



**DÖKÜM EN AC 44300 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
KOROZYON MİKROYAPI VE SERTLİK
DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Muharrem İlbeyi İNCEDERE

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**DÖKÜM EN AC 44300 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYON
MİKROYAPI VE SERTLİK DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Muharrem İlbeyi İNCEDERE

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2024

Muharrem İlbeyi İNCEDERE tarafından hazırlanan “DÖKÜM EN AC 44300 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYON, MİKROYAPI VE SERTLİK DAYANIMLARININ İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Programı Seçin olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

Üye : Dr.Öğr.Üyesi İ. Hakkı KARA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muharrem İlbeyi İNCEDERE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖKÜM EN AC 44300 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYON MİKROYAPI VE SERTLİK DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Muharrem İlbeyi İNCEDERE

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2024, 114 sayfa

Bu çalışmada, Otomotiv, beyaz eşya ve birçok sektörde kullanılan DIN 230 - EN-AC44300 kodlu madenin araştırılarak daha farklı sektörler bu alaşımın ağır metal ve alaşımlar yerine kullanılmasını teşvik etmeye yöneliktir. Maalesef küresel ısınmanın yol açtığı iklim değişikliği günümüzde insanlığın en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir ve bunun çözümüne dair tüm bilim insanları çalışmaktadır. Bu çerçevede başlıca sera gazlarından biri olan ve dünyamıza zarar veren CO2 salınımının azaltılması giderek önem kazanmaktadır. Fosil yakıt ile üretilen ve üretilmeye bir süre daha devam edecek olan araçların bir çok parçasında alüminyum kullanılmaktadır. Hali hazırda kullanılan bu alüminyum serilerine eş olacak şekilde EN-AC 44300 kodlu alaşımın bir çok özelliğini inceleyerek alternatif kullanıma dair bilgiler sunulacaktır. Yollarda kullanılan aydınlatma blokları, beyaz esyalarda kullanılan motor blokları dahil bir çok alanda kullanılan diğer alüminyum alaşımlarına eşlenik olan EN-AC 44300 kodlu alaşımın incelenecek olan bir çok

özelliği ile korozyona maruz kalan alanlarda ürün ömrünün daha uzun olması, ısı farkından doğabilecek mikroyapı değişimi, gerilme kuvvetleri altındaki davranışları ile uzun ömürlülüğe dair teşvik ettirilecektir. Bu tez konusunda KORMETAL A.ř. olarak üretilen aydınlatma bloklarının üretimi esnasında kullanılan DIN 230D madeni araştırılacaktır. Dünya standartlarında aynı zamanda 44300 olarak da bilinen bu alüminyum alaşımlarının döküm öncesi (külçe olarak bulunan maden)., döküm sonrası oluşturulan bloklarından, sertlik ölçümü, mikroyapı ve korozyon dayanımı davranışları incelenecektir.

Anahtar Sözcükler : Dın 230, EN AC 44300, Aydınlatma Bloğu.

Bilim Kodu : 91513

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF CORROSION MICROSTRUCTURAL AND HARDNESS RESISTANCE OF CASTING EN AC 44300 ALUMINUM ALLOY

Muharrem İlbeyi İNCEDERE

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Material Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

January 2024, 114 pages

In this study, the DIN 230 - EN-AC44300 coded mine, which is used in Automotive, white goods and many sectors, is investigated and different sectors aim to encourage the use of this alloy instead of heavy metals and alloys. Unfortunately, climate change caused by global warming has become one of the most important problems of humanity today and all scientists are working on its solution. In this context, reducing the emission of CO₂, which is one of the main greenhouse gases and harms our world, is becoming increasingly important. Aluminum is used in many parts of vehicles produced with fossil fuels and will continue to be produced for a while. By examining many properties of the EN-AC 44300 coded alloy, which is equivalent to these currently used aluminum series, information on alternative uses will be presented. EN-AC 44300 coded alloy, which is equivalent to other aluminum alloys used in many areas including lighting blocks used on roads, motor blocks used in

white goods, with many features to be examined, longer product life in areas exposed to corrosion, microstructure change that may arise from temperature difference, tensile forces will be encouraged about longevity with their behavior under it. In this thesis, KORMETAL A.Ş. The DIN 230D mine used during the production of the lighting blocks produced will be investigated. The hardness measurement and corrosion resistance behaviors of these aluminum alloys, also known as 44300 in world standards, will be examined from the blocks formed before casting (mineral found as ingots) and after casting.

Key Word : Dm 230, EN AC 44300, Corrosion

Science Code : 91513

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın başından sonuna dek bilgi birikimini ve emeğini bir an olsun esirgemeyen değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve test çalışmalarım süresinde deneyim ve bilgi birikimleriyle yolumu aydınlatan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda projemin yürütülmesinde emeği geçen değerli Metalurji ve Malzeme Mühendisi kardeşim Muharrem İltan İNCEDERE'YE teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan, desteğini ve güleryüzünü bir an olsun esirgemeyen eşim Şeyma İNCEDERE'ye ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ.....	1
BÖLÜM 2	3
ALÜMİNYUM TARİHÇESİ	3
2.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ	6
2.1.1. Alüminyum Alaşımları	10
2.1.2. Alüminyum Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması	11
2.1.3. Al – Si Alaşımı	13
2.1.4. Al – Si - Mg Alaşımı Alaşımlarının Dökümü	17
2.1.5. Al – Si - Mg Alaşımı Alaşımlarının Döküm Tekniği ve Tarihçesi	18
BÖLÜM 3	21
DÖKÜM KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	21
3.1. YOLLUK SİSTEMİ	22
3.2. DÖKÜM HAVUZU VEYA HAVŞA	23
3.3. DİKEY YOLLUK	23
3.4. TOPUK.....	24
3.5. YATAY YOLLUK.....	24
3.6. CURUFLUK	25

	<u>Sayfa</u>
3.7. MEME	25
3.8. FİLTRE	25
BÖLÜM 4	27
İKİNCİL FAZLAR VE İNCELENMESİ	27
4.1. İNKLÜZYONLAR	27
4.2. BOŞLUK OLUŞUMU	28
BÖLÜM 5	30
AL – Sİ – MG ALAŞIMLARININ MİKROYAPI KONTROLÜ	30
5.1. TANE YAPISI	30
5.2. NTRİT KOL ARALIĞI.....	31
5.3. MODİFİKASYON	31
5.4. TANE İNCELTME İŞLEMLERİ	32
BÖLÜM 6	34
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	34
6.1. KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ.....	34
6.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ.....	35
6.3. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ.....	36
6.4. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM AVANTAJLARI	38
6.5. YÜKSEK BSINÇLI DÖKÜM DEZAVANTAJLARI.....	39
6.6. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜME YARDIMCI ELEMANLAR.....	39
6.7. ERGİTME OCAKLARI.....	49
6.8. DOZAJLAMA VE BEKLETME OCAKLARI	51
6.9. GAZ ALMA ÜNİTESİ	53
6.10. KALIP YAĞLAMA ÜNİTESİ	54
6.11. PİSTON YAĞLAMA ÜNİTESİ	56
6.12. PARÇA ALMA ROBOTLARI	57
6.13. SOĞUTMA TANKI ÜNİTESİ	57
6.14. KALIP ISITMA ÜNİTESİ.....	58
6.15. TRİM PRES ÜNİTESİ.....	59
6.16. VAKUM ÜNİTESİ	60

	<u>Sayfa</u>
6.17. VAKUM ÜNİTESİ JET COOLİNG ÜNİTESİ	61
BÖLÜM 7	63
YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM KALIPLARI VE EKİPMANLARI.....	63
7.1. KALIP ÇEKİRDEĞİ VE HAMİLİ	66
7.2. MAÇALAR	68
7.3. İTİCİLER	69
7.4. KALIP MERKEZLEME MİLLERİ VE BURÇLARI	71
7.5. YÜKSEK BASINÇ KALIPLARININ TASARLANMASI.....	73
7.6. ÇIKIŞ AÇISI VE KALIP AYRIM HATTI.....	73
7.7. GÖZ SAYISININ BELİRLENMESİ.....	76
7.8. BOYUTSAL TÖLERANS SAĞLANMASI.....	78
7.9. DOLDURMA ORANI	79
7.10. YOLLUK TASARIMI	80
7.11. SOĞUTMA KANALLARININ TASARIMI	84
7.12. HAVA CEBİ VE HAVA TAHLİYE KANALLARININ TASARIMI	86
7.13. YARI KATI METAL DÖKÜM YÖNTEMİ	87
BÖLÜM 8	89
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	89
8.1. KESME İŞLEMİ	91
8.2. METALOGRAFİK İNCELEME	92
8.3. MİKROYAPI GÖRÜNTÜSÜ ALINMASI.....	95
8.4. SERTLİK ÖLÇME.....	95
8.5. KOROZYON TESTİ.....	97
BÖLÜM 9	100
DENEY SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	100
9.1. SERTLİK DENEY SONUÇLARI	100
9.2. MİKROYAPI SONUÇLARI	101
BÖLÜM 10	110
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	110

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyum değer halkası.	6
Şekil 2.2. Alüminyum özellikleri.	7
Şekil 2.3. Alüminyumun yüzey merkezli kübik atomik yapısının şematik şekli [9] ...	8
Şekil 2.4. Alüminyumun mekanik özellikleri [6].....	10
Şekil 2.5. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanmakta Olan Isıl İşlem Türleri.	13
Şekil 2.6. Al – Si Denge Diyagramı.....	14
Şekil 3.1. Yolluk sistemi.	23
Şekil 3.2. Yatay yolluk gösterimi.....	24
Şekil 4.1. Soğuma eğrisi [10].....	29
Şekil 6.1. Kum kalıbın şematik gösterimi [57].	35
Şekil 6.2. Kokil dökümün yöntemi [58].....	35
Şekil 6.3. Yüksek basınçlı döküm yöntemi.....	38
Şekil 6.4.Yüksek basınçlı döküm tezgâhı şematik gösterimi [21].	40
Şekil 6.5. Yağ temizliği ve seviyesinin gözetleme camı ve termometresi [21].	41
Şekil 6.6. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında bulunan plakaların gösterimi [21].	42
Şekil 6.7. Enjeksiyon döküm tezgâhı üzerinde bulunan kolon milleri n [21].....	43
Şekil 6.8. Makas grubunun (a) kitlenmemiş, (b) kitlenmiş şematik gösterimi [22]...	44
Şekil 6.9. Mengene mili ve redüktör gösterimi [22].	45
Şekil 6.10. Elektrik motoru ve hidrolik pompa grubu gösterimi [21].....	46
Şekil 6.11. Yüksek basınçlı döküm tezgâhında kullanılan selenoid valf [21].	46
Şekil 6.12. Limit anahtarları / switchlerin gösterimi [21].....	47
Şekil 6.13. Enjeksiyon grubu şematik gösterimi [19].	48
Şekil 6.14. Şaft tipi ergitme ocağı [23].	50
Şekil 6.15. Cüruf alma işlemi [23].	51
Şekil 6.16. Dozajlama/bekletme ocağının şematik gösterimi [23].	52
Şekil 6.17. Alüminyum alaşımında oluşan gaz gözeneği [14].....	53
Şekil 6.18. Gaz alma işleminin görseli [14].....	54
Şekil 6.19. Yağlama sistemi görselleri [21].	55
Şekil 6.20. Piston yağlama tankı ve sistemi görselleri [21].	56
Şekil 6.21. 6 Eksenli parça alma robotu ve kalıptan parça çıkartma [21].....	57

Şekil 6.22. Parça soğutma tankı [21].	58
Şekil 6.23. Kalıp ısıtıcı [21].	59
Şekil 6.24. Trim presin önden ve soldan şematik gösterimi [21].	60
Şekil 6.25. Vakum ünitesinin şematik gösterimi [22].	61
Şekil 6.26. Jet cooling ünitesi şematik gösterimi [24].	62
Şekil 7.2. Yüksek basınçlı döküm kalıbı [25].	66
Şekil 7.3. Kalıp çekirdeklerinin görünümü [16].	67
Şekil 7.4. Kalıp hamillerinin görünümü [16].	67
Şekil 7.5. Maça çekirdeklerinin görünümü [27].	69
Şekil 7.6. İtici sisteminin şematik çizimi [21].	70
Şekil 7.7. Döküm parçasının döküm kalıbından iticiler yardımı ile çıkartılması [21].	70
Şekil 7.8. Kalıp merkezleme mili ve burçlarının şematik gösterimi [21].	72
Şekil 7.9. Çıkış açılarının döküm parçası üzerinde gösterimi [25].	74
Şekil 7.10. Formül 2.1 Çıkış açısı.	75
Şekil 7.11. Formül 2,2 çıkış açısı.	75
Şekil 7.12. Çıkış açısının şematik gösterimi [30].	76
Şekil 7.14. Spesifik basıncın şematik gösterimi [26].	79
Şekil 7.15. Doldurma oranı formülü (2,4).	80
Şekil 7.16. Kalıp doldurma süresi formülü.	82
Şekil 7.17. Termoregülasyon kanalları [28].	85
Şekil 7.19. Yarı-katı döküm.	88
Şekil 8.1. Maden fotoğrafı.	89
Şekil 8.2. Spectromaxx Cihazı.	90
Şekil 8.3. Uzay makine markalı kesme makinası.	92
Şekil 8.4. Zımparalama işlemi bitmiş olan numune.	93
Şekil 8.5. Mikrotest multipay easy metalografi makinası.	94
Şekil 8.6. Carl Zeiss GmbH marka mikroskop	95
Şekil 8.7. Brinell sertlik testi formülünün görseli.	96
Şekil 8.8. Brinell sertlik cihazı.	97
Şekil 8.9. Bilgisayar Destekli Sertlik Değer Ölçümü.	97
Şekil 8.10. QUALİTEST Korozyon Test Cihazı.	98
Şekil 9.1. Sertlik ölçüm bölgeleri.	101
Şekil 9.2. 10X büyütme ince alaşımın mikroyapı sonuç incelemesi.	102

Şekil 9.3. 20X büyütmede incelenen alaşımın T bölgesinin minimikroyapı sonuçları	102
Şekil 9.4. 20X büyütme incelenen alaşımın T bölgesinin mikroyapı sonuçları.....	103
Şekil 9.5. 100X büyütmede incelenen alaşımın düz bölgesinin mikroyapı sonuçları	103
Şekil 9.6. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi süreci	104
Şekil 9.7. 1. Numune Korozyon Testi Sonrası Ağırlık Ölçümü (gram).	105
Şekil 9.8. 2. Numune Korozyon Testi Sonrası Ağırlık Ölçümü (gram).	105
Şekil 9.9. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi süresi kayıp tablosu.	106
Şekil 9.10. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi sonucu numune yüzey görünümü.	107
Şekil 9.11. İncelenen numunelerin Tafel eğrisi.	108
Şekil 9.12 (a) Düz numune ve (b) T numunesinin korozyon deney sonrası görünümleri	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alüminyumun mekanik özellikleri.	11
Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımının sınıflandırılması.	22
Çizelge 8.1. DIN 230 standardına göre analiz sonuçları.....	91
Çizelge 9.1. Sertlik Test Ölçüm Grafiği.....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

HPDC : High Pressure Die Casting (Yüksek Basınçlı Döküm)

Si : Silisyum

Mn : Manganez

Al : Alüminyum

Zn : Çinko

Fe : Demir

DIN 230: EN AC 44300 Alaşımının Ticari İsmi (AlSi12Fe)

Cu : Bakır

Mg : Magnezium

Sr : Stronsiyum

DAS : Dendrit Kol Uzunluğu (Dendrite Arm Spacing)

C02 : Karbondioksit

BÖLÜM 1

BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ

Basınçlı döküm yöntemi, sıvı metalin yüksek basınç ve yüksek hız ile birleşerek metal kalıba gönderilmesi sonrasında kalıp içerisinde katılaşmasının tamamlanması ile parça üretimine imkan veren bir döküm yöntemidir. Bu döküm yöntemi ilk olarak 1849 yılında Sturges, 1852 yılında Barr, 1856 yılında Pelize ve 1877 yılında Dusenbury tarafından denenmiş bir döküm yöntemidir. Basınçlı döküm yönteminin patent hakları da bu kişiler tarafından alınmıştır. Ticari uygulamaları ise 1890'lı yıllarda yazar kasa parçaları, pikap ve sonrasında otomotiv yatak mil parçalarının kalay-kurşun alaşımlarının yapılması ile başlamıştır. Günümüzde kullanılan basınçlı döküm makineleri ise 1910 yılında Doehler tarafından yapılmış ve 973,483 numaralı patent numarası ile tescil edilmiştir. Alüminyum alaşımları ile olarak 1915 yılında Doehler pres döküm şirketi tarafından basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Birinci dünya savaşı sırasında ise basınçlı döküm yöntemi ile gaz maskesi, dürbün, makineli tüfek vb. parçaların üretilmesinde hız ve kolaylık kazandırmıştır. Günümüzde alüminyum, magnezyum, kalay, kurşun, bakır, çinko alaşımlarından üretilen döküm parçalarının üretim yöntemi olarak çoğunlukla basınçlı döküm yöntemi tercih edilmektedir. Basınçlı döküm yönteminin, diğer döküm yöntemlerinde de olduğu gibi bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları, hızlı ve büyük miktarlarda verimli üretimin gerçekleşmesi, döküm parçasının üretiminde hammadde tasarrufu sağlaması, döküm parçasının mekanik özelliklerinin ve yüzey kalitesinin iyi olması, boyut hassasiyetinin duyarlı olması ve buna bağlı olarak ilave işlemleri ve montaj maliyetlerini azaltması, parça başına düşen işçilik maliyetlerinin düşük olması şeklinde sıralanmaktadır'de avantajlarını değerlendirdiğimizde ise makine ve kalıp için ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda ergiyen demir türü alaşımların bu yöntem ile üretilmiyor oluşu olarak sıralanmaktadır. Basınçlı döküm yönteminde; üretilecek olan ürünün, mekanik özellikleri, alaşımları göz önüne alınarak parçanın imalatı

sıcak ve soğuk kamaralı olarak iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Üretilen malzemenin cinsine göre seçilecek yöntemin belirlenmesinde aynı zamanda da üretimin istenilen kalite standartlarında ve hassasiyette yapılabilmesi için kalıp yapımında kullanılacak olan kalıp malzemelerinin, parçanın çıkarılmasında kullanılacak olan iticilerin, kalıplanan malzemenin soğutulması için kullanılacak olan soğutma kanallarının, kalıp içerisindeki havanın tahliye edilebilmesi için gerekli olan hava ceplerinin ve kalıbı dolduracak sıvı metalin kalıbın şeklini tam olarak alabilmesi için dağıtıcıların seçimi büyük önem taşımaktadır.

Basıncılı döküm yönteminde sıvı metal pota içerisindeki hazneye döküldükten sonra, sıvı metal yüksek hız ve basınç altında kalıba enjekte edilebilmektedir. Bu durumun sonucu olarak kalıp içerisindeki metal büyük bir hız ile katılaşmaya başlamaktadır. Meydana gelen bu katılaşma süresince oluşan ısı transferi ve döküm-kalıp ara yüzeyindeki ısı direnç, döküm parçasının kalitesine doğrudan etki etmektedir. Döküm malzemelerin mekanik özelliklerini belirleyen makroyapı (boyut hassasiyeti, yüzey hassasiyeti vb.) ve mikroyapı (tane boyutu, tane yapısı, fazlar, fazların şekli, boyutu, miktarı ve dağılımı) özellikleri sıvı metalin katılaşma hızıyla doğrudan ilişkilidir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile bilgisayar destekli tasarım ve modelleme yazılımları sayesinde planlanan döküm yönteminin ve aşımalarının simülasyonları yapılabilmektedir (Magma-Soft, VULCAN, Flow3D, Procast, Mavis, Solidcast, Software vb.). Bu programlarda ise kalıp ve döküm malzemesinin ısı iletim katsayısı, yoğunluğu, katılaşma oranı, özgül ısısı, sınır şartları, ergime gizli ısısı, akış özellikleri ve döküm-kalıp ara yüzey ısı transfer katsayısı doğru olarak belirlenip kullanıldığı takdirde elde edilen simülasyon sonuçları güvenilir olmaktadır. Bu nedenle deneysel veriler ile elde edilen, kalıp sıcaklık dağılım oranı, ısı akış oranı ve döküm-kalıp ara yüzeyi ısı transfer katsayılarının tespit değerleri önem arz etmektedir.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM TARİHÇESİ

Metalik alüminyum elementinin keşif tarihi günümüze oldukça yakındır. Yaklaşık olarak 200 yıllık bir tarihi olan alüminyum madeninin, diğer metallere göre daha geç keşfedilmiş olmasında yer alan sebepler ise alüminyum elementinin doğal koşullarda oksitli bileşikler halinde bulunuyor olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Antik Yunan tarihçi ve yazar olan Hedorod, alüminyum elementiyile alakalı bileşikler hakkında kayıtlı açıklama yapmıştır ve daha sonra 1750’li yıllara gelindiğinde Marggraf, alüminyum ve kil bileşik türlerinin aynı metal alaşımlardan oluştuğunu bulmuştur. 1780’li yıllara gelindiğinde De Merveau ise, Marggraf’ın atıfta bulunmuş olduğu bu metal elemente alumine adını koymuştur. 1800’lü yılların başına gelindiğinde Humphrey Davy yapmış olduğu çalışmaların sonucunda alumine olarak isimlendirilmiş olan bu metal elemente alüminyum denilmesi için bir önerge sunmuştur. Alüminanın bileşim içerisinde oksijen elementi ile bağlantılı bir metal olduğunu düşünüyor olmasına rağmen yapmış olduğu çalışma için elektroliz yöntemini kullanarak alümina bileşiğini ayrıştırmaya çalışmasına rağmen yanlış yolu izlemesinden kaynaklı olarak oksitlenen alüminyum elementini ayrıştıramamıştır (6-7).

1820’li yılların başlarında Fransa’nın Les Baux ilçesi içerisinde alüminyum elementi için ham madde olan boksit cevherini keşfeden M. Pierre Berthier, bulmuş olduğu elementin kimyasal olarak denklemini inşa ederken $AL_2O_3H_2O$ olarak tespit etmiştir. 1825 yılına gelindiği vakit Hans Christian Oersed yapmış olduğu çalışma neticesinde, alüminyum klorür bileşiğini redükleyerek metalik alüminyum elementini üreten ilk bilim insanı olarak tarihe geçmiştir. 1827 yılında Friedrich Wöhler ise su ortamında olmadan alüminyum kloriti saf potasyum elementi ile redüklemesi sonucunda alüminyum elementinin özelliklerine daha yatkın olan daha fazla metal elde etmiş ve alüminyum elde etmek için kimyasal yöntem yerine elektrolitik

yöntemlerin kullanılması için ortam yaratmıştır. Wöhler 1845 yılına geldiği vakit ise, elektrolitik yöntemi kullanarak bilye formuna sahip olan daha fazla alüminyum elementinin elde edilmesini sağlamış, bu çalışma sonrasında diğer bilim insanlarının konu üzerine yapmış oldukları çalışmalar sonucunda elektrolitik yöntem kullanılarak metalik alüminyum elementinin elde edilmesi yöntemini geliştirmişlerdir (6).

1850'li yıllara geldiğinde ise devletin çalışmalarını daha stabil bir şekilde yapabilmesi için destek vermesi ile birlikte Henry Sainte-Clarie Deville bilim insanı, endüstriyel anlamda kullanılabilen katı kütle halinde bulunan alüminyum elementinin elde edilebilmesi için temel adımları atmış ve bu çalışmanın sonucu olarak 200 ton katı kütle halinde alüminyum üretimini sağlamıştır (6).

Alüminyum elde edilebilmesi için 1880'li yıllara kadar çeşitli bilim insanları farklı yöntemleri kullanarak çalışmalar yürütmüş fakat metalik alüminyum endüstri içerisinde kullanılmaya başlamamıştır. 1887 yılında Paul Louis-Toussaint Heroult ve Charles Martin Hall isimli birbirlerinden habersiz iki bilim insanından biri Fransa'da Fransa'da diğeri de Amerika'da aynı çalışmaları yürütmüşlerdir. Habersiz olarak yürütülmüş olan bu çalışmada alüminyum, alüminanın kriyolitte çözünmesi ve sonrasında yapılan elektrolitik parçalanma sonucunda elde edilebildiğini keşfetmiş ve yapılan keşfi yayınlamışlardır. Yapılan bu elektroliz çalışması neticesinde alüminyum fiyatlarında düşüş yaşanmıştır ve alüminyum elementinin daha kolay ulaşılabilir olmasından dolayı endüstriyel çalışmalar için kullanılmaya başlamıştır. 1887 yılından günümüze kadar birincil alüminyum üretimi yapmakta olan tesisler, Heroult ve Hall isimli iki bilim insanının geliştirmiş oldukları yöntemi kullanarak alüminyum elde etmektedir (6,7).

1887 yılında Kral Bayer, Bayer Prosesi adını alan alüminyum oksidin boksit madeninden elde edilebilmesi için kullanılan yöntemin patent haklarını almış ve 1888 yılından itibaren endüstriyel faaliyetler için kullanım yolu açılmıştır (7,8)..

Endüstriyel olarak kullanılan ilk alüminyum, 1889 yılında herkesin evinde kullanabilmesi için çatal, bıçak, tabak, tencere gibi çeşitli mutfak malzemelerinin üretimi ile başlamıştır. 1893 yılında Londra'da inşa edilen Eros Heykeli yapımı için

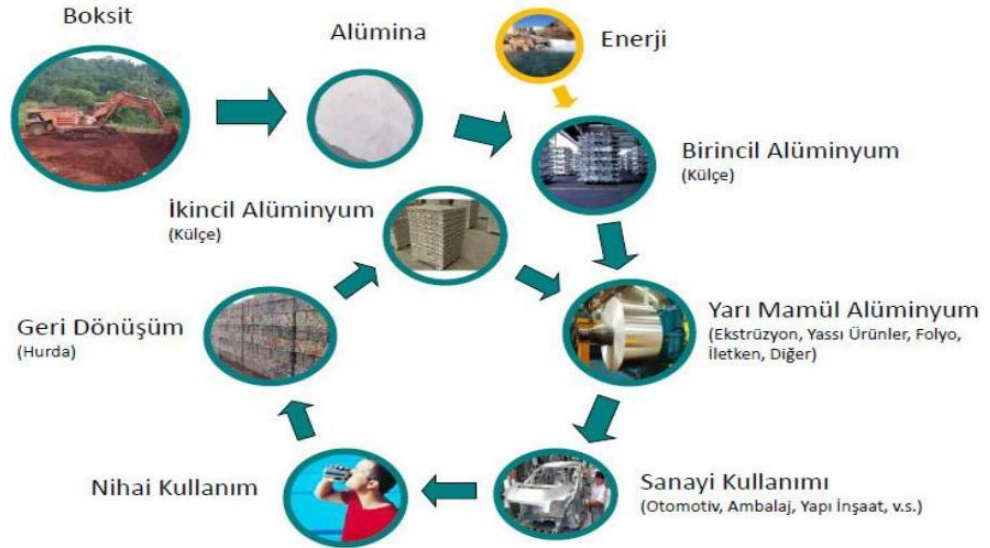
ve yapılan sayısız sanat eserinin üretiminde alüminyum döküm yöntemi kullanılarak imal edilmiş olan ürün yelpazesi tercih edilmiştir. 1894 yılında alüminyum elementi kullanılarak ilk bisiklet üretimi gerçekleştirilmiştir. 1890-1900 yılları arasında ise alüminyum elementi, deniz ulaşım araçlarında ve inşaat sektöründe kullanımı başlamış ve daha sonrasında otomotiv sektörü içinde vazgeçilmez bir alaşım olarak yerini almıştır (6-8).

Alfred Wilm 1906 yılında yapmış olduğu çalışmaların sonucunda alüminyum elementinin zaman içerisinde yaşlanarak sertlik kazanmış olduğunu keşfetmiş ve sertleşen bu alaşım türüne ise Duralumin adını vermiştir. Alüminyum elementinin bu özelliğinin keşfedilmesinden sonra kullanım alanları geçmiş yıllara kıyasla büyük bir artış yaşamış ve alüminyum alaşımları mühendislik uygulama alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum ekstrüzyon yönteminin de geliştirilmesi ile, günümüzde büyük üretim hacmine sahip olan inşaat, otomotiv, gıda gibi sektörlerin ürün malzemesi olarak alüminyum alaşımlar tercih edilmeye başlanmış ve alüminyum elementinden üretilmekte olan malzeme yelpazesi oldukça genişlemiştir. 1980'li yıllara gelindiği vakit ise günümüzde en önemli yapısı olan geri dönüşüm yöntemi ile üretilmekte olan alüminyum ile ikincil alüminyum üretimi endüstri içerisinde büyük bir önem kazanmış ve geniş bir kullanım alanı yaratmıştır (8)..

Yapılan tüm bu çalışmalar ile birlikte günümüzde en fazla üretilen ve kullanılan metalik malzeme olarak demir ve çelikten sonra alüminyum alaşımları gelmekte ve endüstriyel kullanımı günden güne artış göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda alüminyum alaşımlarının günümüzde bu kadar fazla tercih edileme nedenleri düşük maliyete sahip olması, kolay işlenebilme ve şekillendirme imkanı, estetik görünüşü, elektrik iletkenliği, üretim kolaylığı, korozyona karşı direnç göstermesi, geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilmesi ve ekolojik dengenin bozulmaması için katkı sağlamasından dolayı olarak alüminyum elementi ve alaşımları günümüzde kullanılmakta olan en önemli mühendislik malzemelerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır (1-6).

2.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Alüminyum elementinin endüstriyel kullanım alanlarının bulunmasından itibaren yaklaşık 150 yıllık bir süre zarfında diğer metaller ile kıyas yapıldığı zaman kullanım yaşının çok genç olmasına rağmen demir ve çelik alaşımlarından sonra en fazla kullanılan metal haline gelmiş olmasının temel nedenleri nitekim sağlamış olduğu üstün özellikler olarak görülmektedir. genel özellikleri incelendiği vakit birçok farklı mühendislik uygulamasına uygun ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilmesinde büyük bir rol oynamaktadır (9). Alüminyum elementinin elektronlarının yüksek çekim kuvveti sağlamasından dolayı gümüş renk tonlarında gri renkte, manyetik özelliğine sahip olmayan, periyodik tablonun 3A grubunda ve zayıf metal sınıfında yer alan alüminyum elementinin özellikleri Şekil 2.2 de yer alan görsel üzerinde gösterilmektedir (5-9).



Şekil 2.1. Alüminyum değer halkası.

