme-sıyırma, çekme makaslama, h biçimi çekme ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve Mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada Minitab programı kullanılarak taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin etkisine bağlı olarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF DP600-8XXX SERIES ALUMINUM ALLOY CONFLICTED WITH CMT TECHNIQUE

SUMMARY

Keywords: Double-phase steel, DP 600, 8006 aluminum alloy, MIG-brazing

Today, the use of high-strength double-phase sheets is becoming widespread. In recent years, it has started to use galvanized steel sheets that combine low price, good corrosion resistance and mechanical properties with improved technology and increasing market share. Galvanized DP 600 steel sheets are widely used in constructions with corrosion resistance especially in the automotive industry.

In this study, DP 600 steel sheets with a thickness of 1.2 mm and 8006 series aluminum alloy plate with a thickness of 2.2 mm were combined with a silicon-based wire, AlSi 5, using the MIG-brazing method. The MIG-soldering process was performed by drilling the DP 600 steel at certain parameters. Soldering treatments were investigated in four different parameters, current intensity, hole diameter, gas pressure and robot speed, as a range.

Strength properties of MIG-brazed materials, tensile-shear, tensile shear, h-shape tensile and microhardness distributions between bond regions were investigated. Microscope, scanning electron microscope (SEM) and point element analyzer EDS were used in macro and microstructure tests. In this study, Taguchi experiment design was used by using Minitab program, optimum welding parameters have been determined depending on the influence of mechanical properties. In this study, Taguchi experiment design was used by using minitab program, optimum welding parameters have been determined depending on the influence of mechanical properties.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alüminyum dünyada en çok tüketilen demir dışı metaldir. Yüzyıllardır kullanımı artan bir şekilde insanoğluna hizmet etmektedir. Günümüzde yaşantımızın hemen hemen her konumunda kullanılan ve vazgeçilmez bir malzemedir. 19.yy başlarında Sir Humphrey Davy tarafından alüminyum elementinin varlığının açıklandığını kabul etmektedir. 1825 yılında ilk olarak Hans Christian Oersted laboratuvar ortamında alüminyumu ayrıştırarak alümiyum varlığını ortatya koymuştur.1886 yılına kadar geçen süre içersinde laboratuvar ortamında bir çok çalışma yapılmıştır ve az miktarda üretimi gerçekleştirilmiştir. Ticari olarak üretimi ise 1886 yılında birbirinden habersiz olan ve iki farklı kıtada yaşayan Charles Martin Hall (ABD), Paul Heralt (France) tarafından gerçekleştirilmiştir [1-3].

Alüminyum ve alüminyuma alaşımları, ticari hayatta öncelikle bakır prinç ve bronzun yerine geçmiştir. Ticari anlamda üretimin ilk yıllarında yaşanan problemlerden dolayı 1885 yılında yıllık 200 ton alüminyum üretilirken 2015 yılda bu rakam 105 milyon tona ulaşmıştır. Alüminyumun keşfinden günümüze kadar olan süreçte muadili malzemlere göre mukavemet, hafiflik, iletkenlik, uzun ömürlülük gibi özelliklerinden dolayı kullandığımız hava kara deniz taşıtlarından mutfak eşyasına kadar yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Alüminyumun otomobil gövdesinde kullanılması, kaynak teknolojisi gelişimi paralelinde ilerlemektedir. Otomobil gövdesinde kullanılan geleneksek çeliklerin yerini alan alüminyum gelişen çevre doştu araçların maksimum verimle kulllanması sağlanmaktadır. Bu da iki metalin uygun yöntem ve/veya yöntemler ile birleştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Çelik ve alüminyum mekanik bağlantı yöntemleri ve adesif bağlantı yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirilmesine rağmen düşük mekanik özellikler ve kısıtlanmış bindirme geometrisi gibi özelliklerden dolayı verimsiz

kalmaktadır. Alüminyum ile çeliğin birleştirilmesinde katı hal kaynağından ergitme esaslı kanak yöntemlerine kadar bir çoko çalışma yapılmıştır. Bunlar direnç nokta kaynağı (RSW), delta spot, sürtünme karıştırma kaynağı (FSW), sürtünme karıştırma nokta, difüzyon kaynağı manyetik puls, patlamalı kaynak gaz metal ark kaynağı, soğuk metal transgeri (CMT) ve lazer kaynağı gibi birçok yöntem kullanılmaktadır [5-6]. Yıllardır devam eden çalışmaların sonucu olarak MIG/MAG kaynak yöntemi üzerine geliştirilen soğuk metal transferi prosesi sayesinde farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bu iki metalin uygun bir biçimde birleştirilmesi mümkün kılınmıştır. Yöntemin sağladığı üstünlük, 70-150 hz arasında ayarlanabilir tel besleme hızı özel tel besleme hareketi ile düşük ısı girdisi oluşturmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde çelik haricindeki plastik, alüminyum, magnezyum vb. gibi malzemelerin kullanımı, araçlarda yakıt tüketimini düşürmek maksadıyla ağırlık azaltma kaygısından dolayı artış göstermesine rağmen, çelik endüstrisinde kaydedilen ilerlemeler sayesinde çelik otomotiv sektörü için hala önemini korumaktadır.

Erdem Ünel yapmış olduğu çalışmalarda taguchi deney tasarımı kullanılarak DX54D+Z galvanizli çelik ve 5754 alüminyum alaşımlarının kaynak bağlantıları tel besleme hızı, kaynak hızı, elektro kaynak besleme mesafeleri CMT kayağı ile çekme test sonuçları baz alınarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir [7].

R.Cao ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada CMT kaynağı kullanılarak 6061-T6 alüminyum alaşımı ve DP 600 galvanizli sacı 4043 alüminyum alaşımı birleştirme teli kullanarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada birleştirme parametreleri tel hızı delik çapo ve kaynak süresi olarak belirlenmiş birleştirilen numuneler mikroyapı ve makro yapı incelemesi yapılmıştır [8].

Haiyang Lei ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada 6061-T6 alüminyum alaşımı ile DP 590 galvanizli sacın CMT kaynağı ile noktasal birleştirilmesi mikro yapı ve makroyapı incelemesi yapılmıştır. Tel hızının çinko tabakasına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan 1,2 mm kalınlığında DP600 dual faz çeliği ile 2.2 mm kalınlığından 8006 serisi alüminyum alaşımı Taguchi deney tasarım metodu kullanarak robotik CMT (Cold Metal Transfer) birleştirme tekniği ile uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve bu kaynak parametrelerinin bağlantısının mekanik özelliklere ve dikiş geometrisine etkisi incelenmiştir.

Bağlantıların makro yapı, mikro yapı incelemeleri yapılacak ve kaynaklı bağlantıların SEM analizleri EDS analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlar neticesinde Diyagramlar oluşturulup birleştirme parametreleri optimizasyonu yapılmıştır.



BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Tarihçe

Antik çağda Herodot alüminyum bileşikleri için alumen adından söz etmiştir. 1754 yılında Marggraf kil ve alüminyum bileşiklerinin aynı metale bağlı olduğunu saptamıştır. 1786'da De Merveau bu metale alumine demiştir. 1807'de Sir Humphrey Davy ise bu metale önceleri alumium, sonra aluminum ve daha sonrada aluminium adını vermiştir [10].

1807 yılında Sir Humphrey Davy alüminada oksijene bağlı bir metalin varlığını tahmin etmiştir. Alüminanın elektrolizinde demir katot kullanıldığı için demiralüminyum alaşımı elde etmiş, alüminyum ayıramamıştır. 1821 yılında M.Pierre Berthier Güney Fransa'da Les Baux kasabasında boksit madenini bulmuştur. Bu yerin adına ithafen bauxit adını vermiş ve kimyasal formülünü de $Al_2O_3 \cdot H_2O$ olarak kabul etmiştir. 1825 yılında Danimarkalı fizikçi Christian Oersted, alüminyum susuz alüminyum klorürden kalsiyum amalgamı ile redükleyerek ilk metalik alüminyum üretmiştir. 1827'de Friedrich Wöhler susuz alüminyum kloriti saf potasyumla redükte ederek pulverize bir toz elde etmiş, bu tozun içinde alüminyumun ana özelliklerine çok yakın özellikte pul pul metallerin bulunduğunu görmüştür. Böylece artık kimyasal yöntemden elektrolitik yöntemeye geçilmiştir [10,11].

1845'te Wöhler bu yöntemle toplu iğne başı büyüklüğünde bilyalar halinde alüminyumun tüm özelliklerine sahip biraz daha fazla miktarda metal elde etmiştir. 1852'de Robert Bunsen elektrotik yöntemi daha da geliştirmiştir.

1850–1860 yılları arasında Fransız araştırmacı Henry Sainte-Clarie Deville 3. Napolyon'un maddi desteği ile endüstriyel alüminyumun kazanılmasına temel

adımları atmıştır. 200 ton alüminyum üreterek alüminyumun fiyatını 2400 DM'den 25 DM'ye düşürmüştür. 1855 yılında, Deville tarafından ilk olarak üretilen alüminyum Paris'te bir fuarda, "balçıkta gümüş" sloganı ile teşhir edilmiştir. 1883'te Charles S. Bradley alüminyum oksitlerin kriyolit kullanılarak elektrolizi için bir patent çıkarmış, ancak uygulamaya geçilememiştir [11].

1886 modern alüminyum endüstrisinin doğum yılı olmuştur. Fransa'da Paul T. Heroult ve Amerika'da Charles Martin Hall birbirlerinden bağımsız olarak kriyolitte çözülmüş alüminanın elektrolitik parçalanması ile ilgili patent almışlardır. Günümüzde bütün cevherden alüminyum üreten tesisler bu patente göre üretim yapmaktadırlar. Yine 1886 yılında Almanya'da Deville'in kimyasal metodu ile çalışan ilk alüminyum fabrikası kurulmuştur. 1887 – 1888 yıllarında Heroult İsviçre firması Metallurgischen Gesellschaft ilk elektroliz tesisini kurmuştur. Daha sonra bu firma Alman Edison Gesellschaft (AEG) firması ile birleşmiştir. 1887 – 1892 tarihleri arasında Avusturyalı Dr. Karl J. Bayer kendi ismi ile anılan Bayer Prosesinde (alümina üretimi) ilk patenti almıştır. Bayer Metodu ile çalışan ilk alüminyum fabrikası 1908 – 1914 yılları arasında Almanya'da kurulmuştur. Alüminyum boksit cevherlerinden üretiminin geliştirilmesinden sonra alüminyum hızla endüstride kullanılmaya başlanmıştır.

Alüminyumun başlıca ilk gelişim adımları;

1889: Mutfak eşyalarında kullanımı (tencere ve tabak),

1891: Gemi inşaatında kullanımı (yatlarda),

1892: Havacılık sektöründe kullanımı,

1893: Sanat eserlerinde kullanımı,

1890: Alüminyum sert lehim,

1905: Alüminyum dökümden ticari motor üretimi,

1906: Yüksek mukavemetli sertleşebilir duralümin (Al-Cu-Mg) keşfi,

1909: Bira kutularında kullanımı,

1910: Bant haddeleme ile folyo üretimi,

1918: Sertleşebilir korozyona karşı Al-Mg-Si alaşımlarının geliştirilmesi,

1919: Konserve kutularında kullanımı

1920: Alüminyum boruların büyük ölçekte kullanılması,

1928: İlk alüminyum tank (30,3 m³ lük) imalatı,
 1931: Süt kapaklarında kullanımı,
 1933: Köprü inşaatında kullanılması,
 1951: Almanya'da yaya köprüsü inşaatı.
 1960–2000: Motor blokları, otomotiv jantları, cephe giydirmeye, dış macunu tüpleri, televizyon kuleleri, roket komponentleri, gaz taşıma üniteleri, doğalgaz sıvılaştırma üniteleri, zırh plakaları, v.b. imali [11].

2.2. Genel Özellikler

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı üstün özellikler sebebiyle, tüketimleri büyük bir hızla artmakta ve her geçen gün yeni kullanım alanları açılmaktadır. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olmasına karşın, yüzeyinde kolaylıkla oluşan koruyucu oksit tabakası onun yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten (Al₂O₃) oluşan bu geçirimsiz, sert ve koruyucu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Buna bağlı olarak alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Bu nedenle, korozyona karşı oldukça hassas olan alüminyum alaşımları günümüzde saf alüminyum giydirilmesi yoluyla korozyondan korunmaktadır. Diğer yandan saf alüminyum oldukça düşük olan mukavemeti soğuk işleme arttırılabilmektedir.

Bugün alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibariyle endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi haline almıştır. Saf halde yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir spektruma yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstride geniş çaplı olarak 100'ün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. En önemli özellikleri aşağıdaki gibidir [12];

Hafifliği, saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2,7 gr/cm³'tür. Kütlesi demirin % 35'i, bakırın ise %9'u kadardır. Bu düşük ağırlık özelliği başta uçak ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık sanayinde önemli bir rol oynamaktadır.

Mekanik Özellikler, çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlemleri sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikler geliştirilebilir. Özellikle küçük miktarlarda Mn, Mg, Si, Cu, Zn, Ti ilavesiyle mukavemeti daha da arttırılan alaşımlarında, ısı işlem ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır.

Alüminyumun mekanik özellikleri arasında en önemli olan elastisite modülünün 1/3'üne eşit olduğundan, çelik yerine alüminyumu kullanılmaya karar verildiğinde, esnemenin çeliğe göre 3 kat daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır. Alüminyumun sertliği 19-20 BHN değerinde olmakla birlikte, alaşımlarında ise 120 BHN değerine kadar çıkabilmektedir. Çekme dayanımı ise 90 MPa değerinden, bazı yaşlanabilir alaşımlarında 650 MPa değerine kadar ulaşılabilir.

Korozif Özellikler, alüminyum yaygın olarak kullanım nedenlerinden biri de onun yüksek korozyon direncine sahip olmasıdır. Bu özelliği sebebiyle, kimya ve besin sanayinden, inşaat sanayine ve ev eşyalarına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Alüminyum yüzeyler, atmosferik korozyona maruz kaldığında, çok ince (20–25 Å) görünmez bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka daha fazla oksitlenmeyi önler. Alüminyumun bu özelliği yüksek korozyon direncini temel nedeni olup, birçok aside karşı aynı direnci göstermektedir. Ancak bazı alkaliler bu oksit tabakasını tahrip etme özelliğine sahiptir. Elektrolitik ortamlarda bazı metallerle doğrudan temas etmesi sonucunda galvanik korozyon olabilir. Bu durumda boya ya da yalıtkan bant uygulaması yapılmalıdır [13].

Isı ve Elektrik İletkenliği, alüminyum ve alaşımları ısı ve elektriği oldukça iyi iletirler. Yüksek ısı iletkenliği (çeliğin 6 katı), ısıtma/soğutma endüstrilerinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyum ısı değiştiricilerinin yaygın olarak 6 kullanımına yol açmıştır. Ticari alüminyum elektrik iletkenliği 37 siemens civarındadır. Elektriksel iletkenliği bakırın % 62'si mertebesindedir. Bakırın yoğunluğu 8,9 alüminyumun ise 2,7 gr/cm³ olduğu düşünülürse; ağırlıkça kıyaslandığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar [13].

Yüksek Isı ve Işık Yansıtması, % 80'in üzerinde ışık yansıtma özelliği ile aydınlatmada, yüksek ısı yansıtma özelliği dolayısıyla da çatı kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu özelliğin dolayı ışık reflektörlerinin kaplanması ve aynaların geri yansıtıcılığında kullanılır.

Kolay Şekillendirilebilirliği ve İşlenebilirliği, kolayca dökülebilir, kağıttan daha ince şekilde haddelenebilir (folyo), çekilebilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, profil) dövülebilir. Alüminyum kolayca ve hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme operasyonlarına tabi tutulabilir [13].

Kaynaklanabilirliği, her türlü birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Ayrıca havacılık ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamaları da yaygındır

Düşük maliyet, alüminyumun ekonomik yönden avantajı diğer metallere göre büyük bir hızla yükselmesidir. Bunun başlıca nedeni birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif olması dökümde büyük bir avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallere göre daha fazla döküm yapabilmek mümkündür. Ayrıca çok yüksek olmayan ergime sıcaklığı, döküm sırasında daha fazla enerji harcanması ve kalıp aşındırması sebebiyle önemli bir tercih nedenidir [13].

Alüminyum, fiziksel, kimsayal ve mekanik olarak çelik, bakır, prınç, nikel, kursun veya titanyum gibi metaldir ve eritilebilir, dökülebilir, şekil verilebilir, bu özelliklerin değerlendirmesi işlenebilir [13].

Günümüzde, alüminyum mutfak malzemeleri, bina kaplamaları, elektrik iletkenleri üretiminde, gıda endüstrisinde saf alüminyum, makine imalat, havacılık ve taşıt endüstrisinde alüminyum alaşımları yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının başlıca endüstriyel kullanım alanları Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Alüminyum fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri ve diğer metaller ile karşılaştırılması [13].

Özellik	Alüminyum	Demir	Nikel	Bakır	Titanyum
Kristal kafes yapısı	YMK	HMK	YMK	YMK	SPH
Yoğunluğu (g/cm ³)	2.7	7.85	8.9	8.93	4.5
Ergime sıcaklığı (°C)	660	1536	1455	1083	1670
Özgül ısı (J/ kg K)	930	448	440	385	470
Isıl iletkenliği (W/m K)	235	79.6	92.1	389.4	15.5
Isıl genleşme katsayısı ($\Delta l/l$ °C)	33.9×10^{-6}	12×10^{-6}	1×10^{-6}	16.5×10^{-6}	8.2×10^{-6}
Elektrik direnci ($\mu\Omega\text{cm}$)	2.65	9.7	6.8	1.67	55
Elastisite modülü E (N/mm ²)	6.7×10^4	21×10^4	21×10^4	12.4×10^4	10.8×10^4
Maksimum çekme mukavemeti (N/mm ²)	65	235	300	210	245

Tablo 2.2. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanlarının malzeme türüne göre sınıflandırması [3].

Alüminyum Alaşımları	Ürün Biçimi	Kullanım Alanı
Saf Alüminyum	Folyo, haddelenmiş levha, ekstrüzyon ürünleri	Ambalaj malzemesi ve folyo, çatı kaplama, zırhlama, düşük mukavemetli korozyona dirençlikazan ve depolama tankları yapımı.
2XXX Serisi (Al-Cu alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Çok yüksek zorlanmaya maruz parçalar, havacılık ve uzay araçlarında kullanılan yapısal elemanlar, ağır dövme parçalar, taşıt tekerlekjantları, silindir kafaları, pistonlar
3XXX Serisi (Al-Mn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Ambalaj malzemesi, çatı kaplama ve zırhlama, kimyasal madde varilleri ve tankları, kimyasal madde ve gıda taşıma ekipmanları.
4XXX Serisi (Al-Si alaşımları)	Tel, döküm parçalar.	Kaynak telleri, silindir kafaları, motor blokları, supap gövdeleri, mimari amaçlı kullanılır.
5XXX Serisi (Al-Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi bos elemanlar ve borular.	Zırhlama, kazan ana yapı levhaları, güçlü yapı elemanları, yapısal elemanlar, kazanlar ve depolamatankları, otomobil, tren vagonu, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
6XXX Serisi (Al-Si-Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi bos elemanlar ve borular	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, otomobil, tren vagonu, deniz taşıtları ve deniz üstü yapı elemanları, mimari amaçlı kullanılan elemanlar
7XXX Serisi (Al-Mg-Zn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, uçaklarda kullanılan kalın kesitli dövme parçalar, askeriköprüler, zırh levhaları, ağır taşıt ve vagonlarda kullanılan ekstrüzyon ürünleri

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Yer kabuğunda en çok bulunan ikinci metalsel element olan ve günümüz endüstrisinde çelikten sonra en fazla kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafif olmaları, iyi ısıl ve elektrik iletkenlikleri, artırılabilen mukavemet konumundadır. Özellikle son yıllarda, enerji tasarrufuna dönük çalışmalar, daha az yakıt harcayan hafif ve ekonomik taşıtların üretimini gündeme getirmiş ve alüminyum alaşımları, otomobillerde, otobüslerde, trenlerde, deniz taşıtlarının yapımında öncelikli olarak tercih edilen metalsel malzemeler olmuştur. Esasen bu alaşımlar, uzun yıllardır havacılık endüstrisinde kullanılmakta olan malzemelerdir ve artırılmış ve darbe özellikleri sayesinde savunma sanayinde de kullanıma girmiştir [13].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, günlük yaşantımıza kadar girmiş ve yaşamımızın ayrılmaz bir endüstriyel malzemesi konumuna gelmiştir. 19. yy'da yeni tür metal alaşımları arayışı içinde olan bilim adamları, alüminyumun eldesiyle yeni bir metal türünün ortaya çıkmasının birçok problemi çözebileceğinin düşünmüşlerdir. Az miktarda üretimi için oldukça pahalı olan, fazla enerji tüketen alüminyum, altında daha değerli bir metal konumuna gelmiştir. Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları, gıda, kimya, otomotiv ve gemi yapım, taşıt yapım, uçak yapım endüstrisi, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda ve inşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen malzeme konumuna gelmişlerdir. Alüminyumun ilk ticari uygulamaları, ayna çerçeveleri ve tepsilerde görülmüştür; ana ürün olarak pazara sunulmuş, zaman içinde kullanılmayla doğrudan veya dolaylı olarak her yönüyle modern hayatta çeşitli uygulama alanları bulmuştur [13].

Alüminyumun en önemli özelliklerin olarak, özgül ağırlığının düşük olması, elektriği ve ısıyı çok iyi iletmesi, çok yumuşak ve sünek olması ile bazı alaşımlarını çökeltme yolu ile sertleştirilebilmesi sayılır.

Alüminyum saflık derecesine göre sınıflandırılır. Mekanik özellikleri, içeriğindeki Si, Fe, Ti, Cu, ve Zn gibi elementlerin etkisi ile yükselmesine karşın kimyasal maddelere

karşı olan direnci azalır; Mekanik özellikleri de alüminyuma uygulanan şekil verme işlemine bağlı olarak da büyük ölçüde değişir.

Alüminyum % 99.0- 99.5- 99.8- 99.99 safiyet derecelerinde üretilir, %99.99 safılıktaki alüminyum yüksek nitelikte saf alüminyum olarak tanımlanır ve burada fiziksel ve mekanik özellikler belirli bir şekilde kendini gösterir. Bu alüminyum yumuşaktır ve kolay şekillenebilir, ısı ve elektriği iyi iletir, ışığı iyi yansıtır ve korozyona karşı oldukça dirençlidir.

Alüminyumlar yarı mamul veya mamul üretildikten sonra belirli fiziksel özellikler sahip olmaları için bazı işlemlerden geçirilirler.

Endüstride kullanılan alüminyum alaşımları, dövme ve dökme alüminyum alaşımları olarak üretilir. Özellikle dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısı işlem uygulanmayan soğuk şekil değiştirme sertleştirmeli ve ısı işlem uygulanabilen çökeltme sertleştirmeli birçok türü taşıt yapım endüstrisinde (otomobil, raylı taşıt, zırhlı taşıt vb.), uçak ve uzay araçları yapım ve gemi yapım endüstrisinde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bunlar; 2XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX serisi alüminyum alaşımlarıdır [14].

2.3.1. Dövme alüminyum alaşımları

Bu türe giren alaşımlar Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerir: çoğu kez önce sürekli döküm yöntemi ile blok biçiminde elde ettikten sonra, homojenleştirme tavı uygulanır. Haddeme veya ekstrüzyon ile biçimlendirilirler. Döküm yapısında iken tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazlar, şekillendirme sırasında parçalanır ve ana kütleye dağılır ve böylece alaşım soğuk şekillendirmeye uygun duruma geçer [13].

Dövme alüminyum alaşımlarının simgelenilmesi ve standartlaşmaları ilk olarak sistematik biçimde 1954 yılında alüminyum birliği tarafından gerçekleştirilmiştir. Çeşitli ülkelerin ulusal standartlarında farklı simgelenme ile tanımlanan dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarının simgelenilmesi ve kimyasal bileşimleri

EN573-3: 1995'te tanımlanmıştır. Ülkemizde de TSE EN 412/ Ocak 1987 “Biçimlenebilen Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Kimyasal Bileşimi” olarak standartlaştırılmışlardır. Bu konudaki TSE EN standardı hazırlık aşamasındadır.

Alüminyum'a çeşitli özellikler vermesi için çeşitli metaller karıştırılır. İlave edilen metallere göre sınıflandırma yapılır. Bir alaşım 4 rakamdan oluşan notasyon ile tanımlanır Birinci rakam, alüminyum ilave edilen esas metali gösterir. A.B.D normlarına göre [14];

- 1XXX: Alaşımsız alüminyum
- 2XXX: Bakırlı alüminyum alaşımları
- 3XXX: Magnezli alüminyum alaşımları
- 4XXX: Silisyumlu alüminyum alaşımları
- 5XXX: Magnezyumlu alüminyum alaşımları
- 6XXX: Silisyum ve magnezyumlu alüminyum alaşımları
- 7XXX: Çinkolu alüminyum alaşımları
- 8XXX: Demir ve silisyumlu alüminyum alaşımları
- 9XXX: Yeni bulunan alaşımlar (lityumlu alaşımlar)

2.3.1.1. Alüminyum alaşımı 1XXX serisi

Bu alaşımlar ağırlık itibari ile en az % 99 alüminyum olan ve içerisinde silisyum ve demir de içerirler. % 0,12 bakır ilave edilerek dayanım artışı sağlanır. Bu alaşımlar büyük oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar. AA1100 alaşımının tavllanmış halde çekme mukavemeti 90 MPa'dır [2].

% 99 veya daha yüksek saflıktaki alüminyum özellikle elektrik ve kimyasal alanda geniş bir kullanıma sahiptir. Bu çeşit alüminyum mükemmel korozyon direnci, yüksek termal ve elektriksel özellikler, düşük mekanik özellikler ile mükemmel bir işlenebilirliğe sahiptir. Deformasyon sertleşmesi ile orta derecede mukavemet artışı sağlanabilir. Bu alaşım çoğunlukla, demir ve silisyum safsızlığı içerir. Bu gruptaki alüminyum alaşımları, genellikle kimyasal ekipman, reflektör, ısı değiştirgeçleri,

elektriksel iletken ve kapasitör, paketleme folyolarının imalatında ve dekoratif amaçlı mimari uygulamalarında kullanılır [15].

Bu esas metaller genelde uygulama ve mekanik özellik gereksinimlerine bağlı olarak benzer ek kaynak metali veya 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak edilirler [16].



Şekil 2.1. Yüksek saflıktaki alüminyumun teleskop aynası olarak kullanımı [16]

2.3.1.2. Alüminyum alaşımı 2XXX serisi

Duralüminyum olarak adlandırılan alaşımlar bu grup içerisinde yer alır. % 2-6 oranında bakır içeren bu alaşımlar en yaygın kullanılan alüminyum alaşımıdır. Korozyona karşı direnci diğer alaşım gruplarına göre düşüktür. Ancak yüksek sertlik ve mukavemet gösterirler [17].

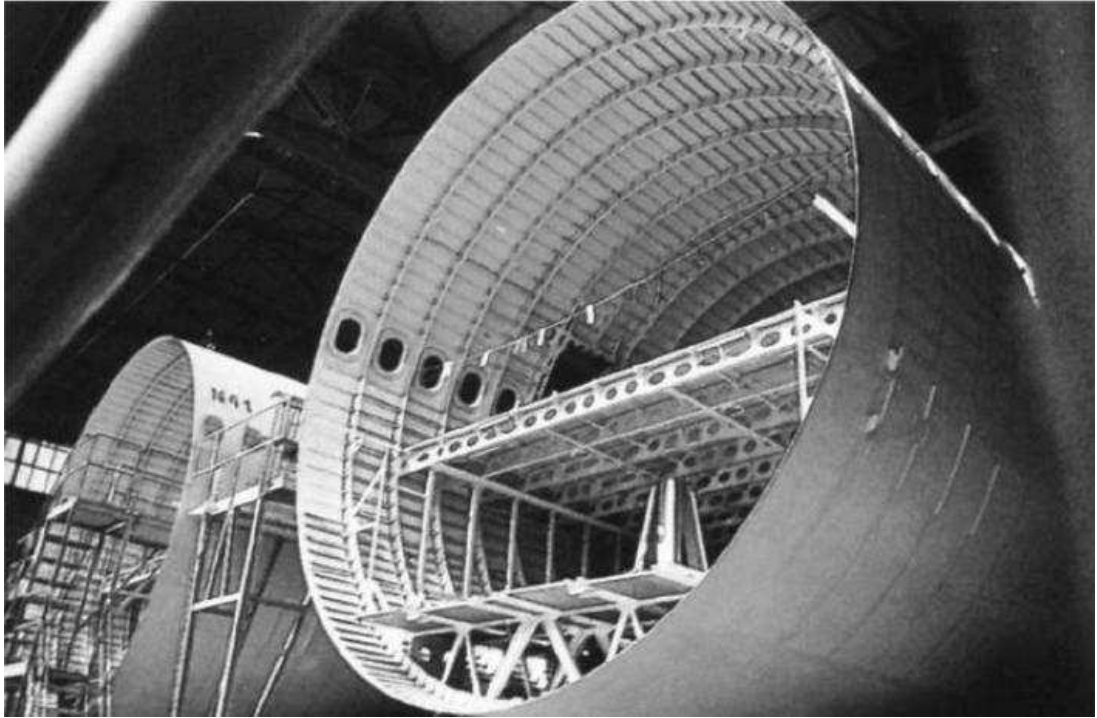
Alaşımli alüminyumun içerdiği diğer elementlerin en az biri veya demir ve silisyum birlikte alındığında, ağırlık itibari ile yukarıdaki tabloda belirtilen orandan daha fazladır veya bu alaşım elementlerinin ağırlık itibari ile toplam miktarı % 1'den fazladır.