Temel Bilgiler

İsim: Alüminyum

Sembol: Al

Atom Numarası: 13

Atom Kütlesi: 26.981539 amu

Erime Noktası: 660.37 ° C (933.52 K, 1220.666 ° F)

Kaynama Noktası: 2467.0 ° C (2740.15 K, 4472.6 ° F)

Proton / Elektron Sayısı: 13

Nötron Sayısı: 14

Sınıflandırma: Diğer Metaller

Kristal Yapı: Kübik

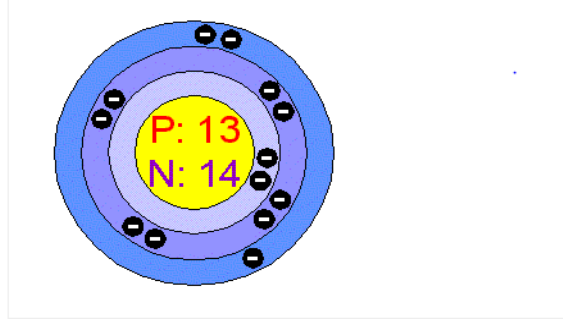
Yoğunluk @ 293 K: 2.702 g / cm³

Renk: Gümüş

İngiliz Yazım: Alüminyum

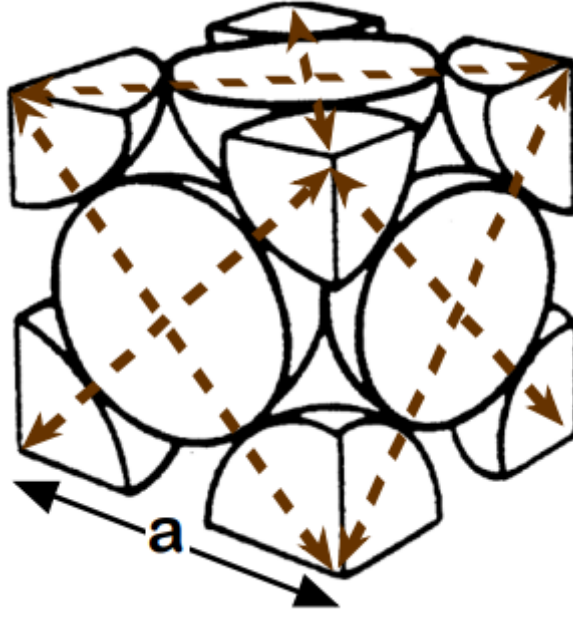
IUPAC Yazım: Alüminyum

Atomik yapı



Şekil 2.2. Alüminyum özellikleri.

Alüminyum elementinin kristalografik atomik yapısı yüzey merkezli kübik (YMK). yapıya yani bütün köşelerinde ve yüzey merkezlerinde birer atom bulunan bir yapıya sahiptir. Alüminyumun sahip olduğu yüzey merkezli kübik şematik kristalin yapısı Şekil 2.3'de yer almaktadır (9).



Şekil 2.3. Alüminyumun yüzey merkezli kübik atomik yapısının şematik şekli [9]

Sahip olduğu özgül ağırlığı incelendiği vakit alüminyum elementinin özgül ağırlığı 2,69 g/cm³ gelmeğe, demir ve bakır gibi diğer elementlerin özgül ağırlıkları sırası ile 7,87 g/cm³ , 8,93 g/cm³ olduğundan dolayı kıyaslama yapıldığı vakit demir elementinin ağırlığının yaklaşık %35'i bakır elementinin ise %30'u kadar olduğu görülmektedir. Otomotiv endüstrisinde yapılan araştırmalarda, otomobillerin ağırlıkları %10 oranında düşürüldüğü vakit yakıt tüketim oranında da %10'luk bir kazanım sağlandığı yapılan araştırmaların sonucunda görülmektedir. Ağırlığın düşürülmesinin bir diğer avantajı ise yakıt tüketim oranında azalma olmasıyla CO₂ emisyon oranı azalmakta ve yaşadığımız çevreye daha az zarar vermektedir (6-9-10).

Alüminyumun korozif özelliklerine bakıldığı zaman anodik malzemelerin arasında oksijene karşı afnitesi en yüksek metallerden birisi olmasına karşılık oda sıcaklığı değerinde yüzeyinde meydana gelen oksit tabakası sayesinde korozyona karşı direnci artmaktadır. Yüzeyinde oluşan oksit film tabakası angstrom mertebesinde ince olmasına rağmen alüminyumu dışarıdan gelebilecek kimyasal tehdit duruma karşı dayanıklı bir yapıya dönüşmektedir. Bu özelliği sayesinde alüminyum elementi demir ve çelik gibi metallerin yerine daha çok tercih edildiği görülmektedir (6-7-9).

Alüminyum elementinin elektrik iletkenliğine bakıldığı zaman $0,377 \text{ cm}\Omega \times 106$ (37 siemens) olduğu ve öz kütlesi ile oran yapıldığında elektrik iletkenliği konusunda birçok yerde kullanılmakta olan bakır elementinden yoğunluğundan ve ağırlığından dolayı daha iyi bir malzeme olduğu görülmektedir. Alüminyum, hem bakırdan daha ucuz hem de kütle başına düşen iletkenlik oranı daha yüksek olduğu için elektrik temelli mühendislik uygulama alanlarında tercih edilmektedir (6-7-9).

Alüminyum elementinin ısı iletkenlik değerlerine bakıldığı zaman $2,37 \text{ W/cmK}$ olduğu, zıgöl ağırlık ve ekonomik koşullar göz önüne alındığı vakit metal malzemeler arasında ısı iletkenlik oranı daha yüksek olduğundan dolayı (çelik malzemeler ile kıyaslama yapıldığında 6 kat daha fazla) saptanmaktadır. Yüksek ısı iletkenlik oranına sahip olmasından dolayı alüminyum, çeşitli endüstri alanlarında kendine rol bulmuştur. Bu durumun yanında ısıyı ve ışığı da yüksek oranda yansıtmamasından dolayı olarak birçok yerde soğutucu olarak da kullanım alanı mevcuttur (6-9).

Şekillendirme ve işlenebilme özelliğine bakıldığı zaman ise, alüminyumun atomik düzeyde yüzey merkezli kübik yapıya sahip olmasının ve kayma düzlemlerinin fazla olmasından dolayı olarak yüksek işlenebilme ve şekillendirme yapısı görülmektedir. Mühendislik uygulama alanlarında iyi şekillendirme ve kolay işlenebilme özelliğine sahip malzemeler tercih edildiği için alüminyum elementi bu konuda avantaj sağlamaktadır (6-9).

Alüminyum elementinin mekanik özelliklerine bakıldığında çeşitli elementler ile bağ kurabilmesi ve çeşitli ısı işlem yöntemlerinin kullanılabilmesinden dolayı geniş mekanik özellik spektrumu göstermekte olan saf alüminyum elementinin bazı mekanik özellik değerleri Şekil 2.4 de yer alan tablo üzerinde gösterilmektedir (6).

Özellikler	Dökme Al	Çekme Al	Isıl işlem uygulanmış Al
Çekme mukavemeti kg/mm ²	9-12	18-28	7-11
Akma mukavemeti kg/mm ²	3-4	16-24	5-8
Uzama	18-25	3-5	30-45
Büzülme	40-55	60-85	80-95
Sertlik Brinell	24-32	45-60	15-25
Elastik modülü kg/mm ²		600-700	

Şekil 2.4. Alüminyumun mekanik özellikleri [6].

2.1.1. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum elementi saf halde olduğu durumda düşük dayanıma ve stabil olmayan mekanik özelliklere sahip olduğundan dolayı mühendislik uygulama alanlarında bazı problemlere yol açmakta ve bu yüzden pek tercih edilmemektedir. Alüminyum elementini bazı alaşımlama teknikleri ile saf haldeki mikroyapısal özelliklerini değiştirerek, mekanik özelliklerinin istenilen düzeye ulaşması ile saf alüminyum kullanıldığında oluşan olumsuz etkenler ortadan kaldırılmakta ve üstün özelliklere sahip yeni bir alaşım ortaya çıkmaktadır (12-13).

Alüminyum ile alaşım haline getirilen elementlerin mikroyapısal ve mekanik unsurlar üzerinde büyük bir etki yaratmış olduğu görülmektedir. Alüminyum, çok geniş bir özellik yelpazesi olan, uluslararası alanlarda 300'den fazla alaşım türü ile kullanılan ve bu alaşımların göstermiş oldukları üstün mekanik, fiziksel ve tribolojik özelliklerle birlikte alüminyum, endüstriyel anlamda büyük önem ve güç kazanmıştır. Geniş aralık içerisinde üstün özellikler gösterebilen alüminyum alaşımlarının bir kısmı Tablo 2.1de yer alan tablo üzerinde gösterilmektedir (12-13).

Çizelge 2.1. Alüminyumun mekanik özellikleri.

Alaşıım Sınıfı	Ana Alaşıım Elementi
1xxx	Saf Alüminyum (max 99,00% Al)
2xxx	Bakır
3xxx	Silisyum ve Bakır ve/veya Magnezyum
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Kullanılmayan Seridir
7xxx	Çinko
8xxx	Kalay
9xxx	Diğer Elementler

2.1.2. Alüminyum Döküm Alaşıımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum Birliği tarafından alüminyum alaşıımlarına sınıflandırma yapılırken iki ana grup ve dört rakam ile tanımlama yapılmaktadır. Döküm alaşıım gruplarında yer alan kısımlara bakılırken 1xx.x grubu saf halde yer alan alüminyumu gösteriyor olmasına rağmen yapılan sınıflandırma içerisinde yer almaktadır. Bu grupta yer alan 2. ve 3. hanelerinde yer alan rakamlar %99 saflık oranına sahip olan alüminyumun ondalık kısmını tanımlamakta kullanılmaktadır. Yer alan diğer döküm alaşıımlarında ise 2. ve 3. haneler özel döküm alaşıımları olduklarını ifade eden terimlerdir (14).

Döküm alaşıım gruplarına bakıldığında 3. haneden sonra yer alan bir nokta ile dövme alaşıımlarının gösteriminde oluşan farklılıklar yer almaktadır. Noktadan sonra konulan rakam ile dökme ürününün durumu ifade edilmekte ve bu rakam 0 olduğunda döküm olduğunu, 1 olduğunda ingot olduğunu ve 2 olduğunda da özellikleri değiştirilmiş ingot olduğunu tanımlamaktadır. 1xx.x grubunda yer alan 2. ve 3. hanelerde yer alan rakamlar %99 saflık oranına sahip olan alüminyumun ondalık oranını temsil ederken, 2xx.x ve 9xx.x aralığında yer alan tüm gruplarda 2. ve 3. hanelerde olan rakamlar alaşıımın ayrıntıları hakkında bilgi vermektedir. Dövme alaşıımlarını tanımlamak için kullanılmakta olan birinci rakam gruplandırmayı, ikinci

rakam alaşımın geçmişini ve içerisindeki katkı miktarını, uüncü ve dördüncü rakam ise alüminyum alaşımın safsızlık oranını temsil etmekte kullanılmaktadır (6-9).

Döküm prosesi temelde iki ana kısımdan oluşur ve bu ana fazlar metalurjik anlamda sıvı metal alaşımın kalıbın içerisinde dolması ve kalıbın içerisinde donması olarak tanımlanır. Dolum fazının gerçekleştiği esnada sıvı metal alaşımın döküm ve akışkanlık oranı, katılaşma fazına geçildiğinde ise alaşım grubuna ait faz diyagramı üzerinde bulunan solidüs ve likidüs eğrilerinin doğru bir şekilde anlaşılması bu aşamada önem arz etmektedir. Döküme uygun olması, müşterinin belirlemiş olduğu kalite spesifikasyonları ile bağlantılı olarak katılaşma sürecinin başladığı döküm işlemlerini tanımlamaktadır. Akışkanlık oranı ise faz diyagramları üzerinde yer alan likidüs eğrisinin oluşturduğu trende göre değişiklik gösterebilen, matematiksel olarak da ölçülmesi mümkün olan bir işlevi tanımlamaktadır. Katılaşma kısmının başladığı durumda ise sıvı metal alaşım ile katılaşan bölgelerin arasında besleme durumunun sürekliliği, döküm parçanın kalitesini belirleyen unsurların başında gelmektedir. Sıvı metal alaşımın katılaşmaya başlayan bölgeleri beslemenin geliştirilmiş olduğu alaşımlarda solidüs ile likidüs eğrileri arasında yer alan aralıktadır. Bu durum ötektik kompozisyona yakın olması ve katılaşma durumunun başlamasından önce sıvı metal alaşımın yüzde oranının fazla olmasından dolayı olarak beslemenin geliştirilmiş olduğu anlamına gelmektedir (13).

Görülen tüm bu metalurjik faktörlere bakıldığı zaman döküm ve dövme olmak üzere iki ana alaşım grubunda yer alan faz yapıları ve çözünürlük oranları esas alınarak ısıl işlem uygulanmasına uygunluk verilmesi ya da verilmemesi olarak iki alt grup üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Solidüs ve likidüs aralıkları üzerinde yeterli oranda katı çözeltilinin oluşumuna imkan sağlayabilen alaşımlara ısıl işlem uygulaması yapılabilmektedir. Çözeltinin sertleşme oranının düşük olduğu durumlarda alaşımlara soğuk deformasyon ile yüksek mukavemet özellikleri kazandırılmaktadır. Isıl işlem uygulamasının yapılabildiği alüminyum alaşımları yüksek sıcaklık değerlerinde alaşım elementleri ile birlikte katı çözeltili oluşumuna neden olabilmektedir. Alaşım elementlerinin çözünürlük sıcaklık değerlerinin düşük olduğu durumlarda ise azalmakta, ve çökelti oluşumu yaşandığı görülmektedir. şekil

2.5’de yer alan alüminyum alaşımlarına uygulanmakta olan ısıtım işlem türleri tablo halinde gösterilmektedir (9).

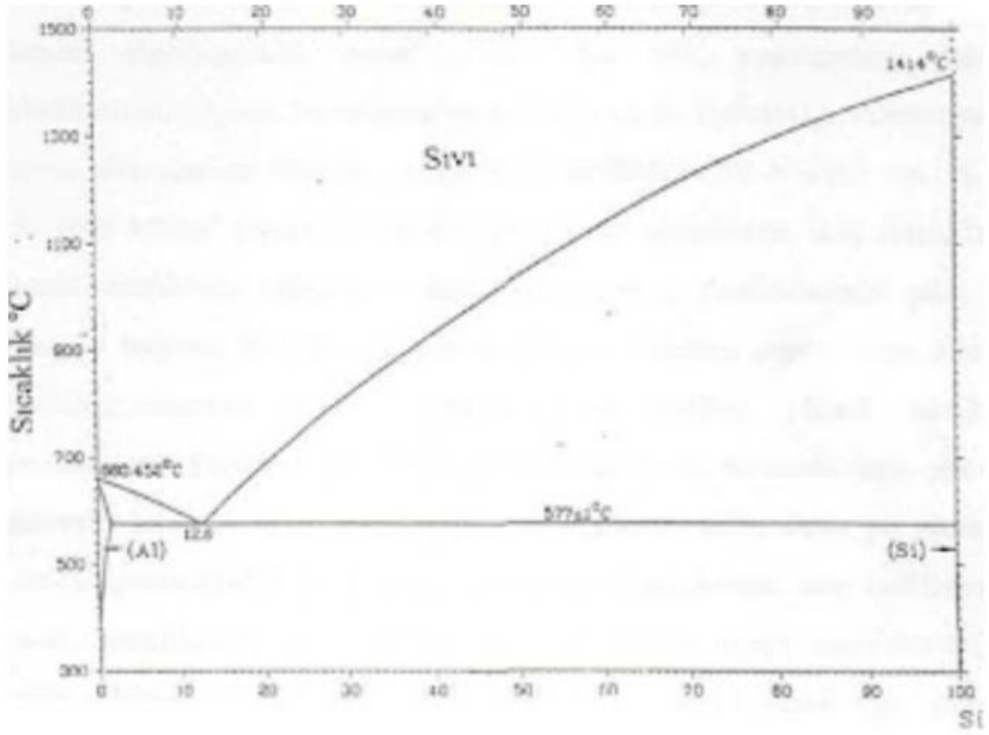
- **O: Tavlanmış, F: Üretildiği gibi, H: Sertleştirilmiş, T: Isıtım işlemine tabi tutulmuş,**
- **T1: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.**
- **T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.**
- **T3: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.**
- **T4: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.**
- **T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.**
- **T6: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.**
- **T7: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.**
- **T8: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.**
- **T9: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.**
- **T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmıştır.**

Şekil 2.5. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanmakta Olan Isıtım İşlem Türleri.

2.1.3. Al – Si Alaşımı

Alüminyum alaşımları arasında Al-Si alaşımları, sahip oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek aşınma direnci, düşük termal genişleme katsayısı ve yüksek korozyon direnci gibi üstün özelliklerinin olmasından dolayı otomotiv endüstrisi, havacılık ve savunma sanayisi gibi yüksek teknoloji gerektiren alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır (1-2).

Al-Si alaşımları, içerdikleri silisyum miktarlarına göre üç bölüm şeklinde olarak ötektikaltı, ötektik ve ötektiküstü olarak sınıflandırılır. Silisyum içeriği %11 den daha az olduğu zaman ötektikaltı, %11-13 aralığında olduğu zaman ötektik, %13 oranından daha fazla olduğu zaman ise ötektiküstü olarak sınıflandırılmaktadır. Ticari olarak kullanılmakta olan alüminyum-silisyum alaşımlarının sahip oldukları silisyum oranı %5-23 aralığında değişiklik gösterebilmektedir (3).



Şekil 2.6. Al – Si Denge Diyagramı.

Şekil 2.6’de Al-Si alaşımlarına ait olan bir faz diyagramı gösterilmektedir. Şekil 2.5’de yar alan diyagrama göre ötektik nokta, alaşımın ağırlıkça %12,6 silisyum içeriği nokta olarak gösterilmektedir. Diyagrama karşıdan bakıldığında, noktanın sağ tarafında kalan alaşımlar ötektiküstü, sol tarafında kalan alaşımlar ise ötektikaltı Al-Si alaşımları olarak bilinmektedir (4).

Geleneksel döküm yöntemlerinin yetersiz olmasından dolayı, ticari olarak kullanılan Al-Si alaşımlarının geneli ötektikaltı ya da ötektiküstü alaşım olarak görülmektedir (5).. Çünkü geleneksel döküm teknikleri ile üretilen ötektiküstü Al-Si alaşımlarında yavaş soğumadan kaynaklı, ana yapı içerisinde kırılğan ve büyük taneli birincil silisyum kristalleri bloklar şeklinde oluşmaktadır. Uçları ve kenarları keskin olan bu bloklar iğnemsî, yıldız şekilli, lamelli veya plaka şekilli yapılarda oluşabilmektedir. Bu yapılardan kaynaklı ana alaşım içindeki gerilimli bölgelerde premature çatlaklar ve kırıklar oluşabilir ve yapıya zarar verebilir (5).. Bu yüzden geleneksel döküm yönteminde ötektiküstü Al-Si alaşımları mekanik özellikler açısından zayıftırlar. (2; 5, 6). Bir diğer olumsuz durum ise sert ve büyük silisyum kristallerinin işlenebilirliği olumsuz yönde etkiliyor olmasıdır (7).

Alüminyum-silisyum alaşımlarının işlenebilirliğinin zorlaşması ve mekanik özelliklerde oluşan zayıflamadan kaynaklı, ötektiküstü Al-Si alaşımlarının potansiyel olarak kullanım alanlarındaki uygulamaları da sınırlı hale gelmektedir. Ayrıca literatüre bakıldığı takdirde, silisyum oranının alüminyum içerisinde ağırlıkça %27 den fazla olduğu durumlarda, alaşım içerisinde üç boyutlu sürekli bir silisyum ağının meydana geldiği ve bu durumun etkisi olarak akışkanlığı azalttığı, gözenek oluşumuna neden olduğu, tortu oluşturduğu, heterojen yapı oluşturduğu ve benzer birkaç olumsuz etkilere neden olduğu yapılan araştırmalar sonucunda bildirilmektedir (8, 9). Yine literatür araştırılması yapıldığında, silisyum oranının alüminyum içerisinde ağırlıkça %30'dan fazla olduğu durumlarda, sert ve deforme edilemeyen silisyum parçacıklarının dislokasyon (çizgisel kusur) hareketlerinin sınırlandığı ve katı halde plastik deformasyonun zorlaştığı da yapılan araştırmalar sonucunda bildirilmektedir (10,11). Yapılan araştırmalar neticesinde sonuçlara bakıldığı takdirde, ticari uygulamalar çerçevesinde, geleneksel döküm alüminyum-silisyum alaşımlarının içerdiği silisyum miktarı genellikle %20 sınırı altında kullanılmaktadır (12).

Ötektiküstü Al-Si alaşımlarının mikroyapısına detaylı bir şekilde bakıldığı takdirde, birincil silisyum parçacıklarından ve ötektik α -Al ve ötektik Si yapılarından müteşekkil olduğu görülmektedir. Bu alaşımların mekaniksel ve fiziksel özellikleri yapıları içerisindeki birincil silisyum parçacıklarının morfolojisine, boyutsal dağılıma ve mikroyapıdaki homojen dağılımlarına sıkı bir şekilde bağlıdır. Mikroyapı içerisinde homojen olarak dağılamayan, büyük ve keskin kenarlı silisyum kristalleri, mekanik özellikleri olumsuz olarak etkilediği için yapıya son derece zarar vermektedirler. (5, 6, 13). Ancak, mikroyapı içerisinde büyük silisyum tanelerinin oluşmasına engel olunarak, silisyum oranı ne kadar arttırılabilirse yüksek sıcaklık dayanımı, elastiklik modülü, aşınma direnci gibi özelliklerde o derece geliştirilmiş olmaktadır. Termal genleşme katsayı oranı azalırken, sertlik, katılık (stifness) ve termal iletkenlik oranları artmaktadır (12, 14). Bu alaşımların sahip oldukları düşük termal genleşme katsayısı, yüksek dayanım/ağırlık oranları ve yüksek aşınma direnci gibi gelişmiş mekaniksel ve fiziksel özelliklerin, alüminyum matrisi içerisinde yüksek miktarlarda yer alan hem ötektik hem de birincil silisyum fazlarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir (6, 15). Bu sebeplerden dolayı son yıllarda, daha

yüksek performans gerektiren otomotiv motor parçalarının yapımında, geleneksel ötektik bandında alüminyum-silisyum alaşımlarının yerine ötektiküstü alüminyum-silisyum alaşımlarının kullanılması gerektiği konusunda günden güne artan araştırma ve ilgi vardır (16).

Genel çerçeve içerisinde Al-Si alaşımlarının özelliklerine bakıldığında, tane boyutunun küçültülmesi, ötektik modifikasyon ve birincil silisyum fazlarının inceltilmesi işlemlerinden biri veya daha fazlasının doğru şartlar altında uygulanması ile geliştirilebilir (17). Bu bakımdan, üstün fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek için alüminyum alaşımlarına uygulanan yüksek silisyum katkısının işe yarar biçimde kullanılması için, yapı içerisinde oluşan bu büyük silisyum tanelerinin küçültülmesi ve şekillerin modifikasyon ile düzeltilmesi büyük bir önem arz etmektedir (18, 16). İşte bu noktada yapının işlevini belirli standartlar içerisinde uygulayabilmesi için mikroyapının inceltilmesi ve homojen olarak yapı içerisinde dağılabilmesi için hızlı katılaştırma ve mekanik alaşımlama tekniklerinin kullanılması hayati önem arz etmektedir. Hızlı katılaştırma ve mekanik alaşımlama yöntemleri, mikroyapıyı inceltmek için ve modifiye etmek için kullanılan en etkin yöntemlerin başında gelmektedir. Sürtünme karıştırma (Friction stir) (18), elektromanyetik karıştırma (Electromagnetic stirring). Yöntemleri de (6) yüksek miktarda silisyum ihtiva eden, ince mikroyapılı alüminyum alaşımlarını üretebilmek için kullanılan yöntemlerden olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum esaslı alaşımlarda, mikroyapıyı hem modifiye edebilmek için hem de inceltmek için kullanılan bir diğer yöntem olarak da, alaşıma eser miktarda demir (Fe), bakır (Cu), krom (Cr), nikel gibi geçiş metalleri ve nadir toprak elementleri ile kimyasal bağlar ile katkılar yapmaktır. Bu bağlam içerisinde, birincil silisyum parçacıklarının modifikasyonu için kullanılan en yaygın katkı elementi, fosfor (P). elementi olarak yapılan çalışmalar sonucunda karşımıza çıkmaktadır (5, 6, 19, 13, 15;20). Ancak, Al-Si alaşımlarında silisyum oranı %30 üzerinde çıktığında fosfor (P). elementi modifikasyon için pek kullanışlı değildir. (6). Ayrıca fosfor genellikle, fosfat tuzu, kırmızı fosfor ve CuP mastır alaşımları şeklinde Al-Si alaşımlarına ilave edilmektedir. Kullanılmakta olan bu yöntemlerin hepsinde de az veya çok yetersiz kaldığı noktalar mevcuttur. Kullanılan yöntemlerden fosfat tuzu ve kırmızı fosfor

çevre kirliliğini olumsuz etkilemekte iken, CuP mastır alaşımı ise modifikasyon verimliliği açısından yetersiz kalmaktadır (21).

Diğer taraftan ise geçiş metali ihtiva eden ötektiküstü Al-Si alaşımları, alaşıma kattıkları özelliklerden dolayı ilgiyi çekmektedirler (22). Ötektiküstü Al-Si alaşımlarına demir (Fe). gibi geçiş metali sınıfından metal eklenmesi, yüksek sıcaklıklarda, hem gerilme dayanımını hem de aşınma direncini olumlu yönde arttırmaktadır. Bu tür alaşımların içerisine yapılan esen miktarda bakır (Cu) ve magnezyum (Mg) toprak alkali metal ya da geçiş metali katkısı ile, çözelti ve çökeltme sertleşmeleri yoluyla dayanıma olumlu açıdan katkı verilmektedir. Nikel (Ni) katkısı ise yüksek sıcaklık dayanımının artmasına neden olur ve aynı zamanda da termal genişleme katsayısını düşürdüğü görülmektedir. Krom (Cr). ve zirkonyum (Zr) elementleri ise mikroyapıyı modifiye etmek amacıyla kullanılan geçiş metalleri olarak karşımıza çıkmaktadır (20, 23).

2.1.4. Al – Si - Mg Alaşımı Alaşımlarının Dökümü

Al-Si-Mg alaşımlarının genel özelliklerine bakılacak olursa, yüksek mekanik özelliğe sahip olmaları, iyi işlenebilirliğe sahip olmaları, yüksek gerilme değeri ve sünek bir yapıda olan malzeme olduğu görülmektedir. yüksek gerilme değerine ihtiyaç duyulan yapısal parçalarda, otomotiv sektöründe ve uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılan alaşım olduğu görülmektedir (36).

Al-Si-Mg, döküm alaşımları grubu içerisinde en yaygın kullanılan alaşım olarak görülmektedir. Üretim sonucu çıkan parçaların kalitesi, sıvı metalin hazırlanması ve yolluk istem tasarımı, katılaşma hızı ve şartları gibi döküm işlemi için önemli olan parametreler ile çok yakından ilişkilidir (10-11).

Döküm Al-Si ikili alaşımlarının mekanik özelliklerine bakıldığı zaman, küçük miktarda (yaklaşık olarak %0,35) magnezyum ilavesi iyi yapı içerisinde önemli iyileştirmeler yapılabilmektedir. En önemli döküm alaşımına bakıldığında ise karşımıza Al-Si-Mg alaşımı çıkmaktadır. Çünkü bu alaşımın dökülebilme özelliği oldukça yüksek ve kolaydır. Alaşımın magnezyum silikat (Mg₂Si) içerik oranı %0,5-

0,6 arasında olduğunda çökelti mukavemeti Mg₂Si'nin kararlılığına atfedildiği görülmektedir.

Al-Si-Mg alaşımı, sıvı metale %0,025 Na ilavesi ile modifiye edildiği takdirde, kum döküm ötektik yapısı incelmeye eğilimi göstermekte ve ötektik yapı içerisindeki silisyum parçacıkları da küçülme eğilimi gösterir ve daha küçük bir tane yapısı oluşmuş olur. Sodyum elementi kullanılarak modifiye edilen alaşımlarda ise, modifiye edilmemiş alaşımlara kıyasla, üstün bir yüzey kalitesi ve dentrit kolları arasında daha az miktarda mikro boşluk oluşumu olduğu görülmüştür (29). Bu alaşım grubu, bileşim oranı içerisinde %1,3'ü kadar eşit oranda Mg ve Si içermesi gerekmektedir. Vidalar, makine parçaları, mobilya ve köprü taşıma elemanlarının üretim prosesleri için bu alaşımın kullanılması söz konusu olmaktadır (43). Klasik döküm yöntemleri kullanılarak üretilen Al-Si alaşımlarının ise düşük mukavemeti için düşük oranda Mg ilavesi ile iyileştirme sağlanabilmektedir. Al-Si alaşımları, içerisinde bulundukları silisyum miktarına paralel olarak tribolojik özellikleri değişiklik göstermektedir. Yaşlandırma işlemi esnasında oluşturulan Mg₂Si çökeltileri ise, mekanik ve tribolojik özelliklerinin artırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (44). Al-Si-Mg alaşımları, yüksek dayanım ve süneklik gerektiren karmaşık dökümler olarak öne çıkmaktadır. Transimiyon kutuları, kamyon aksları muhafazaları, jantlar, silindirik bloklar, tren tankları gibi birçok yerde kullanımları mevcuttur (29). Al-Si-Mg alaşımları, yüksek oranda ötektik içeriği bulundurduğu zaman ise yaşlandırma ısıl işlemi ile üstün mekanik özellikler sergilediği izlenmektedir (45).

2.1.5. Al – Si - Mg Alaşımı Alaşımlarının Döküm Tekniği ve Tarihçesi

Döküm tekniklerinin oluşumu insanların ihtiyaçları doğrultusunda metalik malzemelerin eritilmesi ve sonrasında tasarlanmış bir modelin içerisine dökülmesi doğrultusunda gerçekleştirilen şekillendirme yöntemi ve bu yöntemin kullanım tarihçesi çağlar öncesine dayanan bir işlemdir. Tarih öncesi çağlardan günümüze kadar gelen döküm yöntemi, teknolojik gelişmeler ile birlikte gelişmiş, eritme işlemi ve kalıp içerisine döküm yöntemlerine değişiklikler meydana gelmiştir. Metal malzemelerin keşifleri ve döküm tekniği esas alınarak üretim

yapılma işleminin başlaması milattan önce 6000’li yıllar aralığına dayanıldığı yapılan araştırmalar sonucunda düşünülmektedir. Dönem koşulları esas alındığında şekillendirme işleminin daha kolay olduğu altın, gümüş ve bakır gibi elementler kullanılarak dönemin ihtiyaçları doğrultusunda basit kap kaçak eşyalarının yapımı için kullanılmıştır. En eski döküm prosesinin günümüzde de kullanımına devam edilen kum kalıba döküm tekniği olduğu konu üzerine araştırmalar yapan bilim insanları tarafından düşünülmektedir (18-19).

Eski çağlarda ergitme işlemini gerçekleştirmek için odun ateşinden yapılan ergitme ocaklarında bakır metali eritildikten sonra pişirilmiş olan kilden yapılmış kum kalıplara şekil verilerek döküm işlemi yapılır ve parçaya istenilen şekil verilmekteydi. İlkel yöntemler ile oluşturulmuş olan açık kalıplar basit, tek bir parçadan oluşabilen parçaların üretimine imkan tanıyan, dairesel geometrik yapıya sahip tasarımlı parçaların üretimi için kullanılırken, teknolojik gelişmeler ile birlikte birden fazla parçaya sahip olan kalıpların kullanılması ile döküm yöntemlerinde ilk gelişmelerin yaşandığı görülmektedir (18).

Milattan önce 2000’li yıllar içerisinde, içi boş olabilecek bir parça üretebilmek için kilden yapılmış olan maçalar ile şekil verilme işlemleri yapılmıştır. Aynı zamanda da mum modellerin kullanılmış olduğu hassas döküm teknikleri de bu dönem içerisinde görülmeye başlamaktadır. Bu gelişmeleri ise kronolojik sıraya göre çok parçaya ve karmaşık parçalara sahip olan dökümlerin izlediği görülmektedir. Döküm tekniklerinin ilk olarak Anadolu coğrafyası içerisinde görüldüğü ve zaman içerisinde göçebe yaşam ve savaş durumlarından dolayı olarak Avrupa topraklarına ulaştığı bilinmektedir (18).

Avrupa coğrafyası içerisinde döküm tekniği kullanılarak ilk yapılan ürünlerin kiliselerde kullanılan çanlar olduğu görülmektedir. Ayrıca İtalya, döküm işleminde yaşanan gelişmeleri yazılı hale getirmiş ve sanatsal anlamda çalışmalar yapmaya başlamıştır. Ülkemizde döküm tekniği ile oluşturulan parçaların ilk önemli uygulamaları askeri amaçlıdır ve dönemin padişahı olan Fatih Sultan Mehmet döneminde kurulumu gerçekleştirilen top döküm atölyesinde gerçekleştirildiği görülmektedir. Cumhuriyet döneminden sonra ise devletin döküm sürecine destek

vermeye başlamasıyla otomotiv ve inşaat sektörlerine hizmet edebilmesi için büyük dökümhanelerin kurulduğu görülmektedir. Günümüzde ise ülkemiz içerisinde küçük ve büyük ölçeklere sahip birçok dökümhanenin faaliyetlerine devam etmiş olduğu görülmektedir (18). Çalışmalarımızda bu alışımın davranışlarından bahsettik ve bizlere rapor sonuçları yön vermiştir.

BÖLÜM 3

DÖKÜM KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Al-Si-Mg alaşımları için, akıcılık ve beslenebilme yetenekleri, dayanım, süneklik ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeni ile geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu nedenle, alaşımların kimyasal kompozisyonları, dövme Al-Si-Mg arasında oldukça büyük farklar söz konusudur. Kum kalıp, metal kalıp ve pres döküm yöntemleri ile üretimlerinin gerçekleşmeleri mümkündür. Sayısal rotasyon sistemi, alüminyum ve alüminyum içeren alaşımları dökülmüş ve dökümhane ingotu şeklinde belirleme işleminde kullanılabilir. İlk basamak hangi alaşım grubuna dahil olduğunu göstermektedir. Bir kesir işareti ile ayrılan son basamak ise ürünün hangi biçimde olduğu hakkında bilgi vermektedir. Orijinal alaşım ya da impurite sınırları sayısal notasyon öncesinde bir seri harf ile sınıfının belirlenmesi için gösterilmektedir (29).

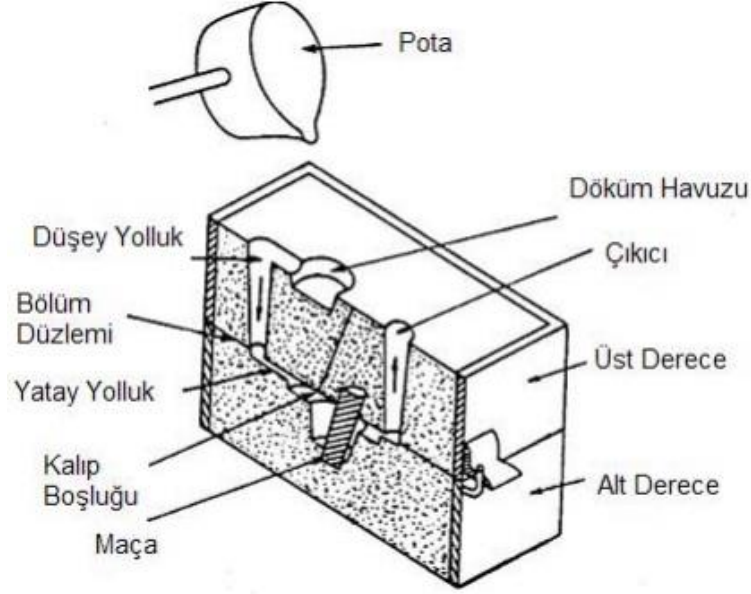
Alüminyumun, silisyum ve magnezyum ile birlikte yapmış olduğu alaşımlar, mekanik özellikleri iyileştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir (28). Alüminyum döküm alaşımlarının pek çoğunda ötektik reaksiyona neden olan düşük ergime sıcaklıkları, iyi akıcılık ve dökülebilirlik özelliği belirgin olarak görülmektedir. akıcılık, sıvı metalin bir kalıbı katılma durumu yaşanmadan doldurabilme yeteneğine söylenmesi durumudur. Çizelge 3.1'de döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırma listesi görülmektedir. Üç haneli rakamlardan sonra nokta konulmaktadır ve nokta sonrası yer alan sayı döküm ya da ingot olduğunu gösteren numaraya sahip olmaktadır. Burada yer alan sayı '0' olduğunda döküm, '1' ya da '2' olduğunda ise ingot olduğunu gösteren ifadeyi temsil etmektedir.

Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımının sınıflandırılması.

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

3.1. YOLLUK SİSTEMİ

Yolluk sistemi, sıvı metalin kalıp boşluğunun tamamını doldurmasını sağlayan, yatay ve dikey kanal sistemlerine verilen isimdir. Yolluk sistemleri, dökülecek olan parçanın geometrisi ve boyutları ile dökülen alaşımın kompozisyonuna göre farklılıklar meydana gelebilir. Potadan dökülen sıvı metalden itibaren yolluk sistemini oluşturan elemanlar sırası ile, döküm havuzu (havşa), dikey yolluk, topuk, yatay yolluk ve meme kesit alanları kat edilerek kalıp boşluğu içerisine dolabilmektedir. İlave olarak filtrelerde yolluk sistemi üzerine konularak olası alaşım dışı madde veya cüruf girmesini engellemek için konulabilmektedir (47). Döküm parçalarının üretimi için kalıplar için kullanılmakta olan yolluk sistemi, sıvı metal alaşımın kalıp boşluğunda ilerlemesi ve sıvı metalin kalıp içerisinde katılaşması ile doğrudan ilişkili bir sistemdir. Katılaşma esnasında kalıp içerisini dolduran sıvı metalin muhtemel hacimsel daralmaları tolere edebilmek için kalıp içerisine yerleştirilen sıvı metal depolarına besleyici denilmektedir (48). Yolluk sistemi ve besleyici kullanımı ile döküm malzeme kalitesi arasında doğrudan bir ilişki söz konusudur. Şekil 3.1 de basit bir geometriye sahip olan bir döküm parça tasarımının kötü ve iyileştirilmiş olan yolluk sistemi ile doğru yolluk sistemi kullanımının önemi basit bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Yolluk sistemi.

3.2. DÖKÜM HAVUZU VEYA HAVŞA

Döküm havuzu, sıvı metalin potadan çıktıktan sonra yolluk sistemi ile ilk temas etmiş olduğu yerdir. Dikey yolluk tasarım kısmı ise üst kısmı koni biçiminde genişletilerek sıvı metalin yolluktan çıkış işlemi uygulanmaktadır. Havşa, sıvı metalin kalıp içerisine rahat bir şekilde dökülebilmesi için uygun bir geometrik yapıda tasarlanması gereklidir. Aynı zamanda sıvı metalin kalıp içerisine rahat bir şekilde giriş yapabilmemesini sağlamaktadır (49).

3.3. DİKEY YOLLUK

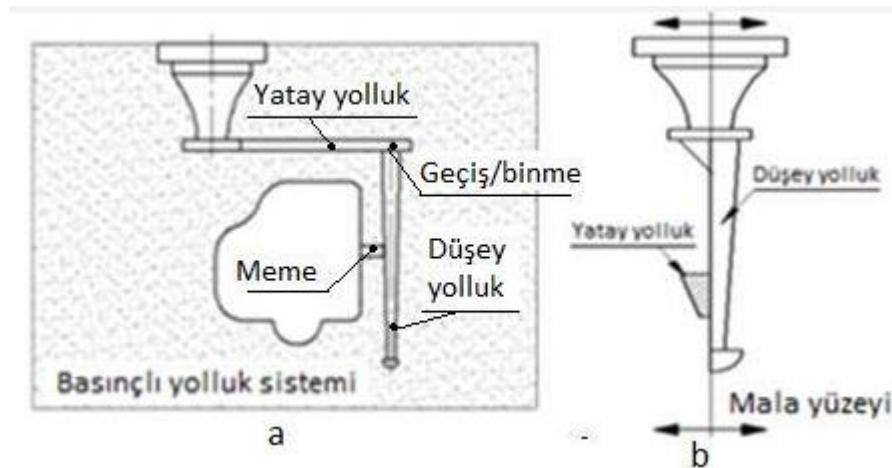
Döküm havuzu veya havşaya dökülen sıvı metalin, cürufuğa ya da yatay kanala doğru yolunu sağlayan düşey kanala gidici denilmektedir. Gidicinin en önemli özelliği ise sıvı metalin dikey yolluktan sorunsuz geçebilmesi için akma esnasında girdap etkisi oluşmamasını sağlamayan bir akış oranına ve kesit genişliği ve açısına sahip olması gereklidir. Dikey yolluk, genellikle dairesel bazı uygulamalarda da dikdörtgen kesitli daralan bir geometriye sahip olarak uygulandığı görülmektedir. Sıvı metalin, cürufuk ve memelere doğru uygun hızda ve açıda gidebilmesini sağlayabilmek için gidici kesit alanı, yolluğun diğer bölgelerinde yer alan kesit alanları ile orantılı bir şekilde olması gerekmektedir (47).

3.4. TOPUK

Topuk uygulamasının kullanımı cürufuğu mevcut olmayan basit yolluk sistemleri için kullanımı tercih edilmektedir. Uygulanma şekli memenin arka kısmına derinlik verilerek geometrik şekil verilmesi şeklindedir. Gidicinin taban alanına denk gelen bu kısım topuk olarak bilinmektedir. Topuk, gidici sonrasında düşen sıvı metalin yön değişikliği esnasına hızının yaklaşık olarak $\frac{1}{2}$ oranında düşürdüğü görülmektedir. aynı esnada, ilk olarak dökülen ve katılaşması başlayan sıvı metal parçacıklarının kalıp boşluğu içerisinde hareket etme oranını kısaltmaktadır (47).

3.5. YATAY YOLLUK

Yatay yolluk sistemi, sıvı metalin kalıp boşluğuna doğru hareket ettiği esnada çoğunlukla yatay doğrultu şeklinde gerçekleşen hareketini sağlayan yolluk sistemi elemanıdır. Sıvı metalin kalıp boşluğuna doğru ilerlemesinde ihtiyaç duyulan sıvının meme bağlantılarına doğru taşınma işleminde kullanılmaktadır. Yatay yolluk sistemi üzerinde yer alan meme bağlantı eleman sayısı ve bağlantı elemanlarının duruma göre, gerekli olan akış oranının bağlantı elemanları ile memelere eşit oranda sağlanabilmesi için kademeli olarak veya kesit oranı orantılı bir şekilde inceltilerek, sıvı metal akış oranını kontrol edebilmektedir (47).



Şekil 3.2. Yatay yolluk gösterimi

3.6. CURUFLUK

Cürüflük, yolluk sistemi içerisinde mala yüzeyinde yer alan yatay kanallar içerisinde yer almaktadır. Dikey yolluktan geçen akışkan sıvı metalin hareket yönünü yataya çeviren yatay yolluk üzerinde bulunmaktadır. Sıvı metalin yüzeyinde oluşabilecek oksit ve inklüzyonların kalıp boşluğuna ulaşım bağlantısını kesmektedir. Cüruf tutma görevi de bulunduğu için adını cürüflük olarak almıştır. Üst derece içerisinde ya da alt derece içerisinde açılabilen yatay kanallardır (47).

3.7. MEME

Yolluk sisteminin kalıp boşluğuna doğru açılan kısmına meme bağlantısı denilmektedir. Memeler, dökülen sıvı metalin akışkanlığına, parçaların geometrik dizaynına göre ve döküm şartlarına bağlantılı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Özellikle meme kesit alanından geçen sıvı metalin akma hızı kritik rol oynamaktadır, sıvı metal hızı m/sn olarak hesabı yapılmaktadır. Meme bağlantı elemanları kendi aralarında üçgen, kare, dikdörtgen, yamuk çapak ağzı, balıksırtı, bıçak ağzı ve yarım yuvarlak meme olarak ifade edilebilir (47).

3.8. FİLTRE

Yolluk sisteminin iyileştirilmesi için sıvı metal akış hızını, cüruf ve inklüzyonların kalıp boşluğuna akışının önüne geçilebilmesi için filtre kullanımı önemli bir rol oynamaktadır (50). Her ne kadar yolluk sistemi kullanımı ile döküm parçalar için inklüzyon giriş oranı minimize edilmesi mümkün olsa bile, filtrelerin kullanımı ile inklüzyonların giderilmesi ve onarım maliyet oranının azalması mümkün olabilmektedir (49). Filtrasyon işlemi içerisinde preslenmiş seramik filtreler, ekstrüze filtreler, dokuma filtreler, köpük filtreler ve çelik elekler kullanımı uygun olabilmektedir (51). Alüminyum alaşımları için filtrasyon işlemi ile inklüzyonların giderilebilmesi, döküm parçaların yapısına, özelliklerine, geometrisine ve işlenebilme oranına katkı sağlaması söz konusu olmaktadır. Filtrasyonun kullanılabilmesi ile hasarlı döküm, hurda döküm parçası oranı önemli bir ölçüde azalma göstermektedir. Filtre kullanım işleminde genel problem ise kalıp boşluğuna

yerleştirme işleminin nasıl yapılması gerektiği, kalıp donma zamanına olabilecek etkisinin en düşük seviyede tutulabilmesinin sağlanabilmesi ve filtre edilebilen inküzyon tipi olarak karşımıza çıkmaktadır (52).

BÖLÜM 4

İKİNCİL FAZLAR VE İNCELENMESİ

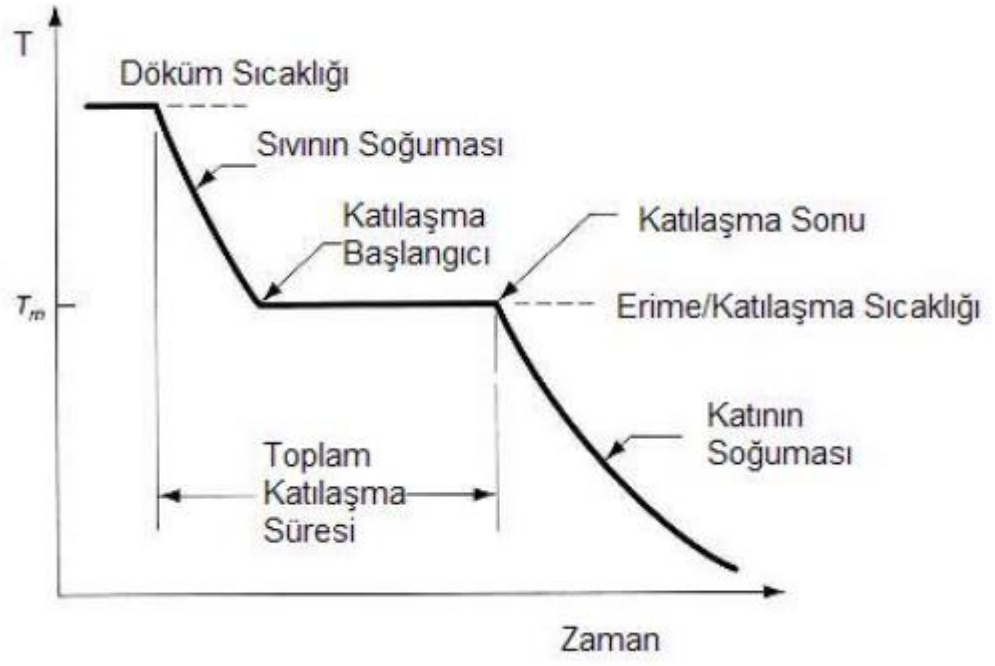
Ötektik alaşımlarında, alaşım elementinin ilave edilmesi ile birlikte yapıda oluşan metalik fazlara denilmektedir. Alaşımı oluşturan elementlerin kafes yapılarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Alüminyum alaşımları için ikinci faz oluşumu genellikle dispersoid ve çökelti halinde ikincil fazlar çok düşük ve küçük miktarlarda bulunabileceği gibi, daha büyük ölçekler içerisinde de bulunabilmektedir. Örnek olarak ise demir elementinin yapısında demir bazlı intermetelikleri, magnezyum ilavesinin Mg^2Si çökeltilerinin oluşmasını sağlaması gibi verilebilir. Elementler, kendi kafes sistemlerini korumaya devam eder ve değişiklik meydana gelmesine izin vermez. İlave element oranına bağlı olarak homojen bir yapıda her iki fazın da kendi yapıları ile ilişkili özellikleri gösterebilmeleri olan bir durumdur (53).

4.1. İNKLÜZYONLAR

İnklüzyon, sıvı metal içerisinde, çevresel faktörlerin etkisine bağlı olarak oluşabilen safsızlıklar olarak tanımlanabilmektedir. İnküzyonların sıvı metal alaşımından tamamen giderilerek oluşmasının önüne geçilebilmesi mümkün değildir. Özellikle atmosferik şartlar ile bağlantılı oluşmakta olan iç inklüzyonların belirli bir kısmı, filtrasyon işlemi yapılarak sıvı metal ile ayrışmasına ortam sağlanmaktadır. Bu türe ise oksit inklüzyon denilmektedir. Sülfür ve nitrür tipi iç inklüzyonların sıvı metalden tamamen ayrıştırılması ve oluşmasının önüne geçilmesi söz konusu değildir. Ancak ilave ısıl işlem uygulamaları ile yapı içerisinde oluşmakta olan etkileri minimize edilerek alınabilecek maksimum verim alınabilmektedir (54).

4.2. BOŞLUK OLUŞUMU

Boşluk oluşumu, çekme boşlukları (hacimsel daralma), alaşımın katılaşma esnasına katı ve sıvı fazların yoğunluk farklarından kaynaklı olarak gerçekleşmektedir. Saf alüminyum, sıvı ve katı fazları arasında yoğunluk farkı olduğundan dolayı, sıvı hacmi yaklaşık olarak %7'si kadarıyla hacimsel daralma (çekme) eğilimi gösterebilmektedir (10-11) Alüminyum alaşımlarının sıvı-katı faz dönüşümü esnasında hacimsel daralma oranı yaklaşık olarak %5-6 aralığında meydana gelebilmektedir. Döküm parçalar için hacimsel daralma oluşumunu engelleyebilmek ve bu durumun önüne geçebilmek için dendritler arasında olan boşlukları azaltabilmek için, sıvı metal ile takviye yapılması gereklidir. Şekil 4.1'de katılaşma süresinin başladığı andan itibaren oluşmakta olan besleme mekanizmaları gösterilmektedir (10). Aynı zamanda döküm malzemelerinde görülmekte olan bifilmlerden kaynaklı olan boşlukların oluşmasında, iki önemli mekanizmanın olduğu görülebilmektedir. Bu iki mekanizma ise yeterli ve yetersiz besleme mekanizması olarak ayrılmaktadır. Eğer döküm parça için yeterli miktarda besleme mekanizması mevcutsa, bifilmlerin çevresinde meydana gelen basınç, metalostatik basınç ile karşılaştığı zaman ihmal edilebilir bir değerde olabilir ve bifilmin içerisinde difüze olan gaz basıncı, sadece katılaşma oranı ile kontrol altına alınabilir. Döküm parça üretimi esnasında yetersiz miktarda besleme durumunun olduğu durumda ise, ortalama büyüme oranı, çekme (hacimsel daralma) ve kompozisyonun içermekte olduğu hidrojen miktarı kontrol şartları tarafından kontrol edilebilmektedir (22).



Şekil 4.1. Soğuma eğrisi [10]

BÖLÜM 5

AL – Sİ – MG ALAŞIMLARININ MİKROYAPI KONTROLÜ

Alaşım içerisindeki yapıda oluşan intermetalik fazlar ve bu fazların dağılımları, boyutsal değişiklik oranları, malzemenin mikro yapısal özelliklerine etkisi olduğu görülmekte ve bilinmektedir. Bununla beraber kimyasal kontrol, intermetalik fazların kontrolü ve intermetaliklerin boyutsal dağılımı ve üniform dağılımının sağlanabilmesi için, katılma esnasında katılma şartlarının kontrol edilebilmesi önemli bir noktadır. Bu amaç için kullanılmakta olan tane incelticilerin Al-Si alaşımlarında ötektik ve hiperötektik yapılarına etki edebilmesi için ilave olarak kullanılabilir. Tane incelticilerin kullanımları, makro ve mikro yapıların döküm işlemleri esnasında kontrol edilebilmesine bir örnek olarak gösterilmektedir (55).

5.1. TANE YAPISI

İngot alüminyum döküm alaşımlarında yapı, dış tarafında chill bölgesi, sonra sütunsal bölge ve merkezde de eşksenel bölge olmak üzere üç bölüm içerisinde oluştuğu görülmektedir. İzotropik özelliklerin sağlanması için, genellikle eşksenel taneli yapılar ilk tercih olarak seçilmektedir. Master alaşımların ilave edilmesi ile birlikte, katılma esnasında, heterojen tane çekirdeklenme ile intermetalik faz parçacıklarının tane boyut oranları şekillenmektedir. Aynı zamanda, katılma oranı ve alaşımın bileşim oranı da tane yapısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Döküm işleminde normal katılma şartlarında tane incelticiler kullanıldığı zaman yapı, kaba sütunsal veya eşksenel taneler ile meydana gelmektedir. Alaşımın inceltirilmiş tane yapısı, katılma esnasındaki çatlak direnci ve katılma işleminden sonra soğuma işlemi ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum yüksek sıcaklıklarda da çekme dayanıma olumsuz etki ederek azalttığından dolayı, kaba taneli yapılarda tane

sınırının oluşum hassasiyet oranının arttığı gözlemlenmektedir. Etkili bir şekilde tane inceltici işleminin döküm parçasına işleminin avantajları ise;

- Besleme nitelik oranının artış göstermesi,
- Sıcak yırtılma dayanım oranında artış meydana gelmesi,
- Mekanik özelliklerin geliştirilmesi,
- Basınç sızdırmazlığını ve ısı işlemlere tepki oranını geliştirilmiş olması.

Şeklinde döküm parçaya uygun oranda tane inceltici kullanımının avantajları gösterilmektedir.

5.2. NTRIT KOL ARALIĞI

Dentrit kol aralığı kullanılmakta olan bütün ticari amaçlı üretilen alaşımlarda sıvı metalin katılaşması ile sıvı çözelti içerisinde dentritlerin oluşumu ile başlamaktadır. Birinci dentrit kollarının yönlü olarak ayrışmasına benzeyen ve sadece tek bir bileşim içeren dentritik yapıları olan hücrelerin kontrolü katılaşma esnasında kullanılmakta olan parametreler ile kontrol altında tutulabilmektedir. Çekirdeklenme aşamasına geçildiğinde kritik yarıçapa gelen alaşımın katı oranının düşük olduğu durumlarda dentritik yapının oluşma ihtimali artış göstermektedir.

5.3. MODİFİKASYON

Hipoötektik Al-Si alaşımları, dökülebilirlik oranı, kaynaklanabilme kabiliyeti, düşük ısı işlem katsayısı, iyi korozyon direnci ve işlenebilir olması gibi nedenlerden dolayı yapısal olarak geliştirilebilen alaşım grubu içerisinde dahil edilebilmektedir. Genel olarak %5 silisyum oranına sahip olan alaşımlar için yapısal anlamda güncellemeler yapılarak gelişim kaydedilebilmektedir. Hipötektik Al-Si alaşımlarında ötektik ağ içerisi içinde çok ince yapıda lameller veya lifler yer almaktadır. Ayrıca bakıldığı takdirde katılaşma oranında yaşanan artış hızı, benzer yapılar içinde yararlı olduğu görülmektedir. Birçok araştırma içerisinde silisyum kristallerinin ötektik yapı ile birlikte büyüme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Ötektik gelişim göstermesi, ince lamelli yapının dağılımı ile doğru orantılı

olmaktadır. Kalsiyum ve sodyum elementlerinin kullanımı ergimiş halde bulunan alüminyuma doğrudan metalik veya tuz halinde ilave edilerek kullanılabilir. Genellikle bu işlem için vakumlanmış ya da paketlenmiş olarak bulunan sodyum tercih edilmektedir. Bazı alaşım türleri içinde stronsiyum elementi kullanılabilir ve yaklaşık olarak %10-90 aralığında stronsiyum içeren alüminyum master alaşımları da modifikasyon işlemi için kullanılabilir. Antimon elementi ise alaşımın süreç içerisinde gerçekleştirmiş olduğu yapısal değişikliklerin sürekliliğini korumaktadır. Bu durumlarda farklı yapısal değişiklikler uygulanarak tane inceltme yapılmış ötektik ile, iğnemsiz ve düzenli bağın mukayese edilebilmesine katkı sağladığı görülmektedir. söz konusu olan iki durum içinde modifiye elementlerinin görevlerini sağladığı durumda, yapısal tane inceltme işlemi gerçekleşmektedir. Hiperötektik Al-Si alaşımlarının farklı kompozisyonlarının makine imalatı ve parçaların döküm prosesi esnasında tane inceltme işlemi temel işlem olarak öne çıkmaktadır. Eriyik halde olan alaşım içerisine fosfor elementi ilave olarak kullanıldığında, silisyum elementinin ötektik bileşiminden metalik fosfor ya da fosfor içeren bileşik oluşumun olduğu görülmektedir. Düşük miktarda fosfor elementi konsantrasyonları, inceltmiş tane yapısı elde etmek için olumlu bir sonuç vermektedir (55).

5.4. TANE İNCELTME İŞLEMLERİ

Bütün alüminyum alaşımları için uygun işlem ile tane inceltici elementleri kullanıldığı takdirde alaşımın eşksenel ve ince taneli bir yapıya sahip olabilmeleri olumlu sonuç vermektedir. Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılmakta olan tane inceltici elementler titanyum ve bor elementi olarak görülmektedir. Al-Ti incelticileri, çoğunlukla %3-10 oranı aralığında titanyum elementini içerisinde barındırmaktadır. Yaklaşık olarak aynı aralıklarda Al-Ti-B incelticileri ile, %0,2 bor element oranı ve %5-50 titanyum-bor alaşım oranı tercih edilmektedir. Tane inceltme işleminin temel kullanımları ve ilkelerinin biliniyor oluşuna rağmen, laboratuvar ortamı içerisinde üretilen teoriler ile üretilen mekanizmaların henüz günümüz endüstri ortamı içerisinde kullanımları yoktur. TiAl₃ alaşımında yer alan alüminyum elementinin kristal çekirdeklenme içerisinde aktif bir faz olarak rol oynadığı bilinmektedir. Bunun nedeni ise kristalografik olarak birbirleri ile benzerliklerinin bulunuyor olmasıdır. Tane inceltme işlemi, ilk olarak tahmin edilen

çok düşük miktardaki titanyum konsantrasyonları içerisinde Al-Ti alaşımının %0,15 oranında bileşiminin peritektik nokta teorileri sayesinde yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Ti-Al-B alaşım tipi tane çekirdeklenme işlemi için çok karmaşık yapılı alaşımlar, bor elementinin aktif bir yapı sergilediğini göstermektedir (55).

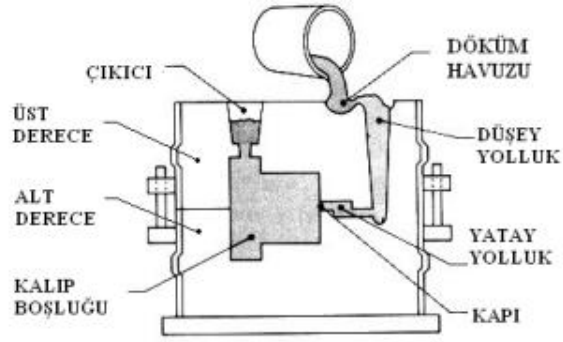
BÖLÜM 6

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Alüminyum döküm işlemi, farklı yöntemler kullanılarak yapılabilir. Alüminyum döküm yöntemlerinden başlıcaları basınç döküm, kum döküm, kokil döküm gibi yöntemlerdir. Basınç döküm, alüminyum alaşımları eritildikten sonra basınç altında bir kalıba dökülür. Kum döküm yönteminde, alüminyum alaşımları kum kalıplarında dökülür. Kokil dökümde, kalıp içerisindeki alüminyumun döküm işlemi sırasında hareket etmesini önleyen bir metot kullanır ve daha hassas parçaların üretimi için uygundur.

6.1. KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ

Metalik parçaların üretim işlemi aşamasında kum kalıba döküm yöntemi, günümüzde oldukça yaygın kullanılan bir döküm yöntemi olarak görülen bir metot olarak bilinmektedir. Kum kalıbın şematik gösterim şekli, şekil XXX de yer almaktadır. Üretim şekli planlanmış olan metal alaşımlı döküm parçası, sıvı metalin kumdan (silis kumu, zirkon kumu, olivin kumu vb.) hazırlanan dereceler içerisinde parçanın şekline uygun olarak açılan döküm boşluğuna dökülmesi sonucunda elde edilmektedir. Ancak döküm parçanın kalitesi için döküm esnasında sıvı metal alaşımı ile kalıp arasında oluşması muhtemel olan etkileşimlerin olabildiğince indirgenmesi gerekmektedir. Bu sorundan kaynaklı olarak kum tanecikleri arasında veya içerisinde bulunmak olan nem oranının minimum düzeye düşürülerek ya da kalıp için kullanılmakta olan kum karışımına uygun olan inhibitörler ilave edilerek giderilmesi döküm kalitesi ve döküm hatalarının önlenmesi için önem taşımaktadır.