Alaşım elemanı olarak kullanılan bakırın, dökme alüminyum alaşımlarında talaş kaldırma özelliğini geliştirirken korozyon direncini düşüren bir etkiye sahiptir.

Bu seri alüminyum alaşımları yaşlandırılabilir ve ısıtılabilir uygulanabilir, birçoğuna bakırın yanına magnezyum ve düşük miktarda diğer elementler eklenir. 2XXX serisi

alaşımların birim ağırlık dayanımının yüksek olması gereken uçak sanayi gibi alanlarda kullanılır [1]. Çoğunlukla uçak tekerlerinde, araçların süspansiyon parçalarında, uçak gövdelerinde ve 150°C 'ye kadar olan sıcaklıklarda dayanım gerektiren parçalarda kullanılmaktadır. Bu alaşımların kaynaklanabilirliği kısıtlıdır ancak bu gruptaki bazı alaşımlar üsten işlenebilirliğine sahiptir [15].

Bu esas metaller genelde yüksek mukavemetli performanslarına uygun düşünülmüş 2xxx serisi ek kaynak metalleriyle kaynak yapılır, ancak bazı uygulama ve istenen çalışma isteklerine uygun 4xxx serisi silisyum ve silisyum-bakır içeren ek kaynak metalleri ile de kaynak edilebilirler [16].



Şekil 2.2. Uçak yapılarında alüminyum alaşımlarının kullanımı [16].

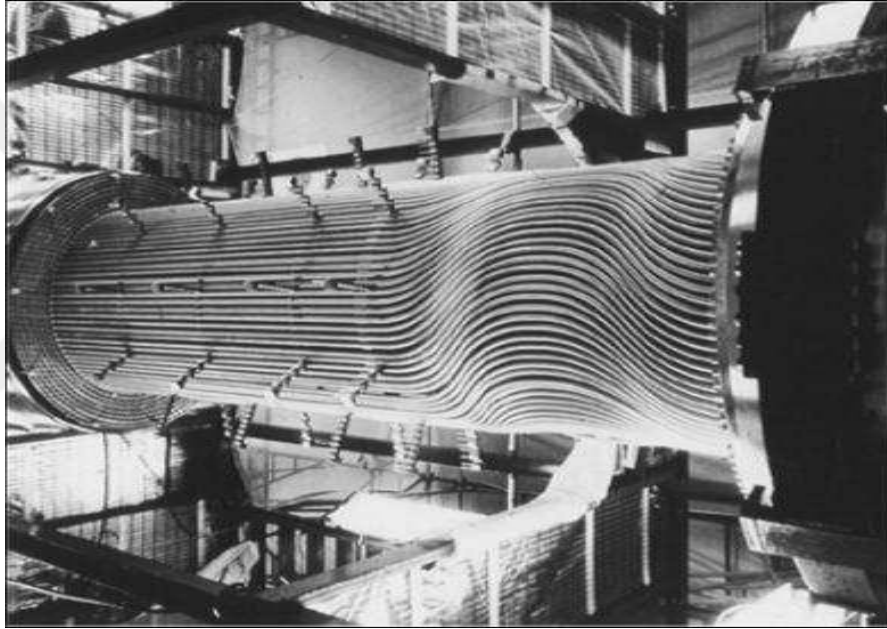
2.3.1.3. Alüminyum alaşımları 3XXX serisi

Bu alüminyum alaşımları ısıtma işlemi uygulanamayan seri alaşımlardır. Al-Si-Cu veya AlMg-Si döküm alüminyum alaşımları birazyaşlandırılabilir. Bu seri en önemlialaşımiise AA3003'tür. Bu alaşım AA1100 alaşımına % 1,25 mangan ilavesi ile oluşturulur. AA3003 alaşımının tavllanmış durum çekme mukavemeti 110 MPa'dır.

Bu da demek oluyor ki mangan ilavesi dayanımı artışı sağlar. Bu alaşımlar iyi işlenebilirliği gerektiği yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır [14].

Bu gruptaki alaşımlar içki kutuları, mutfak gereçleri, ısı değiştirgeçleri, depolama tankları, mobilya, anayol işaretleri, çatı ve kenar kaplamalar ve diğer mimari uygulamalarında kullanılırlar.

Bu esas metaller, kimyasal bileşimleri, çalışma isteklerine bağlı olarak 1xxx, 4xxx ve 5xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak edilebilir [16].



Şekil 2.3. 3003 alaşımının endüstriyel alanda ısı değiştiricilerde kullanımı [16].

2.3.1.4. Alüminyum alaşımları 4XXX serisi

4XXX serisi Alüminyum alaşımlarında ana alaşım elmanı silisyumdur. Si, alüminyuma yeterli miktarlarda (%12'ye kadar) ilave edilerek alaşımın gevrekleştirmeden ergime derecesinin azalmasına neden olur. Bu nedenle, alüminyumsilisyum alaşımları alüminyum birleştirmede esas metalin ergime sıcaklığında daha düşük ergime aralıklarında sert lehim alaşımı olarak ve kaynak telinde kullanılırlar. Bu gruptaki alaşımların çoğuna ısıl işlem uygulanamaz. Fark edilir miktarlarda Si içeren alaşımlar anodik oksitlenmeden sonra koyu gri renge

dönüşür. AA4032 alaşımı düşük ısıl genleşme katsayısı ve yüksek aşınma direncine sahiptir, bu nedenle bu alaşım dövme motor pistonlarının üretimine uygundur.

2.3.1.5. Alüminyum alaşımları 5XXX serisi

5XXX grubunda ana alaşım elmanı alüminyumda çok etkili ve geniş oranda kullanılan magnezyumdur. Magnezyum ana alaşım elemanı olarak veya mangan ile birlikte kullanıldığında ortaya çıkan alaşım orta-yüksek dayanımlı ısıl işlem uygulanamayan alaşımdır. Magnezyum mangandan daha etkili bir sertleştiricidir. % 0.8 civarında magnezyum ilavesi ile elde edilen sertlik değeri yaklaşık % 1.25 mangan ilavesi ile sağlanabilir. Bu gruptaki Al alaşımları iyi kaynak özelliklerinin yanında deniz ortamında iyi bir korozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte, gerilmeli korozyon çatlamasını engellemek için yüksek magnezyumlu alaşımlarda müsaade edilen güvenli işlem sıcaklıklarında (yaklaşık % 3.5 üzerinde magnezyum içeren alaşımlarda 65 °C'nin üzerindeki işlem sıcaklıklarında) ve soğuk deformasyon miktarında belirli kısıtlamalarda, dekoratif ve süsleme amaçlı uygulamalarda, gemilerde ve ev aletlerinde kullanılmaktadırlar [15]. Ayrıca Damperli kamyon gövdeleri, petrol, süt ve tahıl taşımak için geniş tanklar ve özellikle düşük sıcaklıklarda depolama gerektiren basınçlı tanklar başlıca kullanım alanlarıdır [17].

Magnezyum alaşımları genellikle esas metal içindeki magnezyuma, kaynak dikiş bileşimine ve çalışma koşullarına bağlı olarak belirlendikten sonra seçilen ek kaynak metali ile kaynak edilir. Bu serideki % 3.0'dan fazla magnezyumlu alaşımlar, 66°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar için zorlamaya hassasiyeti ve daha sonra gelen gerilmeli korozyon çatlamasına hassasiyeti nedeniyle önerilmez. %2.5'ten az magnezyum içeren esas metaller genellikle 5xxx veya 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile başarıyla kaynak edilirler. 5052 alaşımı genellikle 4xxx serisi bir ek kaynak metali ile kaynak edilebilen en çok kaynak edilebilir esas metal olarak kabul edilir. Ötektik ergime ve zayıf mekanik özelliklerdeki kaynak problemleri nedeniyle bu serideki yüksek oranda magnezyum içeren alaşımlar için 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak yapılması önerilmez. Daha yüksek magnezyum içeren esas

metaller, yalnız esas alaşım bileşimine göre seçilen 5xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak edilir [5].

2.3.1.6. Alüminyum alaşımları 6XXX serisi

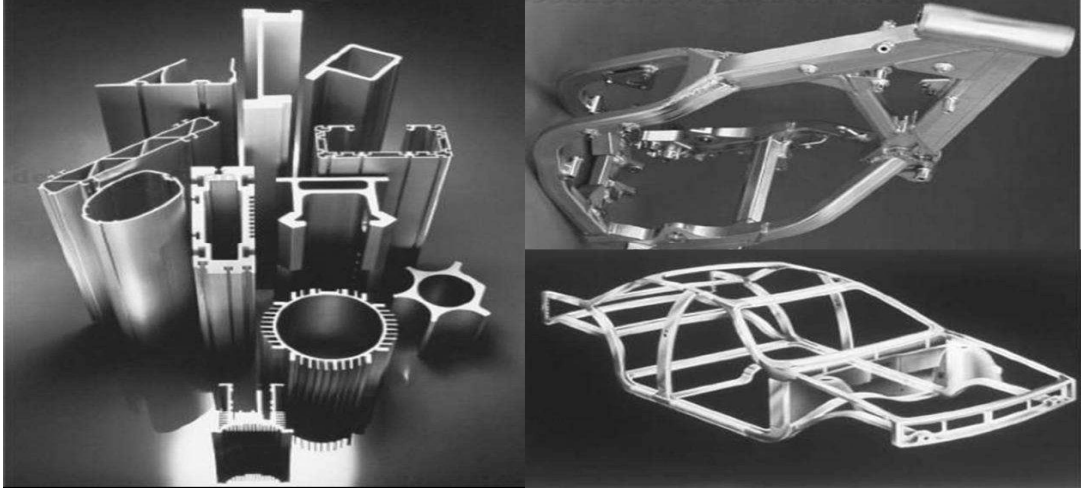
Bu alaşımlar magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) ihtiva ederler. Isıl işlem uygulanabilen ve yaşlandırılabilen alaşımlardır. Mg_2Si (magnezyum silikat) intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ile dayanım artışı sağlar [14].

2XXX ve 7XXX serisi alaşımlar kadar dayanıklı olmasalar da, 6XXX serisi alaşımlar şekillendirilebilen, kaynaklanabilir, işlenebilir ve korozyon dirençli orta dayanıklı alaşımlardır. Mimari uygulamalar, ulaşım endüstrisi, köprüler ve kaynaklı yapılar bu alaşımların uygulama alanlarıdır [15].

Fe, Cu, Mn, Zn gibi belirli sınırlar içinde farklı değerlerde olmaları, alaşımların kullanılma yerine göre farklı özelliklerde profil üretimini sağlar. Demir miktarı % 0,20 veya daha düşük olan alaşımlarda, profil polisaj yapıldığında parlak yüzey elde edilir. Fe miktarının bu değerden yüksek olması durumunda, profil rengi grileşmeye başlar, parlaklık donuklaşır. Mat yüzey elde edilmesi için de demir miktarı en az % 0,18 olmalıdır. Demir miktarı yükseldikçe o ölçüde rahat ve cazibeli mat yüzey elde edilir.

Mg ve Si miktarının, profil yapay yaşlandırma ısıl işlemi sonrası sertliğinde büyük önemi vardır. Ancak, ısıl işlem sonrası maksimum sertlik temini için bu elementlerin üst sınırlarda olması ise, üretimin düşük hız ile yapılmasını gerektirir. Çünkü kullanılan alüminyum kütük (billet) de aynı oranda serttir [2].

Bu alaşımlar doğal olarak çatlama duyarlılığı nedeniyle (ek kaynak metali kullanılmadan) kaynak edilmemelidir. Ark kaynağı yöntemi süresince uygun miktarda ek kaynak metali kullanmak esas metalin ısınmasını sağlar, bu sayede sıcak çatlama problemi önlenmiş olur. Bu alaşımlar, uygulama ve çalışma isteklerine bağlı olarak 4xxx ve 5xxx ek kaynak metallerinin her ikisi ile de kaynak edilirler [15].



Şekil 2.4. 6xxx serisi alaşımların makine elemanı, motorsiklet gövdesi ve otomobil gövdesi olarak kullanımı [16].

2.3.1.7. Alüminyum alaşımları 7XXX serisi

Bu seri alaşımlar ısıtılabilir ve yaşlandırılabilir alaşımlardır. Alaşım elemanı olarak magnezyum (Mg) ve Çinko (Zn) içerir ve temel çökelti $MgZn_2$ intermetalik bileşiminden oluşur. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde yüksek çözünürlüğü yüksek yoğunluklu çözeltilerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı AA7075'tir ve bu alaşım % 5,6 çinko, % 2,5 magnezyum, % 1,6 bakır ve % 0,25 krom ihtiva eder. Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi bir direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı AA7075 alaşımında yapılır [1].

Bu alaşımlar genellikle havacılık, uzay ve spor malzemeleri gibi yüksek performans istenen uygulamalarda kullanılır. 2xxx serisi gibi bu seri de, diğerleri gibi genelde başarıyla kaynak edilirken ark kaynağı için uygun olmayan bazı alaşımlar içermektedir. Genellikle bu serideki 7005 alaşımı gibi kaynak edilebilir alaşımlar çoğunlukla 5xxx serisi ek kaynak metali kullanımıyla kaynak edilirler.

2.3.1.8. Alüminyum alaşımları 8XXX serisi

Demir ve silisyumlu alüminyum alaşımlarıdır. Dökme alüminyumun Sn'lı alaşımları yaşlandırılabilir. Günümüzde micron seviyesine kadar haddelenecek folyo olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründeki gelişim yüksek mukavemet beklentisi ile 8xxx serisi alüminyum alaşımlarının kullanılmaya başlayacağı düşünülmektedir.

2.3.1.9. Alüminyum alaşımları 9XXX serisi

Alüminyum Lityum gibi elementlerle yaptığı yeni bulunan alaşımlarını ifade eden seridir.

2.3.2. Döküm alüminyum alaşımları

Bu tür alaşımların büyük çoğunluğu silisyum içerir. % 11,7 Si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğundan çok üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımın korozyona direnci ve kaynak kabiliyeti de oldukça iyidir. Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır katılması, talaş kaldırma özelliklerini geliştirir, buna karşın, korozyon direncinde azalmaya neden olur [11]. Alüminyuma eklenen alaşım elementleri, alaşımın mekanik özelliklerini değiştirebildiği gibi ısı işlem ve kaynak kabiliyetini de önemli ölçüde etkiler. Bu açıdan, dünyada öncelikle Döküm yöntemi ile üretilen çok sayıda alüminyum alaşımı vardır. Bu alaşımların içerdikleri ana alaşım elementleri ve standart gösterimi Tablo 2.3.'te verilmiştir [15].

Tablo 2.3. Alüminyum döküm alaşımları ve gösterimleri [15].

Alaşım	Gösterim
Al (en az %99 Al)	1XXX
Al-Cu	2XXX
Al-Si (Cu ve/veya Mg'lu)	3XXX
Al-Si	4XXX
Al-Mg	5XXX
Kullanılmayan seri	6XXX
Al-Zn	7XXX
Al-Sn	8XXX

2.4. Alaşım Elementelerinin Alüminyuma Etkisi

2.4.1. Bakırın alüminyuma etkisi

Alüminyumda alaşım elementi olarak kullanılan en eski element olan bakır % 3-12 oranında kullanılır. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elementtir. Isıl işleme tabi tutulmuş veya tutulmamış halde iken alaşımın çekme mukavemetini arttırır. Dövme alaşımlarında % 3-5 arasında kullanılır. % 5'ten fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü ortaya çıkarır. Ayrıca elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürür. Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar. Bu nedenle bakır içeren alüminyum alaşımlarını ısıl işleme çökeltme sertleşmesi ile sertleştirmek mümkündür. Çökeltme için gerekli zaman, alaşımın bileşimine ve sıcaklığa bağlıdır. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökeltme miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır [18,19].

% 12 Cu'ya dek dayancı arttırır, daha fazlası gevreklik yaratır; genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artar [20].

2.4.2. Manganın alüminyuma etkisi

Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır; metallar arası bileşiklerin özelliğini değiştirir; çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini arttırır [20].

2.4.3. Silisyumun alüminyuma etkisi

Alüminyumun alaşımlandırılmasında bakırdan sonra en önemli elementlerden birisi de silisyumdur. Alaşım içindeki silisyum, akışkanlığı arttırmakta buna karşılık sıcak çatlama eğilimini azaltmaktadır. Silisyum en fazla % 13 oranında alaşıma ilave edilebilir. % 3'ten fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi oldukça güçtür. Ayrıca silisyum alaşıma korozyon direnci kazandırmaktadır. Örneğin % 13 silisyum içeren

alüminyum alaşımı deniz ve otomotiv endüstrilerinde korozyon direnci ve şok direnci arzulan parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

2.4.4. Magnezyumun alüminyuma etkisi

Magnezyum ilavesi alaşıma yüksek mukavemet, iyi haddelenebilme kabiliyeti ve işlenebilirlik özelliği kazandırır. Magnezyum katı çözeltileri sertleşmesi yaratmaktadır. Bu da alaşımı yaşlanmaya müsait hale getirmektedir. Dövme alaşımlarda % 1-6 magnezyum ilavesi şekil verme kolaylığı için kullanılır. Magnezyum ihtiva eden alaşımların dökümü zordur. Katı çözeltileri sertleşmesi yaratır; % 6'dan fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökeltme sertleşmesi olur; dökümleri zordur [19].

2.4.5. Çinkonun alüminyuma etkisi

Alaşımında manganın dökülebilirliği arttırmasına karşılık çinko dökülebilirliği düşürmektedir. Aynı şekilde silisyumun çatlama eğilimini azaltmasına karşılık yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirler. % 10 Zn'den yüksek alaşımlar gerilim yenimi çatlama göstermesine karşılık diğer alaşım elementleri ile birlikte bulunması halinde dayanımı çok arttırmaktadır. % 3 Zn'den daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında belirgin bir etkisi görülmez [19].

Dökülebilirliği düşürür; yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler; % 10 Zn'dan yüksek gerilim yenimi çatlama gösterir; diğer alaşım elementleri ile birlikte dayanımı çok arttırır; % 3 Zn'dan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarda belirgin bir etkisi yoktur.

2.4.6. Demirin alüminyuma etkisi

Alüminyum cevherlerinde doğal katısı olarak bulunur; az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayanımı arttırır; dökümleri sıcak çatlama eğilimlerini azaltır [20].

2.4.7. Geçiş metallerinin alüminyuma etkisi

Alüminyumda geçiş metalleri krom, titanyum ve zirkonyum vb. dir. Katı eriyikte bulunan geçiş metalleri alüminyumdaki ana alaşımlandırma elementlerinin dengeli çözünürlüğünü düşürmektedir. Bu nedenle geçiş metalleri katı eriyiğin dayanımını artırmalıdır. Bununla birlikte katı alüminyum eriyiğindeki geçiş metallerinin atom bağlarını güçlendirdiğini ve atomların difüzyon hareketini azalttığını savunan görüşler de vardır. Bu görüşe göre geçiş metalleri eriyiğinin dayanımını artırmalıdır. Ancak alüminyumdaki çinko ve magnezyum katı eriyiğinin dayanımı geçiş metalleriyle alaşımlandırıldığında düştüğünü deneyler göstermektedir. Buna göre çözünürlüğün artmasını savunan görüş daha doğru çıkmaktadır. Krom ve zirkonyum için de yaklaşık aynı şeyler söylenebilir [21].

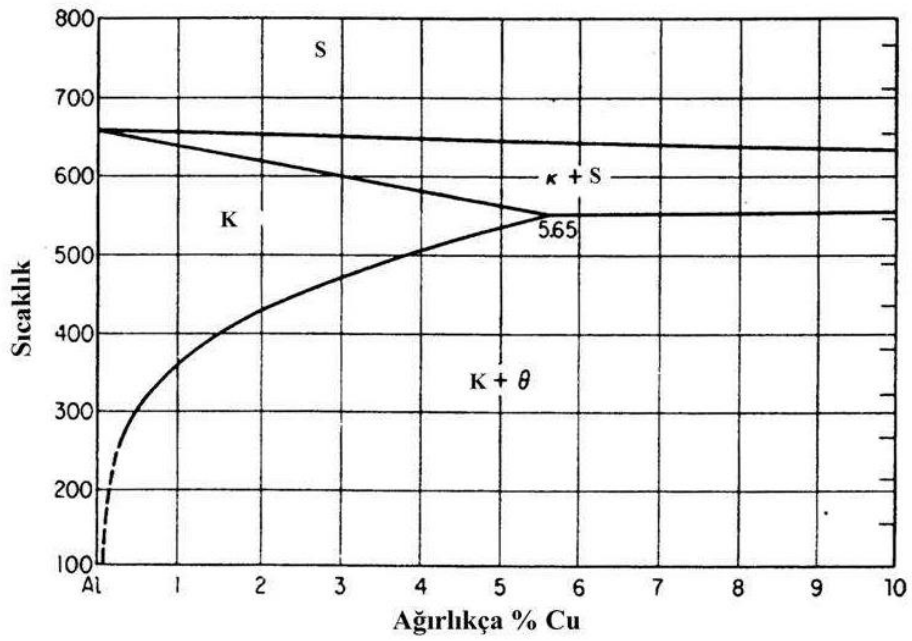
2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının faz diyagramları

Alüminyuma katılan alaşım elementleri mekanik özellikleri geliştirir. Özellikle mukavemet artar. Alüminyuma katılan başlıca alaşım elementleri magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko ve bazı durumlarda da nikel ve titanyumdur. Alaşım elementleri, alüminyum içinde üç farklı durumda bulunabilirler

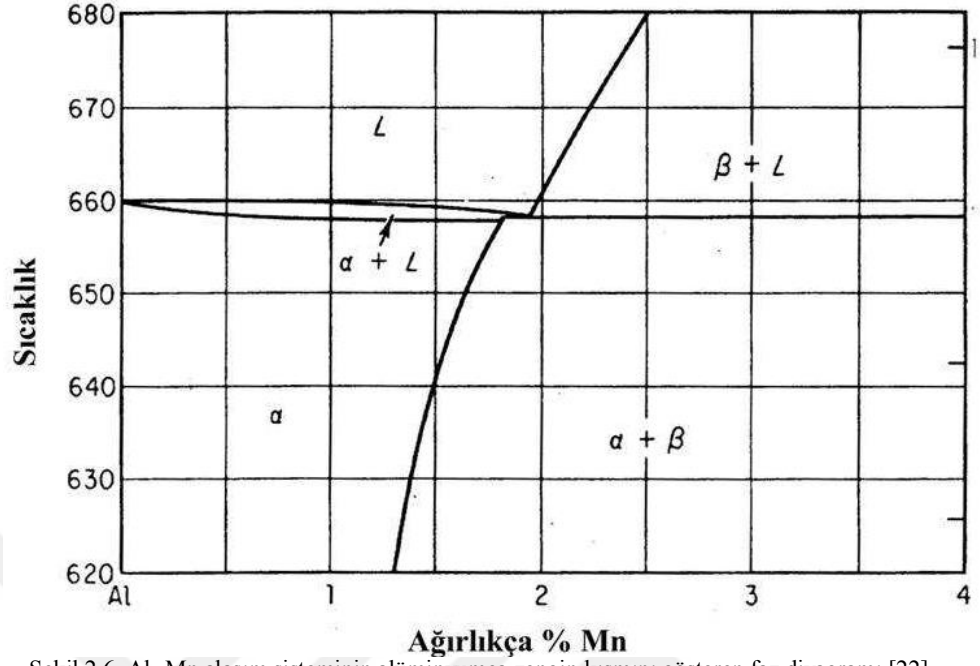
Alüminyum içinde katı durumda çözünebilirler. Katı durumda alüminyum içinde çözünmeyip veya sınırlı miktarda çözünüp, mekanik bir karışım oluşturabilir. Alüminyum ile veya kendi aralarında metaller arası bileşik veya kimyasal bileşik oluşturabilir [22].

Alüminyuma katılan alaşım elementlerinden genellikle malzemenin şekil değiştirme kabiliyetini ve korozyon direncini etkilemeden mukavemet özelliklerini geliştirmesi beklenir. Alüminyuma çok az miktarda katılan Mn, Mg, Si, Cu ve Zn, alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alarak katı ergiyik oluştururlar ve kristal kafesin kaymaya karşı direncini yükseltirler; bu şekilde şekil değiştirme kabiliyeti fazla etkilenmeden akma mukavemeti yükseltilmiş olur. Alaşım elementlerinin miktarlarının artması ile bunların, alüminyum içinde çözünemeyen

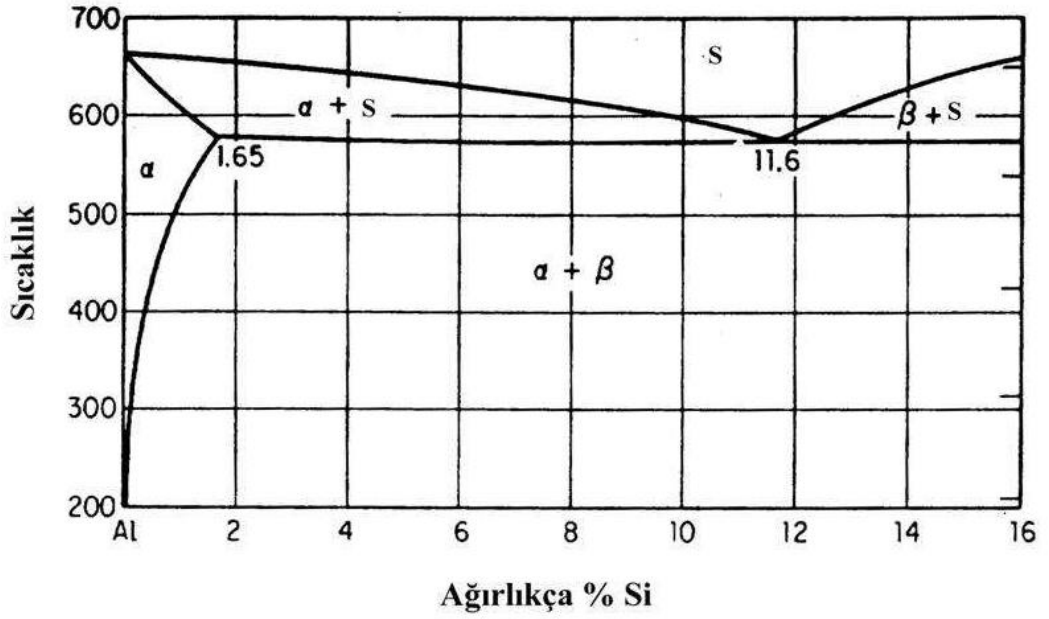
kısmı sert kırılğan metaller arası bileşikler ve ara fazlar oluşturur ve böylece mukavemet daha da yükselir ama şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Alüminyumun, alaşım elementleri ile oluşturduğu katı ergiyik, yüksek sıcaklıklarda, oda sıcaklığına nazaran daha fazla alaşım elementini çözebilir ve bu nedenle yüksek sıcaklıktan itibaren soğuma sırasında ikincil ayrışmalar ortaya çıkar. Bu olaydan yararlanılarak bazı alüminyum alaşımlarına ayrışma veya çökeltme sertleştirmesi denilen bir ısı işlem uygulanarak mukavemetleri, alaşımsız çelikler kadar yükseltilebilir [22].