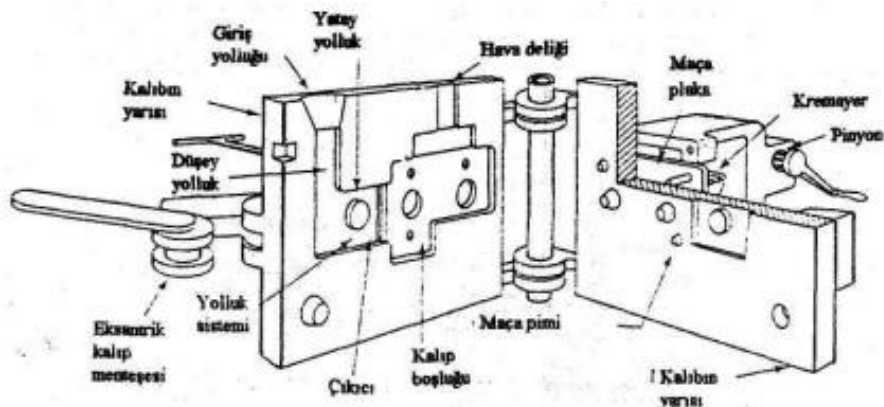


Şekil 6.1. Kum kalıbın şematik gösterimi [57].

Yüksek sıcaklık altında yapılmakta olan dökümler için, metal ile kalıp arasında gerçekleşen etkileşimin yüksek olması beklenilmektedir. Bu durumdan dolayı olarak, kalıp kumuna ilave olarak kullanılan inhibitör kullanım oranı da döküm güvenliği için yüksek olması gerekmektedir. Aynı zamanda ilave olarak kullanılan alaşımın elementleri ile alaşım arasında değişen öz kütle oranı için, ilave olarak kullanılacak olan inhibitör oranı da değişiklik gösterebilmektedir. Kum kalıp içerisinde döküm parçanın kalınlık farkından kaynaklı olarak soğuma hızının değişiklik göstermesinden dolayı olarak yavaş soğuyan bölgelerde yer alan inhibitörlerin yanma olasılığı da göz önünde tutularak kalıp içerisinde dağılımları yapılmalıdır (56).

6.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ

Kokil kalıba döküm yönteminin literatür içerisinde bir diğer adı da permanent dökümdür. Kokil kalıba döküm yönteminin şematik gösterimi Şekil 6.1'de yer almaktadır.



Şekil 6.2. Kokil dökümün yöntemi [58].

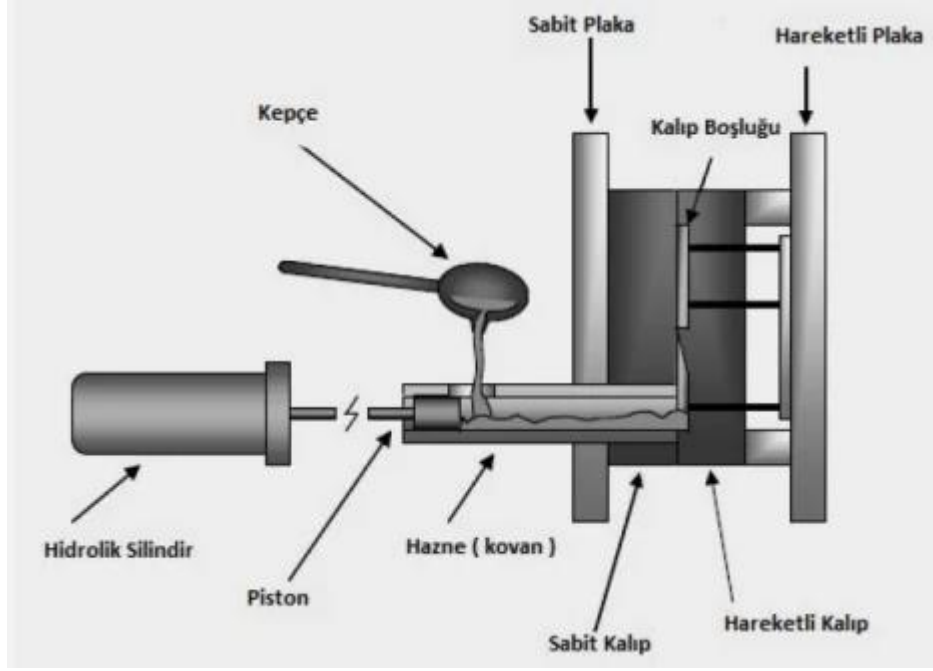
Döküm parçanın katılaşma esnası içerisinde kalıp içerisinde bulunan sıvı metale 40-1000 MPa arasında bir basınç kuvveti etki etmektedir. Bu işlemin döküm parça için etkisi sıvı metal içerisine sıkışmış olan gaz boşluklarının giderilmesinde ve katılaşmanın başladığı sırada meydana gelen hacimsel daralma (çekmenin). Oranın olabilecek en düşük seviyeye getirilmesini sağlamaya çalışmaktadır. Bu duruma ilave olarak, dökülen metal alaşımın yüksek hızda (100-10000 °C/s). Soğumasına olanak sağlayarak, ince taneli mikroyapı oluşumuna doğrudan etki etmektedir. Dökülen parçanın kolay bir şekilde parçadan çıkışını sağlamak için ve kalıp ile parçanın birbirine yapışmasını engellemek için bazı yağlayıcıların kullanımı gerekmektedir. Kokil döküm, tasarımda istenilen ölçülere yakın ürünün oluşmasına, yüksek hızda üretim hızının olmasında, elde edilen ürünün mukavemet değerinin yüksek olması, yüzey kalitesinin iyi olması ve üretim sonrası işleme gereksiniminin düşük olması gibi bazı önemli avantajları mevcuttur (58).

6.3. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ

Basınçlı döküm yöntemi ilk olarak 1850'li yıllarda birkaç makine üreticisinin bir araya gelerek elle çalışan bir makine imalatı yapması ile başlamıştır. Basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilen döküm parçaların ilk ticari uygulamaları ise 1892 yılında fonograflar ve yazar kasa parçalarının üretimiyle gerçekleşmiştir. Endüstri ihtiyacına göre evrilerek bakır ve kurşun alaşımları kullanılarak motor komponentlerin üretilmesiyle beraber basınçlı döküm yöntemi gerçek anlamda kullanılmaya ve endüstri içerisine yayılmaya başlamıştır. Bu gelişmeleri takiben çinko alaşımları basınçlı döküm yöntemi ile üretilmeye başlamış ve çinko alaşımları kullanılarak basınçlı döküm yöntemi maliyet ve hız faktörlerinde fark yaratmasıyla yüksek ergime sıcaklığına sahip olan alaşımların da basınçlı döküm yöntemi ile üretilebileceğini düşünen dökümcüler, ilk defa 1915 yılında alüminyum alaşımlarını basınçlı döküm yöntemi üretmeye başlamıştır. Basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilmeye başlayan maske, tüfek parçaları, savaş ekipmanları ile 1. Dünya Savaşı esnasında üretimde ve kullanımda yaygınlaşmıştır. Teknolojik gelişmelerle paralel olarak büyüyen basınçlı döküm yöntemleri günümüzün vazgeçilmez olan döküm yöntemleri arasında yer almaktadır. Sürekli olarak geliştirilmekte olan basınçlı döküm makineleri çağımızın gereksinimlerine göre şekillenerek parça üretimi ve

düşük maliyet sunması ile endüstrinin vazgeçilmez bir üretim yöntemi olmuştur (20-21).

Yüksek basınçlı döküm yöntemi kendi içerisinde doğrudan yüksek basınçlı döküm ve dolaylı yüksek basınçlı döküm yöntemi olarak iki farklı döküm yöntemine ayrılmaktadır (59). Sıvı metal alaşımı, kalıbın alt yarısı içerisinde dolduracak şekilde dökerek kalıbın üst kısmı ile birleştirildiği takdirde kalıp boşluğunu tamamen kaplayacak şekilde indirilmesi gerekmektedir. Sıvı metal alaşımı tek yönlü basınç altında kalıbın şeklini alır ve soğutucu desteği ile katılaşması sağlanır. Bu yöntem, metal matrisli kompozit üretiminde önemli rol oynarken özellikle de fiber takviyeli metal matrisli kompozit üretimi içinde kullanımı olumlu sonuç vermektedir (60). Katılaşma esnasında uygulanmakta olan yüksek basınç miktarı, katılaşma sırasında oluşması muhtemel olan çekmenin, gaz ile birlikte gözeneklerin ve metal takviye elemanının ara yüzey boşluk oluşumunun engellenmesi için büyük rol oynamaktadır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile kokil döküm yöntemi arasında benzerlikler olduğu gibi yöntemler arasında da bağlantılar mevcuttur. Farklı olarak sıvı metal alaşımının, yüksek basınçlı döküm yönteminde döküm kolunun yardımı ile birlikte kalıp içerisinde doldurması gerçekleşmektedir. Piston hızı kontrol altında tutularak, sıvı metalin doldurma hızında değişiklikler yapılabilmesine imkan sağlar. Sıvı metal alaşımının doldurma hızının kontrolü ile gözeneksiz parça elde edilebilmesi ve kalıp içerisinde meydana gelebilecek türbülansın oluşumunun engellenebilmesi ya da en az düzeye indirilmesi için önem taşımaktadır. Doğrudan yüksek basınçlı döküm ile dolaylı yüksek basınç arasında bir kıyas yapıldığı takdirde dolaylı yüksek basınç yönteminde kullanılan sıvı metal alaşım kayıp oranının daha yüksek olduğu yapılan araştırmalar sonucunda görülmektedir (59).



Şekil 6.3. Yüksek basınçlı döküm yöntemi.

6.4. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM AVANTAJLARI

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretimi esnasında bazı avantajları mevcut ve bu avantajlar ise aşağıda yer almaktadır: Tasarlanan nihai ürün tolerans ölçülerine yakın bir parça üretimi sağladığı için talaşlı imalat aşamasında malzeme ve süre kaybının önüne geçebilme imkanı sağlayabilmektedir. Kompleks bir tasarıma sahip olan parçaların üretimini yapabilmektedir. Boyutsal tolerans ölçülerinin dar olduğu parçalarının üretiminde ve ince kesit kalınlığına sahip olan parçaların üretiminde 1 milimetreye yakın inceliğe sahip ürün üretiminde kullanılabilir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılacak olan kalıpların üretim maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen yöntemin sunmuş olduğu yüksek üretim hızı ve çoklu üretim ile parça başına düşen maliyet oranı düşük olduğu için diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha avantajlı bir üretim yöntemi olmaktadır. Parça salkım oranı yüksek olduğu için üretilen parça hırdası diğer döküm yöntemlerine oranla daha düşük olmaktadır. Üretim prosesi olarak kullanılmakta olan döküm yöntemleri ile kıyaslama yapıldığı takdirde yüksek basınçlı döküm yöntemi daha temiz bir üretim sunmaktadır. Yüksek yüzey kalitesine sahip olan parça üretimi ve yüksek verimlilik (işçilik ve malzeme kaybı yaşanabilecek durumların önüne geçerek) oranı ile üretim yapabilmektedir. Yüksek basınçlı döküm yöntemi seri imalata uygun, birkaç gram

ağırlık oranından kilogramlara çıkabilen üretim boyutları ve yüksek mekanik özelliklere, hızlı katılma imkanı sayesinde ince taneli mikroyapı elde edebilmesinden dolayı büyük avantaj sağlamaktadır (16-20).

6.5. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM DEZAVANTAJLARI

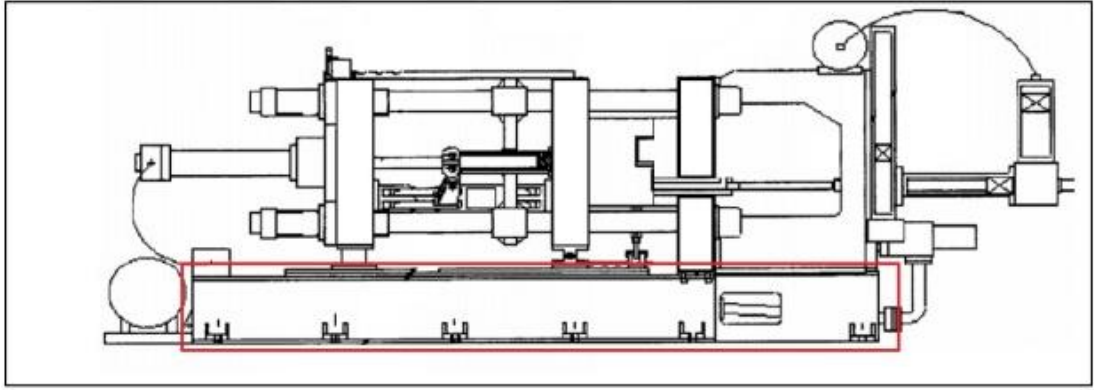
Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretimi esnasında bazı dezavantajlar mevcut ve bu dezavantajları ise aşağıda yer almaktadır. Üretilen parçanın büyüklük oranı tezgâh plaka büyüklükleri ve tezgahın kitleme tonaj kapasitesi ile sınırlı olmakta ve bu nedenden dolayı büyük parça boyutuna sahip ürünlerin dökümüne imkan sağlayamamaktadır. Döküm kalıpları içerisinde eğer vakum sistemi bulunmuyorsa oluşan gaz basıncı döküm parçalarda döküm boşluğuna neden olabilmekte ve bu durum çeşitli kalitesizlik ve üretim maliyetinde artış yaşanmasına hurda sayısının artmasına neden olmaktadır.

Yüksek basınçlı döküm yönteminin yatırımı için ihtiyaç duyulan sermaye miktarı diğer döküm yöntemleri ile kıyaslandığı zaman oldukça yüksek olmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yönteminin kalıp dolum hızının çok yüksek olması ve eriyik halde bulunan alaşımın hızlı katılmasından dolayı katılma esnasında yaşanan gerilmeler artacak ve çatlak oluşum eğiliminde artış görülecektir (14-16-20).

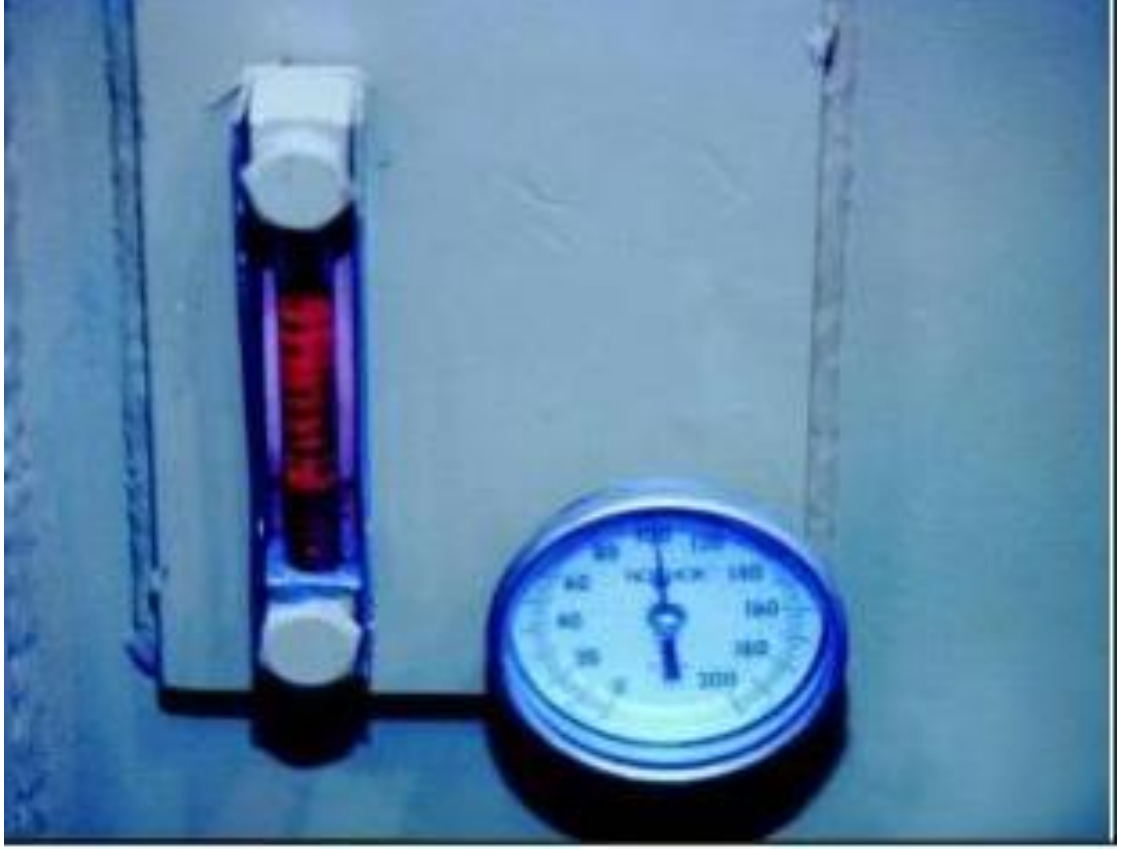
6.6. YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜME YARDIMCI ELEMANLAR

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılmakta olan makinalar mekanik, hidrolik, elektrik, pnömatik ve güvenlik sistemlerinden oluşmakta ve oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Yapısal bileşenler yüksek basınçlı döküm yönteminin ana hatlarını oluşturmakta ve ek olarak yer alan diğer yapı elemanlarını barındırmaktadır. Bu makinaların taban kısımlarının asıl amacı tüm makine bileşenlerini desteklemek ve ağırlığı eşit olarak dağıtmaktır. Taban alanı genellikle dikdörtgen şekilde dizayna sahip olarak imal edilmekte ve makine boyut olarak uzun olmaktadır. Yüksek basınçlı döküm tezgahının tabanının arka kısmında sisteme güç veren hidrolik sıvının rezervuarı olan çelik tank yer alır ve makine çalıştığında oluşan yüksek sıcaklıktan etkilenen yağ ısısında artış yaşanacağı için sistemsel anlamda oluşabilecek sorunların

önüne geçebilmek için hidrolik yağın sıcaklık değeri 50 °C sıcaklığını geçmemesi sağlanır. Eğer sıcaklık değeri güvenli çalışma sıcaklığının üzerine çıkarsa kullanılan yağ fonksiyonel özelliklerini kaybeder ve yanma direnci azalacağı için iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek risk unsuru olmaktadır. Tezgah fonksiyonlarının verimli olarak çalışabilmesi için sistem hareketlerinin kaynağı olan hidrolik yağın temiz tutulması ve önerilen çalışma sıcaklık değerlerinin üzerinde ya da altında çalışmaması gerekmektedir. Aşağıda yer alan Şekil 6.4’de yüksek basınçlı döküm tezgahının temel kısımları ve yağ tankının konumu gösterilmektedirken, Şekil 6.5 de yer alan görselde yağ temizliğinin ve seviyesinin kontrol edilmekte olduğu gözetleme ekranı ve yağ sıcaklığının ölçüldüğü termometre yer almaktadır (21).



Şekil 6.4.Yüksek basınçlı döküm tezgâhı şematik gösterimi [21].

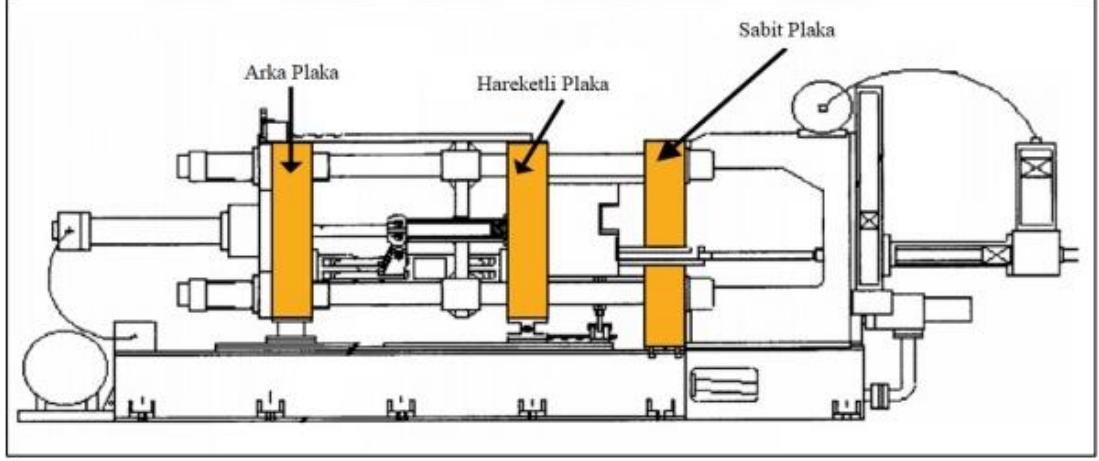


Şekil 6.5. Yağ temizliği ve seviyesinin gözetleme camı ve termometresi [21].

Enjeksiyon tezgahları temelde mengene grubu ve enjeksiyon grubu olarak iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Mengene grubu, kalıbın hareketli bölgesinin, genellikle elektrik motorunun ve pompalarının yer almış olduğu bölge olurken enjeksiyon grubu ise, akümülatörlerin ve enjeksiyon mekanizmasının yer aldığı bölge olmaktadır. Döküm tezgahının iskelet sistemi mengene ve enjeksiyon gruplarının fonksiyonelliklerini bozmadan dengeli bir şekilde konumlandırılmalı ve taşınmalıdır. Sistem dengesinde bir aksama meydana gelmemesi için iskelet sisteminin kurulacağı alan terazide olmalıdır (21).

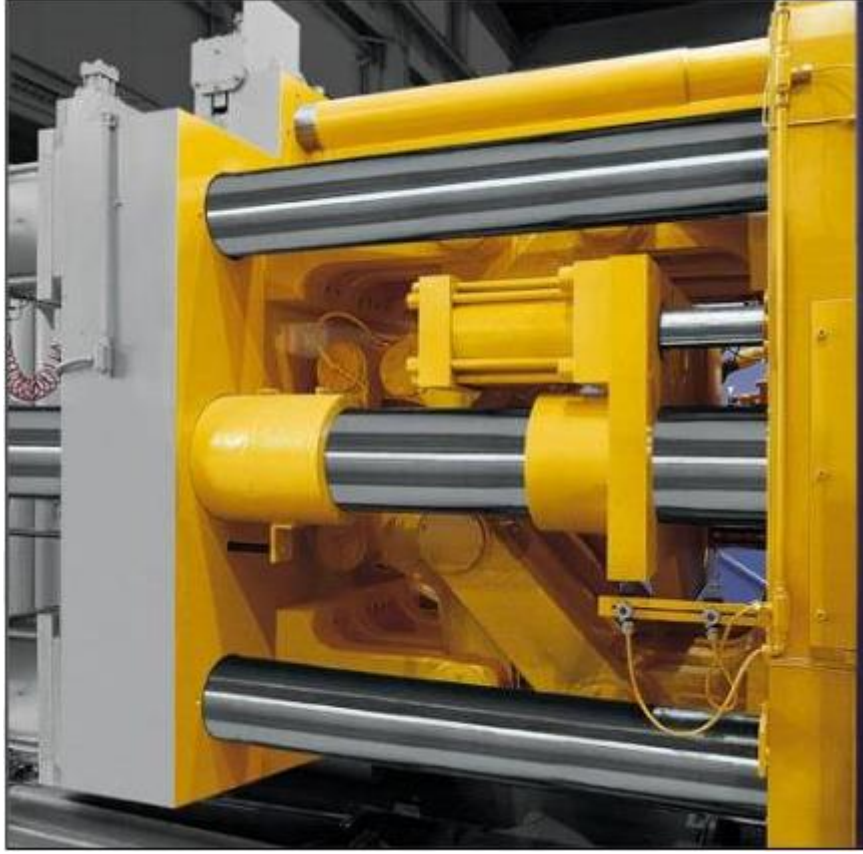
Şekil 6.6'de yer alan görselde gösterildiği gibi yüksek basınçlı döküm tezgahları arka plaka, hareketli plaka ve sabit plaka olarak toplamda 3 plaka barındırır ve bu plakalar tezgah iskeletinin üzerinde çalışmaktadırlar. Sabit kalıp üzerine döküm parçada kullanılacak olan sabit kalıp kısmı, hareketli plaka üzerinde de döküm parçanın hareketli kalıbı montajlanır. Arka plaka ile hareketli plakanın arasında ise makas

grubu yer alır ve arka plaka, döküm kalıbının kalınlığına göre ileri geri hareket ederek eksen ayarı yapılabilmesine imkan sağlamaktadır (21).



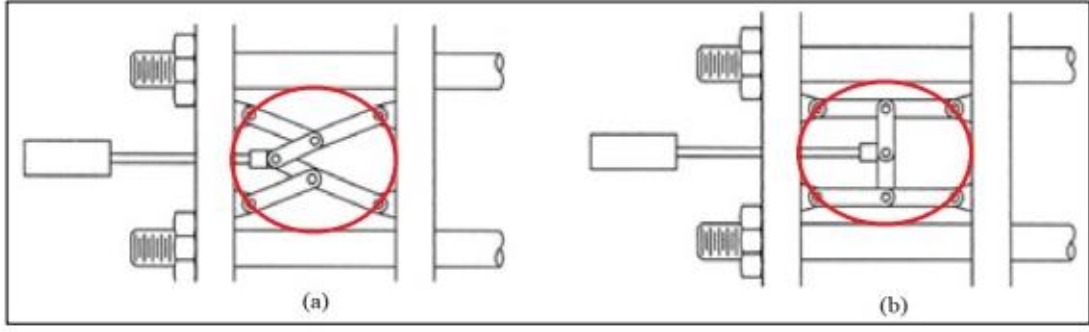
Şekil 6.6. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında bulunan plakaların gösterimi [21].

Tipik olarak döküm tezgâhlarında aşağıda yer alan Şekil 6.6'da gösterildiği gibi 4 adet kolon mili yer almaktadır. Kolon milleri plakaların dört köşelerinden geçer ve işlevi yüksek basınçlı döküm tezgâhının koordineli bir şekilde çalışabilmesini sağlamaktır. Hareketli plaka ise bu miller ile bağlantılı olarak, sabit plakaya göre paralel olarak hareket edebilmektedir. Kolon, millerin boyutu ve dayanıklılığı döküm tezgâhının büyüklük ve üretim hacmini belirlemeye yaramaktadır. Her çevrim esnasında, enjeksiyon esnasında oluşmakta olan yüksek gerilim kolon millerine doğrudan etki etmekte ve enjeksiyon esnasında kalıp üzerinden kilitleme sistemine gelmekte olan yük karşısında kalıbın açılmadan rijit kalabilmesine doğrudan etki etmektedir. Kolon milleri, tezgâhta oluşabilecek gerilmeleri karşılayamayacak dayanımda olduğu durumda ise kolon millerinde hasar oluşur ve döküm kalitesinde düşüş yaşanarak kaliteli döküm yapabilme ihtimali imkansız bir hale gelmiş olur (21-22).



Şekil 6.7. Enjeksiyon döküm tezgâhı üzerinde bulunan kolon milleri n [21].

Arka plaka ile hareketli plaka arasında bağlantıyı sağlayan makas plaka, üretici değişikliğinden kaynaklı olarak kullanım yeri ve şeklinde değişiklikler meydana gelse de fonksiyon olarak aynı işlevi görmekte, kalıbın kapanması ve kitlenmesi esnasında mekanik kuvvet oluşturan ekipman grubu olarak tanımlanmaktadır. Kolon milleri üzerinde yer alan hareketli plaka ve kalıbın sabit kalmasını ve yüksek basınç esnasında döküm işleminin gerçekleşebilmesi için büyük bir kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bu kuvvetin hidrolik silindir ile kıyaslanması mümkün değildir bunun nedeni ise meydana gelen kuvvet için ihtiyaç duyulan silindir boyutu büyük boyutlara sahip olmalıdır. Arka plaka ile hareketli plaka arasında yer alan makas grubu, döküm esnasında meydana gelen büyük kuvveti karşılayarak başarılı bir şekilde döküm işleminin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 6.8’de yer alan görselde arka plaka ile hareketli plaka arasında yer alan makas grubunun kilitlemiş ve kilitlememiş durumda sergilemiş olduğu pozisyonlar gösterilmektedir (21,22).

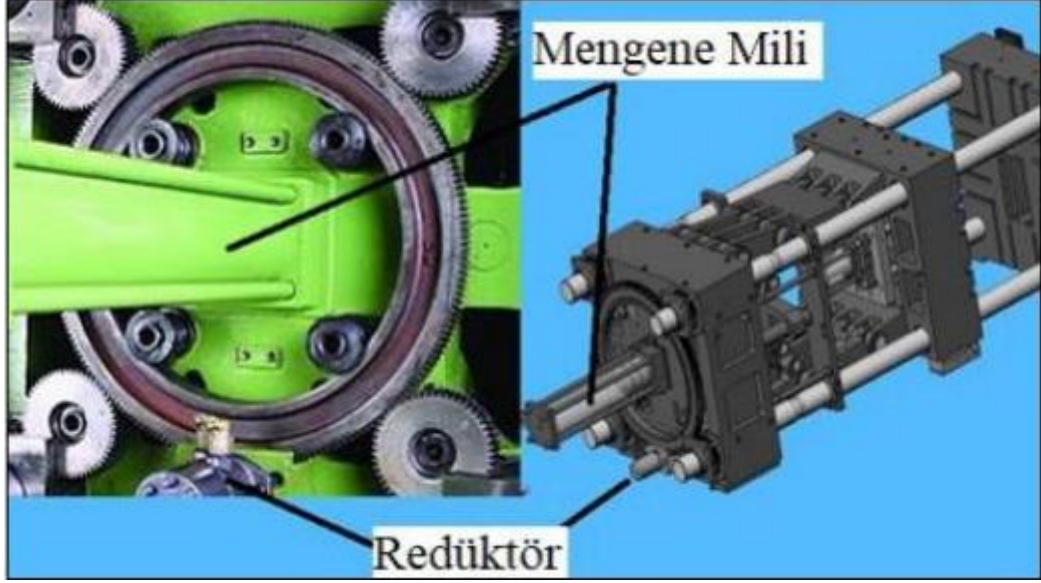


Şekil 6.8. Makas grubunun (a) kitlenmemiş, (b) kitlenmiş şematik gösterimi [22].

Günümüzde kullanılmakta olan yüksek basınçlı döküm makinaları 2 plakaya sahiptirler. Hareketli kalıp parçası konumunu belirleyebilmek için hidrolik silindir ile hareket ettirilmektedir. Bu tipte olan döküm tezgahlarında yer alan bütün kolon milleri için farklı bir hidrolik silindir sistemi kullanılmaktadır. Çalışma şeklinin bu şekilde olması sayesinde kalıp daha hızlı kapanmasına ve bütün kolon millerine düşen kuvvetin eşit oranlı dağılmasına olanak sağlamaktadır (21).

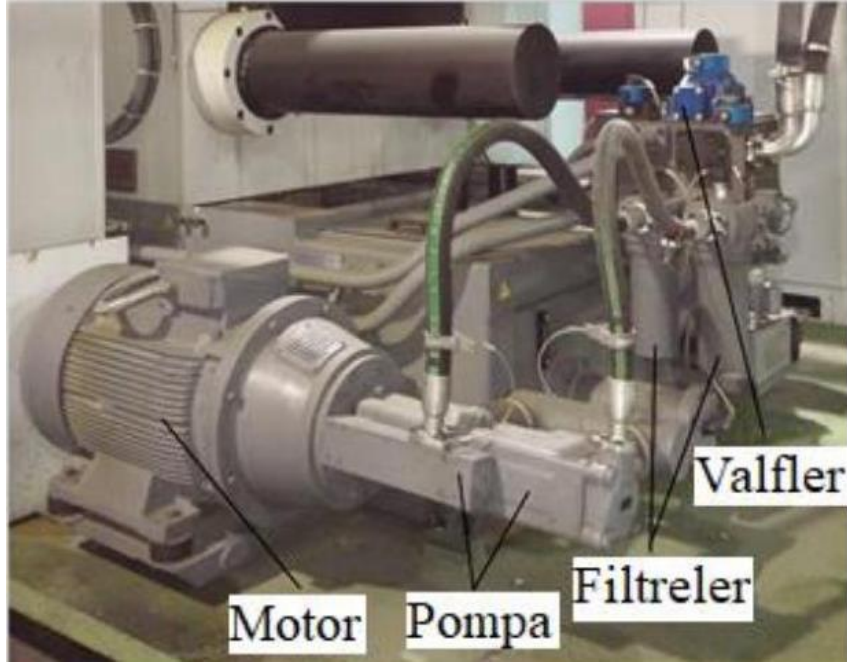
Mengene mili, yüksek basınçlı enjeksiyon tezgahının arka plakası üzerinde sabitlenmiş şekilde duran hidrolik sistemdir. Mengene mili, mengene kilitleme sistem elemanlarından olan makas sisteminin hareket edebilmesi için ihtiyaç duyulan enerjiyi kazandırır. Bu sayede makas sistemi, hareketli kalıbın üzerinde bulunmuş olduğu hareketli plakayı tahrik ederek kalıbın kapanarak baskı kuvvetini aktarabilmesini ve döküm işleminden sonra açılarak üretilmiş olan parçanın kalıp içerisinden çıkarılmasına olanak sağlamaktadır (21-22).

Redüktör, tezgah üzerinde yer alan hareketli tarafın (hareketli plaka, arka plaka, makas grubu vb.) tezgaha bağlanan kalıbın boyutlarına göre ayarlanabilmesini ve kalıp değişimleri esnasında kalıbın rahat çıkarılması için kalıp aralığını genişletebilmesi için kullanılan parçadır (21-22).



Şekil 6.9. Mengene mili ve redüktör gösterimi [22].

Yüksek basınçlı döküm tezgahlarını çalıştırabilmek ve kontrol edebilmek için elektrik enerjisi kullanılır ve yüksek basınçlı döküm makinasının elektrik sistemi operatör kontrol panelinin de yer almış olduğu tüm ekipmanlara gönderilmekte olan sistemlerin bütünüdür. Makine üzerinde yer alan bütün yardımcı ekipmanlarında sinyalizasyonu ana elektrik pano sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Elektrik motoru ya da motorları doğrudan olarak hidrolik pompalar ile bağlantılı olarak elektrik enerjisinin hidrolik enerjiye dönüşmesini sağlayarak, hidrolik hatlara basınç altında beslenmekte ve döküm kaynağının çalışması için gerek duyulan gücün oluşmasına imkan tanımaktadır. Hidrolik pompa sistemi, yüksek basınçlı döküm tezgahının iskeletinin arka kısmına yer alan hidrolik tanklarının yakınında yer alır ve ihtiyaç duyulan hidroliğin tanktan alınmasını sağlar. Makinanın elektrik motorları yüksek voltaj ile çalışabilmekte olduğu için bu durumdan dolayı doğabilecek elektrik çarpma tehlikesi göz önünde bulundurularak bu alanın sürekli kontrol edilmesi ve her daim temiz, kuru ve güvenli tutulması önemlidir. Hidrolik sistem, elektrik motoru ile bağlantılı olan iki yollu pompa, boşaltma valfleri, akış kontrol valfleri, akümülatör doldurma valfleri, yön valfleri, itici silindir sistemi, kalıp, hidrolik maçalar gibi yardımcı donanım ekipmanı olan valfler bütününden meydana gelmektedir. Şekil 6.9'da yer alan elektrik motoru ve hidrolik pompanın birlikte olduğu sistem görsel üzerinden gösterilmekte ve parçaların şekilleri yer almaktadır (21).



Şekil 6.10. Elektrik motoru ve hidrolik pompa grubu gösterimi [21].

Yüksek basınçlı döküm tezgahında hidrolik yağ akışının kontrol altında tutulması gerekli olduğu için akış içerisinde kullanılacak yağ miktarını ve yönünü elektrik sinyalizasyon sistemi kullanımı ile belirlenmekte, Şekil 6.11’da yer alan görsel de selenoid valfler kullanımı görülmektedir (21).



Şekil 6.11. Yüksek basınçlı döküm tezgâhında kullanılan selenoid valf [21].

Döküm tezgahı üzerinde yer alan elektrik sisteminin en önemli kısmını limit anahtarları yani switch olarak bilinen sistem elemanları oluşturmaktadır. Yüksek basınçlı döküm makinesinin hemen hemen her bölgesinde ve parçasına yer alan switch, hareketli makine parçalarının konumlarını algılayarak sistemin güvenilir ve kontrol altında çalışabilmesine imkan tanıyarak makinanın parça konumunu bildirir. Şekil 6.12’de yer alan yüksek basınçlı döküm tezgahı üzerinde bulunan bazı limit anahtarları yani switchler yer almaktadır (21).

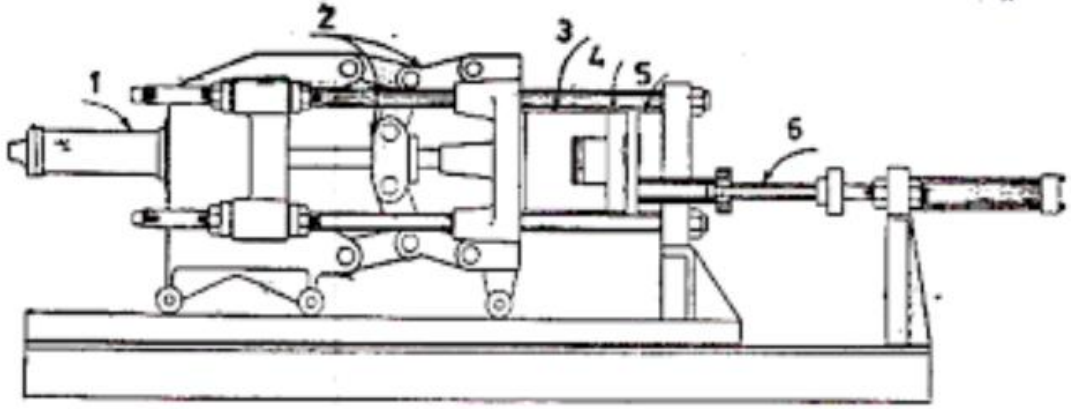


Şekil 6.12. Limit anahtarları / switchlerin gösterimi [21].

Yüksek basınçlı döküm tezgahlarında yağ sıcaklıkları belirlenen değerler aralığında tutulmasını sağlayabilmek için ve belirlenen sıcaklık değer aralığının dışına çıkmasını önlemek için ısı eşanjör sistemi kullanılmaktadır. Tezgahlarda kullanılmakta olan hidrolik silindirlerin kullanım alanları, tezgahın açılıp kapanma hareketini gerçekleştirebilmesinden, sıvı metal alaşımın kalıp içerisine enjeksiyonunda, döküm kalıbı üzerinde yer alan maça sisteminin açılıp kapanmasını sağlayabilmek için, itici plakasının ileri geri hareketini gerçekleştirebilmesine ve daha birçok hareketli sistemin tanımlanan hareketlerini gerçekleştirebilmesi için kullanımı söz konusudur (21).

Yüksek basınçlı döküm tezgahının enjeksiyon kısmı içerisinde kullanılan grup elemanları ise, akümülatörler, hidrolik silindir, piston, piston kolu ve hazne gibi makine parçalarıdır. Akümülatör kullanımı, yüksek basınç etkisine dayanıklı olan

çelik kaptır ve içerisinde kısmen hidrolik yağ ve kısmen azot gazı yer almaktadır. Yağ ve gazın birbirine karışmasını önlemek için basınçlı piston sistemi kullanılmaktadır. Yüksek basınç değerini elde edebilmek için akümülatör kullanılır ve basınç değerini arttırıcı olan akümülatörler, enjeksiyon vuruş yaptıktan sonra hidrolik sıvının basınç değerini arttırır ve bu işlem sayesinde dökümü gerçekleştirilen metalik alaşım malzemelerin yüksek0 basınç ile katılması gerçekleşir (19-21).



Şekil 6.13. Enjeksiyon grubu şematik gösterimi [19].

Şekil 6.13’de yer alan görsel ile en basit halinde tanımlanan yüksek basınçlı döküm tezgahının parça üretebilmesi için ilave olarak kullanılan makine ve ekipmanlara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. bu makine ve ekipmanlar basınçlı döküm yöntemi kullanılarak parça üretim sürelerini iyileştirerek makinenin çevrim süresini kısaltma niyetini taşımaktadır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi karmaşık bir döküm yöntemi olarak görülmekte ve metalik alaşımların ergitilme işleminden net parçanın yolluk ve hava ceplerinden ayrılma süresine kadar ergitme fırını, bekletme fırını, gaz alma süreci, bekletme ocağından döküm haznesine sıvı metal alaşımı taşımak için kullanılan hunisi, piston yağlayıcı, parçayı makine kalıbından alan robot sistemi, parça kontrolü için kontrol kamerası, soğutma tankı, kalıp ısıtıcılar, jet cooling cihazı, vakum cihazı, trim pres ekipmanları kullanılarak kompleks olarak görülen bir parçanın üretim süreci başlayabilir ve sonunda tasarlanan parçaya ulaşılabilir mükündür (21).

6.7. ERGİTME OCAKLARI

Yüksek basınçlı döküm yöntemi içerisinde kullanılan ekipmanlar arasında en önemlisi olarak görülen ergitme fırınları külçe, hurda ve geri dönüştürülecek olan alüminyumun mümkün mertebede en kısa süre zarfı içerisinde, alınabilecek maksimum verim ve en az yanma kaybı ile ergitme işleminin gerçekleşmesine imkan tanımaktadır (23).

Ergitme fırınlarının çalışma prensipleri, doğal gaz sistemi kullanılarak ısının alüminyum alaşımına doğrudan transfer edildiği şaft tipi alüminyum ergitme fırını olarak tanımlanmaktadır. Şekil 6.14’de yer alan görsel üzerindeki örnek şaft tipi ergitme fırınları, içerisinde ayrı bir ergitme ve bekletme havuzlarının yer aldığı, ergitme havuzu üzerinde yer alan ergitme şaftı (bacası), şaft çıkışında yer alan baca damperi ve şaft kapısının çalışma düzeneği (yükleme kapısı), fırını beslemek için yüklenen ürünleri fırına atan asansör sistemi ve mal yükleme arabaları, tapalı ya da hidrolik silindir ile devrilerek mal alma tekniği, PLC kontrolü ve pano sistemlerinin bütününden meydana gelmektedir (23).

Yanmanın gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan hava ve gaz, brülörün çıkış noktasında karışarak alevin oluşmasını sağlamaktadır. Gaz olarak kullanılmakta olan doğal gaz CH_4 (metan) + C_2H_6 (etan) karışımından oluşur ve fırının içerisine verilir. Oluşan kimyasal reaksiyonun sonucunda ortaya ısı enerjisi çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısının bir kısmı direkt olarak aleve dönüşerek alüminyum külçelere transfer olmakta, bir kısmı ise fırının duvarlarından yansıma yaparak metale transfer olmakta ve alüminyum alaşımlarının ergitme işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda şaft tipli ergitme fırınlarından yanma sonucunda elde edilen atık baca gazından maksimum yarar sağlayacak şekilde yararlanılmaktadır. Baca gazı ile iletilecek olan malzeme ön ısıtma sürecine girer ve birim ergitme maliyet oranını düşürerek süreci hızlandırır (23).



Şekil 6.14. Şaft tipi ergitme ocağı [23].

Ergitme işlemi sonucunda elde edilen alüminyum alaşımlarında genellikle metalik olmayan kalıntıların bulunduğu rastlanılır ve bu kalıntılar, alüminyum matrisi tarafından ısıtılmadığından dolayı olarak çözülmüş gazın gözenek oluşturması için en uygun yerleri oluşturmaktadır. Oluşan bu kalıntılar aynı zamanda sıvı metal alaşımın akışkanlık değerlerine doğrudan olumsuz yönde etki etmektedir. Eğer sıvı metal alaşım değerli kontrol edilmeden bu şekilde döküm işlemi yapılırsa oksit ve inklüzyonların çoğu döküm parçası üzerinde döküm boşlukları olarak karşımıza çıkacak ve üretilen parçanın mekanik ve korozyon dayanım oranına olumsuz yönde etki ederek istenilen kalite standartlarından sapma yaşanmasına neden olacaktır. Bu nedenden dolayı olarak Şekil 6.15. üzerinde yer alan örnekteki gibi cüruf alma işlemi uygulanmalı ve yapının içerisine oksit ve inklüzyonların geçiş işlemi yaşanması engellenmeli bu işlem sayesinde döküm parça istenilen kalite standartlarında üretilebilir (23).



Şekil 6.15. Cüruf alma işlemi [23].

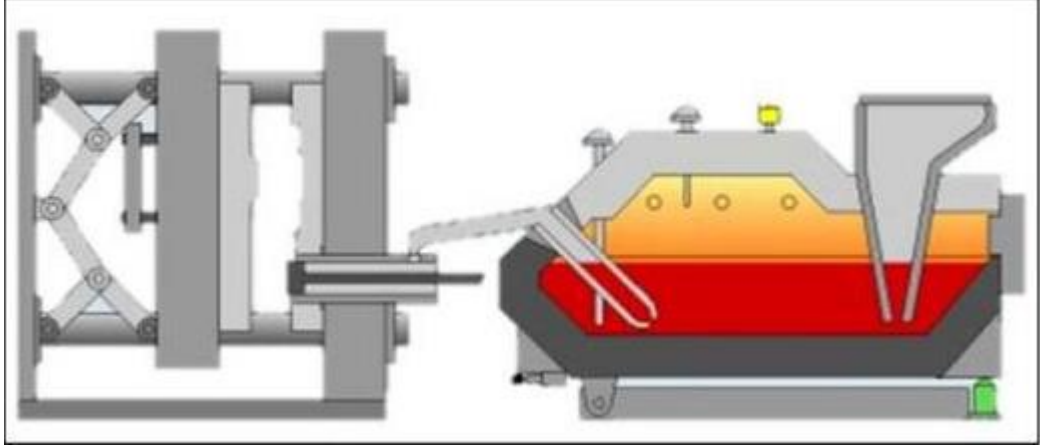
6.8. DOZAJLAMA VE BEKLETME OCAKLARI

Yüksek basınçlı döküm yöntemini kullanarak üretim yapan dökümhanelerde alüminyum alaşımları, şaft tipi ergitme fırınında ergitme işlemini tamamlayan maden buradan Şekil 6.15 de gösterilmekte olan dozaj/bekletme ocaklarına aktarılır ve burada dökümün yapıldığı makinaya gitmek için bekletilir. Sıvı metal alaşımın transfer edildiği mesafe aralığı kısa tutulması için yüksek basınçlı döküm tezgahlarının bitişiğine yerleştirilmekte olan bu bekletme ocaklarının kullanılmasında esas amaç sıvı metal alaşımının sıcaklığının, bileşiminin istenilen değer aralığında kalmasını ve döküm esnasında hava basıncı ile birlikte hazne içerisine istenilen miktarda metalin dökülmesine olanak sağlamaktır. Dozaj/bekletme ocaklarının kullanılmasıyla birlikte ergitme fırınlarının daha çok kendi kullanım amaçlarını gerçekleştirebilmesi ve alınabilecek verimin artmasını sağlamaya yaramaktadır (23).

Dozaj/bekletme ocaklarının elektrik ve fosil yakıt olmak üzere 2 farklı tip çalışma düzeneği mevcuttur. Modern dökümhaneler yüksek basınçlı döküm için genellikle dozaj/bekletme ocaklarının çalışma biçimi için elektrik enerjisinden yararlanmaktadır. Fosil yakıt ile çalışan ocaklar ile elektrik enerjisi ile çalışan ocaklar arasında kıyaslama yapıldığı zaman elektrik enerjisinin sunmuş olduğu en önemli avantaj temiz eriyik alüminyum elde edilmesine olanak sağlaması olarak görülmektedir. Elektrik sistemi ile çalışmakta olan ocaklar, yanıcı ürünler ile aynı

ortam içerisinde olmadığı için, cüruf oluşumu ve gaz birikimi gibi risklerin gerçekleşebilmesi daha düşük bir ihtimal olmaktadır. Sonuç olarak elektrik enerjili ocak kullanıldığı takdirde eriyik kayıp oranı daha düşük oranda olmaktadır (23).

Elektrik rezidans sistemine sahip fırınların içinde, çevresine ısı aktarımı için tel dolanmış olan rezidans sistemi bulunmaktadır. Bu teller üzerinden geçen elektrik akımı, telin elektrik akımına karşı olan direnci sayesinde ısı üretimi gerçekleşmesini sağlayarak fırın içerisinde sıcaklık değerinin artmasını sağlamaktadır. Rezidansların sıcaklığı kızaracak dereceye kadar yükselmekte bu sayede de kızaran rezidans tellerinin ısı taşıma ve ışıma yolu ile fırının içerisine ısı yayması artmaktadır. Bu şekilde eriyik alüminyum alaşımın sıcaklık değeri istenilen aralık içerisinde tutulmaktadır. Bu tip fırınlar için sıvı metal alaşımın ve fırının atmosfer sıcaklık değerini ölçen iki adet sıcaklık ölçer termokupl sistemini kurulmakta ve olası ısı değişimleri anlık olarak kaydedilmektedir (23).



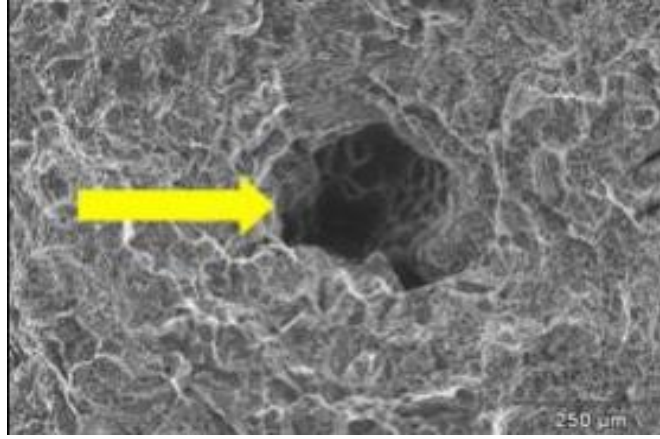
Şekil 6.16. Dozajlama/bekletme ocağının şematik gösterimi [23].

Gerçekleşecek olan ısı transferinin yüksek verimlilik ile gerçekleşebilmesi için fırının içerisi dolu ve temiz olmalıdır. Bu nedenden dolayı olarak taşıma ve ışıma yolu ile sıcaklığın ayarlanabildiği bu tip fırınların metal banyoları düzenli periyotlar ile temizlenmesi gereklidir. Elektrik dozajlama fırınlarının, fırın iç basınç değerinin artırılması ile beraber sıvı metal seviyesinde yükselme meydana gelir ve tezgahın haznesine doğru sıvı metal transferi sağlanır. Bu transfer launder olarak adlandırılan oluklar üzerinden gerçekleştirilmekte ve transfer esnasında önemli olan sıvı metal alaşımın minimum değerinde enerji kaybı yaşayarak dökülmesi ve her çevrim sırasında

sıvı metal miktarının belirli oranda olacak şekilde döküm haznesinin içerisine ulaştırabilmektir. Belirlenen metal oranından çok ya da az orana sahip metal transferi gerçekleşebilmesi durumunda çeşitli döküm problemlerinin yaşanıldığı saptanmaktadır (21).

6.9. GAZ ALMA ÜNİTESİ

Sıvı alüminyum alaşımın hidrojen çözünürlüğüne sahip olması nedeniyle yapının içerisinde bulunan hidrojen, katılaşmanın gerçekleştiği durumlarda gaz boşluğu olarak parçanın içerisinde çökme yapmaktadır. Sıvı alüminyum alaşımın hidrojen gazına çözünürlüğü ile katı alüminyum alaşımın hidrojen gazına çözünürlüğü karşılaştırıldığında sıvı alaşımın daha yüksek olduğu görülmektedir. bu nedenden dolayı olarak katılaşma esnasında çözünmekte olan hidrojen iyonları, dışarıya doğru atılmakta ve şekil 6.17'da gösterilen görseldeki gibi nihai yapının içerisinde döküm boşluğu hatası olarak karşımıza çıkar ve ürünün kalite standart değerlerini düşürür (14).



Şekil 6.17. Alüminyum alaşımında oluşan gaz gözeneği [14]

Sıvı metal alaşım ile tepkimeye girmeyen ve sıvı alüminyum alaşımının içerisinde çözünmeyen argon (Ar) ya da azot (N) gazlarının, sıvı alüminyum alaşımın içerisinden geçirmek, en sık kullanılan ve etkili olan bir gaz alma işlemidir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için pota içerisine alınan sıvı metal alaşımın içerisine döner rotor ile verilen soy gazlar sıvı metalin en alt noktasından yukarıya doğru çok küçük kabarcıklar halinde çıkmaktadırlar. Potanın en alt noktasından yukarıya doğru çıkan

bu kabarcıklar içerisinde hidrojen ile birleşerek daha büyük kabarcık haline gelmektedirler. Büyüyen bu kabarcıklar sıvı metal alaşımın basıncının ve yüzey gerilimini yenerek yüzeyden sıvı metal alaşımı terk ederler ve sıvı metal alaşımın içerisinde yer alan gazı bileşimden arındırırlar. Şekil 6.18’de yer alan görsel ile gaz alma istasyonunun nasıl bir yapıya sahip olduğu gösterilmektedir (14).



Şekil 6.18. Gaz alma işleminin görseli [14]

6.10. KALIP YAĞLAMA ÜNİTESİ

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılmakta olan kalıpların kullanım ömürlerini arttırabilmek ve başarılı döküm oranını arttırabilmek için her çevrim sonrasında yüzey ayırıcı yağ işlemi yapılmaktadır. Yağlama işlemi yapılması sonrasında döküm kalıbın yüzeyinde etkin madde ile film tabakası şeklini alarak kaplanma yapılmaktadır. Kalıbın yüzeyinde oluşan bu film tabakası ile sıvı alüminyum alaşımı ile çelik kalıp arasında malzemeler arasında koruyucu film tabakası oluşumu görülür ve dökülen parçanın kalıp yüzeyinden kolay bir şekilde ayrıştırılmasına yardımcı olarak kalıba zarar gelmesini önler. Kalıp ayırıcı yağ kullanımı yapılmadığı takdirde, kalıp ömrünün azalması, çelik ile alüminyum alaşım etkileşimi neticesinde yapışma problemi yaşanması ve başarısız bir döküm işleminin yapılabilmesine neden olabilmektedir. Kalıp ayırıcı olarak kullanılmakta olan materyalin kalıp yüzey alanına homojen olarak dağılması, çok ince bir film tabakası oluşturarak, kalıp ve sıvı metal arasında meydana gelecek etkileşimin azalması ile

döküm parça yüzeyinde leke oluşumuna neden olmaması ve çalışma ortamı içerisinde zehirli gazları açığa çıkartmaması önemli bir seçimdir (20-21).

Belirlenen oranın üzerinde yapılan kalıp yağlama işlemi kalıp yüzeyinde çeşitli atık madde birikimine, yanma tepkimesine ve beraberinde ısı transferinin olumsuz etkilenmesine, kalıp içerisinde buhar ile gaz oluşumuna ve döküm boşluğu oluşumuna neden olabilen bir faktördür. Yağlama işleminin diğer bir kullanım avantajına bakıldığında ise gerçekleşen ısı transferine yardımcı olması görülmektedir. sıvı metal alaşımın kalıp içerisine sıvı olarak girip katı olarak çıkması için ısı transferi olayı gerçekleşmelidir. Bu ısı enerjisi ile kalıbın içerisinde yer alan soğuma kanalları ve yağlama işlemi ile beraber kalıptan dışarıya doğru ısı transferi olayı gerçekleştirilir. Bu işlemin her çevrim sürecinden sonra uygulanması gerekmektedir (21).

Yağlama işlemini eğer manuel olarak el ile bir çalışan tarafından robotik kollar ile ve lineer hareket kabiliyetine sahip olan sistemler ile yapılabilmesi mümkündür. Şekil 6.19'de yer alan görsel ile robotik kol ve lineer hareket sistemi kullanılarak yağlama işlemi yapabilen bir sistemin görüntüsü yer almaktadır (21).



Şekil 6.19. Yağlama sistemi görselleri [21].

Yağlama işlemi için kullanılan malzemenin kalıbın yüzey alanına püskürtülmesi, yağlama cihazının uç kısmına monte edilen nozullar ile alansal olarak uygulanması gerçekleştirilmektedir. Bu nozul uçlarından çıkmakta olan yağlayıcıların püskürtülme oranı, püskürtme şekli, mesafesi ve süresinin doğru şekilde ayarlanması ile yüksek basınçlı dökümün başarılı gerçekleşmesi arasında doğru ilişki söz konusu olduğu saptanmaktadır (21).

6.11. PISTON YAĞLAMA ÜNİTESİ

Döküm ünitesinin haznesinin üzerinde monte edilen nozul ile her çevrim sürecinden sonra sıvı metal alaşımın kalıp içerisine dolumunu gerçekleştirmekte olan, genellikle bakır esaslı alaşımlardan üretilmekte olan pistonu Şekil 6.20.da gösterildiği üzere yağlama işlemi otomatik bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Piston yağlama işlemi yüksek basınçlı döküm esnasında pistonun haznenin içerisinde sorunsuz ve yüksek hareket kabiliyetine sahip olarak hareket edebilmesi için kullanımı söz konusudur (21).



Şekil 6.20. Piston yağlama tankı ve sistemi görselleri [21].

6.12. PARÇA ALMA ROBOTLARI

Yüksek basınçlı döküm tezgahını kullanırken sinyal sistemi ile çalışabilen otomatik olarak üretilen parçaları alabilen robot sistemi kullanılabilir ve otomatik işleyen hatların kurumunda, insan gücünün yetersiz ya da verimsiz kaldığı durumlarda, hücre sistemi vb. gibi durumlar için üretilen parçayı kalıbın içerisinde alarak bir sonraki operasyona geçebilmesini işlemini sağlamak için kullanım alanları mevcuttur. Yağlama sisteminin uygulanma mantığı doğrultusunda parça alma kolları ya da parça alma robotlarının yapılacak olan iş ve oluşturulacak sistemlerin kurulumu işin amacına uygun olarak seçilmektedir (21).



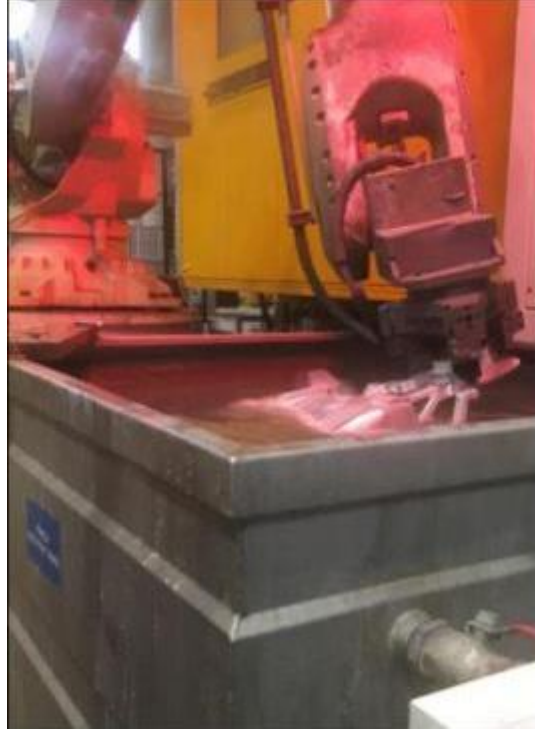
Şekil 6.21. 6 Eksenli parça alma robotu ve kalıptan parça ıkartma [21].

6.13. SOĞUTMA TANKI ÜNİTESİ

Yüksek basınçlı döküm tekniği ile parça üretimi esnasında ince et kalınlığına sahip olan parçaların üretilmesi mümkün olmakta ve kalıp içerisinde çıkarıldıktan sonra katılma sırasında yaşanabilecek boyutsal daralmaları önleyerek boyutsal stabilite sağlayabilmek için aşağıda yer alan Şekil 6.22'de gösterilmekte olan soğutma tankının içerisinde sokulması gerekmektedir. Döküm tezgahı hücrelerinde markalama, trimleme vb. gibi ikincil uygulama alanları mevcut olduğu için bu işlemler öncesinde döküm parçanın soğutma tankı işlemi ile boyutsal olarak kararlılık sağlaması gerekmektedir. Bunun yanında tezgah operatörünün ya da kalite

kontrol görevlisinin de parçayı üretimden sonra kontrol edebilmesi için parçanın belli bir sıcaklık derecesine düşmesi gereklidir. Günümüzde endüstri içerisinde en yaygın soğutma işlemi için su ile soğutma tercih edilmektedir.

Bu işlemin bir de dezavantajı mevcuttur ve bu dezavantajı korozif etkilerdir. Bu etkilerin ortadan kaldırılması için soğutma işleminde kullanılmakta olan suyun özellikleri kontrol altında tutulmalı ve düzenli olarak bakılmalıdır. Soğutma amacı ile kullanılmakta olan parça tankı ise Şekil 6.22.de robot kolu yardımı ile suya daldırılması gösterilmektedir (21).



Şekil 6.22. Parça soğutma tankı [21].

6.14. KALIP ISITMA ÜNİTESİ

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılmakta olan kalıpların başarılı ve uzun ömürlü çalışabilmesini sağlayabilmek için bazı termal koşullara dikkat edilebilmesi önemlidir. Bu koşullar da aşağıda yer alan Şekil 6.23’de gösterilmekte olan kalıp şartlandırıcı kullanımı ile sağlanabilmektedir. Kalıp şartlandırıcı kullanımı ile kalıpta yaşanan termoregülasyon kanallarından geçmekte olan yağın set edilen sıcaklık

derecesinde tutulabilmesi ve bu sayede döküm kalıbının istenilmekte olan sıcaklık değeri aralığı içerisinde kalmasını sağlayabilir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılmakta olan kalıplar döküm işlemi gerçekleşmeden önce set edilen sıcaklık değerine ısıtılmakta ve döküm işlemi ile üretim başladıktan sonrada kalıp sıcaklık değerini korumaktadır. Belirlenen sıcaklık değerinde döküm işlemini gerçekleştirebilen döküm kalıpları, sıvı metal alaşımı ile karşılaştığı zaman yaşanabilecek bir termal şok durumundan kaçınmalıdır. Kalıp çeliklerinin düşük sıcaklık değerinde darbe dayanımları düşüktür fakat yüksek sıcaklık değerlerine ulaştıktan sonra darbe dayanımları artarak yüksek değerlere ulaşmaktadır (21).