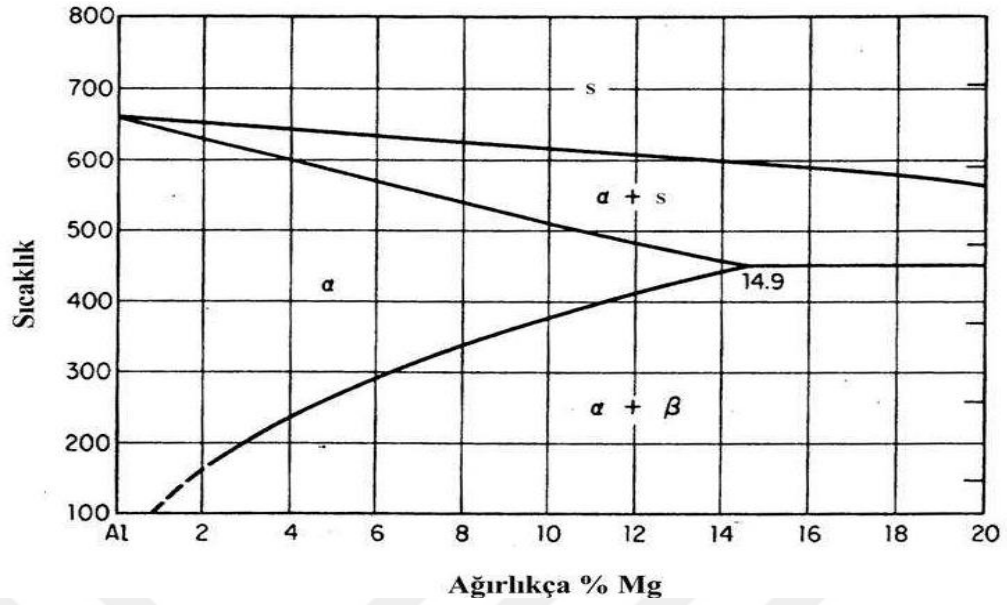
Şekil 2.5. Cu- Al alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı [22].



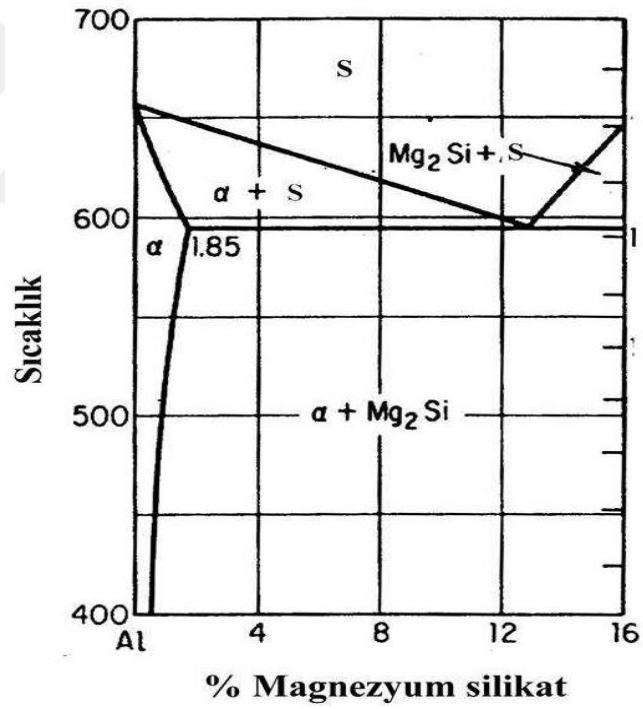
Şekil 2.6. Al- Mn alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı [22].



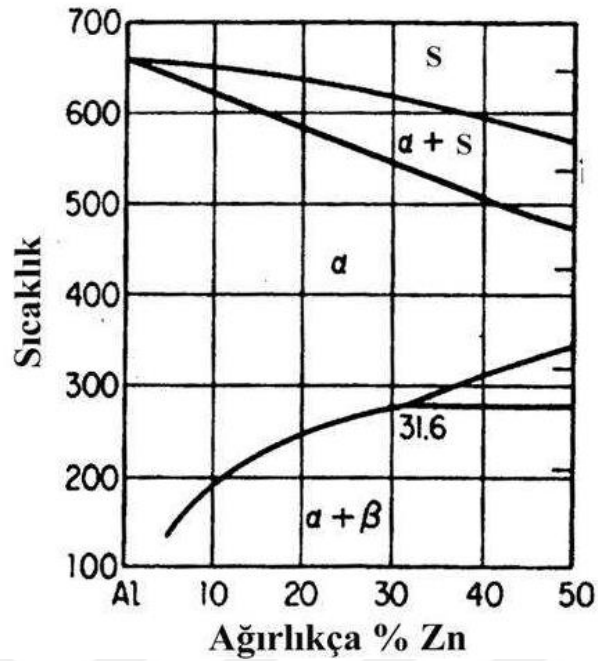
Şekil 2.7. Al- Si alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı [22].



Şekil 2.8. Al- Mg alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı [22].



Şekil 2.9. 10Al- Mg₂Si alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren diyagram [22].



Şekil 2.10. Al- Zn alaşım sisteminin alüminyumca zengin kısmını gösteren faz diyagramı [22].

2.6. Üretim Yöntemleri

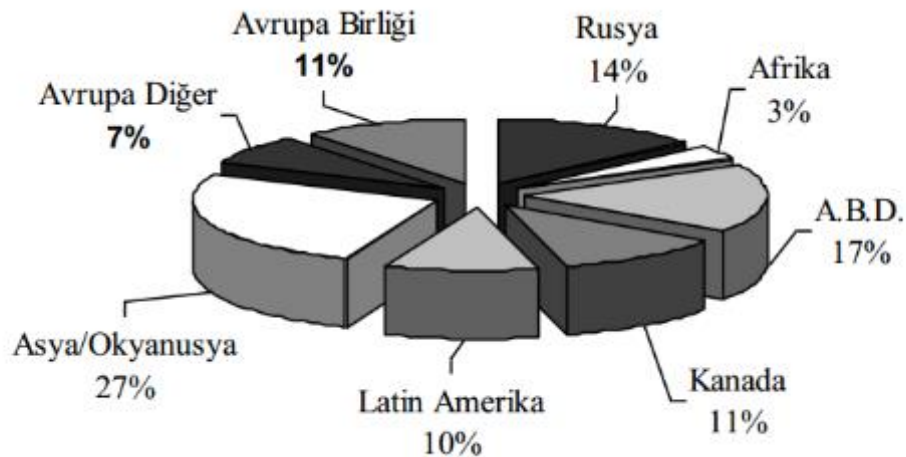
Bir asırdan kısa bir zamanda alüminyum hem üretim hem de kullanım açısından dikkate değer bir gelişme göstermiş ve günümüz endüstrisi için önem açısından çelikten sonra ikinci sırayı almıştır. Alüminyum üretimi birincil ve ikincil alüminyum üretimi olarak iki bölümde gelişme göstermiştir.

Alüminyum, yeryüzünün bileşiminde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olarak dünya kabuğunun yaklaşık % 8'ini teşkil etmektedir. Alüminyumun oksijene karşı afinitesinin yüksekliği sebebiyle doğada saf halde bulunmaz. Bu nedenle alüminyum eldesi alüminyum silikat, demir oksit ve alüminyum oksitten oluşan boksit cevherinden yapılır. Boksit yeryüzünde oldukça geniş bir yayılım gösterir. Ancak en geniş kaynaklar tropik ve alt tropik kuşaklarda bulunmaktadır [23].

En önemli boksit kaynakları olarak günümüzde Avustralya, Jamaika, Gana, Endonezya, Brezilya, Çin ve Rusya'daki yataklar işlenmekte, alüminyum endüstrisinde kullanılan boksit cevherinin % 80'i bu kaynaklardan gelmektedir.

Avrupa'daki önemli üreticiler Yunanistan, Yugoslavya, Fransa ve Macaristan olarak dünya toplam üretiminin yaklaşık % 14'ünü oluşturmaktadır. Alüminyum, boksit içinde ve kaynağın bulunduğu bölgeye bağlı olarak, mono-hidrat oksit ($Al_2O_3H_2O$) veya tri-hidrat oksit ($Al_2O_33H_2O$) olarak bulunur. Avrupa boksitleri, Avustralya ve tropik bölgelerinden farklı olarak genellikle mono-hidrat tipindedir. Boksit cevherlerinin en sık rastlanan minareleri Diaspor, Böhmit, Hidrargilit gıbsit örnek olarak verilebilir [23].

Alüminyum günümüzde hala ilk endüstriyel üretimin başlarında geliştirilen proses ile boksitten üretilmektedir. Bu metot iki farklı safhaya ayrılır; birincisi boksitten alümina üretimi için Bayer Prosesi, ikincisi ise bundan alüminyum üretimi için Hall-Heroult Prosesi'dir.



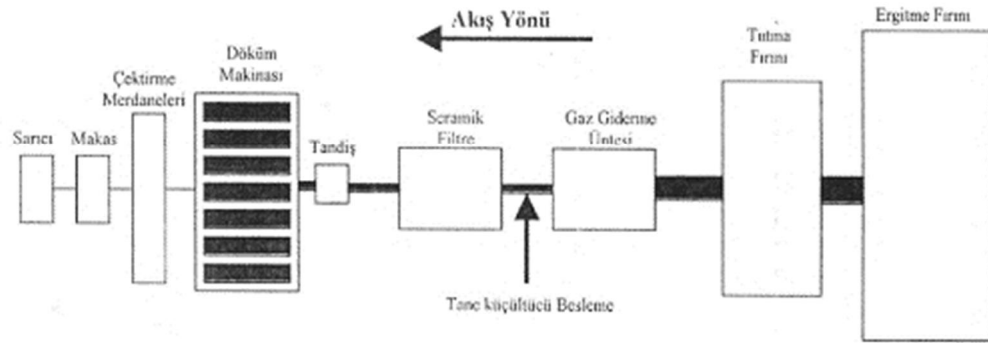
Şekil 2.11. Dünya birincil alüminyum üretimi dağılımı [23].

Günümüzde birincil alüminyum üretiminde yaygın olarak kullanılan boksit cevheri, yerküre yüzeyinin kazınması ile çıkartılır ve % 5–30 arasında nem içerir. Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur. Madenden çıkarılan boksit cevheri, öncelikle kırılır, kurutulur ve sıvı kostik soda ile karıştırılıp otoklav adı verilen basınçlı tanklarla pompalanır. Bu tanklarda yüksek sıcaklık ve basınçta işleme tabi tutulur. Daha sonra takip edilen yol filtrasyon, çöktürme işlemleri sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve döner fırınlarda alüminyum hidroksitin

kalsinasyonu ile alümina (alüminyum oksit) elde edilir. Kalsinasyondan çıkan alümina (Al_2O_3) beyaz toz halinde elektrolizhaneye pompalanır. Beyaz bir toz görünümündeki hammadde olan alümina ile birlikte kok, zift karışımından oluşan anot pasta ve elektroliti oluşturan kriyolit (Na_3AlF_6) elektroliz işleminin yapılacağı hücreye yüklenir. Alüminanın yüksek ergime sıcaklığından (2000 °C'nin biraz üzerinde) kaynaklanan üretim güçlüğünü aşmak için; alümina ergitilmiş kriyolit ile karıştırılarak elektroliz hücrelerinde alüminyum redüksiyonu gerçekleştirilir. Burada amaç, alüminyum oksijenden ayırmaktır. DC akım uygulandığında, sıvı metal, astarı negatif kutup (katot) olarak oluşturulmuş fırının altında toplanır. Pozitif kutup (anot), ergimiş banyoya batırılan karbon bir bloktur (genelde Soderberg elektrotları) ve etrafında açığa çıkan oksijen tarafından yavaşça yakılır. Karbon, böyle yüksek sıcaklıklarda ergimiş banyo atağına ve hatta sıvı alüminyum atağına doğal olarak direnç gösterebilen tek iletkenidir. Genel olarak ağırlıkça 4 ton boksitten, 2 ton alümina ve 2 ton alüminadan da 1 ton alüminyum elde edilir.

Birincil alüminyum üretiminde en önemli faktör, yeteri kadar elektrik enerjisinin uygun maliyette temin edilmesidir. Alüminyum üretim teknolojisi geliştikçe, ilk zamanlarda üretilen birincil alüminyumun her tonu için 42.000 kwh olan enerji sarfiyatı, günümüzde ortalama 16.500 kwh değerine düşmüştür. Bu değer, en modern teknoloji ile çalışan tesislerde 13.000 kwh/t değerlerine kadar düşürülmüştür.

Yukarıda sözü edilen işlemler ile elde edilen alüminyum birincil alüminyum (primary aluminium) olarak tanımlanır. Alüminyum daha sonra yarı ürün ve ürüne dönüştürülmek üzere, gerekiyorsa alaşımlandırılarak külçe (ingot), T-ingot, yassı ürün ingotu veya ekstrüzyon ingotu (bilet) halinde dökülür. T- ingot ve slablar en alışılmış işlem formlarıdır ve genellikle bir yarı sürekli su soğutmalı döküm prosesiyle üretilir. Bu prosesler mikro kristalin tane boyutunu, optimum metalurjik özellikleri ve kimyasal kompozisyon homojenitesini sağlayacak hızlı soğuma etkisini sağlarlar. Yarı-sürekli döküm tekniğinin yanında sürekli döküm tekniği de mevcuttur. Genelde bilet üretim sistemine adapte edilmiştir. Diğer sürekli döküm uygulamaları ise Hunter Eng., Hazelett, Pechiney ve Alussuisse döküm makinesi gibi birçok üretici firmalar tarafından yapılmıştır.



Şekil 2.13. Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması [25].

Şekil 2.13.'de görüldüğü gibi hammadde (hurda+ingot+slab) sıvı metali oluşturmak için ergitme fırını beslenir. Ergitme fırını sıvı metal oluşturularak tutma fırınına transfer edilir. Ergitme ve tutma fırınlarında sıvı metal içerisine belirli elementler ilave etmek suretiyle alüminyum alaşımı hazırlanır. Alaşım hazırlama işleminde sıvı metalin bileşimi en önemlisidir. Metal sıvı haldeyken numune alınarak bileşim belirlenir ve alüminyum içerisindeki elementlerin çözünürlükleri dikkate alınarak master alaşımları şeklinde çözeltiye ilave edilir. Alüminyum içerisinde istenmeyen bileşikler alabilmek için flaks kullanılır. Flakslar; inorganik özellikte olup gaz giderme, temizleme, oksidasyon, deoksidasyon, rafinasyon fonksiyonlarına sahiptir. Flaks kullanımının ana nedeni metalin ergimesi anında metal kayıplarını önlemek, gazların banyo tarafından absorbe edilmesine karşı koymak ve metali temizlemektir. Alüminyum alaşımlarında dört temel flaks türü vardır [24]. Bunlar; örtü flaksları, temizleyici flakslar, metal geri kazanım flaksları ve rafinasyon flakslarıdır. Flakslar inert gaz taşıyıcısı kullanılarak mekanik bir cihaz ile ergimiş metalin içine verilirler

Sıvı alüminyum fırından döküm makinesine götürmek için refrakter yolluklar kullanılır. Refrakter malzemeden beklenen en önemli özellikler; düşük termal iletkenlik, iyi termal şok dayanımı, operasyon sıcaklığında boyutsal kararlılık, kalınlık boyunca yüksek mekanik mukavemet, mükemmel ısıtımama özelliği, kolay montaj için düşük ağırlık, ergimiş alüminyumdan daha düşük yoğunluk ve kolay temizlenebilirliktir [24].

Tutma fırınında yolluklarla sıvı metal ergimiş alüminyumdaki alkali safsızlıkları alabilmek için gaz giderme ünitesine gelir. Daha sonra metalik ve metalik olmayan inklüzyonlar seramik filtrelerde sıvı metalden uzaklaştırılır. Alüminyum alaşımındaki inklüzyonlar; oksitler (Al_2O_3 , MgO), spinel (Mg_2 , AlO_4), boritler (TiB_2 , VB_2), karbürler (TiC , Al_3C_4), intermetalikler ($MnAl_3$, $FeAl_3$), nitritler (AlN) ve dış refrakter inklüzyonlarıdır. Seramik filtre yüzeyinde bir kek tabakası oluşarak $30\ \mu m$ 'den büyük partiküller yakalanır. Temizlenen metal tandiçe gelerek seviye kontrolü altında tip aracılığıyla döküm makinesine ulaşır [25].

Sürekli levha döküm tekniğinin hem ekonomik hem de metalurjik açıdan diğer yöntemlere nazaran getirdiği bazı avantajlar vardır. Söz konusu proses, katılaşmayı ve sıcak haddelemeyi tek bir operasyonla birleştirerek rulo ürettiğinden geleneksel rulo üretiminde gerek duyulan ilave bir sıcak haddeleme işlemine ya gerek kalmaz veya belirgin bir şekilde azalır [25].

Sürekli levha döküm tekniği için gerekli yatırım maliyeti, geleneksel ingot-döküm sıcak haddeleme prosesi için gerekenden çok daha azdır. Metalurjik açıdan bakıldığında, prostedeki yüksek katılaşma hızı levhaların saf bir metalurjik mikroyapıya sahip olmasını sağlar. Oluşan mikroyapı; rafine dendritik hücreler ($5\ \mu m$ civarında), ince intermetalik taneler ($1\ \mu m$ boyutunda), katı çözünlükteki artış ve yarı kararlı fazın varlığı ile karakterize edilir [25].

Sürekli levha döküm tekniği katılaşma ve deformasyonun aynı anda ele alındığı bir yöntemdir. Rulo üretimi için mevcut diğer prosesler yalnız katılaşmayı içermekte, deformasyonu içermemektedir. Yalnız katılaşma teknikleri; yüksek verimlilik, alaşım kısıtlaması olmayışı, nispeten düşük katılaşma oranları ve yüzey hatalarına duyarlılık ile karakterize edilirler.

Sürekli levha döküm tekniğinde bazı alaşımlarda, belirli sıcaklık ve seviyedeki ergimiş alüminyum, döküm makinesinde tandiçe gelmeden önce gaz giderme ve filtrasyon işlemlerine tabi tutulur. Tandiç, metali döküm makinesinin merdanelerine veren ve tip olarak bilinen nozula bağlıdır. Tip bir çeşit seramik malzemedir oluşmakta ve dökülen

levhanın genişliğini oluşturmada bir kalıp görevi görmektedir. Ergimiş metal birbirine ters yönde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa beslenir. Bu sebeple, levha sürekli döküm tekniği “İkiz Merdane Döküm Yöntemi” (Twin-Roll Casting – TRC) olarak da bilinir. Döküm merdanelerinin 15° açı yapması, tandiştaki metal seviyesiyle ergimiş metalin tipten çıkış basıncının arasındaki dengenin ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu özellik, metalin tip nozulundan döküm merdanelerine düzgün akışını sağlamaktadır. Döküm merdaneleri arasındaki mesafe hidrolik bir sistemle sabit tutulmaktadır. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin ekseni arasında belli bir mesafe vardır. Böylece bir proseste döküm merdaneleri, metali katılaştırmanın yanında belli oranda sıcak haddeleme de yaparlar. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin ekseni arasındaki mesafeye “tip ekseni” denir. Merdanelerin yüzeyine, levhanın merdanelere yapışmasını önlemek amacıyla sürekli olarak su bazlı grafit veya boron nitrat püskürtülür [25].

Döküm makinesinden çıktıktan sonra levha, rulo halinde sarılmadan önce gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyonda gergi merdaneleri çalıştırılmaz. Çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli gergi kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde gergi merdaneleri dökülen levha üzerinde gergi kuvveti oluşturmak amacıyla çalıştırılır, levha makasla kesilir ve operasyonun akışı etkilenmeden rulo sistemden alınır. Kesilen uç sarıcıya ulaştığında sarıcının yarattığı gergi kuvveti yeniden sağlanmış olur ve gergi merdaneleri durdurulur. Tablo 2.4.’de sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları görülmektedir.

Sürekli levha döküm tekniğinin avantajları, iyi yüzey kalitesi, ince tane yapısı, uygun kalınlık ve profil dağılımı ve ilave sıcak haddeye gerek olmayışı olarak verilebilir. Dezavantajları ise; düşük verimlilik ve sınırlı alaşım kapasitesidir. Levha döküm tekniği ile donma aralığı dar alaşımlar üretilmektedir. Alaşımların donma aralığı arttıkça verimlilikte azalma görülmektedir [25].

Tablo 2.4. Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları [24].

1050	1060	1100	1145	1188	1190	1193	1199
1200	1230	1235	1345				
3003	3004	3005	3006	3105			
5005	5010	5034	5050	5052	5056		
5083	5085	5086	5154	5182	5252	5254	5356
5454	5456	5457	5652	5657			
6063							
7072							
8006	8010	8011	8014	8111			

Sürekli levha döküm tekniğinde birbiri ardına oluşan katılaşma ve sıcak haddeleme sonucu ortaya karakteristik bir mikroyapı ortaya çıkar. Bu mikroyapı geleneksel D.C. ingot ve sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen levhaların mikroyapısından farklıdır. Sürekli levha dökümünde oluşan hızlı katılaşma ve deformasyon sayesinde tane boyutu küçük levhalar elde etmek mümkündür. Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında sürekli dökülmüş levhadaki intermetalik partikül boyutunda % 80'lik bir küçülme vardır. Sürekli dökülmüş alüminyum levhada homojen olmayan bir partikül dağılımı görülmektedir [25].

Sürekli dökülmüş levhanın döküm makinesinde çıktığındaki düşük sıcaklığı (ortalama 300 °C), döküm esnasında oluşan sıcak haddelemede malzemenin tamamıyla yeniden kristalleşmesine izin vermez. Bu ise sürekli dökülmüş levhada kalıntı gerilmelerin oluşmasına yol açar.

Sürekli dökülmüş alüminyum levhanın kendine has mikroyapısı bu malzemenin bazı kullanım alanlarında özellikle tercih edilmesine neden olmaktadır. Örnek olarak harddisk üretimi verilebilir. Harddisklerin hafıza kapasitesi büyük oranda bilgilerin manyetik olarak yazılıp sonrada okunabileceği minimum alana bağlıdır. Bu alan manyetik kaplamanın kalınlığı ve düzgünlüğüne bağlı olmakta, bu da harddiskin yüzey kalitesi ile doğru orantı göstermektedir [25].

2.7. Alüminyum Alaşımları Kaynak Yapılabilirliği

Yüksek mukavemet ağırlık oranı, korozyon direnci ve yüksek geri dönüşüm oranı sayesinde alüminyum ve alüminyum alaşımları birçok üretimde tercih edilen ürün haline gelmiştir. Önceleri, kaynağında zorluk yaşanan alüminyum ve alüminyum alaşımları bindirme birleştirme yöntemlerini kullanarak değerlendirilmekteydi. Kaynak teknolojisindeki gelişmeler sonucunda alüminyum ve alüminyum alaşımları özellikle son 20 yılda, gemi inşa endüstrisinden, raylı sistemlere, havacılık ve uzay endüstrisinden, zırhlı sistemlere, otomobillere kadar geniş yelpazede kullanım alanı bulmuştur [25].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı, az karbonlu çelikler ile karşılaştırıldığında bazı zorluklar göstermesine karşın, gerekli önlemler alınarak uygun bir kaynak bağlantısı elde etmek olanağı vardır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağını çelikten farklı kılan bir dizi özellikler vardır;

Oksitlerinin kaynama noktaları farklıdır. Çeliklerde, demir oksit'in kaynama noktası metalin kaynama sıcaklığına yakın yada daha düşüktür. Alüminyum oksit için bu değer, bazı alaşımlarda yaklaşık 1400 °C yukarıdadır, 2060 °C 'dir. Bu durum kaynağın uygulamasında önemli bir yere sahiptir. Kaliteli kaynak elde edebilmek için bu tabakanın kaynak öncesinde ve esnasında uzaklaştırılması gerekmektedir.

Alüminyum üzerindeki bu oksit filmi dayanıklı, inatçı ve kendini yenileyen bir yapıya sahiptir. Bu durum alüminyum ve alüminyum alaşımlarına yüksek korozyon direnci sağlarken oksit tabakasının kalınlığının kontrol altında tutulması işlemi (anodize) ile bu direnç daha da arttırılabilir.

Alüminyum manyetik özelliğinin olmaması nedeniyle ark üfleme sorunu ortadan kalkmaktadır. Alüminyum artan sıcaklıkla çelik gibi renk değiştirmediğinden erime bölgesinin takibi daha zordur. Bunun için çelik kaynakçılarının alüminyum aynağına geçişinde yeniden eğitimini zorunlu kılmaktadır.

Alüminyumun termal genişleme katsayısı çeliğin yaklaşık iki katıdır ve bu durum kaynak esnasında kabul sınırlarının dışında eğilme ve bozulmaya neden olmaktadır.

Alüminyum elastisite modülü çeliğin üçte biridir. Dolayısıyla yük altında çeliğin üç katını aktarırken, ani yük altında çelikten üç kat daha fazla enerji absorbe etme yeteneğine sahiptir.

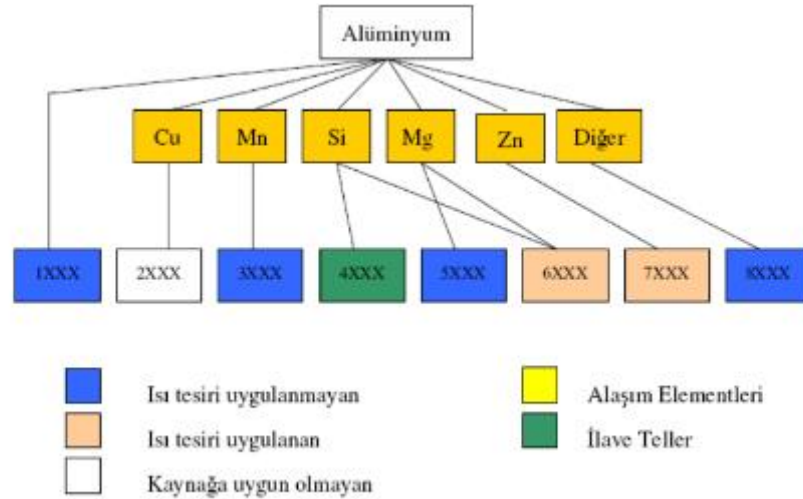
Alüminyumun ısı iletim katsayısı çeliğin yaklaşık 6 katıdır. Bundan dolayı alüminyumun kaynağı için kullanılacak ısı kaynağı daha yoğun ve konsantre olmalıdır. Özellikle kalın parçaların kaynağında kaynak nüfuziyetinin yetersiz kalmasına sebep olabilmektedir.

Alüminyum yüzey merkezli kübik kristal yapısı sebebiyle sıcaklığın düşmesiyle çentik darbe mukavemetinde düşme gözlenmez. Bazı alüminyum alaşımlarda sıcaklığın düşmesi ile çekme dayanımı ve süneklik artmaktadır, örneğin EN-AW 5083 (AlMg4,5Mn) - 200 °C'de bir süre çalışması ile uzama değerlerinde % 60 artış görülmektedir. Bu kristal yapısı aynı zamanda biçimlendirmenin çok iyi olması anlamına gelmektedir [25].

Alüminyumun ısı katsayısı (bir maddenin sıcaklığını arttırmak için gerekli ısı miktarı) çeliğin iki katıdır.

Alüminyumun kristal yapısı çelikte olduğu gibi ısınma ve soğuma esnasında değişim göstermemektedir. Soğuma hızının çelikte gösterdiği muhtemel sertleşme etkisi alüminyumda gözlenmez ya da çok az seviyede gözlenir.

Alüminyumun elektrik direnci çeliğin 6 katıdır. Bundan dolayı özellikle direnç nokta kaynağında sorun oluşturmaktadır [25].



Şekil 2.14. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirlikleri [25].

2.7.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafiflik (çeliğe oranla yaklaşık 1/3 yoğunluk), yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci, kolay şekillendirilme ve birçok kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirlikleri nedeniyle yapı malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Alüminyum ve alüminyum alaşımların kaynağını çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar; yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası, yüksek ısıl iletkenlik ve genişleme katsayısı, ergime sıcaklığına yaklaşırken renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir. Bu özellikler; alüminyum kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının geliştirilmeye başladığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gazaltı kaynak yöntemleri olarak adlandırılan TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin keşfedilmesi ve gelişimini sağlamış, alüminyum alaşımların kesimi için plazma arkı kullanılması ile başlayan süreçte plazma ark kaynağının alüminyum ve alüminyum alaşımlarında kullanımı gündeme gelmiş ve bu amaçla kullanım için plazma ark kaynağı geliştirilmesine yol açmıştır. Daha önceleri gaz ertitme kaynağı (oksi - asetilen) ve örtülü elektrod ile ark kaynağı yöntemleri uygulaması ile alüminyum ve alüminyum alaşımları sınırlı olarak kaynak edilebilmekteydi. Gazaltı kaynak yöntemlerinin geliştirilmesi, daha kaliteli bağlantıların oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri daha da geliştirilerek yüksek akımlı

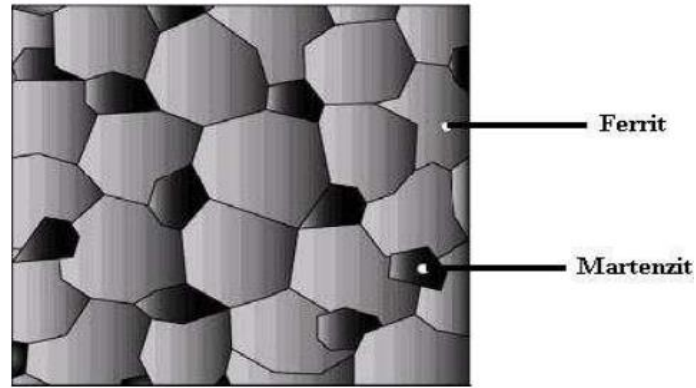
MIG, ince tel MIG, darbeli MIG, CMT MIG, doğru akım helyum TIG, çift gaz koruyuculu TIG, değişken kutuplu plazma ark kaynağı, lazer ışın kaynağı, vida kaynağı, direnç kaynağı gibi türleri ortaya çıkmıştır. Bunun yanında ilave ısı girdisinin olmadığı basınç altında kaynak edilen parçalarda plastik deformasyon sonucu malzemelerin birleştirildiği katı faz kaynak yöntemleri de geliştirilmiştir. Katı faz kaynak yöntemleri, ultrasonik kaynak, patlamalı kaynak, difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı olarak sıralanabilir [22].

Ergitme esaslı yöntemler ve katı faz kaynak uygulamalarında karşılaşılan sorunların iyileştirilmesi amacıyla bu kaynak yöntemlerden iki tanesinin aynı yöntemte kullanılması sonucu ortaya yeni bir yöntem çıkmıştır. “Hibrid” olarak adlandırılan bu yöntemler sayesinde daha yüksek kaynak hızı, daha düşük termal bozunma, daha kararlı yöntemler, daha iyi boşluk doldurma kabiliyeti ve sonuç olarak daha iyi kaynak özellikleri elde edilmiştir [26].

BÖLÜM 3. DUAL FAZ ÇELİKLERİ

3.1. Dual Fazlı Çeliklerin Tanımı ve Ferritik – Perlitik Çelikler ile Karşılaştırılması

Dual fazlı çelikler, mikroyapılarında ferrit matrisi içinde adacıklar şeklinde martenzit fazı içeren düşük karbonlu, düşük alaşımlı veya alaşımsız yüksek mukavemetli çelik türüdür. Bir çok çelik türü çift fazlı olmasına rağmen özellikle dual faz teriminin kullanılması bu çeliklerin üretiminde kullanılan ısıl işlemlerin özelliğinden ve sonuçta elde edilen optimum mekanik özelliklerden kaynaklanmaktadır. Dual fazlı çelikler esas olarak, düşük alaşımlı veya alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin Fe–C denge diyagramındaki A1–A3 sıcaklık aralığında (ferrit+östenit bölgesinde) bir süre tutulup, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin uygun hızdaki soğutma ile martenzite dönüştürülmesiyle elde edilir [27].



Şekil 3.1. Dual faz mikroyapı şeması [27].

Uzun zamandan beri bilindiği gibi, çeliğin karbon miktarındaki artış, mukavemeti artırırken şekil verme kabiliyetini düşürür. Karbon miktarını düşük tutup, mangan ve nikel gibi alaşım elementlerini arttırarak, mukavemet ve tokluk arttırılabilir. Bu metotla birçok yüksek mukavemetli az alaşımlı çelik üretilmiştir [28].

HSLA çelikleri, katı eriyik sertleştirilmesiyle çok küçük taneli ferrit içerisinde ince V ve Nb nitrokarbürler çökelmiş olan perlitik çeliklerdir. Bu çeliklerde ferritin mukavemeti yüksek olmasına rağmen sünekliği düşüktür. Ayrıca perlitte bulunan sementit şekil değiştirme kabiliyetine sahip değildir. Dual fazlı çeliklerde ise ferritin sünekliği çok yüksektir. Deformasyon sırasında önce ferrit şekil değiştirir ve sertleşir. Ferritin mukavemeti belli bir sınırı aşınca martenzit (hem su verme ile oluşan, hem de kalıntı östenitten oluşan) deformasyona uğrar. Martenzit ile perlit arasındaki sertlik farkından ziyade dual fazlı çelikteki ferritin daha sünek olması HSLA ve dual fazlı çelikler arasındaki farkı doğurur. Ayrıca dual fazlı çeliklerde plastik şekil verme bir miktar mikroyapı elemanları arasında dağıldığı için plastik deformasyon HSLA çeliklerden daha geç olur. Hem sünekliği yüksek hem de boyun vermenin geç teşekkül etmesinden dolayı dual fazlı çeliklerin şekillendirilmeleri HSLA çeliklerinden daha iyidir [29].

Genel olarak eşit çekme mukavemetindeki ferritik – perlitik çeliklerden (HSLA ve düşük karbonlu çelikler) daha yüksek sünekliğe sahip olan dual fazlı çeliklerin gerilme birim şekil değiştirme eğrilerinde elastik deformasyondan plastik deformasyona geçerken süreksiz akma olayının meydana gelmemesi ve düşük deformasyon oranlarında deformasyon sertleşmesi hızının yüksek olması, bu çeliklerin özellikleri arasındadır. (Akma mukavemeti / Çekme mukavemeti) oranı düşük ve biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan dual fazlı çelikler, yüksek (Mukavemet / Ağırlık) parametresine de sahip olduklarından taşıt ağırlığını ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmak amacıyla 1975 yılı sonlarına doğru otomotiv endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır [30].

3.2. Dual Faz Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yapılarındaki sert martenzit fazından dolayı mukavemeti yüksek, sünek ve ince ferrit tanelerinden dolayı şekil verilebilme yeteneği iyi olan dual fazlı çelikler. Sürekli akma davranışı, düşük akma/çekme dayanımı oranı, yüksek plastik deformasyon sertleşmesi oranı, yüksek uniform ve toplam % uzama değerleri gibi özellikler ile karakterize edilirler [31].

Dual fazlı çelikler akma uzaması göstermediğinden dolayı Luders bantları oluşmadığından şekillendirilen parçaların yüzeyi çok düzgün olur.

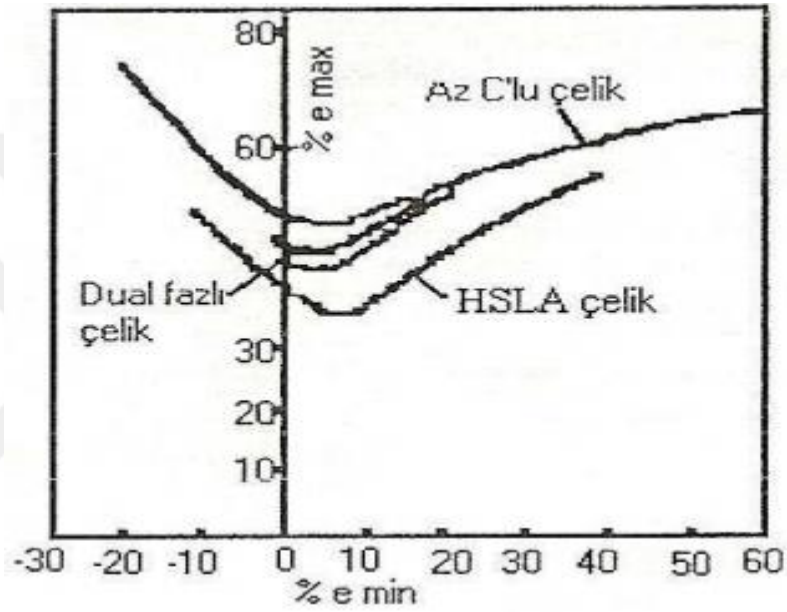
Malzemelerin akma mukavemetlerinin düşük olması, plastik şekil verme işlemi sırasında uygulanan kuvvetle daha fazla bir deformasyon gerçekleştirilmesi veya aynı deformasyon işlemi için daha az bir kuvvet gerekmesi açısından istenilen bir özelliktir. Çekme dayanımının yüksek olmasının malzemenin hasara uğramasını geciktirdiği bilindiğine göre akma dayanımı / çekme dayanımı oranı düşük olan dual fazlı çeliklerin derin çekme sacları olarak kullanımındaki önem anlaşılmış olur.

Derin çekme işlemlerinde malzemenin kesiti azalacağından, şekil verme işleminin diğer kademelerindeki kuvvetleri karşılayabilmesi için yapının sertleşmesi gerekir. Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan dual fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi oranına sahip olması bu bakımdan da avantaj teşkil etmektedir [31].

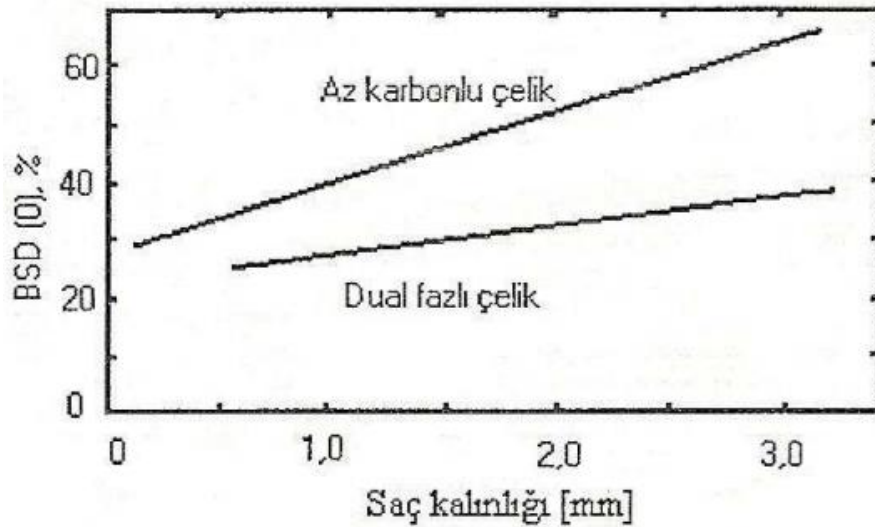
Mukavemet / ağırlık oranları yüksek olan bu çeliklerin, otomobillerdeki yakıt tüketimini azaltıcı yönde önlemler alınması kapsamında hafif otomobillerin üretilmesinde kullanılması gündeme gelmiştir. Çeşitli otomobil parçaları yapımında düşük karbonlu çelikler yerine yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip olan yüksek mukavemetli ve az alaşımlı çelikler (HSLA) ve dual fazlı çeliklerin kullanılması, taşıt ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufuna sebep olmaktadır. Dual fazlı çelikler aynı mukavemetteki HSLA çeliklerden daha yüksek biçimlenebilme kabiliyetine sahip olmaları nedeniyle, presle biçimlenen çeşitli otomobil parçaları yapımında tercih edilmektedir. Bu özellik metalik malzemelerin biçimlendirme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan biçimlendirme sınır diyagramından anlaşılmaktadır [32].

Malzemelerin mukavemeti arttıkça biçimlenebilme kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Metalik sacların biçimlendirilmesi esnasında meydana gelebilecek çatlamları kontrol etmek amacıyla çizilen biçimlendirme sınır diyagramları yardımıyla çeşitli malzemelerin biçimlenebilme kabiliyetleri karşılaştırılabilir. Şekil 3.2’de dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait BSD’ları görülmektedir.

Söz konusu diyagramda dual fazlı çeliklerin biçimlendirme sınır eğrileri HSLA çeliklerin üstünde fakat düşük karbonlu çeliklerin altında yer almaktadır. Dual fazlı çeliklerin mukavemetinin artması, biçimlendirme sınır eğrilerinin daha düşük maksimum birim şekil değiştirme değerlerine doğru kaymasına sebep olmaktadır. BSD'nda minimum şekil değişiminin sıfır olduğu nokta, BSD (0), düzlemsel şekil değişimini belirtir ve Şekil 3.3'de görüldüğü gibi sac kalınlığının artmasına bağlı olarak artar [33].



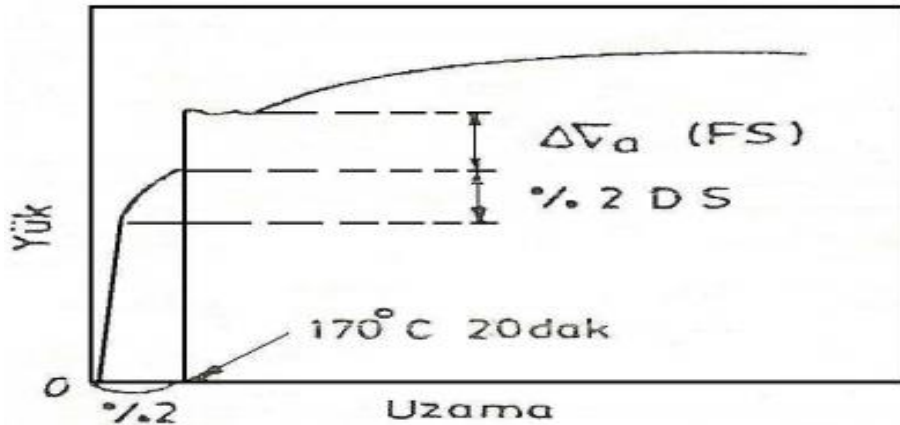
Şekil 3.2. Dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları [32].



Şekil 3.3. Dual fazlı ve düşük karbonlu çelikler için sac kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi [33].

Biçimlendirilen otomobil parçalarından beklenen özelliklerden biri de, bunların darbelere karşı direnç göstermesidir. Darbe direnci, sac kalınlığı ve akma mukavemetine bağlıdır. Sac kalınlığının artırılması taşıtın ağırlığının artmasına sebep olduğundan darbe direncinin artırılmasında tek yol akma mukavemetini arttırmaktır. Dual fazlı çeliklerin akma mukavemeti, soğuk biçimlendirme sırasında oluşan deformasyon sertleşmesine ilaveten biçimlendirilen parçaların boyanmasından sonra yapılan boya kurutma işlemi sırasında oluşan fırınlama sertleşmesi (bakehardening) nedeniyle de artar. Otomotiv endüstrisinde, biçimlendirilen parçalar boyandıktan sonra, 170 °C sıcaklığındaki fırınlarda ½ saat kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sonucu akma mukavemetinin artması gerçekte bir deformasyon yaşanması olup, fırınlama sertleşmesi olarak adlandırılır [34]. Özellikle temperlenmiş dual fazlı çeliklerde görülen fırınlama sertleşmesi, dual fazlı çeliklerin önemli mekanik özelliklerinden birisi olup deformasyon yaşanması sonucu ortaya çıkmaktadır [35].

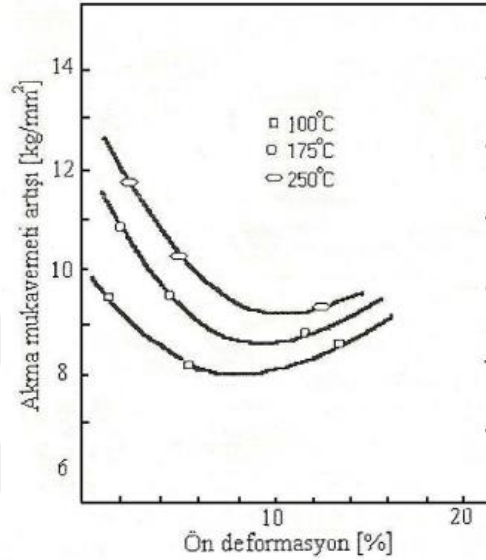
Deformasyon yaşanması, metallerin soğuk şekil değişimi sonrasında, genellikle düşük sıcaklıklarda tavlama veya oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesi sonucunda akma ve çekme dayanımının artması, sünekliğin ise düşmesidir [36]. Düşük karbonlu çeliklerden üretilen dual fazlı çelikler, boya kurutma işlemi sırasında gerçekleşen bu olaydan belirgin olarak etkilenirler.



Şekil 3.4. Dual fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi [36].

Şekil 3.4'te ki yük-uzama diyagramından da görüldüğü gibi, dual fazlı çeliklerde akma uzamasının tekrar ortaya çıkmasına sebep olan fırınlama sertleşmesi deformasyon

sertleşmesine eklenerek, bu çeliklerden yapılmış çeşitli otomobil parçalarını darbelere karşı daha dirençli yapmaktadır. Şekil 3.5'te 100, 175 ve 250°C' de temperlendikten sonra ön deformasyon yapılmış alaşımsız dual fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış görülmektedir. Akma mukavemetindeki artış % 8-10 ön deformasyon miktarı için minimum seviyede olmasına rağmen 8 kg/mm² mertebesindedir [34].



Şekil 3.5. 100, 175 ve 250 C' de temperlenmiş alaşımsız dual fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış [34].

($\alpha+\gamma$) bölgesindeki tavlama ile dual fazlı yapılan çelik levha ve sac numunelerinin geldikleri duruma nazaran, mukavemetlerinin artmasına ve % uzama değerlerinin azalmasına ilaveten, boyun verme uzamalarında da önemli derecede azalma gözlenmiştir. Buna ferrit/martenzit arayüzeyinde oluşan boşlukların birleşme hızının yüksek olması sebep olmaktadır. Bandlaşmanın fazla olduğu dual fazlı çelik levha numunelerde ise, martenzit fazında oluşan çatlakın ferrit fazı tarafından durdurulamadan hızla ilerlemesi, sünekliği önemli derecede azaltmaktadır [34].

Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg) çekme mukavemeti 40 kg/mm²'den 100 kg/mm²'ye kadar değişen çeşitli dual fazlı çelik üretimi yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak genellikle

sürekli tavlama ve haddeleme metotları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu da kutu tavı metodudur [37].

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon kapı panelleri gibi presle biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında dual fazlı çeliklerin kullanılması ile sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının %10'una ulaştığında, yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve taşıt daha ekonomik hale gelmektedir. Sözgelimi dual fazlı çeliklerden imal edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemet ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın % 25-30 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak yaklaşık % 12 mertebesinde [38].

3.3. Lehimleme

Genel olarak iki ya da daha fazla malzemenin, uygun bir ilave metal kullanılarak, ilave metalin ergime sıcaklığının üzerinde; ancak ana metallerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta yapılan birleştirme işlemleri lehimleme olarak tanımlanır. Bu tanıma göre lehimleme, sadece ilave metallerin ergiyip katılmasıyla ana metaller arasındaki birleştirme bağının oluşturulduğu bir yöntemdir. Burada birleştirilen malzemelerin kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ergimesi söz konusu değildir [39, 40].

Lehimleme işleminde, eğer ilave dolgu metali 450 °C'nin altında ergirse yöntem yumuşak lehimleme, 450 °C'nin üstünde ergirse sert lehimleme adını alır. Sert lehimleme yumuşak lehimlemeden daha yüksek sıcaklıklarda yapılır; ancak temel kavramlar her iki yöntemde de benzerdir. Fakat birleşme dizaynı, birleştirilen malzemeler, ısıtma yöntemi, birleşme bölgesinin ön hazırlığı, kullanılacak ilave metallerin ve dekapanların seçimi iki yöntemde de birbirinden oldukça farklıdır.

Lehimleme işlemi, lehimlenecek yerin şekline göre, kapiler lehimleme ve lehim kaynağı olarak ikiye ayrılır. Kapiler lehimlemede birleştirilecek yüzeyler arasında 0,03 – 0,2 mm arasında bir lehimleme aralığı bırakılarak, sıvı dolgu metali bu aralıkta kapiler kuvvet etkisi ile yayılır. Lehim kaynağında ise, birleştirilecek parçalara kaynak ağzı açılıp, ergitilmiş ilave dolgu metali doldurulur ve birleştirme işlemi ergitme

kaynağında kullanılan tekniğe benzer bir şekilde yapıldığı için lehim kaynağı adı verilmiştir. Lehimleme işlemlerinin hepsinde ilave dolgu metali ergir. Fakat ana malzemede herhangi bir ergime gerçekleşmez. Birleştirme uygun bir lehimleme sıcaklığında gerçekleştirilir [41].

Lehimleme ile birleştirilecek parçaların kullanılacağı servis ortam sıcaklığı, dolgu metalinin ergime sıcaklığından düşük olmasına dikkat edilir. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrilerinden günlük tesisat uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır [41].

3.3.1. Yumuşak lehimleme

Lehimleme işleminde ilave metalin ergime sıcaklığının 450 °C'nin altında olduğu yöntem yumuşak lehimleme olarak adlandırılır. Diğer lehimleme metotlarında ana malzemeler arasındaki bağlantı, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi tarafından ısıtılması ve bu durumda katılaşana kadar soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Yumuşak lehimleme; kaynatılması ekonomik ve pratik olmayan metallerin birleştirilmesinde, kaynaklı birleştirmenin mümkün olmadığı yerlerde, diğer birleştirme yöntemlerinin kullanılamayacağı kadar küçük oranda olan parçaların birleştirilmesinde, elektrik–elektronik sanayinde, motorlu araçlarda, soğutma sistemlerinin birleştirilmesi ve tamir işlemlerinde, çatı oluklarının birleştirilmesi aşamalarında sıkça kullanılmaktadır [41].

3.3.2. Sert lehimleme

Ana metali, ergimiş sıvı haldeki ilave dolgu metalinin ısıtılması, dolgu metalinin lehimleme aralığında yayılması ve ana metal ve dolgu metal arasında metalürjik bir bağ oluşması sonucu meydana gelen birleştirmeye sert lehimleme adı verilir. Buradaki birleştirme bir difüzyon olayı olup, ana metaldeki bazı elementlerin atomları lehim alaşımına ve lehim alaşımındaki bazı elementlerin atomları da ana metale geçmektedir. Ana metal ile dolgu metali arasındaki ısıtma kabiliyetini artırmak amacı ile çeşitli dekapanlar kullanılır. Sert lehimlemede birleşme bölgesinin mekanik dayanımı

yüksektir. Birleştirme bölgesi iyi tasarlandığında ve işlem uygun olarak yapıldığında oluşan intermetalik bağlantı; ana metallerinkine eşit, hatta daha fazla olabilen mekanik dayanıma sahip olmaktadır. Katılmış lehim yüzeyleri doğal olarak çok düzgün şekilli ve köşesizdir. Lehim malzemesinin iş parçası köşeleri ve birleşme bölgelerinde oluşturduğu bu bükey form yorulmaya karşı da iyi bir direnç sağlamaktadır.. İlave dolgu metali, birleştirilecek parçaların yüzeyine ulaştığı için, kenarlarda gerilim azalması olacağından dolayı mekanik özellikler artar. Bu yöntemle genellikle darbe ve titreşimlere karşı dayanıklı bir birleştirme elde etmek mümkündür. Dolgu metali ile birleştirilecek parçalar arasında, reaksiyon sonucu gevrek metaller arası fazlar meydana gelebilir. Bu gevrek fazların miktarına bağlı olarak, birleştirme mukavemeti azalabilir [43]. Bu yöntemin en önemli avantajı benzer olmayan farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Örneğin; metal ile seramiklerin sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmesi, demir esaslı metaller ile demir dışı metallerin birleştirilmesi, paslanmaz çelik ile bakırın birleştirilmesi mümkündür. Buna ilaveten karmaşık geometrilerin, farklı kalınlıktaki parçaların, lehimle tekniği ile birleştirilmesi mümkündür. Sert lehimleme, ana metalin ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirildiği için, ana metalin mevcut özelliklerini değiştirecek aşırı bir ısınma olmaz. Lehimle işlemi sonucunda parça çarpılması büyük oranda değildir [42, 43].

BÖLÜM 4. KULLANILAN YÖNTEMLER

4.1. Soğuk Metal Transferi Tekniği (Cold Metal Transfer-CMT, MIG Kaynağı)

CMT yöntemi Fronious tarafından 2004 yılından geliştirilen ve kaynak uygulaması ve ekipmanı anlamında kaynak teknolojisinde çok önemli bir adım niteliğindedir. CMT tamamen yeni bir yöntem olmasının yanında MIG/MAG uygulamalarının da uygulama sınırlarını genişletmiş ve alüminyum-çelik çiftinin de kaynak edilebilirliğini sağlamıştır [44].

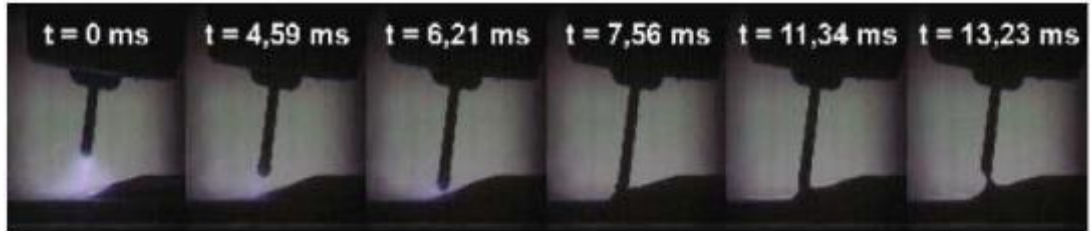
Bazı metaller ve uygulamalar sürekli bir ısı girdisine karşı kaynak banyosunun çukurlaşması, sıçrantı oluşturması ve yetersiz kaynak bağlantısı oluşturma gibi tepkiler verebilir. Bu durumlardan kaçınmak için daha düşük ısı girdilerine ihtiyaç vardır ve bu CMT yöntemi ile mümkündür. “Soğuk” kelimesi kaynak yöntemi anlamında düşünülmele birlikte geleneksel MIG/MAG yöntemi ile karşılaştırıldığında halen soğuk bir yöntemdir [45].

CMT ısı girdisinin çok düşük olduğu bir gazaltı kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir. CMT yönteminde, ergiyen elektrod damlasının elektrodan ayrılma prensibi tamamen yeni bir teknolojidir. Geleneksel yöntemlerde tel, kısa devre oluşturuluncaya kadar ilerletilir. Bu esnada kaynak akımı artarak, ark oluşması için kısa devrenin tekrar açık devre olmasını sağlar. Bu yüzden geleneksel yöntemde; daha yüksek akımlar çekildiğinden ısı girdisi fazla olur ve kısa devre oluşum sürecinin tam olarak kontrol edilememesi nedeniyle sıçrantı oluşumu görülür. CMT yönteminde 70 Hz'lik bir osilasyon ile yapılan tel beslemesi yapılır, ve bu şekilde tel iş parçasına doğru itilir ve geri çekilir [45].

Soğuk metal transferi, geleneksel MIG/MAG kaynağına göre daha kararlı bir ark ve tam bir yöntem kontrolünün sağlandığı sıcak ve soğğun sürekli değişmesi prensibiyle uygulanan bir tekniktir. Ark yanma fazında, dolgu malzemesi kaynak banyosuna hareket ettirilir (Şekil 4.1. sıcak yöntem). Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılmasıyla ark söner ve kaynak akımı azalır (Şekil 4.1. soğuk yöntem). Telin geriye doğru hareketi (saniyenin 90'da biri süresinde), kısa devre esnasında (kısa devre akımı düşük seviyede tutulur) damlacık transferine yardımcı olur (Şekil 4.1. soğuk yöntem). Telin hareket yönü tersine çevrilir ve yönteme yeniden başlanır (Şekil 4.1. sıcak yöntem). Şekil 4.2.'te yöntemin akışı milisaniye zaman diliminde görülmektedir.



Şekil 4.1. CMT Kaynak aşamaları [45].



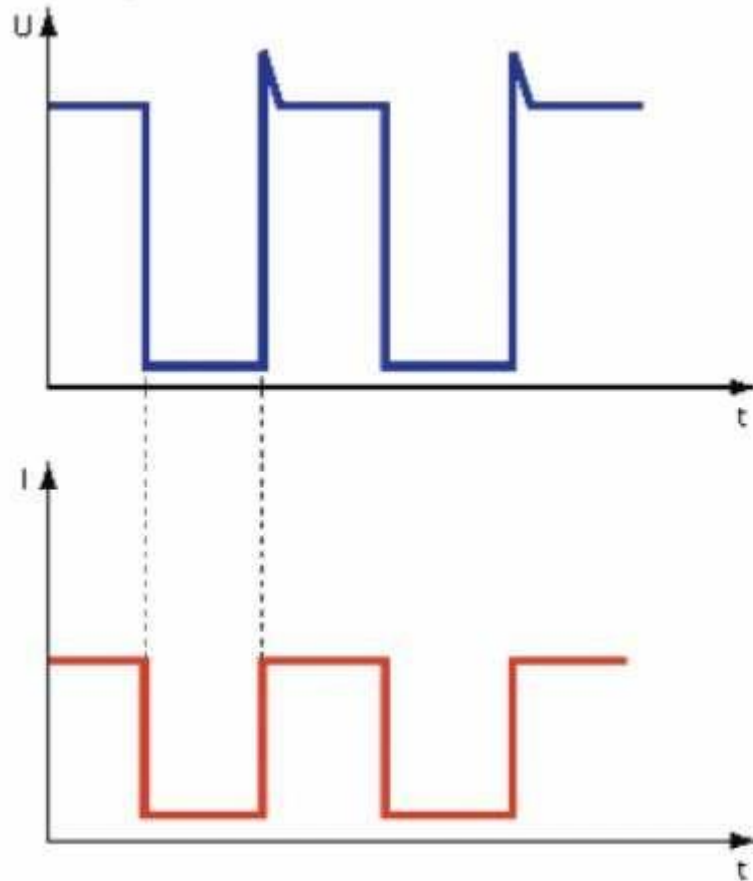
Şekil 4.2. CMT Kaynak yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı [45].