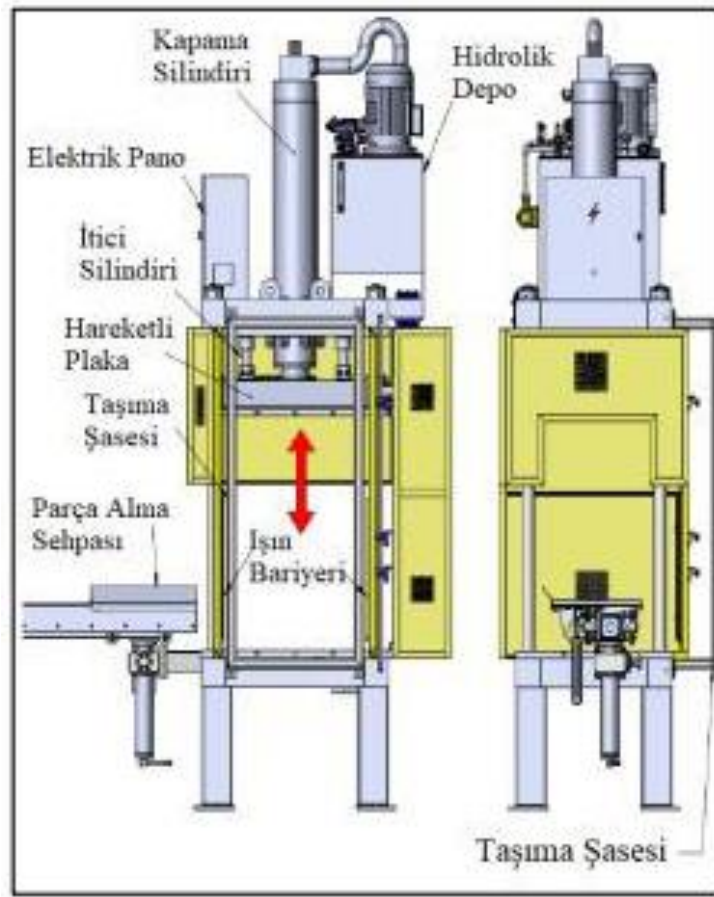
Şekil 6.23. Kalıp ısıtıcı [21].

6.15. TRİM PRES ÜNİTESİ

Yüksek basınçlı döküm tezgahları kullanılarak başarılı bir şekilde parça üretilebilmesi için hava cebi, yolluk, topuk ve oluşabilmesi muhtemel çapaklar dökülen salkım içerisinde yer alması gereken bileşenler olmakta ve döküm sonrasında net parçadan ayrılıp bu parçaların tekrar ergitilmesi gereklidir. Döküm işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için kullanılmakta olan bu

bileşiklerin, döküm işlemi sonrasında parçadan uzaklaştırılması için trim kalıpların kullanımını önemli olmaktadır.

Trim kalıplarının özellikleri, dikey yönde hareket edebilen, hareketli ve bir tarafı sabit olan aşağıda yer alan Şekil 6.24’de gösterilmekte olan özel prosesler ile bağlanılarak çalıştırılabilen bir ünite olmasıdır. Bu tezgahlara trim pres denilmekte ve parça boyutu ile orantılı olarak uygulanacak olan kuvvet değerine göre tercih edilmektedir (21).

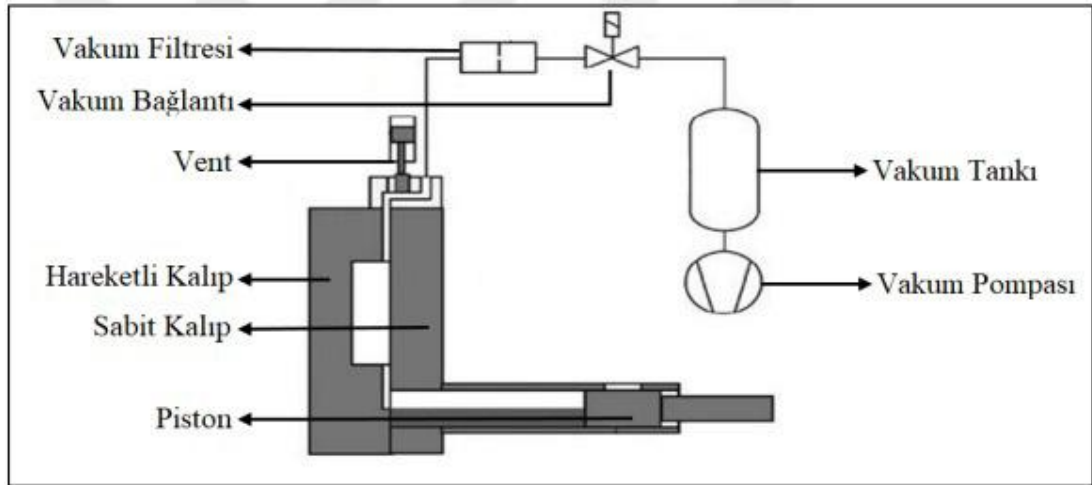


Şekil 6.24. Trim presin önden ve soldan şematik gösterimi [21].

6.16. VAKUM ÜNİTESİ

Yüksek basınçlı döküm tekniği teknolojide yaşanan gelişmeler ile birlikte yeni ekipmanların döküm tezgahına dahil olması ve modern bir yapıya dönüşmesi söz konusudur. Döküm kalıplarının içerisinde sıkışmakta olan hava, nihai olarak ürünün

içerisinde döküm boşluğu yaratmakta ve bu durumdan dolayı olarak parçanın kalitesini düşürmektedir. Bu sorunun önüne geçebilmek için vakum sistemleri geliştirilmiş ve vakum sistemi ile sıkışan hava kalıp içerisinden alınmaktadır. Vakum sistemi temel olarak vakum tankı, vakum motoru ve hava emiş kontrolünü sağlamaya yarayan valflerin bütününden oluşmaktadır. Vakum tankının hacmi, vakum sisteminin kapasitesini belirler ve vakum motorları ilk olarak vakum tankının havasını emme işlemini gerçekleştirir'da ha sonra ise sistemde belirtilen süre ile vakum valfleri hava geçişine izin verir ve döküm kalıbının içerisinde yer alan hava, vakum tankının içerisine dolarak kalıp içerisindeki hava vakum ile alınmaktadır. Vakum ünitesi kullanımı Şekil 6.25.de gösterildiği üzere genelde döküm kalıplarının üst kısmına monte edilerek işlemlerini gerçekleştirmektedir (22).

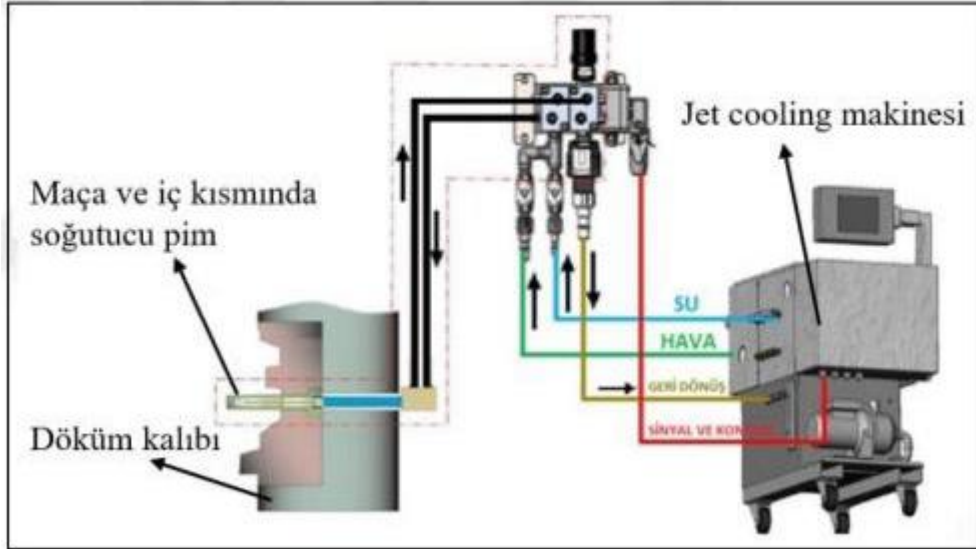


Şekil 6.25. Vakum ünitesinin şematik gösterimi [22].

6.17. VAKUM ÜNİTESİ JET COOLING ÜNİTESİ

Döküm kalıplarının tasarımında kalıp açma yönüne paralel olmayan boşlukların oluşumu için hareketli parçaların kullanımı söz konusudur ve bu hareketli parçalara maça adı verilmektedir. Maça üzerinde ve kalıp çekirdeğinde yer alan ince bölgeler, pimler ile döküm esnasında yüksek sıcaklık değerlerine ulaşması mümkün olur ve sıvı metal alaşım ile etkileşim içerisine girerler. Bu durum neticesinde ise döküm parçalar üzerinde çeşitli kalitesizlik durumunun oluştuğu ve pim ömrünün kısaldığı görülmektedir. her bir döküm çevrimi içerisinde, kalıp üzerinde yer alan pimlere yüksek debili ve basınçlı su verilerek döküm esnasında bu pimlerin yüksek sıcaklık

değerlerine ulaşması engellenir, pim kullanım ömrü uzatılır ve döküm malzemelerin kalıp çeliğinin yüzeyine yapışması durumu engellenerek kaliteli bir parça üretimi işlemi gerçekleşebilmesi için Şekil 6.26’de yer alan görselde jet cooling makine kullanımı yer almaktadır. Her döküm çevrimi ile pimplere basınç ile su püskürtülür ve çevrim sonunda hava yardımı ile geri soğutularak sistem içerisine geri dönebilecek sıcaklık seviyesine ulaştırılarak bu işlem her çevrim işleminde tekrarlanır. Pimlerde ve diğer bağlantı elemanlarında sızdırma ihtimali yaşanmasına karşın jet cooling makineleri her çevrim için kaçak testi uygulamaktadır. Soğutma süreci bittikten sonra ise hatta yer alan su, hava ile sistemden tahliye edilerek uzaklaştırılır. Çevrimin gerçekleşeceği esnada tüm pimler belli bir süre boyunca basınçlı hava maruz kalırlar ve dönüş valfi kapatılarak pimler üzerinde basınçlı hava hapsedilir. İşlem belirlenen süre boyunca devam eder ve sonra pimler de hava kaçağının olup olmadığı tespit edilerek bir sonraki çevrim için uygun olup olmadığı belirlenir. Uygunsuzluk yaşandığı durumda ise döküm tezgahı durdurulur ve gerekli kontrol işlemleri gerçekleştirilir (24).



Şekil 6.26. Jet cooling ünitesi şematik gösterimi [24].

BÖLÜM 7

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM KALIPLARI VE EKİPMANLARI

Yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretim yapıldığında en büyük önem döküm için kullanılacak olan kalıplara verilmektedir. Kompleks tasarıma sahip parçaların üretilmesine olanak sağlayan bu döküm kalıplarının sıvı metal alaşımının kalıp boşluğunu doldurmasına imkan sağlaması, sıvı metal alaşımın tasarlanan teknik resmine göre şekil almasını sağlaması, sıvı metal alaşımın ihtiyaç duyduğu ısı transferinin gerçekleşmesine ve katılaştıran metal alaşımın kalıp içerisinden çıkartılmasına imkan sağlamasıyla birlikte 4 temel görevi gerçekleştirmektedir. Döküm kalıp tasarımları bu temel 4 görevin başarı ile yerine getirerek döküm parçanın üretilmesine imkan sağlaması önemli bir etkidir (21).

Sıvı metal alaşımın kalıbın içerisine dolumu ve sıvı metal alaşımın kalıp içerisinde problemsiz bir şekilde katılaştımasını sağlayabilecek bir şekilde basınçlı döküm kalıpları hareketli plaka ve sabit plaka olarak iki yarım parçadan meydana gelmektedir. Hareketli ve sabit plakayı bir bütün olarak düşündüğümüz vakit döküm kalıpları yüksek basınçlı döküm yönteminde görülen yüksek kalıp kapama kuvvetine, yüksek kalıp içi basınca ve yüksek hızda sıvı metal alaşımın dolumuna dayanabilecek bir şekilde tasarlanmalı ve niteliklere bu özelliklere uygun olmalıdır (16-19).

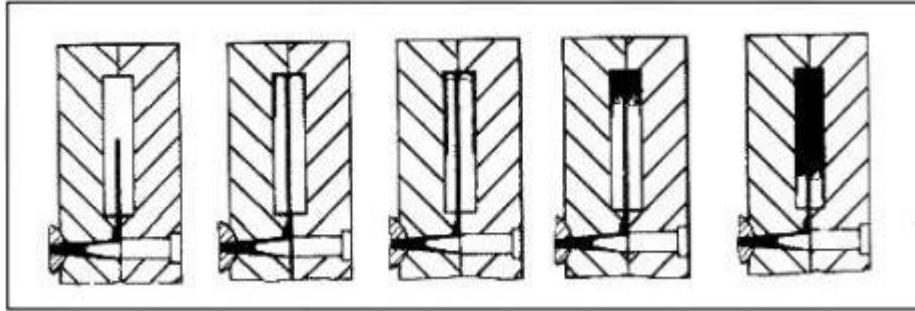
Dökülecek parçanın tasarımı esas alınarak geometrik özelliklerine göre her döküm çevrim işlemi sonrasında bir adet parça ortaya çıkaran tek gözlü kalıplar ve birden fazla ürün ortaya çıkartabilen çok gözlü kalıplar ya da farklı tasarıma sahip farklı parçaların üretildiği çok gözlü kalıpların üretilmesi mümkündür. Her durum içinde yüksek basınçlı döküm yöntemi kullanıldığında döküm kalıpları sabit plaka ve hareketli plaka olarak iki kısımdan meydana gelmektedir. Sabit kalıp plakasının içerisinden haznenin geçtiği ve sıvı metal alaşımın dolumu için pistonun hareket

ettiği, döküm tezgahının sabit kısmına bağlanmış vaziyette konumlanan kalıbın yarım parçasıdır. Hareketli kalıp plakası ise içerisinde itici pimlerin yer aldığı, destek tokozlarının bulunduğu sabit kalıp ile birleştiğinde döküm boşluğunun bütünü oluşturur ve döküm tezgahlarının hareketli kısmı ile bağlantılı olan kalıbın diğer yarım parçasıdır (21).

Hareketli kalıp yarımının sabit kalıp üzerine tezgah hareketli plakasının yardımı sayesinde getirilir ve kapatılması sonucunda dökümü yapılmakta olan parçanın kalıbın içerisine döküm boşluğu oluşacak şekilde basınç ile oluşturulmaktadır. İki kalıp yarımını da ham çeliğin talaşlı imalat sonucunda elde edilir. Kalıbın hareketli ve sabit yarım parçalarının birleşme yüzey alanları mümkünse üretilmesi planlanan parçanın en geniş kesit alanına denk getirilmeye çalışılır ve bu ayırım çizgisini parça ayırma yüzeyi olarak tanımlayabiliriz. Kalıp yarım parçalarının işleme sürecinde işleme kalitesinin olabildiğince üst düzey olması ve dikkatli bir şekilde işlem yapılması gereklidir. Kalıp çeliğine freze ile işlem yapılırken kalıp yarım parçalarının yüzeyleri pürüzsüz hale gelmesi için yüzey alanında işlem yapan takım parçalarının izi ortadan kaldırılmalıdır. Kalitesizlik durumu yaşandığı durumlarda, hareketli ve sabit kalıp yarım parçalarının birleşmesi kusursuz olmayacak ve kalıp arasında kalan açıklıktan sıvı metal alaşımın dışarıya kaçması yaşanabilecek bir durum olacaktır. Bu durum iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük bir risk teşkil ettiği için birlikte üretilmekte olan parçaların yoğun dikkat altında ve yüksek kalite standartları içerisinde üretilmesi gerekmektedir (25).

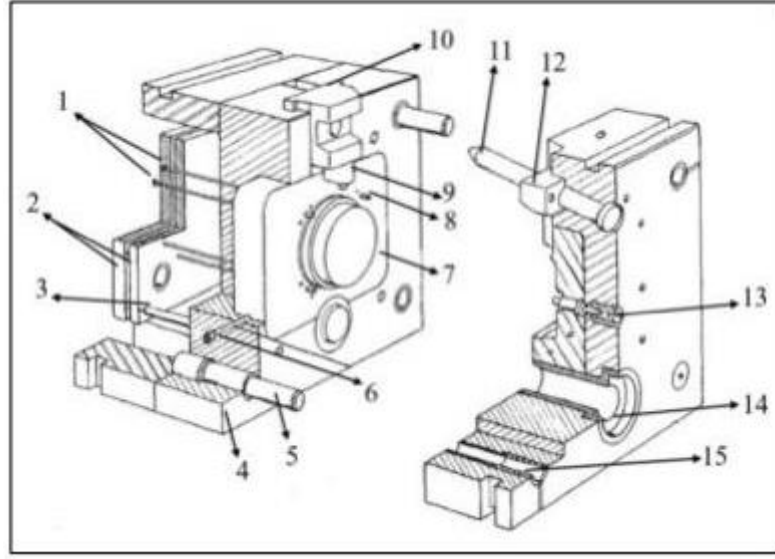
Yüksek basınçlı döküm tekniği kullanılarak parça üretiminde müşteri kalite standart kriterlerine uygun olarak parça üretimi gerçekleştirmek için dökümde kullanılacak kalıpların kusursuz bir tasarıma sahip olması, dökülecek sıvı metal alaşıma uygun olarak malzeme seçilmesi, üstün işleme özelliğine sahip takımlara ile sorunsuz tezgahlarda işlenebilmesine ve döküm işleminde yer alan parametrelere uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. Tüm bu gereklilik durumların sağlanabilmesi durumunda kalite gereksinimlerini karşılaması ve kompleks tasarıma sahip olan parçaların seri üretim ile üretilebilmesine olanak sağlaması gerekmektedir (19).

Geçmiş dönemlerden günümüze kadar sıvı metal alaşımının yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretiminde göstermiş olduğu birçok davranış ile ilgili olarak birçok farklı düşünce ortaya atılmıştır fakat aralarında en gerçekçi durumu anlatan L. Frommer tarafından ifade edilmiştir. Frommer, alüminyumun sıvı hal durumu ile benzer bir malzeme kullanarak bir deney gerçekleştirmiş ve deney sonucunda elde ettiği sonuçlarda sıvı malzeme yolluk sisteminden kalıbın içerisine girdikten sonra karşı yüzey alanına çarpmakta, sonrasında geri dönerek kalıbın içerisini doldurmakta olduğunu raporlamıştır. Sıvı metalin yüksek hızda karşı kalıp duvarına çarptıktan sonra geri dönmesi yüksek basınçlı döküm için 2. fazı anlatmaktadır. Buradan yola çıkarak kalıp tasarımında kullanılan yolluk dizaynını ve parçanın sahip olduğu geometrisinin başarılı bir parça üretebilmek için ne kadar büyük bir önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Şekil 7.1’de yer alan görselde L. Frommer tarafından yapılan deneyde sıvı metalin kalıbın içerisine dolumuyla ilgili olarak oluşturmuş olduğu modelin şematik olarak çizimi yer almaktadır (26).



Şekil 7.1. L. Frommer’in oluşturduğu sıvı metalin kalıp içi hareket modeli [26].

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılan kalıpların hareketli ve sabit plaka olarak iki kısımdan oluşturulduğu Şekil 7.1’de yer alan görselde gösterildiği üzere başarılı bir şekilde döküm işlemini gerçekleştirebilmek için hareketli ve sabit kalıp yarımlarının üzerinde çeşitli çok sayıda ekipmanın kullanıldığı görülmektedir (25).

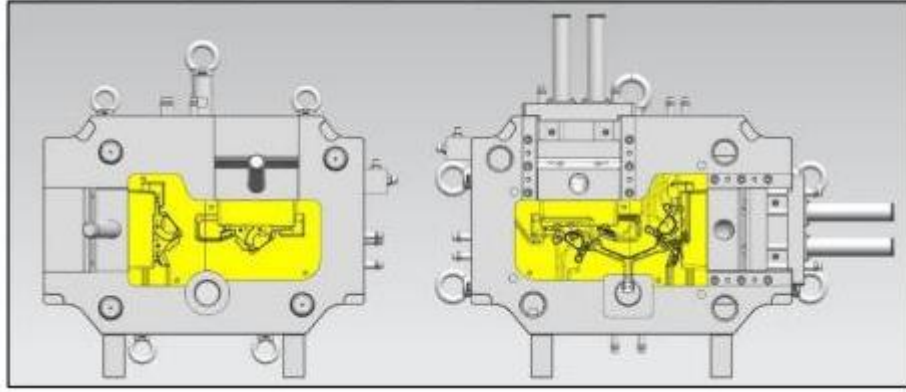


Şekil 7.2. Yüksek basınçlı döküm kalıbı [25].

Şekil 7.2’da yer alan numaraların ifade etmiş olduğu yardımcı ekipmanlar 1 itici grubunu, 2 itici plakasını, 3 itici plakasının merkezleme milini, 4 sabit kalıp yarımını, 5 sabit ve hareketli kalıpların merkezleme milini, 6 soğutma kanallarını, 7 çekirdek (aplik)., 8 sabit maça, 9 mekanik maça, 10 hareketli mekanik maça taşıyıcı plakası, 11 mekanik maça boynuzu, 12 maça kitleme plakası, 13 soğutucu pimleri, 14 hazne, 15 merkezleme mili burcunu göstermekte ve konumları hakkında bilgi vermektedir.

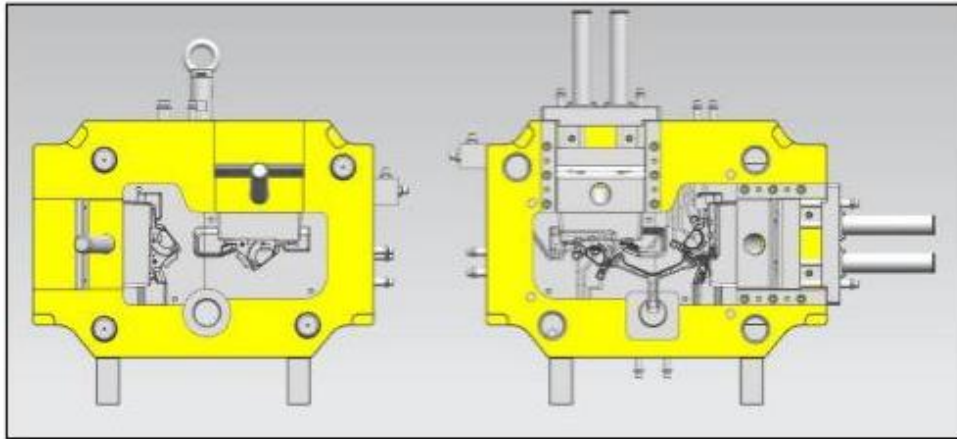
7.1. KALIP ÇEKİRDEĞİ VE HAMİLİ

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılan kalıpların kalıp çekirdeği, döküm parçasının formunu oluşturmaya yani kalıp boşluğunun oluşturmuş olduğu, sıvı metal ile direkt olarak temas eden kalıp çeliğidir ve bazı dökümhanelerde bu kısma aplik olarak da isim verilmektedir. Çekirdek malzeme seçiminde yüksek sıcaklık (>200°C) değer aralığında, yüksek süneklik ve tokluk gösterebilen, 44-46 HRC serlik değeri aralığında, 1,2343 sıcak iş takım çeliği ya da muadillerinin kullanımı yaygın olarak görülmektedir. Şekil 7.3’de yer alan görselde de gösterildiği üzere hareketli ve sabit kalıp yarım parçalarının hamillerinin içerisine monte edilen kalıp çekirdekleri tek parça ya da birden fazla gözlü kalıplar için çoklu parça olarak görülmektedir (16).



Şekil 7.3. Kalıp çekirdeklerinin görünümü [16].

Kalıp çekirdeğinin ve diğer tüm kalıp elemanlarının üzerine bağlanmış olduğu, kalıbı bir bütün olarak çalışabilmesine imkan tanıyabilen kalıp elemanını hamil olarak tanımlandığı görülmektedir. Hamil malzemesi olarak 30 HRC sertlik seviyesine sahip olan 1,2312 çeliği ve muadillerinin tercihi görülmektedir. Hamil malzemeleri sıvı metal alaşım ile temas etmediği durumda ömürleri kalıp çekirdek ömründen daha uzun olurken, kullanılmakta olan hamil malzemesinin kalitesine bağlı olarak 1 hamil ile ortalama olarak 3 kalıp ömrü denk gelmektedir. Şekil 7.4’de yer alan görsel üzerinde gösterilmekte olan hamil destekleyici ya da taşıyıcı plaka olarak da tanımlanabilir. Sabit ve hareketli olarak iki farklı kısımdan meydana gelen kalıp hamilleri döküm kalıplarının hareketli ve sabit tezgah plakaları ile bağlantılı olabilmeye yardımcı olmaktadır. Bu durum için sabit ve hareketli kalıp hamillerinin çevre bölgesinde bağlantı kanalları kalıp üretimi esnasında oluşturulmakta ve daha kolay bir bağlantı durumu sağlanmaktadır (16).

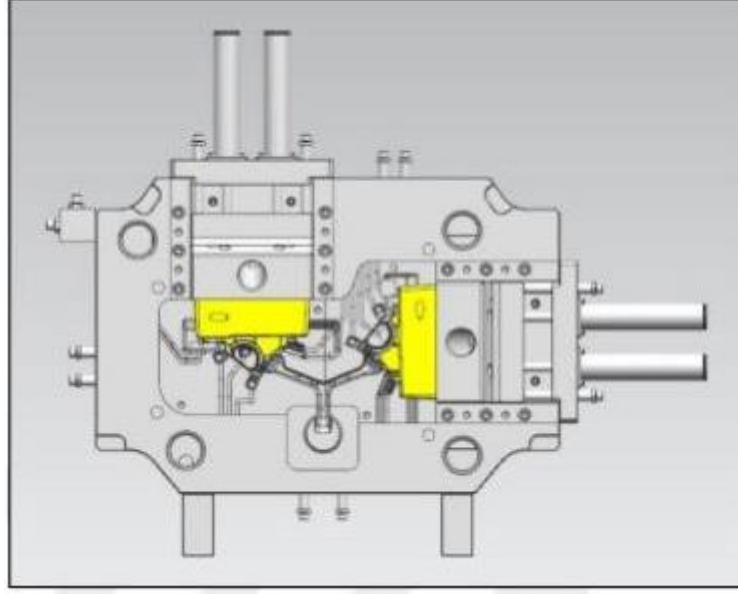


Şekil 7.4. Kalıp hamillerinin görünümü [16].

7.2. MAÇALAR

Yüksek basınçlı döküm tekniği kullanılarak üretilecek olan parçaların tasarımlarında yer alan boşlukların, parça içi ve parça dışı formlar halinde kalıbın tek ekseninde kapanması sonucunda oluşturulamıyorsa bu formların oluşturulabilmesi için maça olarak tanımlanan kalıp bileşenlerini kullanımı söz konusu olmaktadır. Sabit ve hareketli olan kalıp bileşenlerine monte edilen maçalar esas olarak hareketli ya da sabit olarak iki farklı sınıfa ayrılabilir. Kalıbın üzerine monte edilebilen maçalar, hareketli ve sabit kalıpların hareket yönlerine paralel olarak çalışması gerekmektedir. Ancak bu işlem yönünde döküm sonrasında üretilen parçanın kalıptan ayrılması söz konusu olmaktadır. Kalıbın açılma doğrultusuna paralel yönde olmayan ve herhangi bir açısı olmayan maçalar hareketli olarak tasarlanması gereklidir. Hareketli maçalar kalıp üzerinde tasarlanan kızaklar üzerinde boynuzların yardımı ile mekanik, kramayer (dişli), ya da hidrolik silindir sistemi yardımıyla hareketlerini gerçekleştirebilmektedir. Maça hareket kursu 55 mm'den daha az ve kalıp kapalı olduğu durumda maça figürlerinin altında itici yer almıyor ise eğik milli mekanik sistemli maça kullanımı tercih edilmektedir. Bu koşulları sağlamayan maça grubunun ise hidrolik sistem kullanılarak hareketi sağlanmaktadır. Döküm işlemi gerçekleşikten sonra kalıp açılma doğrultusunda belirli bir açı yapan bu maçalar hareket tahrik sistemi tarafından geri çekilir ve kalıbın açılabilmesi için alan yaratır. Hareketli maça sistemi sabit kalıbı üzerinde yer alıyorsa kalıp hareket ettikten sonra da açılabilir her durumda parça çıkartılabilir. Maça sisteminin kapalı olduğu durumda kalıbın açılması, döküm kalıbının ve diğer ekipmanların çeşitli hasarlar almalarına neden olabilmektedir.

Şekil 7.5'de yer alan görselde, maçaların sıvı metal alaşım ile temas etmekte olan kısımları maça çekirdeği olarak tanımlanmakta ve kalıp çekirdeği ile aynı malzemedен üretilmektedir. Bu kısımların kalıp çekirdekleri gibi yüksek basınçlı döküm sürecinde meydana gelebilecek döküm koşullarına dayanıklı olması gerekmekte ve yüzey kalitesinin yüksek hassasiyette olması gerekmektedir (27).



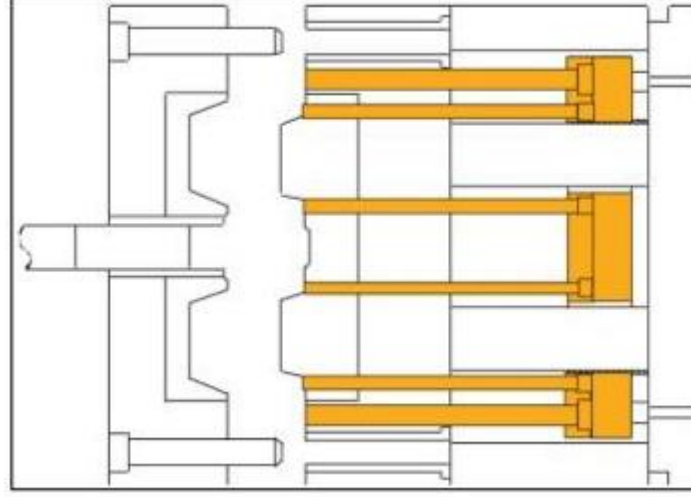
Şekil 7.5. Maça çekirdeklerinin görünümü [27].

Tasarımı başarılı bir şekilde tamamlanan hareketli maça sisteminin en önemli görevi döküm esnasında kalıbın içerisinde oluşmakta olan yüksek basınca karşı dayanıklı olması ve konumlarını koruyabilmesidir. Karşıt kalıpta (hareketli ya da sabit). maça sisteminin yer aldığı yuva maça dayanma yüzeyleri olarak görev yapmakta, maça sisteminin döküm esnasında kitlenmesini ve kalıp içerisinde meydana gelen basınca karşı gelebilmesini sağlamaya yaramaktadır (25).

7.3. İTİCİLER

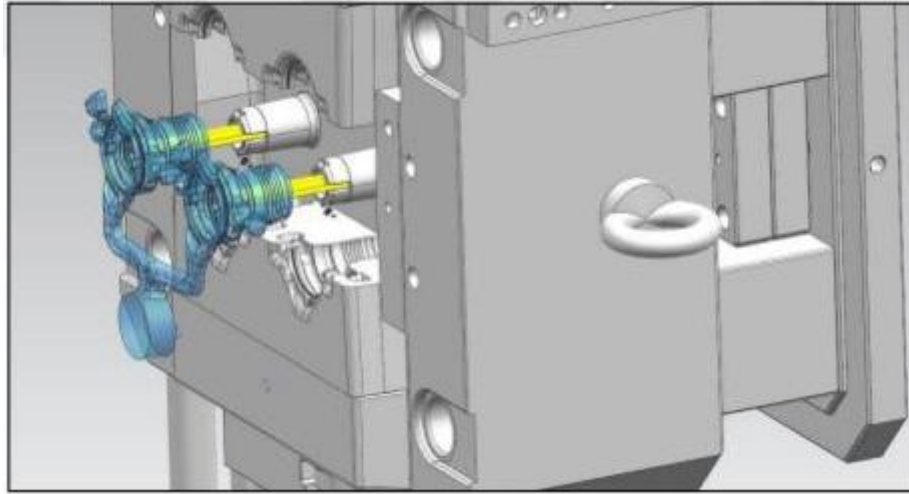
Yüksek basınçlı döküm yöntemi kullanılarak parça üretildikten sonra kalıp içerisinde yer alan parçanın kalıptan çıkartılması en önemli aşamalardan birisi olarak görülmektedir. Sıvı metal alaşımın sıvı halden katı hale geçerken yaşadığı hacim küçülmesi durumundan kaynaklı, dökülen parçanın kalıp elemanlarını sıkarak kalıp içerisinde kalma ihtimali göz önüne alınarak katılaştırmanın tamamlanmasından sonra kısa sürede itici pimler yardımı ile parçanın kalıp içerisinden çıkartılması önemli bir hal almaktadır. Aynı zamanda katılaştırma sürecini tamamlamış olan parçayı iten itici pimler döküm parçasının karşılık gelen yüzeyine batmaktadır. Şekil 7.6'da yer alan görselde itici pim sisteminin şematik olarak çizimi yer almaktadır. Bu nedenden dolayı olarak kalıp içerisinden parçanın çıkartılabilmesi oldukça önemli bir adım olmaktadır. İtici pim sisteminin döküm parçanın yüzeyinde minimum seviyede itici

izi oluşturması ve parçanın yüzeyine uygulamış olduğu itme kuvvetlerinin tüm parça genelinde dengeli bir şekilde oluşması önemlidir (16).



Şekil 7.6. İtici sisteminin şematik çizimi [21].

Üretilen döküm parçanın karşılık gelen yüzey bölgesinde iz bırakan itici pimler kalite kriterlerine uygun olarak iz bırakması gereklidir. İtici pim boyutu uzun olduğu durumda döküm parçası yüzeyinde batıklık, kısa olduğu durumda ise döküm parça üzerinde artı olacak şekilde kalitesizlik durumu yaşanmasına neden olabilmektedir. Şekil 7.7’de yer alan görselde döküm parçanın döküm kalıbı içerisinden itici pim kullanımı ile çıkartılması yer almaktadır (21).



Şekil 7.7. Döküm parçasının döküm kalıbından iticiler yardımı ile çıkartılması [21].

İtici pim tasarımının silindirik forma sahip olması, ısıl işlem uygulaması ile sertleştirilmiş bir şekilde kullanımı mevcuttur. 1,2343 numaralı sıcak iş takım çeliği ya da benzer bir çelikten imal edilmekte olan itici pimplere nitrasyon yöntemi kullanılarak yüzey sertleştirme işlemi uygulanmaktadır. İnce ve uzun bir yapıya sahip olduğu için yapısının çalışma esnasında oluşabilecek gerilmelere maruz kaldığı durumda plastik deformasyona uğramaması için itici malzemeleri yüksek sertlik değerlerine çıkartılması ve bu şekilde çalışması gerekmektedir. İtici pimler itici plakalarından geçerek hareketli kalıp içerisinde referanslanır. İticilerin, itici plaka içerisinden çıkmaması için arkalarına dayanan stoper plakası monte edilmektedir. İtici ve stoper plakalarının hareketli kalıbın çalışabilmesi için plakalar 4 adet kılavuz mili, burcuyla birlikte kalıbın içerisine referanslanır. İki plakanın arasına sabitlenen itici pim grubu, itici plakaların döküm parçasının oluşturmuş olduğu kalıp boşluğu yüzeyine kadar uzanmaktadır ve plakalara bağlı hidrolik sistemler aracılığı ile hareketlerini gerçekleştirmektedir (25).

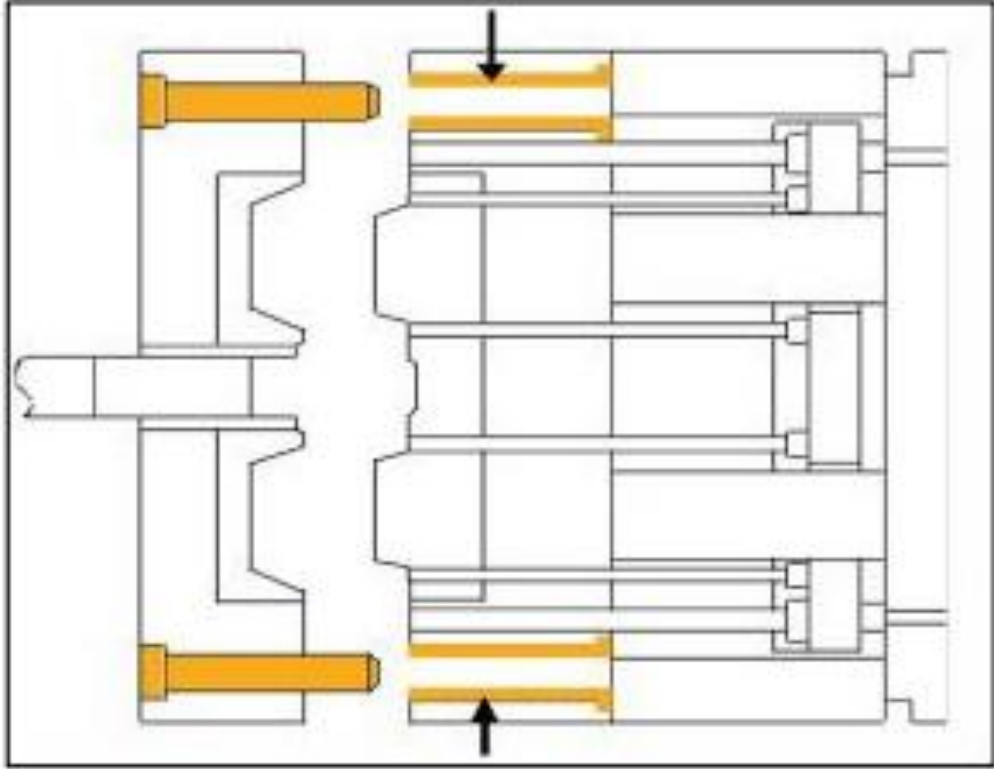
İtici sisteminin yüksek basınçlı döküm yönteminde hareketli kalıp bölgesi tarafına monte edilmesi gerekmektedir. Bu nedenden dolayı olarak kalıpların hareketli yarım parçasının arka kısmında bir boşluk yer almaktadır. İtici sisteminin oluşturmuş olduğu bu boşluk ile yüksek basınçlı döküm kuvvetlerine karşı olarak kalıp çeliğinin şekil değişimine uğramasına neden olabilmektedir. Oluşan bu kuvvetlere karşı olarak destek olmasının nedeniyle itici sisteminin kurulmuş olduğu bölgeye dairesel ya da dikdörtgen tasarıma sahip olan kolonlar yerleştirilmektedir (21).

7.4. KALIP MERKEZLEME MİLLERİ VE BURÇLARI

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılan kalıpların merkezleme milleri hareketli ve sabit kalıp yarım parçalarının kapanma esnasında birbirlerini hizalamasını sağlamak amacıyla döküm kalıplarının dört köşesine monte edilen kalıp yardımcı ekipmanlarıdır ve merkezleme millerine yataklık eden burçlar yer almaktadır (27).

Kalıp merkezleme millerinin 60-65 HRC sertlik değer aralığında olması gerekli, 1,1213 çelik malzeme ya da benzer özelliklere sahip malzemeler kullanılması

gerekmektedir. Sertleştirme yöntemi olarak ise indüksiyon sertleştirme yöntemi tercih edilmektedir. Şekil 7.8’de yer alan görselde merkezleme milleri ve burçlarının şematik olarak çizimi yer almaktadır. Merkezleme milleri genel olarak sabit kalıp yarım parçasına monte edilir ve çalışma şartları esnasında şekil değişimleri ve kalıp kilitlenmelerinin önüne geçebilmek için uygun ısıl işlem yöntemi uygulanarak sertleştirme yapılmaktadır (27).



Şekil 7.8. Kalıp merkezleme mili ve burçlarının şematik gösterimi [21].

Kalıp merkezleme mili ve burçları çalışma şartları ile bağlantılı olarak döküm parçasını oluşturmakta olan kalıp çekirdeklerinin karşılıklı olarak pozisyonları değişkenlik gösterebilir ve bu duruma bağlı olarak üretilmekte olan parçanın geometrik olarak belirtilen toleranslarının dışına çıkmasına neden olabilmektedir. Belirtilen tolerans değerlerinin dışına çıkmamak için merkezleme millerine ve burçlarına ihtiyaç duyulur. Kullanılan kılavuz milleri ve burçları, kalıp çekirdeğinin merkezleme işlemi için tek başlarına yeterli olamamaktadır. Kılavuz millerine ve burçlarına ilave olarak kalıp çekirdekleri de çelik, çeliğe gelecek bir şekilde merkezleme yapılır ve kalıp yarım parçalarını hizalama yaparken, mekanik maçalı

kalıplarda maça boynuz milinin maça taşıyıcısında yer alan yuvasına merkezleme yapılması, boynuzlarda yaşanabilecek gereksiz gerilmelerin oluşmasının önüne geçilmesi ve maça kitleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmaktadır (21).

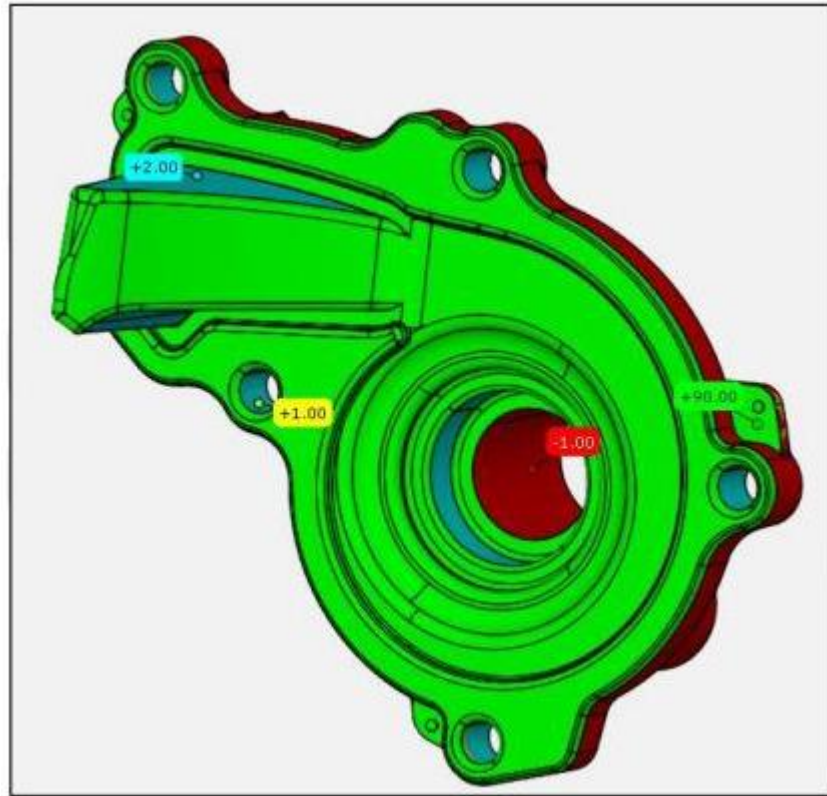
7.5. YÜKSEK BASINÇ KALIPLARININ TASARLANMASI

Yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılmak üzere kalıp tasarımı yapılırken dökümü yapılması planlanan parçadan beklenenler, bu beklentiler doğrultusunda kalıp dizaynının taslak çizimi, oluşturulan taslak kalıba göre tezgah ve dökülebilirlik çalışmaları yapılması gerekmektedir. Tüm bu durumlara ilave olarak yüksek basınçlı döküm yönteminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için sıvı metal alaşımın akış rejimi nedeniyle tasarlanan yolluğa doğrudan bağlı olmaktadır. Tasarlanan yolluğun kalıp içerisinde türbülans oluşumuna neden olmaması ve kalıp içerisinde ilerleyişi esnasında sıvı metal alaşımın içerisine hava hapsolmayacak bir şekilde dizayn edilmesi gereklidir. Tasarlanan yolluğun şekli, ebatları, sıvı metal alaşımın kalıp içerisini doldurma süresi, yollukta oluşan sıvı metal alaşımın hızı ve kalıp içerisinde oluşan yüksek basınç etkisi, alaşımın ısı transfer parametreleri yüksek basınçlı döküm yönteminin başarılı ve kaliteli bir şekilde parça üretebilmesi için göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörler olarak bilinmektedir. Yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretilecek olan parçalar, kullanım alanlarına göre farklı parametrelerle esas alınarak üretilebilir. Kullanım esnasında mekanik gerilme kuvvetlerine maruz kalmayacak, emniyet parçası olarak tanımlanmayan parçalar 300 bar kalıp içi basınç ile dökülürken, büyük ve emniyet parçası olarak tanımlanan 8örneğin: karter, su pompası) parçalar için basınç değeri 1300 bar kalıp içi basınç seviyesinde kontrollü olarak dökülmektedir (28-29).

7.6. ÇIKIŞ AÇISI VE KALIP AYRIM HATTI

Tasarlanan döküm kalıpları, sıvı metal alaşımın katılaşmasından sonra dökülen parçanın herhangi bir deformasyon yaşamasına izin vermemesi gereklidir. Dökülen parçayı kalıp çekirdeğinden deforme olmadan ayırabilmek için çıkış açısı olarak tanımlanan bir açı ile kalıp tasarımı uygun bir şekilde yapılmalıdır. Çıkış açısı,

parçanın kalıbın içinden deforme olmadan ayrılmasına müsaade etmekle birlikte parçanın sahip olduğu et kalınlık boyutuna göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Şekil 7.9.de yer alan görsel ile döküm parça üzerinde kırmızı renk ile gösterilen yüzeyler hareketli kalıptan ayrılan yüzeyleri, yeşil, mavi ve sarı renk ile gösterilen bölgeler ise sabit kalıptan ayrılmakta olan yüzeyleri tanımlamaktadır. Hareketli ve sabit kalıptan çıkacak yüzeylerin birleşim noktaları ise kalıp ayrım hattını oluşturan unsurlardır (26).



Şekil 7.9. Çıkış açılarının döküm parçası üzerinde gösterimi [25].

Üretilmesi planlanan parça üzerinde yer alan figürler hareketli ve sabit kalıp parçalarının çekirdekleri üzerinde oluşturulmaktadır. Parçanın döküm kalıbından sorunsuz bir şekilde çıkartılması için çıkış açıları hareketli ve sabit kalıp parçalarının üzerinde oluşturulması gereklidir. Sabit ve hareketli kalıp parçalarında yer alan çıkış açılarının birleştiği noktalar kalıp ayrım hattı olarak da tanımlanabilir. Kalıp ayrım hattı diğer bir ifadeyle hareketli ve sabit kalıp çekirdeğinin birleşmiş olduğu hat olarak da tanımlanır. Kalıp ayrım hattı dökülmesi planlanan parçanın geometrisine, kullanılacak olan proses kısaltmalarına ve tasarımcının tecrübelerine bağlı olarak

parçadan parçaya değişkenlik gösterebilir. Kalıp ayırım hattının doğru olarak tespit edilerek tasarımı yapılması için üretilen parçada çapak oluşumunu azaltması ve çapak temizleme işlemleri için bazı avantajlar sağlaması gereklidir. Kalıp ayırım hattı ne kadar düz ve geniş bir düzel üzerinde olursa trim kalıp tasarımı da o kadar düz ve basit bir şekilde tasarlanabilir. Yani kalıp ayırım hattı genelde üretilmekte olan parçanın en büyük kesiti üzerinden geçirilmekte ve bununla birlikte olarak üreticiler, müşterinin belirlemiş olduğu çıkış açısı kriterlerine uygun olarak tasarlaması gerekmektedir. Çıkış açısı olarak tanımlanmakta olan bu değer parça geometrisi ve alaşımına göre bir çeşit farklılıklar gösterebilir. Çıkış açısı aşağıda gösterilen Şekil 7.10. formülü ile hesaplanır ve formülde yer alan 'C' sabiti üretilmesi planlanan parçanın dış yüzey, iç yüzey ve delik figürlerine göre seçilir (25).

$$D = \frac{\sqrt{L}}{C}$$

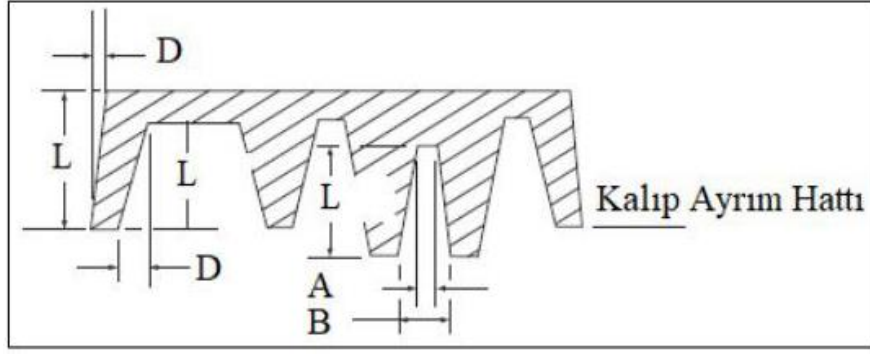
Şekil 7.10. Formül 2.1 Çıkış açısı.

Şekil 7.10. formülünden elde edilen D değeri ise Şekil 7.10. formülü üzerinde yerine konularak çıkış açısı değeri hesaplanabilir.

$$A = \frac{\frac{D}{L}}{0,01746}$$

Şekil 7.11. Formül 2,2 çıkış açısı.

Formülde yer alan A, çıkış açısının derece cinsinden değerini, D çıkış açısının oluşturmuş olduğu girinti ya da çıkıntı değerini, L ayırım hattına olan mesafesini, C alaşıma bağlı olarak seçilen sabit değere karşılık gelmektedir. Alüminyum alaşım kullanılarak üretilen parçalarda C değeri iç yüzeyler için 6 mm, dış yüzeyler için 12 mm, delik figürleri için 4,68 mm olarak seçilir ve yerine yazılır. Tüm bu tanımlamaların şematik olarak gösterimi ise Şekil 7.12'de yer alan görselde gösterilmektedir.



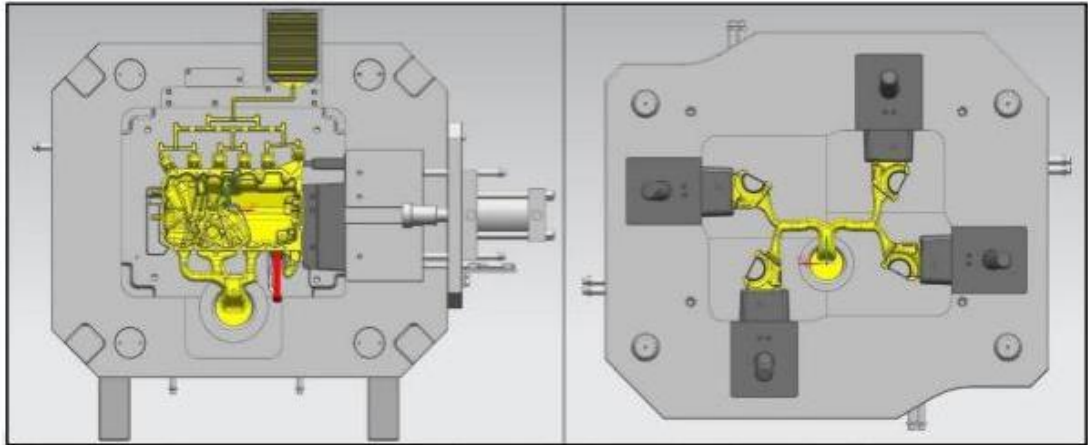
Şekil 7.12. Çıkış açısının şematik gösterimi [30].

Alüminyum alaşımı kullanılarak üretilmesi planlanan parçaların çıkış açısı değerleri iç yüzeyler için 2° , dış yüzeyler için 1.5° , delikli figürler için 2° olarak seçilir ve buna göre tasarımı yapılırken çıkış açısı değeri verilir (30).

7.7. GÖZ SAYISININ BELİRLENMESİ

Kalıp tasarım aşamasında üretime geçilecek olan projenin üretim adet miktarı tasarım için önemli bir kriter olarak görülmektedir. Yüksek üretim adetine sahip olan projelerde bir döküm kalıbının içerisinde birden fazla parça üretimi yapılması üretimi hızlandırmaktadır. Tek bir çevrimde döküm kalıbı içerisinde çıkacak olan parça sayısına kalıp göz sayısı olarak ifade edilmektedir. Kalıbın göz sayısı ne kadar fazla ise tek çevrimde üretim adeti miktarı yüksek, işçilik maliyeti düşük, verimlilik ise bu durumlardan dolayı artış göstermektedir. Kalıp göz sayısının belirlenmesi kısmında kullanılacak olan yüksek basınçlı döküm tezgahının kapasitesi ve üretilmesi planlanan parçanın tasarımı, geometrisi ve ağırlığı göz önüne alınarak planlama yapılır. Üretilmesi planlanan parçanın geometrik tasarımında kalıp açılma yönüne dik ve açılı figürlerin oluşturulması için kullanılan maça sistemi kalıp göz sayısını belirleyen en önemli faktörlerden birisidir. Dökülecek olan parçanın üretiminde kalıbın açılma yönü ile açılı olması gereken birden fazla maça sistemi kurulması gerekiyorsa o parçanın tasarlanan kalıbının birden fazla gözlü tasarıma göre ayarlanması daha zorlu bir duruma gelecektir. Bu durumun nedeni ise kalıbın açılma yönüne açılı oluşturan maça sistemi, birden fazla gözlü tasarıma sahip kalıplarda birbirlerinin çalışmasına engel olabilmekte ve çalışma sistemleri birbirlerinin üzerine gelebilmektedir. Aynı zamanda üretilmesi planlanan parçanın projeksiyon alanı da

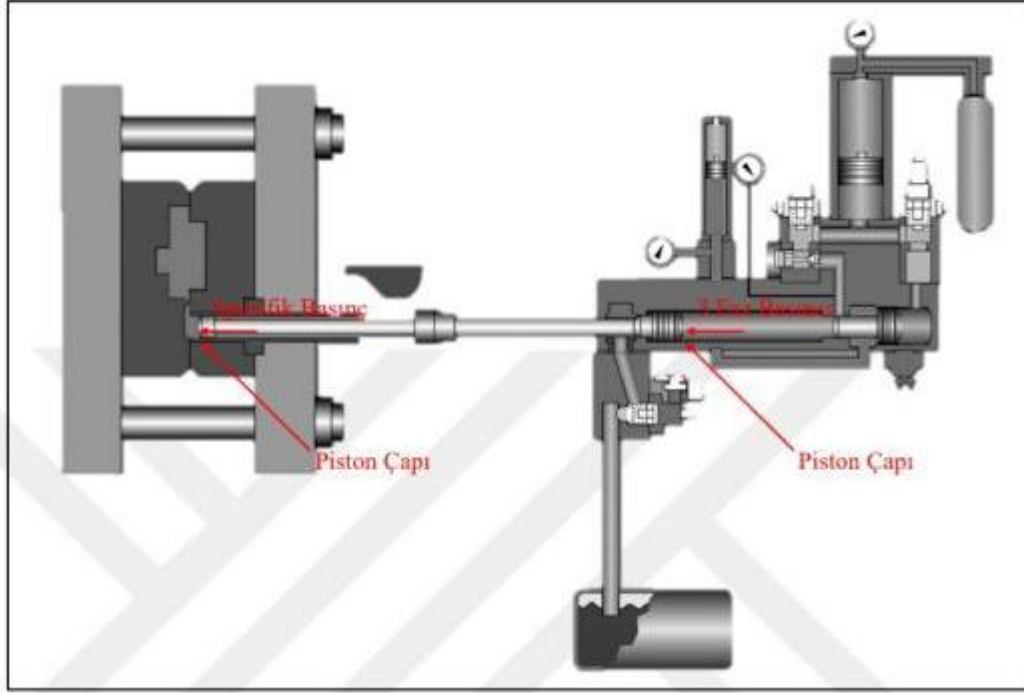
kalıp göz sayısını belirlemek için önemli olan faktörlerden birisi olmaktadır. Kalıp açma yönüne açılı figüre sahip olmayan düz tasarımlı parçaların yüzey alan boyutu fazla olduğu durumda yolluk sistemi ile birlikte tasarlandığı durumda yüksek basınçlı döküm tezgahının gerekli kitleme tonajına ulaşabilmesi zorlaşmaktadır. Projeksiyon alanının düşük olduğu, büyük ebatlara sahip olan parçalar için ise tasarlanan kalıpların tezgah plakasının içerisine sığması ve açılma kapanma hareketleri için tezgaha alan bırakması gereklidir. Bu nedenden dolayı olarak büyük ebatlı ve düz yüzey alanına sahip olan parçaların tasarımları tek gözlü kalıp tasarımı halinde olmakta ve üretimi gerçekleştirilmektedir. Parça üretimi için kalıp tasarımı yapılırken parçanın figürlerinin oluşturulabilmesi için kalıpta zorunlu olan hareketli maça sisteminin hareket yönlerinin birbirleri ile paralel yönde hareket etmesi ya da dik açılı olduğu durumda kalıbın göz sayısının birden fazla olabilmeye imkân sağlanabilmektedir. Birden fazla kalıp göz tasarımına sahip olan kalıpların, gözlerini dolduran yolluk sisteminin simetrik olması gözler arasında oluşabilecek hız ve basınç gibi farklılıkların önüne geçerek tüm kalıp gözlerinin kaliteli bir şekilde üretim sağlayabilmesine imkân tanımaktadır. Eğer bir göze giden yolluk uzun diğer göze giden yolluk kısa olursa sıvı metal alaşımın daha fazla yol gitmesine neden olacaktır. Bu durum ise sıvı metal alaşımın sıcaklığının düşmesine ve çeşitli döküm kalitesizlik durumlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Yüksek basınçlı döküm tekniği kullanılarak üretilmekte olan kalıp parça tasarımına ait olan tek gözlü ve dört gözlü kalıp tasarımları Şekil 7.13’de yer alan görsel üzerinde gösterilmektedir (26).



Şekil 7.13. Tek gözlü ve dört gözlü döküm kalıbı örneği [26].

7.8. BOYUTSAL TÖLERANS SAĞLANMASI

Yüksek basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilmek istenilen parçaların et kalınlık değerleri düşük (<5 mm)., boyutsal tolerans değerleri ise oldukça dar bir aralık içerisinde. Döküm kalıpları, set edilen sıcaklık değer aralığı içerisinde bir miktar genleşme, yüksek sıcaklıklarda sıvı metal alaşımın hacminde katılma sonrasında görülen azalma için dar boyutsal tolerans aralığı içerisinde kalması kalıp tasarımı ile doğrudan ilişkili bir durumdur. Sıcaklık farklılıkları ile doğabilecek bu hacimsel değişimler göz önüne alınarak, yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretilmesi planlanan alüminyum alaşımlı parçaların istenilen final boyutları, istenilen boyutsal tolerans değer aralığı içinde olmalı ve kalıp üretiminde kullanılmakta olan parça data verilerinin ölçüleri 0,006 oranında artırılması gereklidir (26). Yüksek basınçlı döküm tekniği ile dökülecek olan parçaların kalıp tasarımları ile ilgili gereksinimleri göz önünde bulundurarak hangi döküm tezgahının kullanılması gerektiğine karar verilmesi gereklidir. Üretilmesi planlanan parçanın hangi yüksek basınçlı döküm tezgahını kullanılarak döküleceğine karar verilirken dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ise tezgahın kitleme kuvveti, yüksek basınç altında kalıp içinde oluşan basınç kuvvetine karşı gelebilme durumudur. Ancak bu şekilde sıvı metal alaşımı kalıp içerisinde yüksek basınç kuvveti ile sıkıştırılabilir ve kalite standartlarına uygun bir parça dökümü gerçekleştirilebilir. Aşağıda yer alan Şekil 7.14 de gösterildiği üzere döküm tezgahının 3. faz basınç değerinin piston koluna, piston kolundan kalıbın içerisine aktarılan basınç spesifik basınç olarak tanımlanır ve kalıp içerisinde oluşan spesifik basınç ise tezgah mafsalını kilitli durumda olduğunda açmaya zorlamakta ve aşağıda gösterilen formül ile hesaplaması yapılmaktadır. Aynı zamanda oluşan bu spesifik basınç kuvveti hareketli maça sistemi üzerinde de kalıbı açılmaya zorlayan bir etkendir (26).



Şekil 7.14. Spesifik basıncın şematik gösterimi [26].

Spesifik Basıncı = (3. Faz Basıncı x 2. faz silindirin yüzey alanı). / enjeksiyon pistonunun yüzey alanı (2.3).

Dökümü yapılması planlanan salkımın (topuk, hava cepleri, döküm parçası, yolluk tasarımı). izdüşüm alanı projeksiyon alanı olarak tanımlanabilir ve buradan yola çıkarak tezgahın sahip olduğu kilitleme kuvveti, salkım bileşenlerinin projeksiyon alanlarının (hava cebi, kanallar, parça, topuk yolluk sistemi ve maça sistemi). toplamı, spesifik basınç ile güvenlik faktörlerinin çarpım sonucuna eşit olmaktadır. Burada maça sisteminin dayama yüzeylerinin açılı gelmesinden dolayı açılı değerinin tanjant ile çarpımı kullanılarak bileşke değerinin bulunması gereklidir. Yapılan bu hesaplamalar neticesinde elde edilecek kuvvetten daha fazla kitleme yapabilen tezgah döküm işlemi için uygun olarak kabul edilebilmektedir (26).