CMT'yi geleneksel MIG/MAG'dan ayıran üç temel özellik vardır. Birincisi, tel beslemesi doğrudan kaynak yönteminin içinde olmasıdır. Geleneksel yöntemde tel besleme hızı sabittir ya da önceden belirlenen zaman cetveline göre değişmektedir. CMT yönteminde ise tel besleme hızı ve yönü kısa devrenin oluşumu ve açık hale gelmesi ile yönetilir. Bu durumda kaynak banyosu ile telin hareketi arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun için ortalama bir hızın yanında osilasyon frekansı ifadesi de terminolojiye dahil olmuştur ve bu değer de kısa

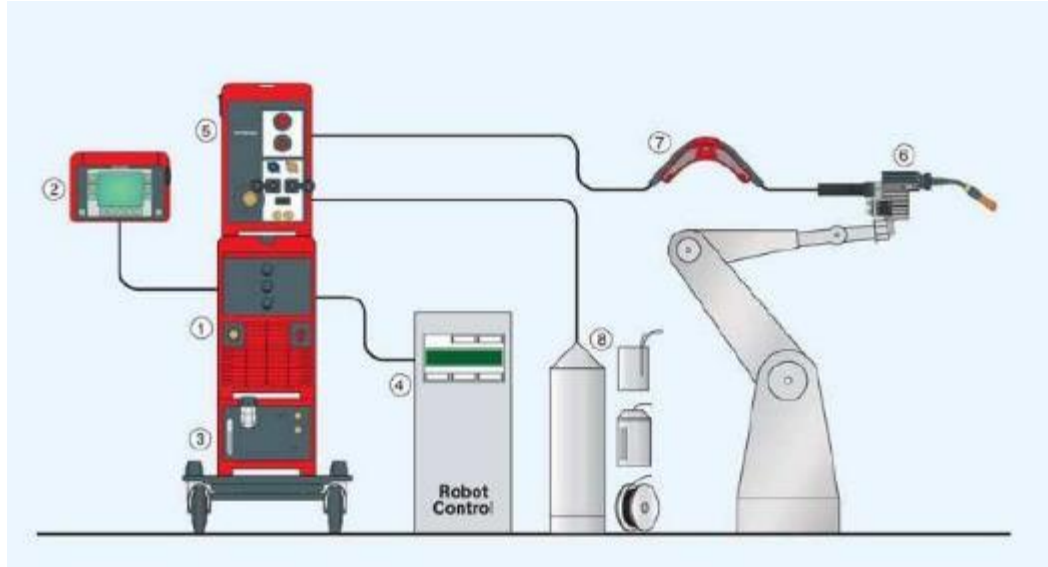
devreye bağılı olduğundan “ortalama” ifadesi kullanılır ve yaklaşık 70 Hz civarındadır.

CMT yönteminin ikinci karakteristik özelliği ise, metal transferi geleneksel yöntemde doğrudan akıma bağılı iken bu yöntemde nerdeyse akımdan bağımsız olmasıdır. CMT’de akımın, kısa devreyi açık hale getirmekle herhangi bir ilgisi yoktur. Telin geri çekilmesi ve kaynak banyosunun yüzey gerilimi metal transferinin oluşmasını sağlarlar. Bu yüzden kısa devre akımı çok düşük tutulur ve bu durum beraberinde daha düşük ısı girdisini getirir.

Son olarak, tel hareketi metal transferini yukarıda anlatıldığı şekilde destekleyen CMT yönteminin karakteristik özelliğidir [45].



Şekil 4.3. CMT robotik kaynağında akım ve voltajın zamanla ilişkisi [45].



Şekil 4.4. Robotik uygulamada CMT sistem konfigürasyonu 1) TPS 3200/4000/5000 CMT güç kaynağı, 2) RCU 5000i uzaktan kumanda ünitesi, 3) Soğutma ünitesi 4) Robot arayüzü, 5) CMT tel besleyici 6) Robot 7) Tel tanponu 8) Tel desteği [45].



Şekil 4.5. Tez çalışmasında kullanılan robotik CMT kaynak makinesi

4.1.1. Diğer kaynak yöntemlerinde göre avantajları

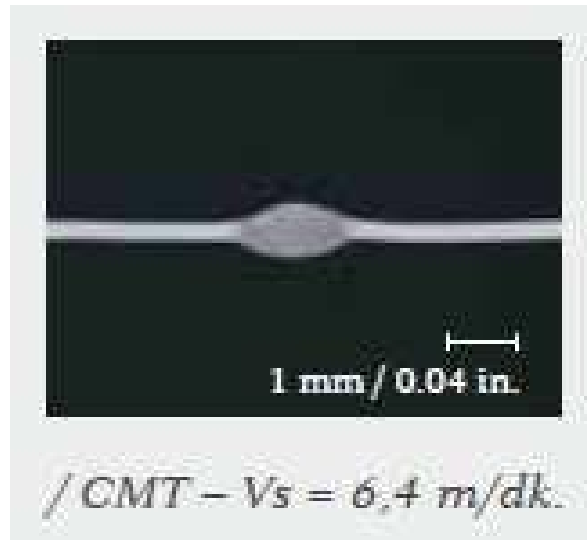
Düşük ısı girdisi; kaynak sırasında tel öne doğru hareket eder ve kısa devre oluşur oluşmaz tekrar geriye çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir.

Çapaksız kaynak; telin geriye doğru hareketi, kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bu şekilde çapaksız bir metal geçişi sağlanır.

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

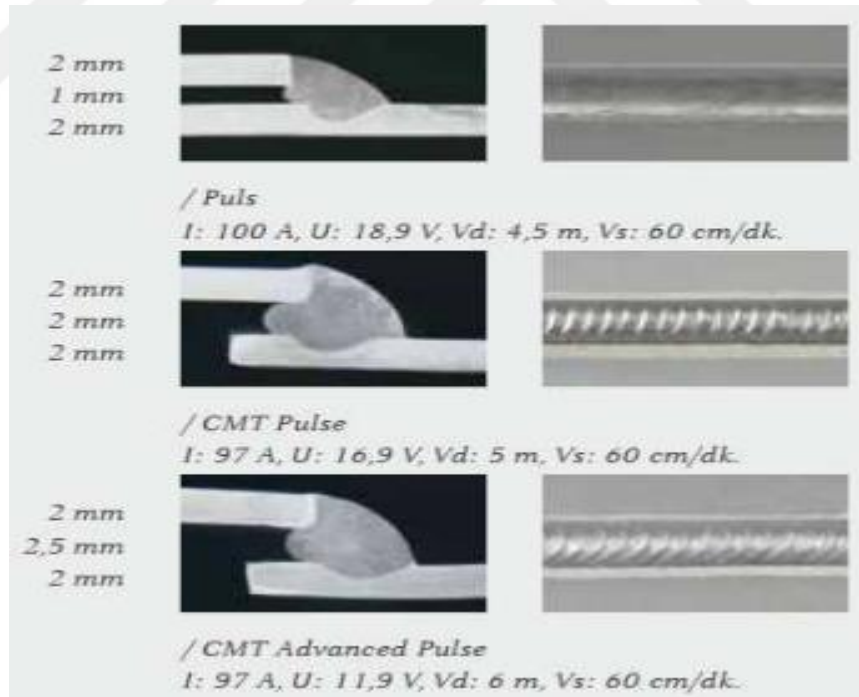
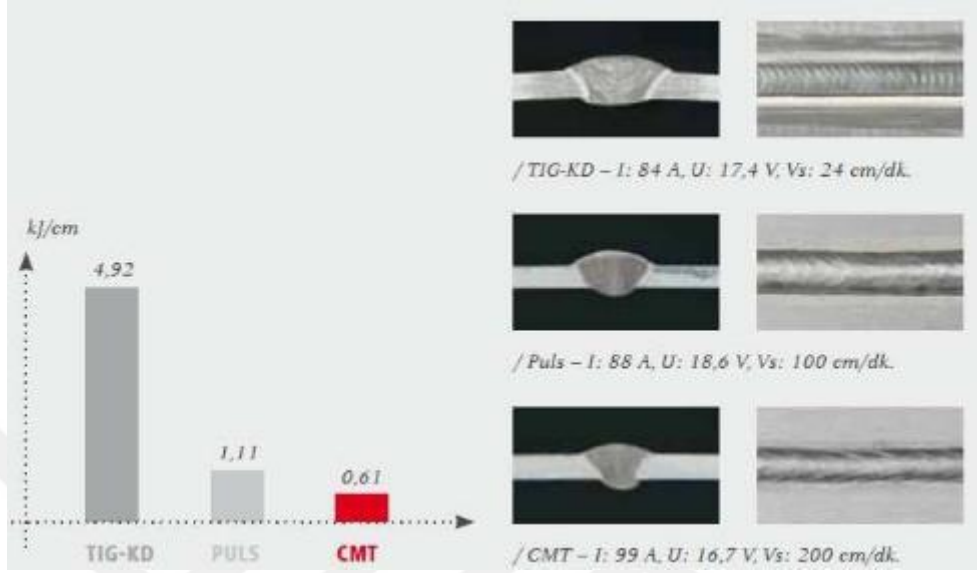
4.1.2. Alüminyum kaynağındaki avantajları

Diğer yöntemlerin birçoğu ile kaynak edilemeyen çok ince alüminyum ve alüminyum alaşımların kaynağına imkân vermektedir. Şekil 4.6.'da 0,3 mm kalınlığında alüminyum levhanın kaynak kesiti görülmektedir [46].



Şekil 4.6. 0,3mm kalınlığında alüminyum levhanın CMT kaynağı [46].

Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla % 90'a kadar daha düşük ısı girdisi ve 10 kata kadar yüksek kaynak hızı elde edilebilir (Şekil 4.7.).

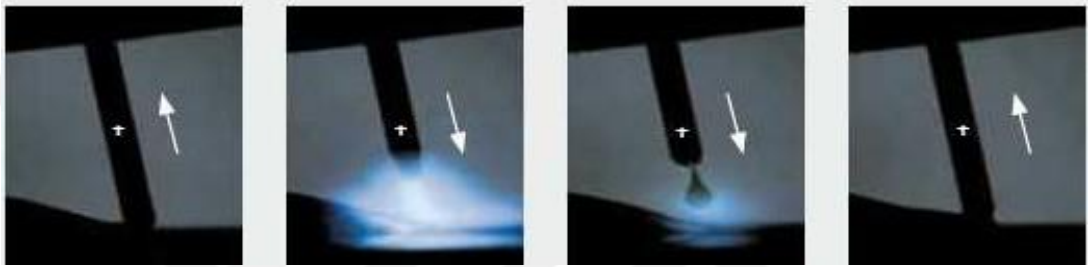


Şekil 4.8. 2 mm kalınlığındaki alüminyum levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti [46].

4.1.3. CMT Kaynak yönteminin türevleri

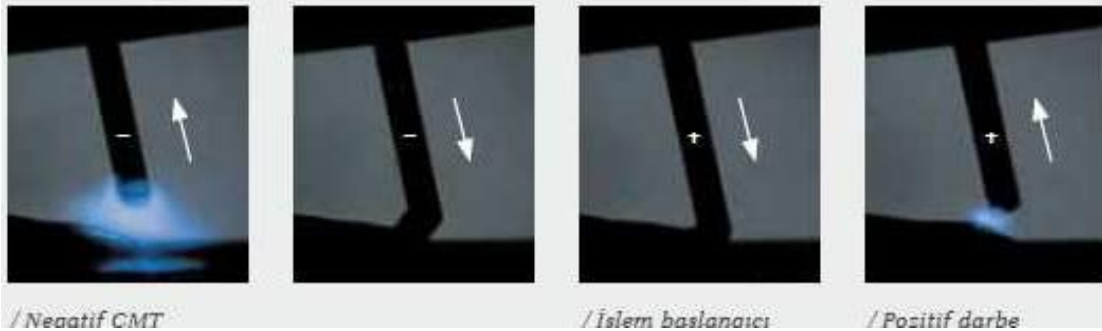
Bu yöntem uygulamada sadece CMT olarak uygulanabildiği gibi CMT Pulse, CMT Advanced ve CMT Advanced Pulse olarak ta uygulanabilmektedir.

CMT pulse; bu yöntem bir darbe döngüsünü, bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. Ayarlanabilir değişken darbe ilavesi ile çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlanır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyonu [46].

CMT Advanced; bu yöntemde CMT'den daha da soğuk bir uygulamaya ulaşılmıştır. Kaynak akımının polaritesi yöntem regülasyonuna entegredir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir; böylelikle kanıtlanmış CMT yöntem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmıştır. Bunun sonucunda hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve % 60'a kadar daha yüksek erime gücüne ulaşılır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Negatif CMT ve pozitif CMT kaynağı kombinasyonu [46].

CMT Advanced Puls; Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve yüksek düzeyde ark üstünlüğü hedeflenmiştir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [46].

4.2. Alüminyum ve Alaşımlarında MİG Kaynağının Uygulanması

MIG kaynak yöntemi her kalınlıktaki alüminyum ve alüminyum alaşımları için uygulanabilir olmasına karşın ergime gücü ve kaynak hızı yüksek olduğundan geleneksel MIG kaynağı, genellikle 3 mm'den daha ince parçaların kaynağında tercih edilmez. Çok ince levhalar 0.8 mm'ye kadar darbeli akım yöntemi ile kaynak edilebilirken, CMT yöntemi sayesinde bu kalınlık 0,3 mm'ye kadar inebilmektedir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağının çelikten farklı kılın ve kaynak uygulamasında dikkat edilecek hususlar belirtilmiştir.

Alüminyum alaşımları 550-660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısıl iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeniyle kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çelin kaynağından daha fazla olmak zorundadır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıl genişleme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli iç gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların oluşmasına neden olur. Bu durum CMT uygulamasında ortadan kaldırılmıştır [46].

Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım ters kutuplama (doru akım elektrod pozitif) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir [46].

Kaynaktan önce, kaynak ağızları daha önce belirtilen metotlardan biriyle iyice temizlenerek oksit tabakası olabildiği kadar uzaklaştırılmalıdır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında, malzemenin kalınlığına bakılmaksızın genellikle sprej ark ile kaynak yapılması tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısıyla kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından, her pozisyonda kaynak yapmak olanağı vardır [46].

Burada oksit tabakasının temizlenmesi için sürekli olarak sola kaynak yöntemi uygulanmalı ve dik kaynak durumunda ise aşağıdan yukarıya doğru çalışılmalıdır. Bu şekilde hem kaynak ağızlarının oksit tabakası temizlenmiş olur hem de ağızların iyi bir şekilde ergiyerek kaynağın sağlıklı bir biçimde yapılması sağlanmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik pozisyonlarda yukardan aşağıya doğru çalışıldığı durumlarda gözenekli, kötü görünüşlü ve ağızların gerektiği gibi ergimemiş olması nedeni ile de soğuk bölgeler içeren kaynak dikişleri elde edilir. Kaynak dikişi düz olarak ya da dar zigzaglar ile oluşturulmalıdır. Geniş zigzaglar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğu için kullanılmamalıdır [46].

El ile yapılan yarı otomatik MIG yöntemi ile mekanize durumda da ince parçaların kaynağında genellikle saf argon gazı kullanılır, kalın parçaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi bir nüfuziyet elde etmek için Helyum veya Helyum-Argon karışımları tercih edilir [46].

Alüminyum ve alüminyum alaşımların ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda, kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur, bu bakımdan kalın

ve özellikle döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi tav vermek gereklidir, genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan bu tavin sıcaklığı 200 °C'yi aşmamalıdır. Dövme alüminyum alaşımlarda genel olarak ön tav yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlayarak çalışma tercih edilir [46].

Soğuk şekil verme veya ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür. Bu nedenle ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi bir çözeltiye alma tavi uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısıl işlem uygulanarak sertleşme sağlanır [43].

4.3. Taguchi Metodu

Endüstride süreç gelişimi araştırmalarında yapılan deneyleri tasarlamak için, en çok bilgiyi en kısa sürede, en az maliyet ve işgücüyle elde eden çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Deney tasarımı için klasik sayılabilecek bazı yöntemlerin zorlukları, bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. 1980 ve sonrası özellikle ürün geliştirmede kullanılan Taguchi yöntemi bu çalışmalardan biridir. Taguchi kaliteyi, “Ürünün, müşteriye ulaştıktan sonra toplumda meydana getirdiği kayıptır” şeklinde tanımlamıştır. Dr. Genichi Taguchi kaliteyi geliştirmek için temeli deney tasarımına dayanan, Taguchi yöntemi olarak bilinen deney tasarım metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem, kısmi faktöriyel deney tasarımı yöntemine, robust (saglam) tasarım ve ortogonal dizinler gibi kavramların dahil edilmesiyle oluşturulmuştur. Yapı olarak klasik kesirli yöntem ve Taguchi yöntemi birbirinden farklıdır. Bu farklılık 3k sisteminde daha önem kazanmaktadır. Klasik kesirli çok etkenli tasarımda etkileşimlerin tümü ihmal edilmedikçe ana etkilerin tahminleri hakkında bilgi elde edilmesinin çok zor olduğu söylenmektedir [47]. Fakat Taguchi tasarımında dikey dizinin görselliği, sapmanın hangi etkileşim bileşenlerinden kaynaklandığını gösterdiğinden bazı tasarımlar için daha iyi tahminler elde edilebilmektedir. Taguchi yönteminin asıl amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliği azaltmaktır. Bunu sağlamak için, bu değişkenliğe sebep olan kontrol edilebilir faktörler tanımlanmalı ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin en az olacağı ürün ve proses geliştirme süreci

tasarlanmalıdır [48]. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi Yöntemi kullanılarak, çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel kavramdan oluşur bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır.

4.3.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir [48].

4.3.2. Parametre tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek olan ürünün yada geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir [48].

Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi 'nin geliştirmiş olduğu ortagonal diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal gürültü oranı (S/N - Signal/Noise) analizi ile hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortagonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir.

4.3.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen

değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır [48].

4.3.4. Kayıp fonksiyonu

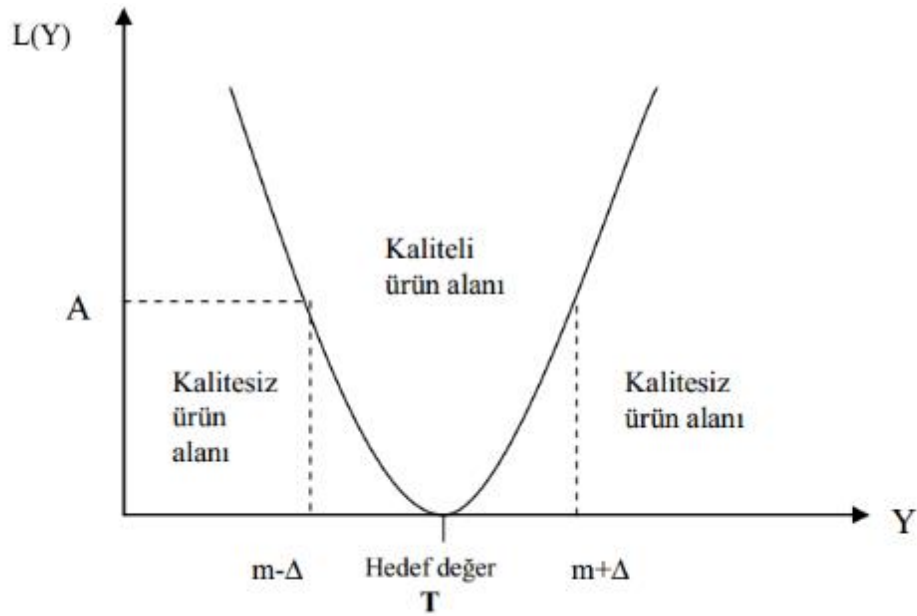
Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak, bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini arttırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır [48].

Kayıp fonksiyonu çeşitli şekillerde yorumlanabilir. Örneğin kaybın azaltılması için varyansının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca, kaybın azaltılması için ürün ve sürecin sürekli olarak iyileştirilerek hedeften sapmaların azaltılması gerekir. Yalnızca spesifikasyonları karşılamak kalitenin zayıf bir göstergesidir. Kalite ölçütü öngörülen hedeften uzaklaştıkça performans da buna bağlı olarak aşınmaktadır. Önemli olan spesifikasyonlar karşılandığı halde varyansın azaltılmasıdır [50]. Kayıp fonksiyonunun denklemini aşağıda verilmektedir.

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2 \quad (4.1)$$

Denklemden, T = Hedef değer, Y = değişkenin ölçülen değeri ve k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır [50].

Taguchi'nin kayıp fonksiyonu Şekil 4.12.'de ki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu [50].

4.3.5. Taguchi'nin üretim/kalite sistemi ve deney tasarımı

Taguchi metodu ürün ve/veya proses parametrelerinin ve toleransların tasarımı, kalite kayıp fonksiyonu, çevrim içi kalite kontrol, çevrim dışı kalite kontrol olgularını ve ortogonal kolonları kullanılarak oluşturulan deneylerin tasarımı ve ölçüm sistemlerini değerlendirmek için uygulanan metodolojileri kapsar. Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanır [50].

Üretilmiş ürünün kalitesi topluma verdiği kayıpla ölçülür. Rekabetçi kalite ortamında iş hayatında tutunabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır. Devamlı kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azaltılması sağlanır. Ürün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar, performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. Üretilmiş ürün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. Performans karakteristikleri üzerinde ürün parametreleri lineer olmayan etkisi ortadan kaldırılarak ürün performans etkilerini azaltmak gereklidir. Performans değişimini azaltan ürün veya proses parametreleri gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistikî deneyler yapılır [50].

4.3.6. Taguchi'nin sinyal/gürültü oranı

Taguchi, deney tasarımında analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına “sinyal/gürültü (signal/noise) oranı” denilen, kriter tanımlamıştır [48]. Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır [50].

“En küçük en iyi” durumunda, y 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.2)$$

“En büyük en iyi” durumda y 'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.3)$$

“Hedef değer en iyi” durumunda, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (4.4)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s²” ise varyansı ifade etmektedir [48].

4.3.7. Robust tasarımı

Robust tasarımın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel metodun çok önemli olduğu kabul edilir. Bu metodlar sinyal/gürültü oranı, ortogonal diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir. Mühendisler arasında Robust tasarımın kullanılması, daha iyi, etkin ve kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur [51].

Taguchi, üründe ve proseste, değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Sağlam tasarım ifadesindeki sağlam kelimesi, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır [52]. Robust; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en azlayacak şekilde belirleyen tasarımıdır. Robust tasarım, Taguchi metodunun Parametre tasarımı ve Tolerans tasarımı adımlarını kapsamaktadır.

4.3.8. Değerlendirecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi

Var olan problemin çözümüne ilişkin amaç ortaya konduktan sonra, klasik tasarımda olduğu gibi, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, değerlendirmeye alınacak faktör veya etkileşimler seçilmektedir. Taguchi, faktörleri kontrol edilebilen ve gürültü faktörü olarak da ifade edilen kontrol edilemeyen faktörler olarak ikiye ayırmaktadır. Faktör düzeyleri belirlenmeden önce faktörler belirlenmekte ve kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım belirlenmekte ve denemeler yapılmaktadır [52].

4.3.9. Faktör düzeylerini seçilmesi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksiğidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir. Bu etkileşim etkilerine interaction effects denmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Ayrı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir.

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuna bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, etkileşimlerde faktör gibi kabul edilerek diziye atanmaktadır [53].

4.3.10. Uygun ortogonal dizisinin seçilmesi

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d : Toplam deney sayısı

a : Faktörlerin düzey sayısı

k : Faktör sayısı

L : Ortogonal dizi

Olmak üzere, $L_d(a)$ k Şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4, L_8, L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9, L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Ortogonal dizin, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. $L_{25} (5^4)$ tasarım matrisi örnek olarak Tablo 4.1’de verilmiştir.

Ortogonal dizinler tam faktörel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken deneyleri büyük oranda azaltmaktadır. Tam faktöriyel tasarıma göre yaptığımız tez çalışmasında $5^4 = 625$ adet deneme yapılması gerekirken, orthogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 25’e düşmektedir.

Tablo 4.1. L_{25} Ortogonal dizisi

Deney Sayısı	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	1	5	5	5
6	2	1	2	3
7	2	2	3	4
8	2	3	4	5
9	2	4	5	1
10	2	5	1	2
11	3	1	3	5
12	3	2	4	1
13	3	3	5	2
14	3	4	1	3
15	3	5	2	4
16	4	1	4	2
17	4	2	5	3
18	4	3	1	4
19	4	4	2	5
20	4	5	3	1
21	5	1	5	4
22	5	2	1	5
23	5	3	2	1
24	5	4	3	2
25	5	5	4	3

4.3.11. Deney Faktörleri ve seviyeleri

Bu çalışmada kontrol edilen bilen faktörler olarak seçilen; Akım şiddeti, delik çapı, robot hızı, gaz basıncı deneylerde kullanılacak değerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
Akım Şiddeti	A	50	60	70	80	90
Delik Çapı	mm	6	7	8	9	10
Robot Hızı	mm/sn	1	1,1	1,2	1,3	1,4
Gaz Basıncı	Bar	16	18	20	22	24

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan çift fazlı çelik olarak adlandırılan DP600 sacının alüminyum 8006 alaşımı ile Soğut metal transferi yöntemi ile MIG-lehimleme yöntemi birleştirilebilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olarn MIG-lehimleme yönteminde, DP600 ve 8006 alüminyum alaşımının hangi akım şiddetinde, robot hızında gaz basıncında ve delik çapından olması gerektiğini taguchi deney tasarımı yapılarak incelenecektir.

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilerek, taguchi deney tasarımına uygun birleştirilen numunelere uygulanan mikroyapı, mikro sertlik, çekme-sıyırma, çekme-makaslama, Haç biçimi çekme ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan saclar, otomotiv endüstrisinde kullanılan çift taraflı galvaniz kaplamalı 1,2 mm kalınlığındaki DP600 serisi sac ve 2,2 mm kalınlığında yaşlandırılmamış 8006 serisi alüminyum alaşımıdır. Galvaniz tabasının kalınlığı bir yüzeyde 12.5 µm seviyesindedir. Otomobil gövde ve panale parçaları olarak kullanılan yüksek mukavemet, şekillendirme kabiliyetine sahip olan DP 600 çeliğinin ve alüminyum 8006 alaşımı spektrometrik analizi tablo da verilmiştir.

Tablo 5.1. 8006 alüminyum alaşımı kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ca	Cr	Sn	Cd
0,154	1,543	0,122	0,357	0,004	0,011	0,015	0,0006	0,002	0,0001	0,0002
Hg	Li	Na	Ni	Zr	V	Al%	Sr	Co	Ga	Mo
0,0002	0	0,004	0,0027	0,008	0,0094	97,877	0,0001	0,0002	0,0108	0,0003

Tablo 5.1. DP 600 çeliğinin kimyasal bileşimi

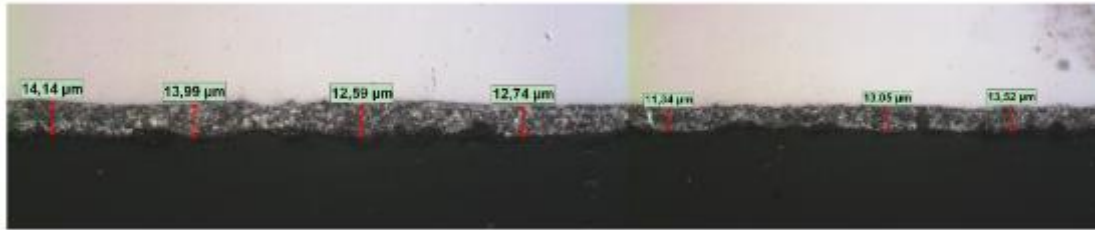
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,091	0,239	1,858	0,011	0,001	0,573	0,004	0,024	0,039
Cu	Nb	V	N	B	Sn	Ti	Al-ZO	Fe
0,012	0,001	0,004	0,003	0,0001	0,001	0,002	0,038	96,282

Tablo 5.2. DP 600 çeliği mekanik özellikleri

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

Tablo 5.3. 8006 alaşımı çeliği mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm ²) :	163
Çekme Dayanımı (N/mm ²) :	175
Uzama (%) :	1,4



Şekil 5.1. Galvaniz tabaka kalınlığı

5.3. Uygulanan Lehimleme İşlemleri

DP 600 sacı ile 8006 alaşımının kaynağında 1 mm çapında AlSi₅ (4043) alaşımlı MIG-lehimleme teliyle birleştirme işlemi uygulanmıştır. % 5 Silisyum (Si) alaşımlı alüminyum gazaltı (MIG) kaynak telidir. % 2'ye kadar Mg ve (Si) içeren alüminyum

alaşımlarının ve % 7'den az Silisyum (Si) içeren dökme alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır.

Tablo 5.4. AlSi₅ lehim teli kimyasal bileşimi

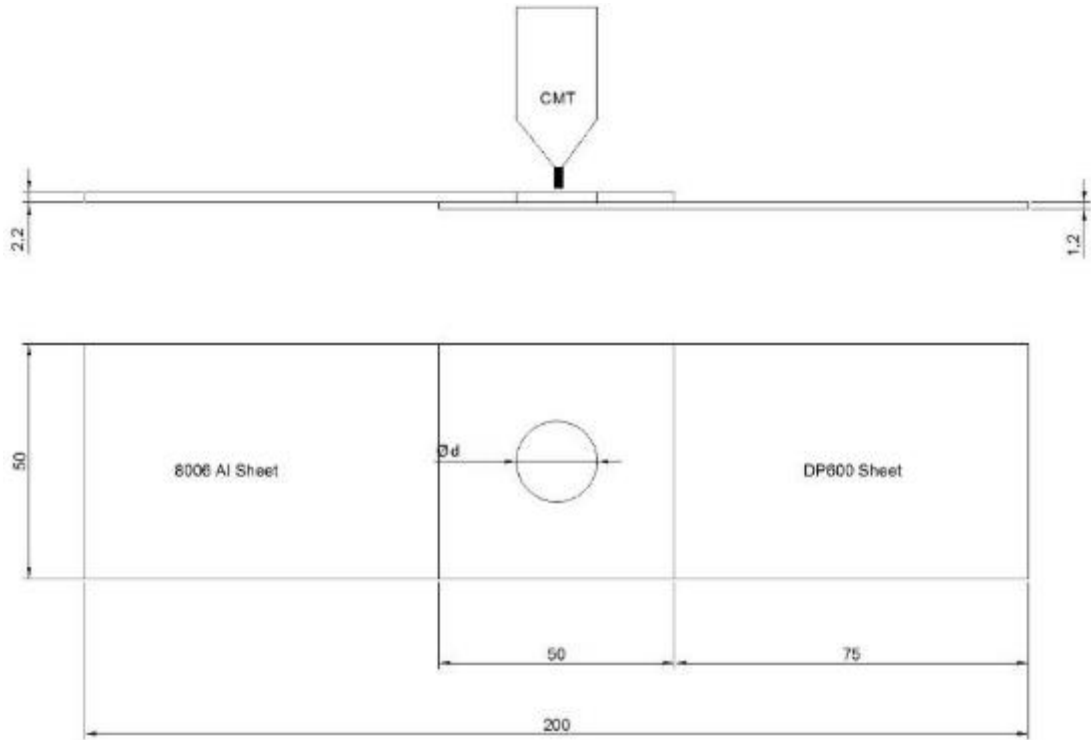
Al	Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Ti	Be
Kalan	5.0	<0.05	<0.05	<0.6	<0.15	0.10	<0.2	<0.0003

Tablo 5.5. AlSi₅ lehim teli mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm ²):	20-40
Çekme Dayanımı (N/mm ²):	120-165
Uzama (L=5d) :	3-18 (%)
Ergime Sıcaklığı (°C):	573-625

5.3.1. Lehimleme Numunesi hazırlama

MIG-lehimleme işlemi öncesei 1.2 mm kalınlığındaki DP sac plaka ve 8006 alaşımlı levha hadde yönleri belirlenerek 100x50 mm ölçülerinde kesilerek yağ ve kirden arındırmak için aseton ile temizlenmiştir. Taguchi deney tasarımına göre alüminyum levhaların Şekil 5.2.'de belirtildiği gibi lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Numune ebatları

5.3.2. MIG-lehimleme işlemleri

MIG-lehimleme işlemleri akım, robot hızı, gaz basıncı kontrollü Fronius marka robotik TransPlus Synergic 4000 cold metal transfer kaynak cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın hassasiyeti açısından numunelerin hadde yönüne dikkat edilmiş hadde yönünde 90 derece dik olarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda bütün parametrelerin sürekliliğın sağlanması için kaynak robotu kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan kaynak robotu ile ilgili fotolar Şekil 5.3.'te görülmektedir. Kaynak işlemlerinde DP 600 saçı ile 8006 alaşımlı levhanın kaynaklarının sağlıklı yapılması için pense ile tutturulmuştur. Pense yardımıyla yapılan kaynak işlemleri Şekil 5.4.'te detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 5.3. CMT kaynak robotu



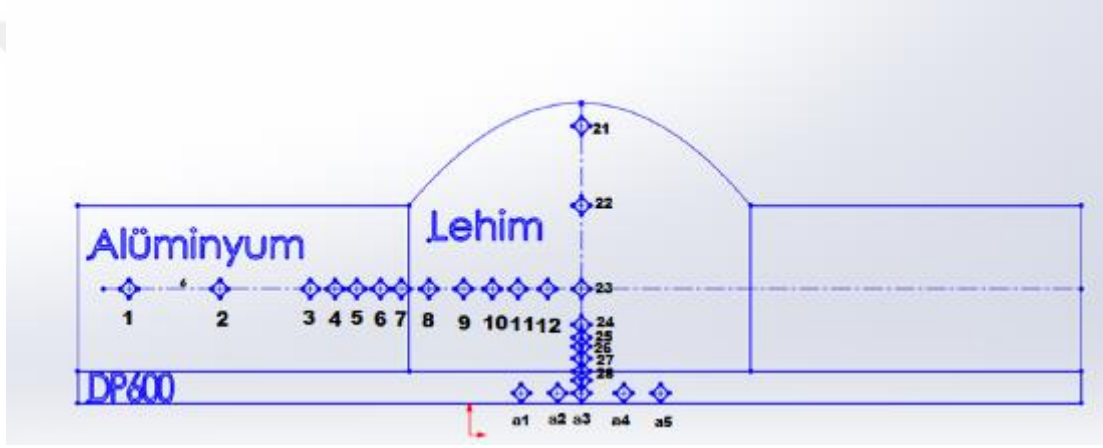
Şekil 5.4. Pense ile sabitleme işlemi



Şekil 5.5. Kaynak numuneleri

5.4. Sertlik Ölçümleri

MIG-lehimleme işlemi uygulanan numunlerinin, esas metalden tamamen lehim uygulanmış bölgeye kadar değişik özellikler gösteren yerlerinden mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Lehim uygulanmış bölgeden esas metalin nüfus ettiği bölgeye kadar sertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik ölçümü yapılan bölgeler Şekil 5.5.'te verilmiştir. Alüminyumdan lehim bölgesine yaklaşırken sertlik ölçüm aralıkları sıklaşmıştır. Aynı şekilde lehim bölgesinden DP600 saçına yaklaştıkça sertlik ölçümleri aralıkları sıklaştırılmıştır.



Şekil 5.5. Sertlik ölçüm bölgeleri

Laboratuar ortamından yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihaz Future-Tech FM700 modelidir. Ölçümler 100g yükte 5s ve piramit batıcı uç kullanılmıştır.

5.5. Mikroyapı

5.5.1. Optik mikroskop

Yapılan tez çalışmasında MIG-lehimleme yapılmış DP600 çift-fazlı Çelik saç ile 8006 alüminyum alaşımlı levhalar numune alma işleminde ilk kesim testere ile olduğundan dolayı yüzeyde termal deformasyon etkisi oluşturacağı düşünülerek alınan numune tekrar sulu kesme cihazında kesilmiştir. Sulu kesme işleminin yapılma amacı

mikroyapı incelemesinde profilin gerçek yapısını ortaya çıkaracak nitelikte numune alınmasıdır. Numune kesme cihazı Şekil 5.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Numune kesme cihazı

5.5.1.1. Numune hazırlama

Alınan numunelerde mikroyapı incelemesi kenar bölgesinden baŐlayacađından mikroyapı hazırlamasında yüzeyin net incelenmesi yönünden numunelerin kalıplanması uygun olacaktır.

5.5.1.2. Bakalite alma

Numune kalıplamasında 2 çeşit kalıplama sistemi vardır. Sıcak Kalıplama, Alüminyum malzemelerde termal deformasyon yaratacağından kullanılmaması önerilir. Soğuk Kalıplama, Soğuk kalıplamada birden fazla kalıplama hammaddesi vardır. Laboratuvarımızda bulunan soğuk kalıplama reğinesi epofiks marka ile numunelere kalıplama işlemi yapılmıştır.

5.5.1.3. Zımparalama

Zımparalama işleminde yüzey kalitesine bakılarak uygun olan zımpara numarasından başlanır. Bakalite almış olduğumuz numunelerin yüzeyi 500 grit zımpara ile başlamaya uygun olduğundan bu aşamada işleme başlanmıştır. Bir sonraki işlem 1200 grit zımpara son olarakta 2400 grit zımpara ile yüzey hassas bir şekilde hazırlanmıştır. Zımparalama cihazı Şekil 5.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Zımparalama Cihazı

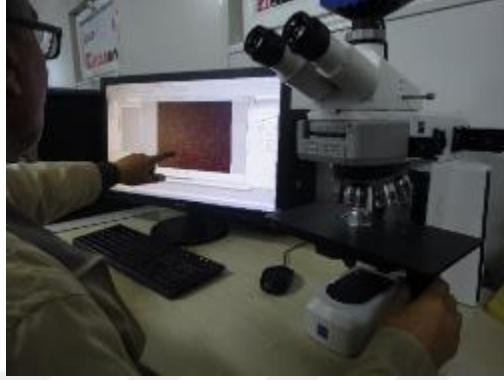
5.5.1.4. Parlatma

Zımparalama işleminden sonraki uygulama yapılacak işlem parlatmadır. Parlatmanın ilk aşamasında 3 mikron elmas süspansiyon ile çuhası kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işleminin gerçekleştiğini görmek için yüzeydeki 2400 grit zımpara izlerinin tamamıyla kaybolmuş olduğunu tespit etmemiz gerekir. Eğer yüzeyde çizik varsa bir önceki işleme tekrar başlanır.

Son parlatmada ise kolledial silika ile çuhası kullanılarak 3 mikrondaki gözle görülmeyecek kadar ince çizikleri ortadan kaybederek mikroskop altında çiziksiz bir yüzey elde edilmiştir.

5.5.1.5. Numune inceleme

Numune hazırlama işleminden sonra ZEISS marka Axio Scope Mat model optik mikroskopta numunelerin iç, yapılarının görüntüsü çıkarılmıştır. Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'de optik mikroskopta yapılan incelemenin görüntüleri görülmektedir.



Şekil 5.8. Optik mikroskopta numune inceleme



Şekil 5.9. 20X Büyütme kullanılarak yapılan numune inceleme

5.5.2. Makroyapı

MIG-Lehimleme yapılan numunelerin makro yapı incelemeleri miktoo yapı için hazırlanan numunelerden 1.5x büyütme ile optik mikroskopta görüntüler alınmıştır. Alınan görüntülerde kaynak yükseklikleri belirlenmiştir.

5.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

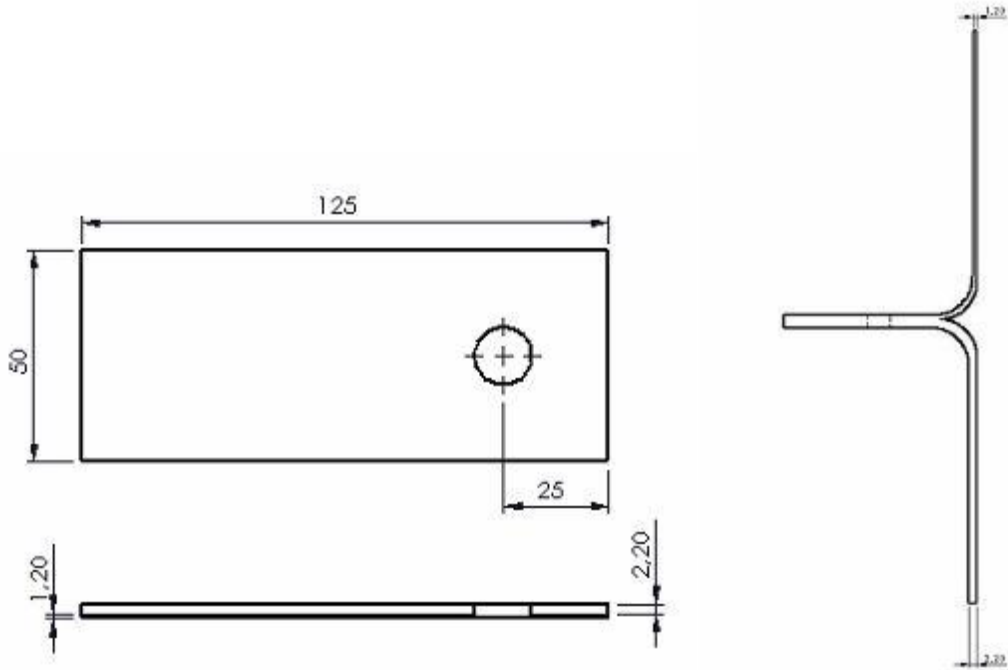
MIG-Lehimleme yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numuneler taramalı electron mikroskobunda 8006 alüminyum levha, kaynak teli ve Zn kaplamalı bölgelerden SEM görüntüleri çekilmiş ve aynı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Bunu için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

5.6. Çekme Deneyi

MIG-Lehimleme ile gerçekleştirilen bağlantının mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 5 ton kapasiteli Zwick marka cihazla çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme test standartları TS-EN 755-1/ TS EN 755-2 ye göre yapılmıştır. Test hızı 10 mm/dk olarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada 3 farklı birleştirilme yapılmıştır.

5.6.1. Çekme-Sıyırma test numunesi hazırlama

Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme bağlantılarında çekme sıyırma testi için numunler Şekil 5.10.'de gösterilmiştir. Birleştirme işleminden sonar numunler Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi bükülmüştür.



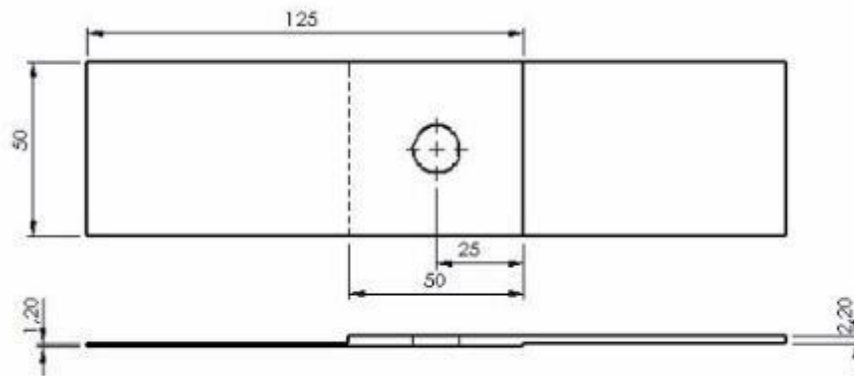
Şekil 5.10. Çekme sıyırma test numunesi



Şekil 5.11. Çekme sıyrma deneyi

5.6.2. Çekme –Makaslama test numunesi hazırlama

Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme bağlantılarında çekme makaslama testi için numunler Şekil 5.12.'de gösterilmiştir. 1,2 mm kalınlığında DP600 saçı üstte 8006 serisi alüminyum alaşımılı levha üstte olacak şekilde kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.



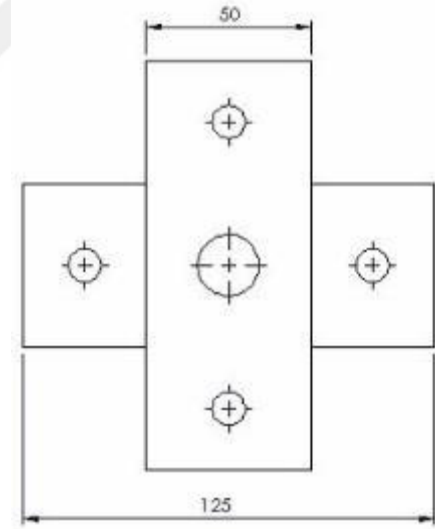
Şekil 5.12. Çekme -makaslama test numunesi



Şekil 5.13. Çekme makaslama deneyi

5.6.3. H tipi çekme test numunesi hazırlama

Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme bağlantılarında H tipi çekme testi için kalıp tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş ve ardından çekme testleri yapılmıştır. Çekme testi için hazırlanan numune ve çekme kalıbı Şekil 5.14.'de verilmiştir.



Şekil 5.14. H tipi çekme kalıbı ve test numunesi

Yapılan H tipi çekme test kalıbında Zwick test cihazına uygun olarak imal edilmiştir. Birleşimi yapılan numunler uçlarından delinerek alt ve üst kafaya sabitlenerek çekme testi gerçekleştirilmektedir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Genel

Yapılan deneysel çalışmalarda minitab programının Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Taguchi deney tasarımı ile akım şiddeti, delik çapı, robot hızı ve gaz basıncı parametreleri incelenmiştir. Bütün parametreler 5 seviyeli olması en uygun deney tasarımının L₂₅ ortogonal dizisi olduğunu göstermiştir (Tablo 6.1.).

Tablo 6.1. Taguchi deney tasarımı

Deney no	Akım Şiddeti (A)	Delik Çapı(mm)	Robot Hızı (mm/sn)	Gaz Basıncı (Bar)
1	50	6	1	16
2	50	7	1,1	18
3	50	8	1,2	20
4	50	9	1,3	22
5	50	10	1,4	24
6	60	6	1,1	20
7	60	7	1,2	22
8	60	8	1,3	24
9	60	9	1,4	16
10	60	10	1	18
11	70	6	1,2	24
12	70	7	1,3	16
13	70	8	1,4	18
14	70	9	1	20
15	70	10	1,1	22
16	80	6	1,3	18
17	80	7	1,4	20
18	80	8	1	22
19	80	9	1,1	24
20	80	10	1,2	16
21	90	6	1,4	22
22	90	7	1	24
23	90	8	1,1	16
24	90	9	1,2	18
25	90	10	1,3	20

6.2. Çekme Test Sonuçları

Taguchi deney planına göre 25 farklı deney yapılması planlanmıştır. Sonuçların doğruluğunun tespiti açısından 3'er adet birleştirme yapılmıştır. Yapılan 3 farklı çekme testi için toplam 225 adet birleştirilme gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemeleri için tekrarlı birleştirme işlemi gerçekleştirilmemiş ve toplam 250 adet birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Taguchi deney metodu kullanılsaydı 4 faktör 5 seviyeli deney tasarımında 625 adet birleştirilme gerçekleştirilmesi gerekmekteydi ve sonuçların doğruluğunun tespiti için 3 tekrar yapılmasıyla bir çekme testi için 1875 adet birleştirme gerçekleştirilecekti çalışmamız kapsamında 3 farklı çekme testi yapılmıştır dolayısı ile 3750 adet birleştirme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gelişen teknoloji ve üretim kapasiteleri sebebi ile sanayi şartlarında bu denli yüksek sayılı kaynak işlemleri süreci zorlaştırıp imkânsıza ulaştırmaktadır.

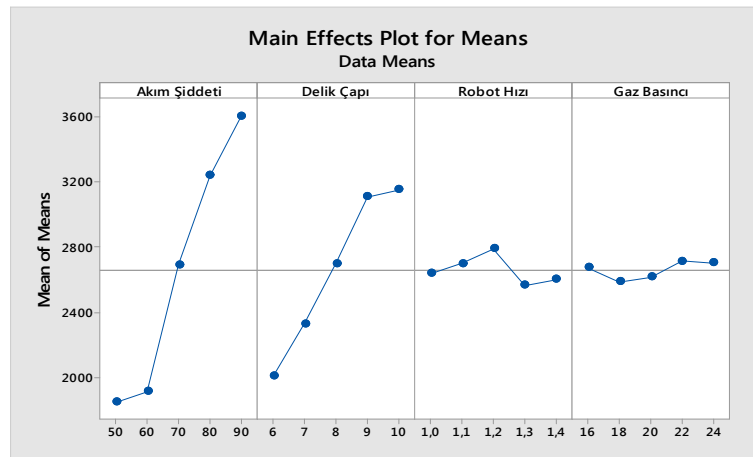
6.2.1. Çekme-Makaslama Test Sonuçları

Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme ile birleştirmede 25 farklı birleşme gerçekleştirilmiştir. Taguchi analizinin ortalama değer üzerinden yapılmasının daha verimli olacağı için tüm birleştirmeler 3 tekrar ile gerçekleştirilmiş ve çekme sonuçları ile birlikte Tablo 6.2.'de verilmiştir.

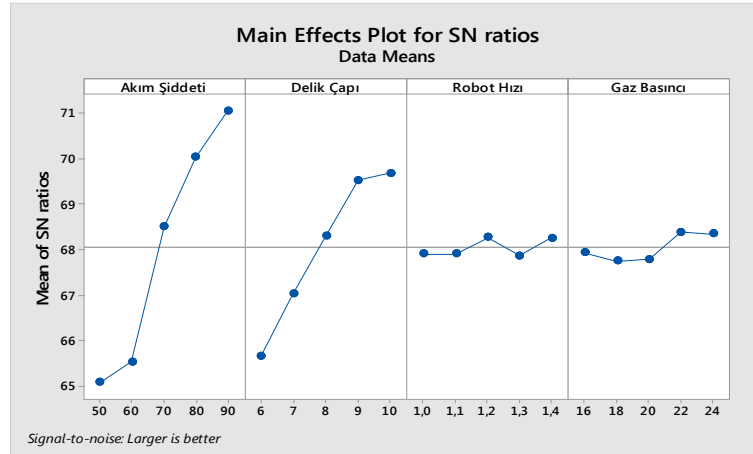
Minitab Programının da Taguchi metodu yapılacağı 3 deneyin ortalaması ile sonuçları çalıştırması istenmiştir. Program hesaplamalar için Signal to noise ratios, means, standart deviations, coefficients of variations, Ln of standart deviations oranlarını hesaplamıştır. Hesaplanan değerler Şekil 6.1., Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.'de görülmektedir. Yapılan bu hesaplamalar bize en yüksek çekme makaslama değerinin en iyi sonuç verecek önergesi ile en uygun kaynak parametrelerini belirtecektir.

Tablo 6.2. Çekme-makaslama test sonuçları

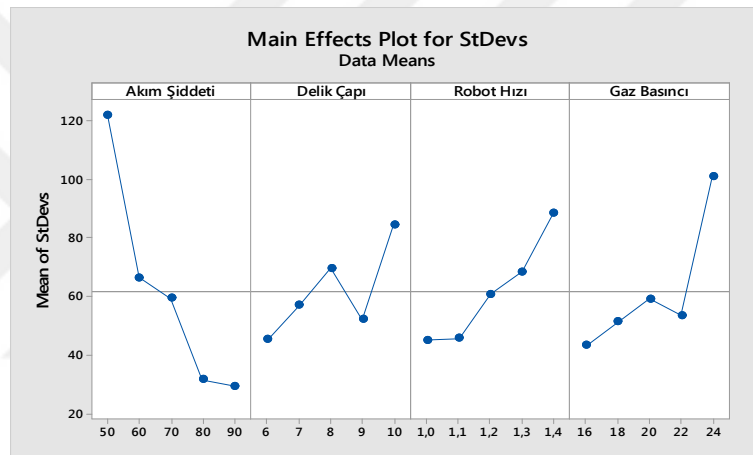
Akım Şiddeti (A)	Delik Çapı (mm)	Robot Hızı (mm/sn)	Gaz Basıncı (Bar)	Ortalama Çekme Makaslama (N)	Değer 1 (N)	Değer 2 (N)	Değer 3 (N)
50,0	6,0	1,0	16	1278	1247	1287	1301
50,0	7,0	1,1	18	1537	1487	1621	1504
50,0	8,0	1,2	20	1853	1741	1975	1842
50,0	9,0	1,3	22	2144	2015	2248	2170
50,0	10,0	1,4	24	2438	2148	2687	2478
60,0	6,0	1,1	20	1436	1428	1387	1492
60,0	7,0	1,2	22	1770	1798	1685	1827
60,0	8,0	1,3	24	1949	1982	1853	2013
60,0	9,0	1,4	16	2286	2235	2348	2276
60,0	10,0	1,0	18	2145	2078	2157	2201
70,0	6,0	1,2	24	2134	2145	2047	2210
70,0	7,0	1,3	16	2405	2345	2458	2412
70,0	8,0	1,4	18	2663	2678	2590	2720
70,0	9,0	1,0	20	3039	3027	2985	3104
70,0	10,0	1,1	22	3232	3245	3195	3255
80,0	6,0	1,3	18	2295	2245	2345	2295
80,0	7,0	1,4	20	2718	2685	2753	2715
80,0	8,0	1,0	22	3517	3547	3489	3514
80,0	9,0	1,1	24	3780	3758	3798	3785
80,0	10,0	1,2	16	3898	3875	3924	3894
90,0	6,0	1,4	22	2913	2898	2924	2918
90,0	7,0	1,0	24	3232	3214	3285	3198
90,0	8,0	1,1	16	3623	3678	3578	3614
90,0	9,0	1,2	18	4310	4305	4315	4310
90,0	10,0	1,3	20	4053	4085	4054	4021



Şekil 6.1. Main Effects plot for means



Şekil 6.2. Main Effects plot for SN ratios



Şekil 6.3. Main effects plot for StDevs

Minitab taguchi deney tasarım programı analiz edildiğinde en uygun parametrelerin Tablo 6.3.'deki gibi olması gerektiği program tarafından verilmiştir. Bu parametreler ile birleştirme deneyi yapıldığında Minitab taguchi deney tasarım programı bize 4481,83 N olacağını göstermektedir.

Tablo 6.3. Optimum Çekme-makaslama parametreleri

Akım Şiddeti	Delik Çapı	Robot Hızı	Gaz Basıncı
90 A	10 mm	1,2 mm/sn	22 bar

Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu optimum parametreler ile MIG-lehimleme gerçekleştirilip çekme makaslama test sonucu 5018,7 N olarak tespit edilmiştir. Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu sonuçlar ile yapmış olduğumu sonuçlar arasındaki %12 lik fark ortam şartlarından oluşacağı düşünülmektedir.

6.2.1.1. Çekme-makaslama manova analizi

Yapılan denemeler ile % 95 güven aralığında Manova analizleri gerçekleştirilidğinde Akım şiddeti ve delik çapının % 100 etkili olduğu robot hızının % 64,2 gaz basıncının ise % 26,2 etkili olduğu görülmüştür.

Tablo 6.4. Çekme-makaslama manova akım şiddeti analizi

Manova for Akım Şiddeti (A)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,02057	95,244	4	8	0
Lawley-Hotelling	47,62197	95,244	4	8	0
Pillai's	0,97943	95,244	4	8	0
Roy's	47,62197				

Tablo 6.5. Çekme-makaslama manova delik çapı analizi

Manova for Delik Çapı (mm)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,05051	37,595	4	8	0
Lawley-Hotelling	18,79747	37,595	4	8	0
Pillai's	0,94949	37,595	4	8	0
Roy's	18,79747				

Tablo 6.6. Çekme-makaslama manova robot hızı analizi

Manova for Robot Hızı (mm/sn)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,61181	1,269	4	8	0,358
Lawley-Hotelling	0,63448	1,269	4	8	0,358
Pillai's	0,38819	1,269	4	8	0,358
Roy's	0,63448				

Tablo 6.7. Çekme-makaslama manova gaz basıncı analizi

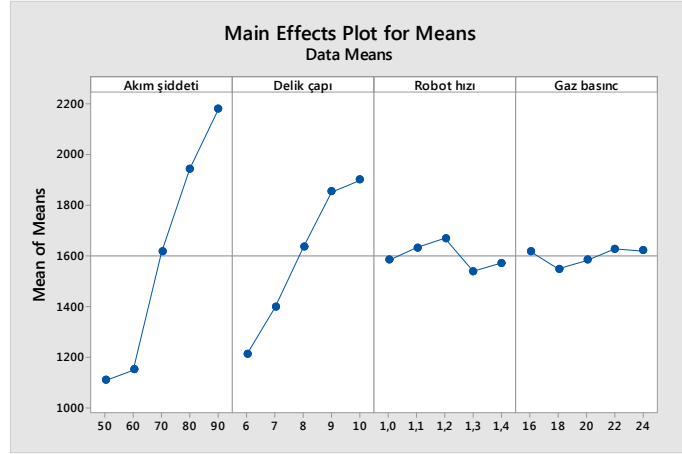
Manova for Gaz Basıncı (bar)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,80024	0,499	4	8	0,738
Lawley-Hotelling	0,24963	0,499	4	8	0,738
Pillai's	0,19976	0,499	4	8	0,738
Roy's	0,24963				

6.2.2. Çekme-Sıyırma test sonuçları

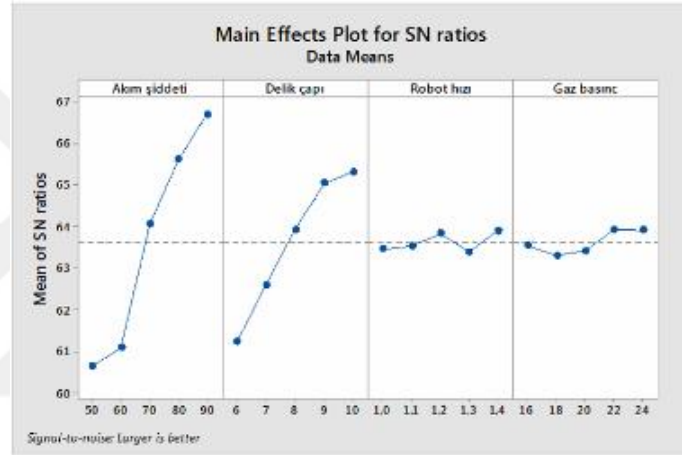
Çekme-sıyırma sonuçları Tablo 6.8.'de verilmiştir. Program hesaplamalar için Signal to noise ratios, means, standart deviations, coefficients of variations, Ln of standart deviations oranlarını hesaplamıştır. Hesaplanan değerler Şekil 6.4., Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.'da görülmektedir. Yapılan bu hesaplamalar bize en yüksek çekme makaslama değerinin en iyi sonuç verecek önergesi ile en uygun kaynak parametrelerini belirtecektir.

Tablo 6.8. Çekme-sıyırma test sonuçları

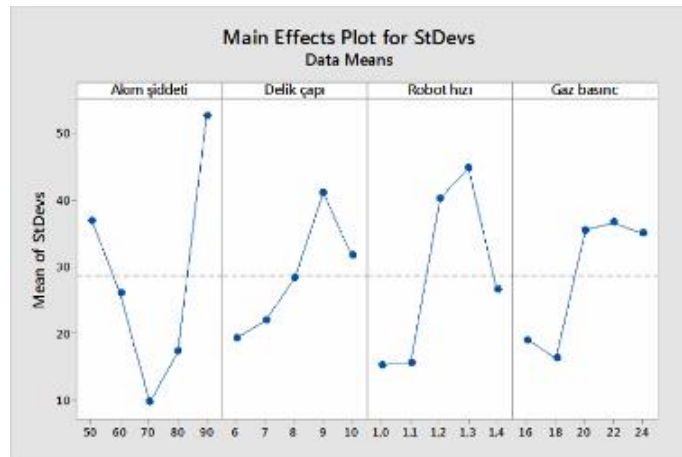
Akım Şiddeti (A)	Delik Çapı (mm)	Robot Hızı (mm/sn)	Gaz Basıncı (Bar)	Ortalama Çekme Sıyırma (N)	Değer 1 (N)	Değer 2 (N)	Değer 3 (N)
50	6	1,0	16	767	753	778	765
50	7	1,1	18	922	920	928	924
50	8	1,2	20	1112	1083	1185	1110
50	9	1,3	22	1287	1168	1295	1285
50	10	1,4	24	1463	1427	1515	1465
60	6	1,1	20	861	851	869	862
60	7	1,2	22	1062	1005	1069	1102
60	8	1,3	24	1170	1106	1200	1165
60	9	1,4	16	1372	1358	1401	1382
60	10	1,0	18	1287	1286	1290	1288
70	6	1,2	24	1280	1294	1266	1281
70	7	1,3	16	1443	1427	1440	1445
70	8	1,4	18	1598	1596	1604	1597
70	9	1,0	20	1823	1801	1836	1826
70	10	1,1	22	1939	1942	1938	1940
80	6	1,3	18	1377	1366	1384	1375
80	7	1,4	20	1631	1624	1636	1646
80	8	1,0	22	2110	2104	2122	2115
80	9	1,1	24	2268	2228	2296	2272
80	10	1,2	16	2339	2305	2351	2336
90	6	1,4	22	1748	1713	1785	1813
90	7	1,0	24	1939	1896	1924	1967
90	8	1,1	16	2174	2150	2169	2205
90	9	1,2	18	2586	2485	2596	2586
90	10	1,3	20	2432	2414	2574	2435



Şekil 6.4. Main Effects plot for means



Şekil 6.5. Main Effects plot for SN ratios



Şekil 6.6. Main effects plot for StDevs

Minitab taguchi deney tasarım programı analiz edildiğinde en uygun parametrelerin Tablo 6.9.'deki gibi olması gerektiği program tarafından verilmiştir. Bu parametreler ile birleştirme deneyi yapıldığında Minitab taguchi deney tasarım programı bize 2591,819 N olacağını göstermektedir.

Tablo 6.9. Optimum Çekme-sıyrma parametreleri

Akım Şiddeti	Delik Çapı	Robot Hızı	Gaz Basıncı
90 A	10 mm	1,2 mm/sn	22 bar

Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu optimum parametreler ile MIG-lehimleme gerçekleştirilip çekme makaslama test sonucu 3006,5 N olarak tespit edilmiştir. Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu sonuçlar ile yapmış olduğumu sonuçlar arasındaki % 16 lik fark ortam şartlarından oluşacağı düşünülmektedir.

6.2.2.1. Çekme-sıyrma manova analizi

Yapılan denemeler ile %95 güven aralığında Manova analizleri gerçekleştirildiğinde Akım şiddeti ve delik çapının %100 etkili olduğu robot hızının %64,1 gaz basıncının ise %26,4 etkili olduğu görülmüştür.

Tablo 6.10. Çekme-sıyrma manova akım şiddeti analizi

Manova for Akım Şiddeti (A)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,02053	95,413	4	8	0
Lawley-Hotelling	47,70627	95,413	4	8	0
Pillai's	0,97947	95,413	4	8	0
Roy's	47,70627				

Tablo 6.11. Çekme-sıyırma manova delik çapı analizi

Manova for Delik Çapı (mm)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,05039	37,693	4	8	0
Lawley-Hotelling	18,84651	37,693	4	8	0
Pillai's	0,94961	37,693	4	8	0
Roy's	18,84651				

Tablo 6.12. Çekme-sıyırma manova robot hızı analizi

Manova for Robot Hızı (mm/sn)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,61251	1,265	4	8	0,359
Lawley-Hotelling	0,63264	1,265	4	8	0,359
Pillai's	0,38749	1,265	4	8	0,359
Roy's	0,63264				

Tablo 6.13. Çekme-sıyırma manova robot hızı analizi

Manova for Gaz Basıncı (bar)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,79928	0,502	4	8	0,736
Lawley-Hotelling	0,25112	0,502	4	8	0,736
Pillai's	0,20072	0,502	4	8	0,736
Roy's	0,25112				

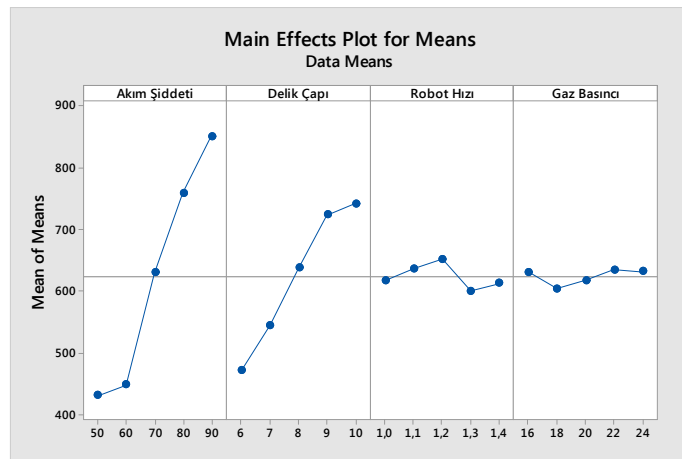
6.2.3. Haç Biçimi çekme test sonuçları

Taguchi analizinin ortalama değer üzerinden yapılmasının daha verimli olacağı için tüm birleştirmeler 3 tekrar ile gerçekleştirilmiş ve h biçimi çekme sonuçları ile birlikte Tablo 6.14.'de verilmiştir.

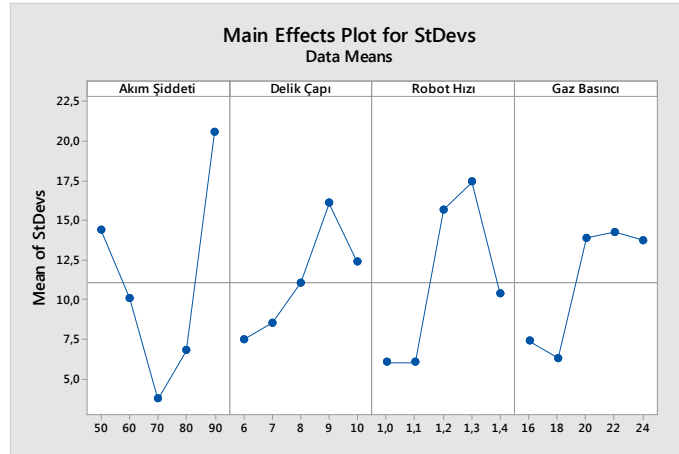
Program hesaplamalar için Signal to noise ratios, means, standart deviations, coefficients of variations, Ln of standart deviations oranlarını hesaplamıştır. Hesaplanan değerler Şekil 6.7., Şekil 6.8. ve Şekil 6.9.'da görülmektedir. Yapılan bu hesaplamalar bize en yüksek h biçimi akaslama değerinin en iyi sonuç verecek önergesi ile en uygun kaynak parametrelerini belirtecektir.

Tablo 6.14. H biçimi çekme test sonuçları

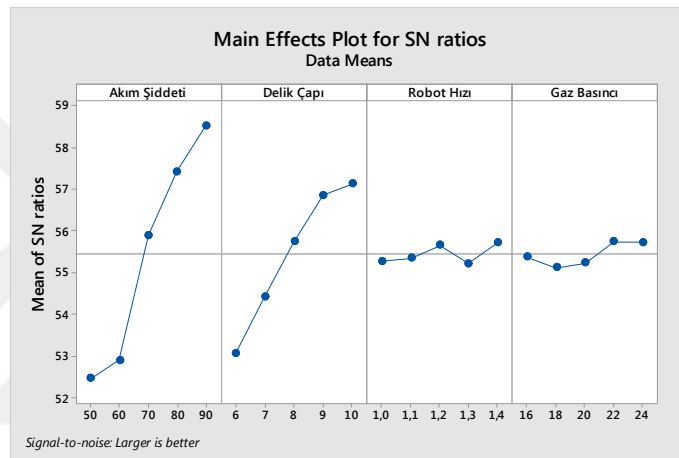
Akım Şiddeti (A)	Delik Çapı (mm)	Robot Hızı (mm/sn)	Gaz Basıncı (Bar)	Ortalama Çekme Sıyırma (N)	Değer 1 (N)	Değer 2 (N)	Değer 3 (N)
50	6	1	16	298,48	293,67	303,42	298,35
50	7	1,1	18	360,36	358,8	361,92	360,36
50	8	1,2	20	439,14	422,37	462,15	432,9
50	9	1,3	22	487,24	455,52	505,05	501,15
50	10	1,4	24	572,91	556,53	590,85	571,35
60	6	1,1	20	335,66	331,89	338,91	336,18
60	7	1,2	22	412,88	391,95	416,91	429,78
60	8	1,3	24	451,23	431,34	468	454,35
60	9	1,4	16	538,33	529,62	546,39	538,98
60	10	1	18	502,32	501,54	503,1	502,32
70	6	1,2	24	499,33	504,66	493,74	499,59
70	7	1,3	16	560,56	556,53	561,6	563,55
70	8	1,4	18	623,61	622,44	625,56	622,83
70	9	1	20	710,19	702,39	716,04	712,14
70	10	1,1	22	756,6	757,38	755,82	756,6
80	6	1,3	18	536,25	532,74	539,76	536,25
80	7	1,4	20	637,78	633,36	638,04	641,94
80	8	1	22	824,33	820,56	827,58	824,85
80	9	1,1	24	883,48	868,92	895,44	886,08
80	10	1,2	16	908,96	898,95	916,89	911,04
90	6	1,4	22	690,43	668,07	696,15	707,07
90	7	1	24	752,31	739,44	750,36	767,13
90	8	1,1	16	848,12	838,5	845,91	859,95
90	9	1,2	18	996,71	969,15	1012,44	1008,54
90	10	1,3	20	964,99	941,46	1003,86	949,65



Şekil 6.7. Main Effects plot for means



Şekil 6.8. Main effects plot for StDevs



Şekil 6.9. Main Effects plot for SN ratios

Minitab taguchi deney tasarım programı analiz edildiğinde en uygun parametrelerin Tablo 6.15.'deki gibi olması gerektiği program tarafından verilmiştir. Bu parametreler ile birleştirme deneyi yapıldığında Minitab taguchi deney tasarım programı bize 1038,21 N olacağını göstermektedir.

Tablo 6.15. H biçimi Optimum parametreleri

Akım Şiddeti	Delik Çapı	Robot Hızı	Gaz Basıncı
90 A	10 mm	1,2 mm/sn	22 bar

Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu optimum parametreler ile MIG-lehimleme gerçekleştirilip h biçimi çekme test sonucu 1153,15 N olarak tespit edilmiştir. Taguchi deney tasarım programının vermiş olduğu sonuçlar ile yapmış

olduđunu sonuçlar arasındaki % 11,09 lik fark ortam Őartlarından oluŐacađı dűŐunűlmektedir.

6.2.3.1. Haç biçimi çekme manova analizi

Yapılan denemeler ile % 95 gűven aralıđında Manova analizleri gerekleŐtirilidđinde Akım Őiddeti ve delik çapının % 100 etkili olduđu robot hızının % 60 gaz basıncının ise % 23,6 etkili olduđu gűrűlműŐtűr.

Tablo 6.16. Haç biçimi çekme manova akım Şiddeti analizi

Manova for Akım Şiddeti (A)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,02059	95,137	4	8	0
Lawley-Hotelling	47,56865	95,137	4	8	0
Pillai's	0,97941	95,137	4	8	0
Roy's	47,56865				

Tablo 6.17. Haç biçimi çekme manova delik çapı analizi

Manova for Delik apı (mm)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,05154	36,802	4	8	0
Lawley-Hotelling	18,4012	36,802	4	8	0
Pillai's	0,94846	36,802	4	8	0
Roy's	18,4012				

Tablo 6.18. Haç biçimi çekme manova robot hızı analizi

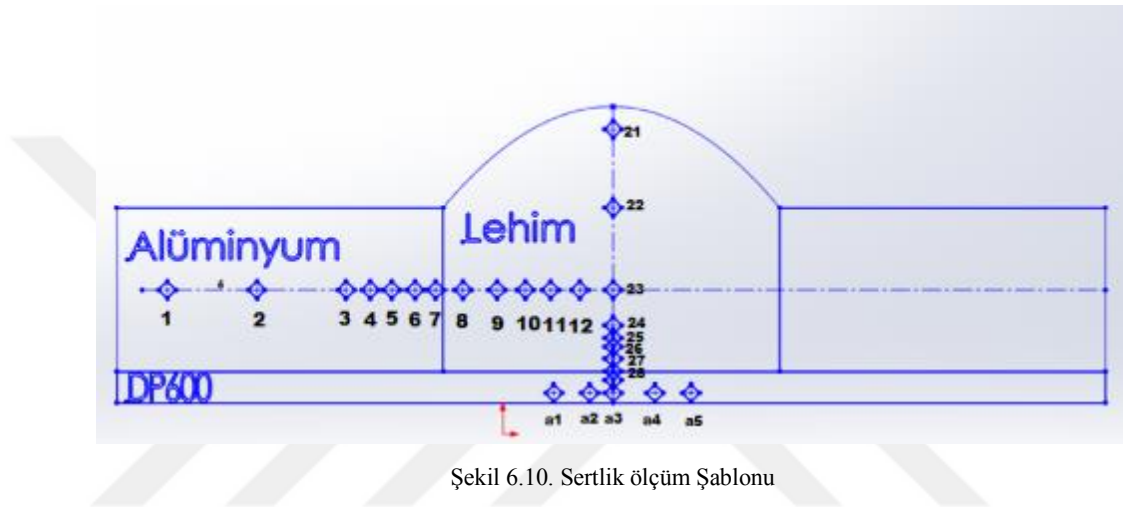
Manova for Robot Hızı (mm/sn)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,6348	1,151	4	8	0,4
Lawley-Hotelling	0,5753	1,151	4	8	0,4
Pillai's	0,3652	1,151	4	8	0,4
Roy's	0,5753				

Tablo 6.19. Haç biçimi çekme manova robot hızı analizi

Manova for Gaz Basıncı (bar)					
Criterion	Test				
	Statistic	F	Num	Denom	P
Wilks'	0,81337	0,459	4	8	0,764
Lawley-Hotelling	0,22945	0,459	4	8	0,764
Pillai's	0,18663	0,459	4	8	0,764

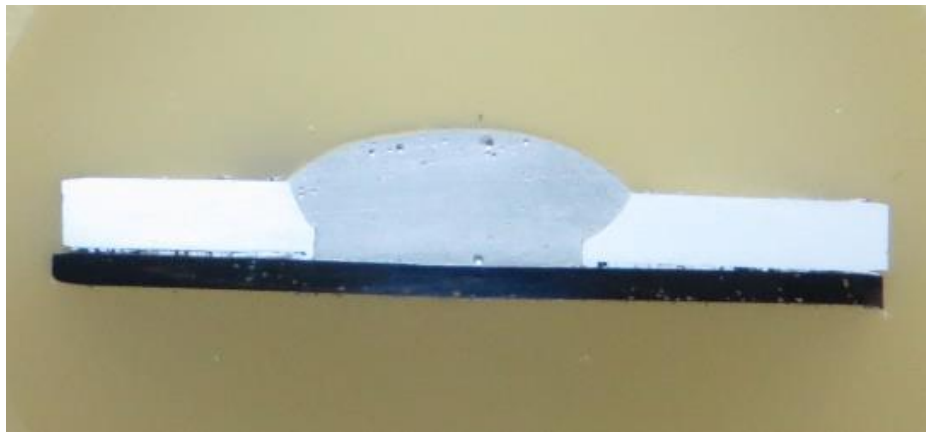
6.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

L₂₅ ortogonal taguchi deney tasarımına göre yapılan MIG-lehimleme bağlantılarına Şekil 6.10.'da gösterildiği gibi mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde 8006 alüminyum alaşımından lehim malzemesine yaklaştık ya yani ITAB bölgesine yaklaştıkça sertlik ölçüm mesafeleri daraltılmıştır. Yapılan sertlik ölçümleri mikto vikers olarak alınmıştır.



Şekil 6.10. Sertlik ölçüm Şablonu

MIG-lehimleme bağlantılarından mikro görüntü çekmek için kullanılan numuneler aynı zamanda mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 6.11.'de sertlik ölçüm numune görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.11. Sertlik alınan numunelerin görüntüleri

8006 alüminyum alaşımından lehim bölgesinin merkezine kadar 12 farklı ölçüm yapılmıştır yapılan ölçümler Tablo 6.20.'de verilmiştir.

Tablo 6.20. 1-12 bölgelerinin sertlik sonuçları

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
600.1	30,4	31,5	36,3	42,1	42,9	43,3	51,6	58,1	63,5	64,9	65,3	66,2
600.2	32,2	31,1	36,8	41,9	42,1	42,2	53,1	56,4	61,7	64,8	65,4	66,8
600.3	33,5	32,2	37,9	43,3	43,8	44,2	51,9	56,2	60,1	65,7	66,1	67,4
600.4	30	30,6	36,2	42,2	43,1	44,9	52,3	57,3	64	66,2	68,6	69,4
600.5	28,4	31,7	37,2	41,8	42,4	43,2	53	58,8	64,4	66,9	68,1	69,9
600.6	31,6	31,9	35,2	37,6	38,8	40,9	51,2	58,2	63,3	65,1	65,8	66,5
600.7	32,4	32	35,3	38,2	39,1	42,9	54,2	58,9	63	65,3	66,4	67,1
600.8	32,8	31,7	35,9	37,9	41,6	43,1	55,3	59,2	63,8	66,1	67,3	68,2
600.9	32,3	31,4	36,8	38,6	42,8	44,9	56,1	59,4	64,1	66,7	68,1	69,8
600.10	35,3	32	37,1	39,8	43,2	45,4	56,8	60,2	65,1	67,2	68,9	70,1
600.11	30,7	31,3	35,8	39,2	43,6	45,7	51,8	57,9	63,8	65,8	66,2	66,9
600.12	30,6	32,6	35,5	38,6	41,3	45	54,8	59,1	63,9	66,1	66,9	67,5
600.13	34,1	36,4	37,2	39,1	42,1	44,8	55,6	59,6	64,2	66,8	67,3	68,9
600.14	31,7	33,4	35,5	36,4	38,2	51,2	56,4	60,1	64,8	67,4	69,3	70,1
600.15	31,8	29,8	31,2	32,1	43,6	52,6	57,2	60,9	65,1	68,2	69,1	70,5
600.16	32,9	32,5	34,2	36,8	41,6	48,5	52,4	58,5	64,2	66,1	66,8	67,1
600.17	31,4	31,8	36,8	40	43,8	46,9	55,2	60,3	64,5	66,8	67,2	67,8
600.18	32	33,2	35,8	41,2	45,3	49,8	56,1	60,7	65,8	67,2	68,1	69,4
600.19	31,9	31,7	37,2	40,1	44,9	45,8	56,9	61,5	66,9	68,4	70,3	70,8
600.20	31,8	32,1	38,2	41,8	43,9	48,6	58,1	62,9	67,5	68,9	70,7	71,5
600.21	33,6	34,7	36,8	38,9	42,6	47,7	53,1	59,3	64,8	66,3	67,8	67,9
600.22	31	31,6	36,9	40,7	45	48,1	55,4	61,1	65,2	67,2	67,8	68,4
600.23	32,5	32,4	37,1	41,8	43,3	44,9	56,9	61,8	66,4	68,3	69,1	69,2
600.24	32,9	34,1	37,9	42,2	45,2	47,9	57,4	62,4	67,2	68,9	69,4	71,1
600.25	31,2	32,3	39,8	43,1	44,9	45,5	58,6	63,5	68,1	70,2	72,2	73,8

Lehim bölgesinin merkezin üstünden DP 600 saçının tabanına kadar 9 farklı bölgeden ölçümler yapılmıştır. 1. ve 13. Numune de DP 600 saç numune alma sırasında koptuğu için ölçüm yapılamamıştır.

Tablo 6.21. 20-21 Sertlik ölçüm sonuçları

No	20	21	22	23	24	25	26	27	28
600.1	50	52,6	65,9	66,2	93,5	93,5	94,2	NY	NY
600.2	54,3	56,8	64,8	66,8	94,02	94,02	95,1	212,9	266,8
600.3	57	61,2	65,2	67,4	94,8	94,8	95,6	213,6	267,9
600.4	62	63	67,8	69,4	95,1	95,1	96,3	214,3	268,2
600.5	65,7	65,9	66,8	69,9	96,8	96,8	97,2	215,8	269,1
600.6	51,2	53,2	65,2	66,5	94,2	94,2	94,8	211,1	266,8
600.7	55,6	57,5	66,7	67,1	94,8	94,8	95,8	213,2	267,4
600.8	58,2	62,1	58,4	68,2	95,6	95,6	96,1	214,8	268,1
600.9	63,5	64,2	62,8	69,8	97,3	97,3	96,9	215,3	268,8
600.10	66,1	64,9	68,4	70,1	98,4	98,4	98,1	216,4	269,6
600.11	51,9	53,8	60,1	66,9	94,8	94,8	95,2	212,3	267,2
600.12	56,8	58,1	65,9	67,5	95,2	95,2	96,3	213,8	267,9
600.13	58,4	63,2	64,2	68,9	96,8	96,8	96,9	NY	NY
600.14	62,9	64,9	64,8	70,1	99,7	99,7	97,5	215,9	269,1
600.15	66,7	65,5	66,3	70,5	101,5	101,5	98,8	216,7	270,5
600.16	52,1	54,2	58,4	67,1	95,4	95,4	95,6	212,9	268,1
600.17	57,2	59,8	60,2	67,8	96,2	96,2	96,7	214,1	268,9
600.18	58,6	63,9	61,3	69,4	98,8	98,8	97,4	215,8	269,5
600.19	63,2	65,2	62,9	70,8	102,3	102,3	98,1	216,3	270,1
600.20	67,8	66,1	68,9	71,5	103,6	103,6	98,8	217,2	272,5
600.21	52,9	55,6	61,2	67,9	95,9	95,9	96,2	213,7	269,5
600.22	58,1	61,7	63,5	68,4	96,8	96,8	97,5	215,4	269,8
600.23	59,1	64,8	64,3	69,2	99,1	99,1	98,2	216,8	271,5
600.24	63,8	66,9	66,3	71,1	110,8	110,8	98,5	217,4	271,6
600.25	68,1	66,4	69,7	73,8	111,5	111,5	98,6	218,3	273,9

MIG-lehimleme işlemi sırasında galvaniz tabakasının sertliğinin değişiminin tespiti için 5 farklı bölgeden yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları 22.'de verilmiştir.

Tablo 6.22. a1-a5 bölgeleri sertlik ölçüm sonuçları

a1	a2	a3	a4	a5
NY	NY	NY	NY	NY
260,5	266,8	266,8	266,8	260,5
260,5	267,9	267,9	267,9	260,5
260,5	268,2	268,2	268,2	260,5
260,5	269,1	269,1	269,1	260,5
260,5	266,8	266,8	266,8	260,5
260,5	267,4	267,4	267,4	260,5
260,5	268,1	268,1	268,1	260,5
260,5	268,8	268,8	268,8	260,5
260,5	269,6	269,6	269,6	260,5
260,5	267,2	267,2	267,2	260,5
260,5	267,9	267,9	267,9	260,5

Tablo 6.23. a1-a5 bölgeleri sertlik ölçüm sonuçları (Devam)

a1	a2	a3	a4	a5
NY	NY	NY	NY	NY
260,5	269,1	269,1	269,1	260,5
260,5	270,5	270,5	270,5	260,5
260,5	268,1	268,1	268,1	260,5
260,5	268,9	268,9	268,9	260,5
260,5	269,5	269,5	269,5	260,5
260,5	270,1	270,1	270,1	260,5
260,5	272,5	272,5	272,5	260,5
260,5	269,5	269,5	269,5	260,5
260,5	269,8	269,8	269,8	260,5
260,5	271,5	271,5	271,5	260,5
260,5	271,6	271,6	271,6	260,5
260,5	273,9	273,9	273,9	260,5

Minitab programında Taguchi deney tasarımı programının vermiş olduğu optimum parametreler ile yapılan MIG-lehim birleştirmesinde 1-12 bölgeleri arası sertlik ölçüm sonuçları Tablo 6.24.'da verilmiştir. 20-28 bölgeleri arası alınan sertlik ölçüm sonuçları Tablo 6.25.'de verilmiştir. A1-A5 bölgeleri arasından alınan sertlik sonuçları Tablo 6.26.'de verilmiştir.

Tablo 6.24. Optimum parametreler ile 1-10 bölgesi arası sertlik sonuçları

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Optimum	35,1	35,2	38,3	41,1	44,6	48,2	58,6	63,1	66,9	68,2	69,5	70,9

Tablo 6.25. Optimum parametreler ile 20-28 bölgesi arası sertlik sonuçları

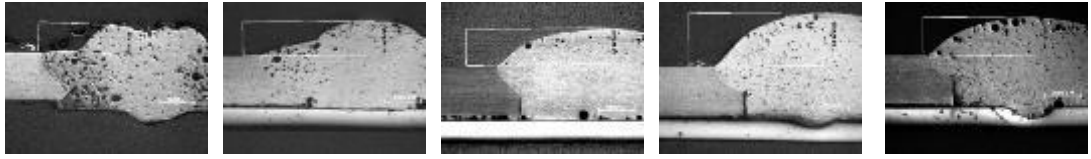
No	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Optimum	64,6	67,1	67,2	70,9	108,6	112,3	117,2	208,7	261,6

Tablo 6.26. Optimum parametreler ile a1-a5 bölgeleri arası sertlik sonuçları

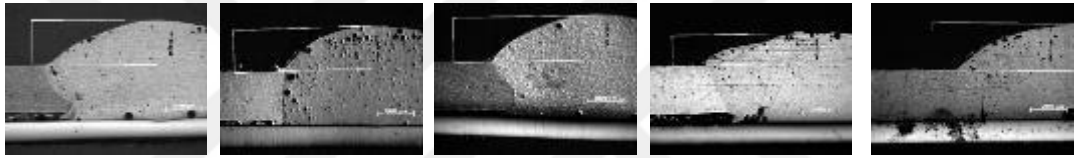
No	a1	a2	a3	a4	a5
Optimum	258,4	264,9	268,7	272,3	259,7

6.4. Makro Yapı İncelemesi

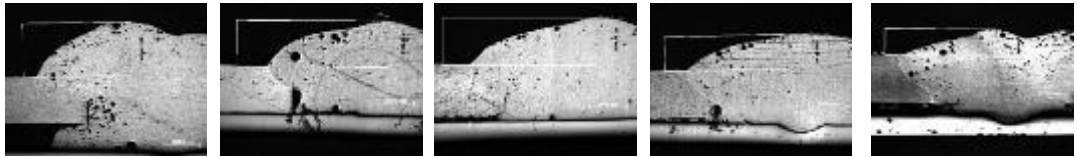
Taguchi L_{25} ortogonal deney tasarımına göre yapılan MIG-lehim birleştirme çalışmalarında makro ve mikro inceleme için 25 adet numune oluşturulmuştur. İncelenen numunelerin makro görüntüleri Şekil 6.12. , Şekil 6.13. , Şekil 6.14. , Şekil 6.15. ve Şekil 6.16.'de verilmiştir.



Şekil 6.12. 1-5 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler



Şekil 6.13. 6-10 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler



Şekil 6.14. 11-15 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler



Şekil 6.15. 16-20 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler



Şekil 6.16. 20-25 numaralı deeyler MIG lehimleme makro görüntüler

Optik mikroskopta 1.5x büyütme ile çekilen makro görüntülerde lehim yüksekliğinin ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler Tablo 6.27.'de verilmiştir.

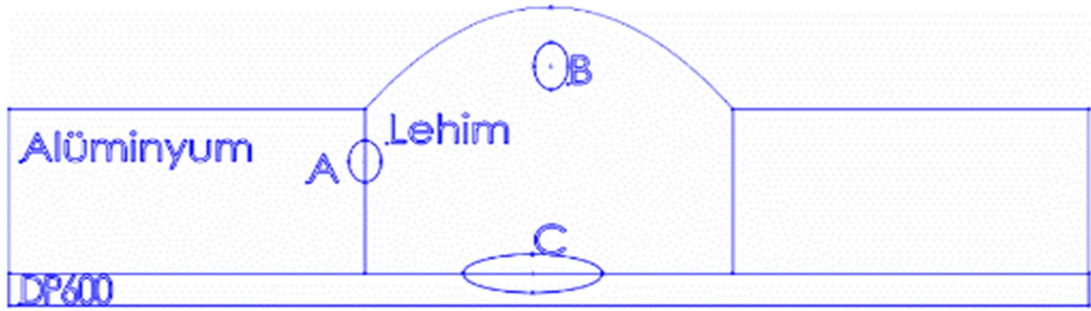
Tablo 6.27. Lehim yüksekliği

	Akım Şiddeti (A)	Delik Çapı (mm)	Robot Hızı (mm/sn)	Gaz Basıncı (Bar)	Yükseklik (μm)
600.1	50,0	6,0	1,0	16	1552,1
600.2	50,0	7,0	1,1	18	1670,1
600.3	50,0	8,0	1,2	20	1972,5
600.4	50,0	9,0	1,3	22	2917,8
600.5	50,0	10,0	1,4	24	2131,5
600.6	60,0	6,0	1,1	20	2393,9
600.7	60,0	7,0	1,2	22	2319,7
600.8	60,0	8,0	1,3	24	2423,6
600.9	60,0	9,0	1,4	16	1669,1
600.10	60,0	10,0	1,0	18	2582,2
600.11	70,0	6,0	1,2	24	2903,1
600.12	70,0	7,0	1,3	16	2492,4
600.13	70,0	8,0	1,4	18	2576,7
600.14	70,0	9,0	1,0	20	1861,6
600.15	70,0	10,0	1,1	22	1440,6
600.16	80,0	6,0	1,3	18	1812,0
600.17	80,0	7,0	1,4	20	1984,5
600.18	80,0	8,0	1,0	22	1662,2
600.19	80,0	9,0	1,1	24	1741,7
600.20	80,0	10,0	1,2	16	1118,9
600.21	90,0	6,0	1,4	22	1124,5
600.22	90,0	7,0	1,0	24	2914,8
600.23	90,0	8,0	1,1	16	1988,2
600.24	90,0	9,0	1,2	18	1361,0
600.25	90,0	10,0	1,3	20	1066,6

Yapılan MIG-lehim birleştirilmesinde delik çapı büyüdükçe lehim bölgesinde orta kısımlarda çökelme meydana gelmiştir.

6.5. Mikroyapı İncelemesi

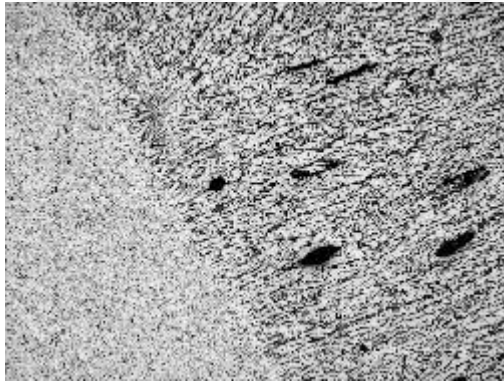
Optik mikroskopta 20x büyütme ile çekilen görüntülerde MIG-lehim birleştirilmesinde 3 farklı bölgeden detayı olarak incelenmiştir. Şekil 6.17.'de görülen 3 bölgeden mikro yapı incelemesi yapılmıştır.



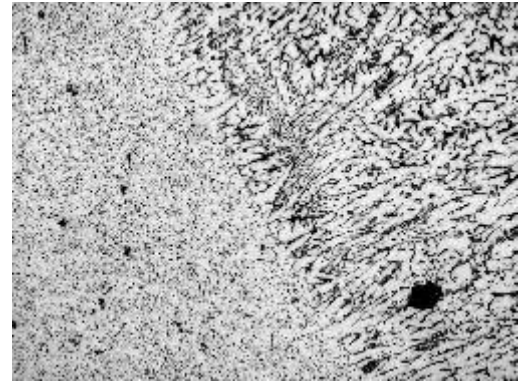
Şekil 6.17. Mikro görüntü alınan bölgeler

6.5.1. Optimum parametreler ile yapılan MIG-lehimleme mikroyapı incelmesi

Taguchi deney tasarımına göre yapılan MIG lehimleme işlemlerinde çıkan sonuçların analiz edilmesi ile elde edilen optimum parametreler olan 90 amper 10 mm delik çapı, 1,2 mm/sn robot hızı ve 22 bar gaz basıncında ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı analizlerinde optik mikroskop ile a, b ve c bölgelerinden 10x ve 20x büyütme ile görüntüler alınmıştır. SEM ve EDS analizlerinde detaylı olarak incelenmiştir.

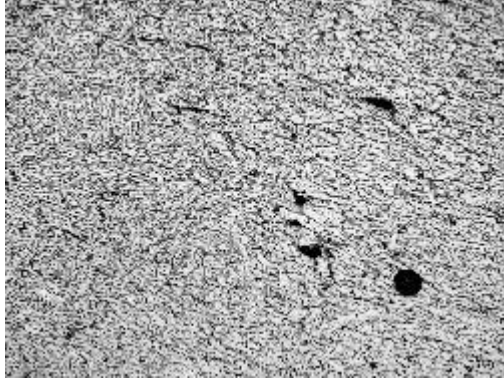


a) 10x Büyütme



b) 20x büyütme

Şekil 6.18. A bölgesi mikro yapı incelenmesi

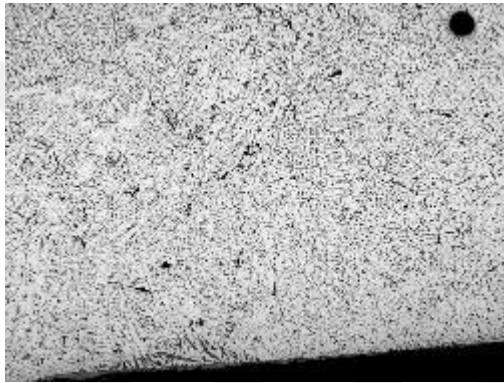


a) 10x Büyütme

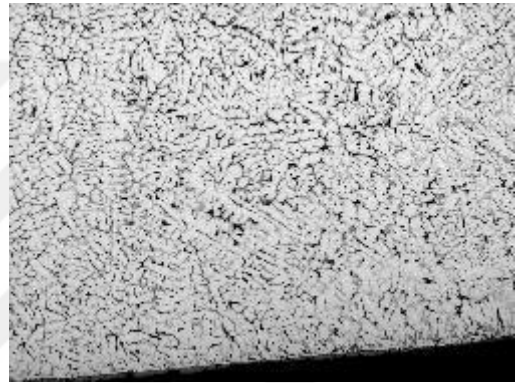


b) 20x Büyütme

Şekil 6.19. B bölgesi mikro yapı incelemesi



a) 10x Büyütme



b) 20x Büyütme

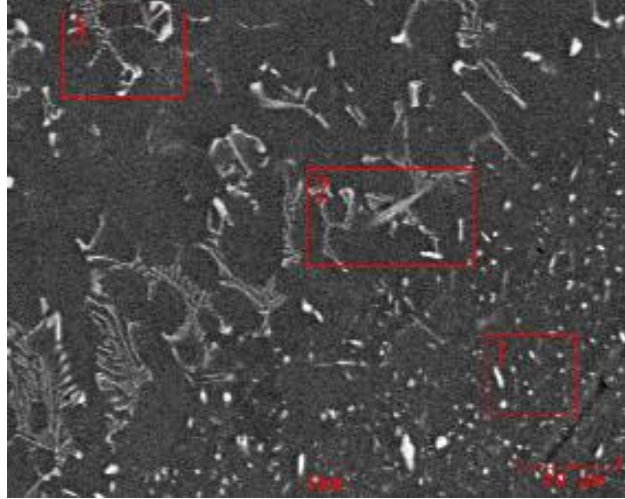
Şekil 6.20. C bölgesi mikro yapı incelemesi

6.6. SEM ve EDS Analiz İncelemeleri

Taguchi deney planına göre yapılan birleştirmelerde kötü sonuç veren 1 adet numuneye iyi sonuç veren 1 adet numuneye ve optimum parametreler ile yapılan birleştirmeye SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

6.6.1. Optimum birleşme SEM ve EDS analizleri

Optimum parametreler ile yapılan birleştirmede A bölgesinden yapılan analiz sonuçları aşağıdaki şekil ve tablolarda görülmektedir.



Şekil 6.21. A bölgesi SEM görüntüleri

Tablo 6.28. A bölgesi 1 numaralı EDS analizleri

No:1

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	1,071.99	20.705	98.516	wt.%
Si	Ka	0.16	0.254	0.045	wt.%
Mn	Ka	46023	0.709	0.306	wt.%
Fe	Ka	43191	1.294	1.133	wt.%
				100.000	wt.% Total

Tablo 6.29. A bölgesi 2 numaralı EDS analizleri

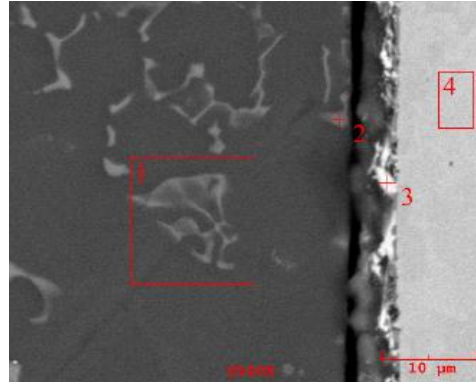
No:2

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	1,045.77	20.451	98.260	wt.%
Si	Ka	1.00	0.632	0.282	wt.%
Mn	Ka	0.42	0.409	0.104	wt.%
Fe	Ka	32964	1.399	1.354	wt.%
				100.000	wt.% Total

Tablo 6.30. A bölgesi 3 numaralı EDS analizleri

No:3

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	991.20	19.911	93.669	wt.%
Si	Ka	16.52	2.571	4.488	wt.%
Mn	Ka	0.72	0.536	0.178	wt.%
Fe	Ka	42435	1.553	1.665	wt.%
				100.000	wt.% Total



Şekil 6.22. C bölgesi SEM görüntüleri

Tablo 6.31. C bölgesi 1 numaralı EDS analizleri

No:1					
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	1,010.14	20.100	96.868	wt.%
Si	Ka	17958	1.182	0.986	wt.%
Mn	Ka	0.06	0.150	0.014	wt.%
Fe	Ka	23559	1.748	2.132	wt.%
				100.000	wt.% Total

Tablo 6.32. C bölgesi 2 numaralı EDS analizleri

No:2					
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	449.24	13.401	69.511	wt.%
Si	Ka	31.55	3.551	9.382	wt.%
Mn	Ka	21186	0.794	0.494	wt.%
Fe	Ka	34.87	3.734	12.135	wt.%
Zn	Ka	16497	1.174	2.445	wt.%
Sn	La	0.44	0.420	0.261	wt.%
Pb	La	11689	0.725	5.774	wt.%

Tablo 6.33. C bölgesi 3 numaralı EDS analizleri

No:3					
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Al	Ka	42594	2.198	4.363	wt.%
Si	Ka	3.00	1.095	0.887	wt.%
Mn	Ka	0.94	0.614	0.264	wt.%
Fe	Ka	57.27	4.785	17.326	wt.%
Zn	Ka	95.63	6.184	65.950	wt.%
Sn	La	0.93	0.611	0.467	wt.%
Pb	La	17564	0.996	10.743	wt.%

Tablo 6.34. C bölgesi 4 numaralı EDS analizleri

No:4						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
Si	Ka	46905	1.584	1.407	wt.%	
Mn	Ka	14366	1.468	1.430	wt.%	
Fe	Ka	269.11	10.371	86.007	wt.%	
Zn	Ka	0.52	0.456	0.358	wt.%	
Sn	La	44197	0.696	0.372	wt.%	
Pb	La	21217	1.015	10.426	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

SEM incelemeleri sonucunda yapılan MIG-lehimli birleştirmede lehim bölgesinden DP600 saçma difüzyon olduğu görülmüştür. Aynı şekilde DP600 saından lehim bölgesine geçiş olduğu görülmektedir. Tablo.34.'de görüldüğü gibi galvaniz tabakasından lehim bölgesine çinko difüzyon 2.44 tür Lehim bölgesinden alüminyum difüzyonu ise 4.3 seviyelerindedir. Buna bağlı olarak diğer alaşım elementleride bulunmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1,2 mm kalınlığa sahip DP600 çelik saclar MIG-lehimleme yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (4043) teli ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler DP600 sacı belirlenen parametrelerde delinerek hazırlanmıştır. Lehimleme işlemi 4 farklı parametrede 5 farklı seviyede gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler, akım şiddeti, delik çapı, gaz basıncı ve robot hızı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. MIG-lehimlenmiş malzemelerin mukavemet özellikleri çekme-sıyırma, çekme-makaslama, h biçli çekme ile belirlenmiş ve ayrıca bağlantı bölgesi arasında mikrossertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve Mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanılmıştır. Bu çalışmada minitab programı taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak deney planı oluşturulmuş ve çekme testlerinin sonucuna göre optimum kaynak parametreleri araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan DP600 ve 8006 alüminyum alaşımlı levha ile elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkartılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Yapılan MIG-lehim birleştirme deneylerinde birleştirme telinin seçimi için önce CuAl8 teli denenmiş ve birleştirme işleminin olumlu sonuç vermediği görülmüştür.
- DP 600 sacının galvaniz tabakası inceltilecek şekilde temizleme ve tamamen kaldırılacak şekilde yapılan birleştirme işlemlerinde birleşme olmadığı görülmüştür.

- Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme birleştirmesinde her deney 3 tekrarlı yapılmıştır. Yapılan deneme sonuçlarına göre çekme-makaslama testi yapıldığında optimum kaynak parametrelerin 90A akım şiddeti, 10 mm delik çapı, 1,2 mm/sn robot hızı ve 22 bar gaz basıncının olduğu belirtilmiştir. Tasarım doğrulama deneyinde belirtilen parametreler ile MIG-lehime işleminde 5018,7 N çekme makaslama değeri bulunmuştur. Minitab programının taguchi deney tasarım yönteminin bize vermiş olduğu sonuç 4481,83 N dur. Program sonucuna % 12 bir yakınsama gerçekleştirilmiştir.
- Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme birleştirmesinde her deney 3 tekrarlı yapılmıştır. Yapılan deneme sonuçlarına göre çekme-sıyırma testi yapıldığında optimum kaynak parametrelerin 90 A akım şiddeti, 10 mm delik çapı, 1,2 mm/sn robot hızı ve 22 bar gaz basıncının olduğu belirtilmiştir. Tasarım doğrulama deneyinde belirtilen parametreler ile MIG-lehime işleminde 3006,5 N çekme makaslama değeri bulunmuştur. Minitab programının taguchi deney tasarım yönteminin bize vermiş olduğu sonuç 2591,81 N dur. Program sonucuna % 16 bir yakınsama gerçekleştirilmiştir
- Taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehimleme birleştirmesinde her deney 3 tekrarlı yapılmıştır. Yapılan deneme sonuçlarına göre H biçimi çekme-testi yapıldığında optimum kaynak parametrelerin 90 A akım şiddeti, 10 mm delik çapı, 1,2 mm/sn robot hızı ve 22 bar gaz basıncının olduğu belirtilmiştir. Tasarım doğrulama deneyinde belirtilen parametreler ile MIG-lehime işleminde 1153,15 N çekme makaslama değeri bulunmuştur. Minitab programının taguchi deney tasarım yönteminin bize vermiş olduğu sonuç 1038 N dur. Program sonucuna % 11,09 bir yakınsama gerçekleştirilmiştir
- Optimum kaynak parametreleri ile yapılan MIG-lehimleme işleminde Mikroyapı, SEM ve EDS analizleri yapıldığında lehim bölgesinden DP600 saçına difüzyon olduğu görülmüştür. Aynı şekilde DP600 saçıdan lehim bölgesine geçiş olduğu görülmektedir. Tablo 6.32.'de görüldüğü gibi galvaniz tabakasından lehim bölgesine çinko difüzyon 2.44 tür Lehim bölgesinden.

alüminyum difüzyonu ise 4.3 seviyelerindedir. Buna bağlı olarak diğer alaşım elementleride bulunmaktadır.

- Minitab programının taguchi deney planına göre yapılan MIG-lehim birleştirme parametrelerinde mikro yapı incelemesinde akım şiddetinin artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Lehim merkezine doğru gidildikçe sertlik değerleri artmıştır. Lehim bölgesinden DP600 sacına yaklaştıkça sertlik değerleri galvanizli sac sertlik değerlerine yaklaşmıştır.
- MIG-lehimleme işleminden sonra birleştirilen numuneler incelendiğinde gaz basıncına bağlı olarak DP600 sacının arka yüzeyinde oluşan iz alanı arttığı görülmüştür.
- Yapılan makro ve Mikroyapı incelemeleri sonucunda delik çapı ve gaz basıncı difüzyon etkisini belirlemektedir. Tel hızı ise tane yapısını farklılaştırmakta olduğu görülmüştür.
- Yapılan MIG-lehimleme işleminde deneme amaçlı DP600 sacı delinerek 8006 alüminyum alaşımlı levhaya birleştirilme denemeleri yapılmıştır. Birleştirilme işlemi sırasında alüminyum ergine sıcaklığı 660 °C olduğu için birleştirme gerçekleştirilememiş alüminyum akmıştır.
- DP 600 galvanizli sac ile 8006 serisi alüminyum alaşımı bindirme birleştirme denemesi yapılmıştır. Yapılan denemede DP600 galvanizli sac altta 8006 serisi alüminyum alaşımlı levha üstte olacak şekilde birleştirme yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.
- Minitab programında L₂₅ ortogonal dizisine göre yapılan deney planından taguchi deney analizi ile yapılan çözümlemede optimum MIG-lehimleme parametreleri oluşturulmuştur. Bulunan optimum parametrelerin doğruluğunun tespiti için L₂₅ ortogonal dizisinde olmayan fakat deney planında

olan parametreler ve seviyelerden seçilmiştir. Seçilen parametrelere çekme-sıyırma deneyleri yapılmıştır. Seçilen parametreler ve çekme –sıyırma sonuçları Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Tasarım doğrulama deneyleri

Akım şiddeti	Delik Çapı	Robot Hızı	Gaz Basıncı	Çekme-Sıyırma Test Sonuçları (N)
90,0	10,0	1,0	16	3157
90,0	10,0	1,1	18	3375
90,0	10,0	1,2	20	3687
90,0	10,0	1,3	22	3982
90,0	10,0	1,4	24	4102

7.2. Öneriler

- DP600 galvaniz kaplı sacın farklı galvaniz tabaka kalınlıklarında levhalar ile CMT kaynak birleştirmesi yapılarak optimum galvaniz kalınlığı belirlenebilir.
- MIG-lehimlenen DP600 galvanizli çeliği ile 8006 alüminyum alaşımli levhanın bağlantı bölgesinin korozyon ve yorulma davranışları incelenebilir.
- DP600 galvanizli çeliği ile 8006 alüminyum alaşımli levhanın MIG-lehimlemesinde, farklı kimyasal bileşime sahip ilave teller ve farklı gaz karışımları ile ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.
- DP600 galvanizli çeliğin yüzeyinde oluşan iz ve lekelerin minimum seviyeye indirilmesi için ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Cobden R., Banbur A., Aluminium: Physical properties, characteristics and alloys, European Aluminium Association , p:60, 1994.
- [2] Totten G. E., Mackenzie S., Handbook of aluminum Vol 1 : Physical metallurgy and processes, Marcel Dekker Inc., USA, 2003.
- [3] Taban E., 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 154963, 2004.
- [4] Güngör, B. “AW5083-H11 ve AW6082-T561 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma (FSW) ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalürjik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans Tezi, 342552, 2013.
- [5] Taban, E., Gould, j.e., Lippold, C.J. “Dissimilar friction welding of 6061-T6 aluminum and AISI 1018 steel: Properties and microstructural characterization” Materials and design, 31, 2305-2311, 2010.
- [6] Ozaki, H., Katsuna, M. “Dissimilar metal joining of zinc coated steel and aluminum alloy by laser roll weldin”, Welding Processes , Chapter 2, 2012.
- [7] Erdem Ü., Emel T. Alüminyum –çelik CMT kaynaklı bağlantılarının özellikleri ve optimizasyonu, 7.Alüminyum sempozyumu, İstanbul 2015.
- [8] R.Cao, QÇ. Huang, J.H. Chen, Pei-Chung Wang, Cold metal transfer spot plug welding of AA6061-T6 to galvanized steel for automotive applications, Journal of Alloys and Compounds, USA 2013.
- [9] Haiyang Lei, Yongbing Li, Blair E. Carlson, Zhonggin Lin Microstructure and mechanical performance of cold metal transfer spot joints of AA6061-T6 to galvanized DP590 using edge plug welding modes, ResearchGate, 2014.
- [10] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Raporu, 1976.
- [11] Robert E. Sanders Jr., Technology Innovation in Aluminum Products, 21-25, February 2001.
- [12] TALSAD Yayınları, Türkiye’de ve Dünya’da Alüminyum, 1995.

- [13] Matters G., The Welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2002.
- [14] Tanrıöver, L. AA5052/2024 Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye 1-19, 2008.
- [15] Yalçın, E.D. AA7075 ve AA5754 Alüminyum Alaşımların Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 1-31, 2010.
- [16] Kaufman J. G., Introduction to aluminum alloys and tempers, ASM International, USA, 2000.
- [17] Sayaca, T. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 2000 Serisi Alüminyum Alaşımların Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 38-69, 2010.
- [18] Anderson T., Why lithium added to aluminium, Welding Journal, 90 (10), 18-20, 2011.
- [19] Yılmaz, E. Etial 180 Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitim Bölümü, Isparta, Türkiye, 70-71, 2010.
- [20] Sayaca, T. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 2000 Serisi Alüminyum Alaşımların Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 38-69, 2010.
- [21] Akgül, H. Çeşitli Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Kalıplarında Şekillendirilmesi. Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye, 19-20, 2007.
- [22] Özdiñer, A. Alüminyum Alaşımlarının Gaz Altı Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımlarının Nüfuziyet ile Diğer Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Bölümü, İstanbul, Türkiye, 25-27, 2006.
- [23] Conserva M., Donzelli G., Trippodo R. Aluminum and Its Applications, Edimet, Brescia, 1992.
- [24] Kavaklıoğlu, B., Alüminyum Levha Üretiminde Proses Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.

- [25] Alper, M.G., Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş 5052 – 5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [26] Speich, G.R.. Phycial Metallurgy of Dual Phase Steels, Fundamentals of Dual-Phase Steels, ed. by; R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, p. 279-304, 1981.
- [27] Pıplanı, R.K. , Raghavan, G.. Microstructure and Its Corelation with Properties in Dual-Phase Steels, Steel India, vol.4, p. 1-21, 1981.
- [28] Rashıd, M.S. elationship Between Steel Microstructure and Formability, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. By: Davenport A.T. , AIME, p. 1-26., 1977.
- [29] Furukava, T., Deformation For Manufacture: Forming And Shaping, Strength of Metals and Alloys, ed. by: R.C. Gifking, Pergamon Pres, New York, p.1165-1179, 1983.
- [30] Lewllyn, D.T., Hillis, D.J. Dual-Phase Steels. Rewiew, Ironmaking and Steelmakin, vol. 23, p.471-478., 1996.
- [31] Çimenoglu, H. Alaşımsız Dual-Fazlı Çeliklerde Mikroyapı-Mekanik Özellik ilişkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1984.
- [32] Demetri, M.Y. Met. Trans. Pp. 1187-1196, 1981.
- [33] Okomanoto, A. , Hayashi, Y. , Takashi, M. , Sugisawa, S. Bake Hardenable Al-Killed Steel for Automotive Body Panels, SAE Technical Paper Series, 820018, 1982.
- [34] Nakaoka, K. , Arak, K. , Kurukara, K. Strength Ductility and Aging Properties of Continously Annealed Dual-Phase High Strength Steel Sheets, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. by: A.T. Davenport, Aime, p. 128-143, 1977.
- [35] Demirkool, M. Mekanik Metalurji Ders Notları. İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1991.
- [36] Coldren, A.P. , Eldis, G.D. The Journal of Molybdenum Technology. P 2-5, 1980.
- [37] Lloyd, E. Aug., Sheet Metal Inclustrics. p. 706-714, 1980.
- [38] Karavolis, M., JHA, S., ForsterR, 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.

- [39] Kaya, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve iğlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [40] Uzun, H., Sert lehimleme teknikleri, Sakarya Üniversitesi.
- [41] Taban E., 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 154963, 2004.
- [42] Kaluç E., Metallerin Kaynak Kabiliyeti, Yüksek Lisans Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 1999.
- [43] Totten G. E., Mackenzie S., Handbook of aluminum Vol 1: Physical metallurgy and processes, Marcel Dekker Inc., USA, 2003.
- [44] Matters G., The Welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2002.
- [45] Anık S., Dikicioğlu A., Vural M., Koruyucu gaz altında kaynak ve alüminyum MIG kaynağı, Teknisyenler Matbaası, İstanbul, 1994.
- [46] Rosado T., Almeida P., Pires I., Miranda R., Quintino L., Innovation in Arc Welding, 2° Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2-4 Setembro 2008.
- [47] http://www.fronius.com.tr/CMT_2013.pdf, Erişim Tarihi: 28.09 2016.
- [48] Montgomery, D. C. Design and analysis of experiments. 5th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York, 2001.
- [49] Taylan, D., “Taguchi Deneysel Tasarım Uygulaması“, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s., 2009.
- [50] Barker, T, B. Quality engineering by design: Taguchi’s Philosophy. Quality Progress, Vol. 19, No.12, pp. 32-33, 1986.
- [51] Şirvancı, M., Kalite için deneysel tasarımı, Literatür yayınları. İstanbul, 110s., 1997.
- [52] Tang, J., Tang K., Design product specifications for multi-characteristic inspection, Management Science, Vol.35, No.6, p.743-755., 1989.
- [53] Connor, A.M., Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi Methods, Journal of Engineering Design, Vol.10, No.4., 1999.
- [54] Ross, P.J., Taguchi techniques for quality engineering, McGraw – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73., 1996.

ÖZGEÇMİŞ

Murat Konar, 14.08.1990'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2007 yılında Sakarya Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında Amerika Birleşik Devletleri Newyork eyaletinin Brooklyn bölgesinde bulunan Bell Language School da 12 aylık dil eğitimi almıştır. Dil eğitiminin ardından Çin Halk Cumhuriyeti Guangzhou şehrinde Troyled firmasında 4 ay tasarım mühendisi olarak çalıştı. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında ASAŞ Alüminyum Ar-Ge merkezinde Ar-Ge mühendisi olarak çalışma hayatına başladı ve halen devam etmektedir.