7.9. DOLDURMA ORANI

Dökümü yapılması planlanan parçanın ağırlık ve öz kütle değerlerinden yola çıkılarak hacmi hesaplanabilir. Parça hacminin, döküm tezgahında kullanılmakta olan haznenin iç hacmine oranı yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretilebilmesine ve

parça kalitesi üzerinde direkt olarak etkisi mevcuttur. Doldurma oranı ile bağılı olarak 1. faz hızı, 2. faza başlangıç noktası, hazne içerisinde oluşacak olan sıvı metal alaşımın dalgalanması üzerinden ayarlanmalıdır. Doldurma oranı Şekil 7.14'de yer alan görsel üzerindeki formül ile yola çıkarak hesaplanabilir. Kalıp tasarım aşaması, dökülmesi planlanan parça hacmi ile bağlantılı olarak hazne çapını belirler ve seçilen haznenin doluluk oranının parça geometrik tasarımı ile bağılı olmakla birlikte yüksek basınçlı döküm tekniğinde %30-50 aralığında doldurma oranı genel olarak uygun görülen değer aralığıdır (26).

$$\text{Doldurma Oranı (\%)} = \left(\frac{\text{Salkım Hacmi}}{\text{Hazne İç Hacmi}} \right) \times 100$$

Şekil 7.15. Doldurma oranı formülü (2,4).

7.10. YOLLUK TASARIMI

Yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretilmesi planlanan parçaların döküm kalıplarının tasarımında en önemli kısım yolluk tasarımının yapılması olarak bilinmektedir. Yolluk sistemi, sıvı metal alaşımın kalıp boşluğu içerisine dolumu için tasarlanan bir geçit bölgesi olarak tanımlanır ve yüksek basınçlı dökümün yapılabilmesinin başarısı ile doğrudan bir ilişkisi vardır. Sıvı metal alaşımın yolluktan geçerek kalıp boşluğu içerisine dolumunu gerçekleştirmiş olduğu bölgeye gate (yolluk giriş kısmı) olarak adlandırılır. Yolluk giriş kesit alanı Şekil 7.16.de yer alan formül üzerinden anlaşılacağı üzere parçanın sahip olduğu parça ve hava cebi hacminden, yolluk giriş kesit hızından ve doldurma zamanından yararlanarak hesaplaması yapılabilmektedir. Yapılan hesaplamaların neticesinde elde edilen sonuca göre toplam yolluk giriş kesiti, tasarımcının sahip olduğu tecrübe ve parçanın sahip olduğu geometrik tasarıma göre sıvı metal alaşımın laminar akış ile dolum yapılabileceği bölgeler seçilir ve bu kısımlara yerleştirilir. Gate alanları yerleştirilirken genellikle parçanın geniş yüzey alanlarına yerleştirilmektedir. Aksi bir durumda kalıp boşluğuna hızlı bir şekilde giren sıvı metal alaşımın yön değişiminin olduğu kalıp yüzeylerine çarparak kalıbın aşınmasına ve çeşitli döküm kalitesizlik durumlarının yaşanabilmesine olanak sağlamaktadır. Parçanın geometrik tasarımı ile bağılı olarak düz ve geniş bir yüzeye yerleştirilemiyor ise sıvı metal alaşımın hızının düşürülmesi gereklidir. Parçanın

geometrik tasarımı uygun olan, yolluk girişlerinin geniş ve düz alanlarına yerleştirilmesine imkan tanıyan parçalar için yolluk hızları 60 m/s'ye kadar çıkartılabilmektedir. Kompleks bir geometrik tasarıma sahip olan parçaların dökümünde vakum uygulamasının kullanılması gerekir ise bu durum sıvı metal alaşımı hızının da ayarlanması gerektiğini ifade etmektedir. Vakum uygulaması olan dökümler için sıvı metal alaşımının hızının 40 m/s hıza kadar düşürülmesine imkan tanınmaktadır (26).

Sıvı metal alaşımının kalıp boşluğunun içerisine doldurulmasının başlaması ile birlikte kalıp boşluğunun tamamı dolana kadar geçen süre zarfında kalıp doldurma süresi denilmekte ve Şekil 7.16.de yer alan formüle göre hesaplaması yapılmaktadır. Yüksek basınçlı döküm tekniği kullanılarak yapılan dökümlerde sıvı metal alaşımının kalıbın içerisine dolma süresi üretilen parçanın kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sıvı metal dar kalıp boşluğunun içerisinden geçerken kalıp duvarlarına temas eder ve sürekli olarak ısı transferi gerçekleştiği için ısı kaybına maruz kalır. Bu nedenden dolayı dolma süresi önemli bir faktör olarak görülmektedir. kalıbın son noktasına kadar dolma işlemi gerçekleşmeden sıcaklık değeri düşen ve akışkanlığını kaybeden sıvı metal alaşımının döküm parçasında kalitesizlik durumunun görülebilme imkanı artmaktadır. Kalıbın içerisini doldurma süresi hesaplanırken kullanılmakta olan formüller maksimum dolma süresine ulaşılmasını sağlamaktadır. İdeal dolma süresi ile maksimum dolma süreleri karşılaştırılmaması gereklidir. Formülasyonlar sıvı metal alaşımının akış mesafesi ve kalıp içi yön değişimleri üzerinden oluşturulmaktadır. Bu nedenden dolayı hesaplanan maksimum dolma süresi, gate tasarımları için üst limit olarak kabul edilir ve dökülecek parçadan istenilen özelliklere ve kalite kriterlerine bağlı olarak dolma süresi ayarlanması yapılmaktadır. Yüksek yüzey kalitesine sahip olan parça üretimi istenildiğinde sıvı metal alaşımının akışkanlığının azalmaması için yüksek dolma hızına ihtiyaç duyulmakta ve porozite tolerans aralığının dar olması istenilen parçalarda kalıp içi havanın hava ceplerine kolay bir şekilde ulaşarak tahliye edilmesini sağlamak için ortalama dolma hızlarına ihtiyaç duyulur (30).

$$t = K \times \left(\frac{T_i - T_f + SxZ}{T_f - T_d} \right) \times T$$

Şekil 7.16. Kalıp doldurma süresi formülü.

Burada yer alan ifadeler;

- K = Kalıp çekirdeğine bağlı olarak türetilmiş olan ampirik katsayı,
- T = Döküm parçasının sahip olduğu et kalınlığı,
- t = Maksimum dolum süresi,
- Tf = Alaşımın minimum akış sıcaklık değeri,
- Ti = Yolluk giriş metal sıcaklık değeri,
- Td = Sıvı metal alaşımın temas etmeden önceki kalıp yüzey sıcaklık değeri,
- S = Dolum sonunda ulaşılan katı yüzdesi
- Z = Katılaşma dönüşüm katsayı değeri (°C/%) olmaktadır.

Tf, Dökülen alaşımın minimum hangi sıcaklık aralığında akacağı ile ilintili olmakta ve birlikte kalıp çeliğinin ısı iletkenlik değerine göre değişim göstermektedir. Dolum süresi formülü ile anlaşılmakta olan durumlar;

- Dökülecek parçanın sahip olduğu et kalınlığı ne kadar fazla olursa dolum süresi de o oran ile bağlantılı olarak artış göstermektedir. Et kalınlığı azaldıkça dolum süresinde de azalma görülecektir.
- Metal alaşımın sıcaklığı ne kadar yüksek olursa dolum süresi artış gösterebilir ancak çekinti ile ilgili oluşabilecek kalitesizlik durumlarının göz önüne alınması gerekmektedir.
- Kalıp sıcaklık değeri ne kadar yüksek olursa dolum süresi de o oranda uzayabilmekte ancak bu durumdan kaynaklı olarak yaşanabilecek kalitesizlik durumları göz önüne alınmalıdır.
- Dolum süresi ne kadar uzun tutulursa dolum sonunda elde edilecek olan katı yüzdesi de o kadar fazla olacaktır.

Dolum süresinin tespit edilmesinden sonra parçanın kalite kriterlerine uygun olarak üretilebilmesi için minimum hangi oranda yolluk giriş kesit alanına sahip olması gerektiği belirlenebilmektedir. Yolluk giriş kesit alanı belirlendikten sonra ise varsa yolluk kollarının kalınlıkları ve ana yolluk kolunun kesit alanı belirlenir, yolluk ve döküm parçasının döküm sonrasında parçaya hasar vermesi önlenerek ayrılabilmesi şeklinde bir tasarıma sahip olması istenilmektedir. Trim kalıpları ile trimleme işlemi yapılacak olan yolluk giriş kesit kalınlığına 3-4 mm'den fazla olması zorluk çıkartacağı için bu değer aralığı içerisinde olması istenilmektedir. Aksi durum yaşandığında döküm parçası üzerinde derin koparma vb. kalitesizlik problemlerinin oluşması beklenilmektedir. Yolluk parçadan testere ya da talaşlı imalat yöntemi ile ayrılacaksa kalınlık değerinin trim işleminden değer olarak bir farkı bulunmamaktadır (26).

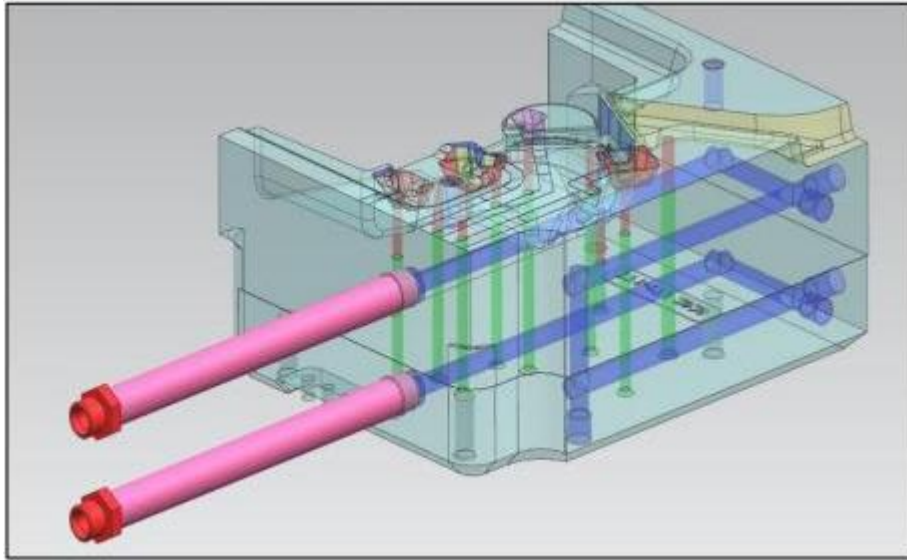
Yüksek basınçlı döküm yönteminde yolluk giriş bölgesi genellikle en ince kesit kalınlığına sahip olmakta ve katılaşmakta olan sıvı metal alaşım 3. faz süresi üzerinde uygulanmakta olan yüksek basınç kuvveti ile beslenmesinde önemli rol oynayan bir bölge olarak görülmektedir. Bu bölge katılaşma sonrasında döküm tezgahı tarafından uygulanmakta olan yüksek basınçlı döküm parçasına iletimi yoktur ve parçanın sıvı bölgeleri sadece kalıba ısı transferi yaparak sıvı metal alaşımın katılaşması görülmektedir. Basınç etkisi olmadan katılaşan bu bölgeler, çekinti kaynaklı olan döküm boşluklarının görülmesi ihtimalinde artış yaratmaktadır (26-30).

Yolluk giriş kesit alanını beslemekte olan yolluk kolları ve ana yolluk kolu tasarımı yapılırken sıvı metal alaşımını yolluk üzerindeki akış rejiminin laminar olması ve gate alanının yeterli sıvı metal alaşım ile besleme yapılması önemlidir. Gate alanlarını beslemekte olan yolluk kolları, yolluk giriş kesit alanlarının ortalama olarak 1,5-2 katı kalınlığa sahip olacak şekilde tasarımları yapılmaktadır. Ana yolluk ile yolluk giriş kısımlarını birbirlerine bağlayan ara yolluk tasarımından sonra hesaplaması yapılmalıdır. Ana yolluk kolunun kesit alanı, ara yolluk kesitlerinin toplamının ortalama olarak 1,2-1,5 aralığında fazla olarak bir şekilde belirlenmesi önemlidir (26).

7.11. SOĞUTMA KANALLARININ TASARIMI

Yüksek basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilmesi planlanan parçanın kalite standartlarına uyumlu niteliklere sahip parça dökülebilmek için sıvı metal alaşımın sıcaklık değerleri belli bir aralık içerisinde olmalıdır. Bu sıcaklık aralığı, sıvı metal alaşımın akışkanlığını kaybetmeden kalıp boşluğunu doldurabilmesi için yeterli bir sıcaklık değeri aralığı içerisinde olmalıdır. Alüminyum alaşımları, parçanın sahip olduğu geometrik tasarım ile değişkenlik gösterse bile 650-700 °C aralığı içerisinde akışkan bir şekilde dökülebilmektedir. Bu sıcaklık değeri aralığında kalıp boşluğunun içerisine dolan sıvı metal alaşım, üzerindeki enerjiyi iletim yolu ile çelik malzemedan üretilmiş olan döküm kalıbına aktarmakta ve katılaşmaya başlamaktadır. Gerçekleşen bu ısı transferi sonucu olarak kalıp sıcaklığı yükselmektedir. Sıcaklık değeri yükselen kalıp çeliği, üstündeki ısı enerjisini gerçekleştirecek bir sonraki çevrim için transfer etmesi gereklidir. Döküm kalıbına aktarılmakta olan bu ısı, kalıp çeliğinden uzaklaştırılmadığı takdirde gerçekleştirecek olan bir sonraki çevrim başarısız bir çevrim olacaktır ve kalite kriterlerini karşılayamayacaktır. Kalıp çeliğindeki ısının transfer edilebilmesi için kalıbın içerisine termoregülasyon kanalları tasarlanır ve döküm esnasında bu kanallardan geçirilen ısı transfer sıvıları (su, yağ vb.) kalıp içerisinde gerçekleşen ısı transferini alüminyumdan aktarılan ısının kalıptan uzaklaştırılmasını ve kalıbın istenilen sıcaklık aralığı içerisinde çalışabilmesine ortam sağlamaktadır. Soğutma kanalı tasarlanması veya tasarlanan soğutma kanallarının kullanılabilmesi için kalıp sıcaklık değerinin artması, yüksek kalıp sıcaklığı durumunda kalıba sıvı metal alaşımın yapışması, geç katılma, kalıp çalışma ömründe kısalma, kalıp içerisinde parça kalması, boyutsal parça problemleri, çekinti vb. gibi birçok kalitesizlik durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Diğer bir taraftan kalıbın fazla soğutulduğu durumda ise sıvı metalin akış problemleri ile birlikte soğuk birleşme izleri, kalıp içerisinde parça kalma durumu, kalıp boşluğunun tam dolmaması, yağlayıcı olarak kullanılmakta olan malzemenin etkinliğinin azalması, boyutsal olarak problemlerin ortaya çıkması görülebilecek bazı kalitesizlik durumlarıdır. Buradan anlaşılacağı üzere yüksek basınçlı döküm tekniği kullanımında döküm kalıplarının ısıl denge durumunda olması döküm işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için önemli parametrelerden birisi olarak görülmektedir (26).

Isıl dengenin sağlanabilmesi için bilinen ve uygulanan yöntemlerin ilk olanı matkap yardımı ile kalıbın delinmesi işlemidir. Aşağıda yer alan Şekil 7.17.da gösterilen görsel soğutma kanallarına örnek bir resim olarak görülmektedir. 10-16 mm çap aralığı içerisinde olan bu delikler, kalıp boşluğuna ne kadar yakın delinirse kalıptan o kadar çok ısı transferi gerçekleşebilir ancak kalıp mukavemeti göz önünde bulundurulmalıdır. Çelik yüzeyine 25 mm'den daha yakın açılan termoregülasyon kanallarının çeliğin ömrü üzerinde olumsuz yönde etkisi mevcuttur. Bu işlemin bir diğer kısaltması kalıp içerisinde yer alan itici delikleridir. Bu nedenden dolayı özenle soğutma kanalları tasarlanmalı ve deliklerin birbirleri ile çakışmasının önüne geçilmelidir. Belirtilen tüm bu kurallara ilave olarak soğutma kanallarının en doğru şekilde açılması ve konumunun belirlenebilmesi için simülasyon sonuçlarına bakılmalı ve optimum tasarım tercih edilmesi gerekmektedir (28).



Şekil 7.17. Termoregülasyon kanalları [28].

Yüksek basınçlı döküm tekniğinde kullanılan kalıpların farklı bölgelerinde farklı sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Sıvı metal alaşım temas etmiş olduğu çekirdek bölgesi, hamil bölgesine kıyasla daha yüksek sıcaklık değer aralığına ulaşabilmektedir. Kalıbın genelinde ise belirlenen ısıl dengenin sağlanması amacıyla soğuk bölgelerin ısıtılması gerekmekte, sıcak bölgelerin ise soğutulması gerekmektedir. Bu şekilde kalıp ömrü uzun olurken kalite kriterlerine uygun olarak parça üretimi yapılabilmektedir. Döküm kalıplarının soğutma kanallarının yanı sıra

kalıpların döküm tezgahı plakalarına iletim yoluyla yağlama işlemi esnasında kalıp yüzey alanına püskürtülen yağlayıcıyla ve hava ortamına ısıma yoluyla ısı transferi yaşanmaktadır. Kalıp soğutucu kanalları tasarlanırken tüm bu ısı transfer olayları göz önüne alınmalı ve yapılacak olan hesaplamalar bu durumlara göre yapılmalıdır (26-28).

7.12. HAVA CEBİ VE HAVA TAHLİYE KANALLARININ TASARIMI

Kalıp yarım parçalarının kapanması, piston döküm boşluğunu geçtikten sonra haznenin içerisinde yer alan havanın ve döküm sırasında oluşan gazların, döküm yapılacak parçanın içinde çeşitli kalitesizlik durumlarına yol açmaması için havanın parça içerisinde uzaklaştırılması hava tahliye kanalları aracılığı ile ya da hava cepleri aracılığı ile gerçekleşmektedir. Sıvı metal alaşımın kalıp dolumu esnasında asla kalıp içerisinde yer alan havanın önüne geçmemesi gereklidir ve hava ile birbirlerine karışmaması gereklidir. Bu durum doğru yolluk tasarımı ve parametre tasarımı ile sağlanabilir. Aksi bir durumda ise nihai parçada havanın sıkışmasından kaynaklı olarak porozite oluşumları ve kalitesizlikler görülebilir. Kalıbın içerisinde sıkışan hava, sıvı metal alaşımın akışına karşı direnç oluşturmakta ve kalıp dolumuna engel teşkil etmektedir. Kalıbın içerisinden tahliye edilmesi için hareketli ve sabit kalıp arayüzünden, çıkış olacak bir şekilde hava kanalları tasarlanmalıdır. Tasarlanan bu hava tahliye kanalları ile havanın geçişine izin verilirken sıvı metal alaşımın tahliyesine izin vermeyecek bir derinliğe sahip olması gereklidir. Bu durum için hava tahliye kanallarının boyut aralığı genel olarak 0,1-0,5 mm aralığı içerisinde olmaktadır. Sıvı alüminyum alaşımın bu kanalların içinden geçmesi, kalıp açma kuvvetlerini arttırırken aynı zamanda da iş sağlığı ve güvenliği açısından risk teşkil edebilen bir durum olmaktadır. İtici pimleri de yuvaları ile arasındaki boşluktan hava firarı sağlanmasıyla birlikte hava tahliyesine yardımcı olan kalıp ekipmanları arasına girmektedir (25).

Hava tahliyesi ve çeşitli diğer birçok görevi üstlenmesi amacıyla hava ceplerinin tasarımları yapılmaktadır. Dolum işlemi esnasında tahliye kanalları aracılığıyla kanallarından dışarıya çıkmayan hava ve oluşan gaz, dökümün son noktalarına yerleştirilen hava ceplerinin içerisine atılmaktadır yani hava cebi, sıvı metal alaşımın

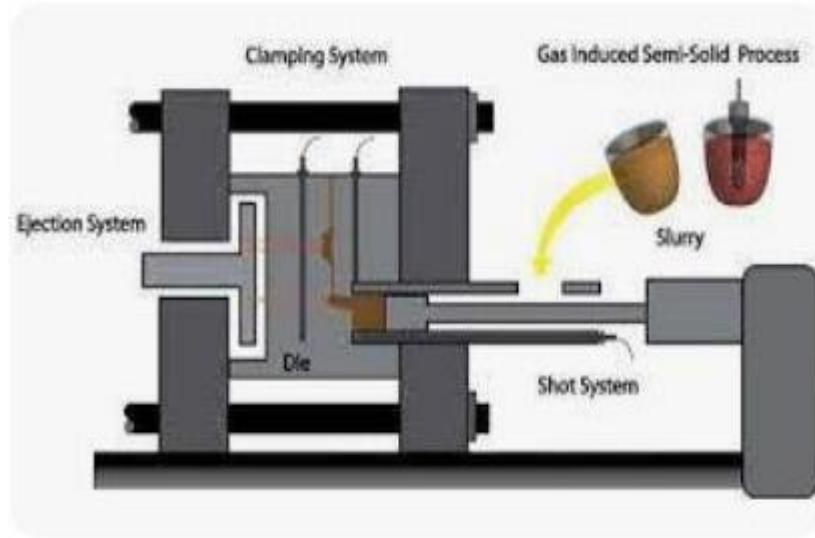
son dolduğu bölgeye göre tasarlanır. Hava ceplerinin birbirlerine bağlanması durumunda çeşitli riskler barınmaktadır ancak vakum uygulaması kullanımında tek bir bölgeden vakum işlemi yapılacağı için hava cepleri birbirlerine kanallar aracılığı ile bağlanabilmektedir. İlk başta dolan hava cepleri, son dolan hava ceplerinin karşısında bir direnç oluşturabilmekte ve bu nedenden dolayı hava ceplerini birbirlerine bağlarken simülasyon çalışmaları yapılarak doğru bir bağlantının gerçekleştiğinden emin olunması gerekmektedir (31-32).

Hava cepleri döküm parçasında sıvı metal alaşımın dolumunun son anına kadar <1 mm kalınlığında bir kanal ile bağlantılı olmaktadır. Toplamda hava ceplerinin ağırlıklarının, üretilmesi planlanan parçanın ağırlığının ortalama olarak %20'si oranında olması yüksek basınçlı döküm için tavsiye edilmektedir. Tasarlanan hava ceplerinin çevrim işlemi sonunda kalıp içerisinden çıkabilmesi için itici pimler ile desteklenmesi gereklidir. Hava cebi tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise sıvı metal alaşımın en son ulaşmış olduğu noktaya hava ceplerinin yerleştirilmesi ve bu kısımlara açılmasıdır. Kalıp içi boşluğunda sıkışan atmosfer gazının, yağlamadan çıkmakta olan buharların hava ceplerine dolmasının ardından tekrar kalıp boşluğuna dönmemesi için hava tahliye kanalları genellikle hava ceplerinin bitim noktalarına göre tasarlanır ve bu bölgelere yerleştirilir (28).

7.13. YARI KATI METAL DÖKÜM YÖNTEMİ

Yüksek üretim verimliliğinin olduğu yarı katı metal döküm yönteminin tercih ediliyor olmasının nedenlerinden bazıları, yüksek üretim hacmine sahip olması ve aynı zamanda düşük üretim maliyetinin oluyor olmasıdır. Bu olumlu yanlarının yanında aynı zamanda diğerk döküm yöntemlerine kıyasla daha fazla üretim hatası oluşumu meydana gelmektedir. Kalıp içerisi yarı-katı alaşım ile doldurulduğu zaman meydana gelen fazların etkileşimi esnasında bazı gazlar oluşur ve bu gazların tahliye edilebilmesine kalıp tasarımı tam olarak uygun olmadığı için bazı döküm boşlukları meydana gelmektedir. Aynı zamanda kalıp içerisinde (katılaşma esnasında), taneler arasında kırılmalar yaşanabilir ve bu olayın yaşanılmasından kaynaklı olarak sıcak yırtılma görülebilmektedir (61). Alaşım malzemesinin mekanik özelliklerini zayıflatmanın yanında aynı zamanda da alaşımın mekanik özelliklerinde artış

yaşanması içinde uygulanacak olan ısı işlemin başarılı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Oluşan bu sorunun giderilmesi için çoğunlukla yarı-katı metal kalıba döküm yönteminin tercih edildiği gözlemlenmektedir. Yarı katı metal alaşımın sıcaklığı diğer döküm yöntemleri ile kıyaslandığında daha düşük ve aynı alaşımın eriyik hali ile mukayese edildiği takdirde vizkozite oranı daha yüksektir. Düşük sıcaklık aynı zamanda daha hızlı soğuma süresine ulaştığı için enerji kullanımından verim sağlaması ile beraber, kalıp kullanım ömrünün uzamasına ve kullanım kolaylığına da olanak sağlamaktadır. Ayrıca diğer döküm yöntemlerine kıyasla daha yüksek bir vizkoziteye sahip olan sıvı metal alaşımının, kalıp içerisinde yer alan döküm boşluğunda daha az türbülans oluşumuna neden olduğu ayrıca daha az miktarda gözenek oluşumuna imkan vererek parçanın kalitesinin daha yüksek olmasına ve bu nedenden dolayı döküm parçasının mekanik özelliklerinde artış meydana getirebilmesine olanak sağlamaktadır (62).



Şekil 7.19. Yarı-katı döküm.

BÖLÜM 8

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Alüminyum gibi metalik alaşımların oksijen ile birleşik oluşturma isteği yüksek olduğu için alaşımların kontrollü bir atmosfer ortamı içerisinde üretilmesi gerekmektedir. Çalışma için seçilen alüminyum alaşımı ticari döküm alaşımı olduğu için ikincil alüminyum üretim tekniği ile üretilmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan ve incelenen malzeme DIN 230D / EN AB 44300 ticari isimli alüminyum-silisyum alaşımıdır (Şekil 8.1). Alaşımın içerdiği elementlerin içerik listesi Çizelge 8.1’de alaşımın içerdiği element listesi optik emisyon spektrometre cihazı kullanılarak alaşımın kimyasal analiz sonuçları olarak verilmiştir. Şekil 8.2’de Spectromaxx marka spektrometre gösterilmektedir.



Şekil 8.1. Maden fotoğrafı.



Şekil 8.2. Spectromaxx Cihazı.

Çizelge 8.1. DIN 230 standardına göre analiz sonuçları.

		Min.	Max.
SİLİSYUM	Si		
DEMİR	Fe	10,5	13,5
BAKIR	Cu	0	1,0
MANGAN	Mn	0	0,1
MAGNEZYUM	Mg	0,001	0,5
ÇİNKO	Zn	0	0,05
NİKEL	Ni	0	0,15
KROM	Cr	0	0,05
KURŞUN	Pb	-	-
KALAY	Sn	0	0,05
TİTANYUM	Ti	0	0,05
SODYUM	Na	0	0,15
STRONSYUM	Sr	-	-
VANADYUM	V	-	-
ZİRKONYUM	Zr	-	-
KADMIYUM	Cd	-	-
ANTİMON	Sb	0	0,01
FOSFOR	P	-	-
KALSİYUM	Ca	-	-
KALAN TOPLAM	OT	-	-
ALÜMİNYUM	Al	-	-

8.1. KESME İŞLEMİ

DIN 230D EN AC 44300 döküm alaşımına sahip olan numunenin ilk olarak kesme işlemi yapılarak numune boyutunun küçültülmesi sağlanmaktadır. Kesme işlemi için Şekil 8.3'de gösterilmekte olan Türk yapımı Uzay Makine cihazı kullanılmış ve parçanın boyutları laboratuvar ortamı içerisinde kullanılabilir boyut aralığına getirilmiştir. Makine içerisinde yer alan merdane sistemi ile sıkıştırılan numune, yarı otomatik şerit testere yardımı ile istenilen ölçü aralığına getirilmiştir. Kaba kesme işlemi, numunenin iç yapısında deformasyon oluşumuna neden olmaktadır. Numunenin iç yapısında meydana gelen bu deformasyonu ortadan kaldırmak için bir takım metalografik işlemler yapılması gerekmektedir. Yapılan bu metalografik

işlemler ile numunenin zarar gören tabakasının kaldırılması ve neticesinde incelenmek istenilen yapının görülebilmeye imkân tanımaktadır.



Şekil 8.3. Uzay makine markalı kesme makinası.

8.2. METALOGRAFİK İNCELEME

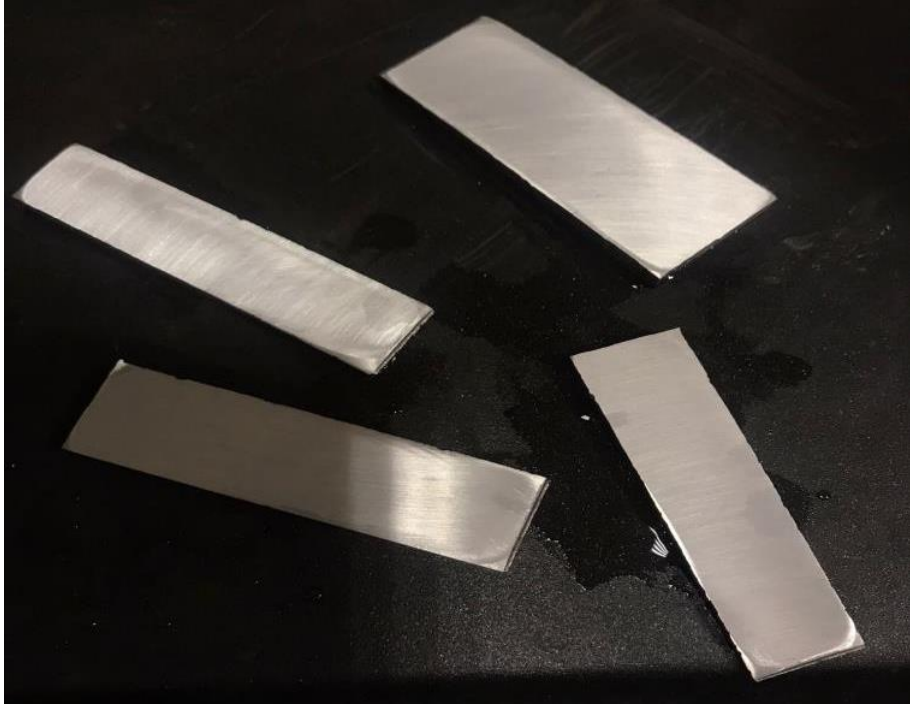
Kesme işleminden sonra boyutları küçültülen numunenin iç yapısının incelenmesi için metalografik hazırlama işlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Metalografik işlemler ile numunenin incelenmek istenilen mikroyapı görünümüne deformasyon etkilerinin ortadan kaldırılması ile ulaşılabilmektedir. Numunenin yüzey alanı ve iç yapısı kaba kesme işlemi esnasında gerilmelere ve deformasyona maruz kalmakta ve bu etkileri metalografik işlemler kullanarak ortadan kaldırılmasını sağlanmaktadır.

Metalografik işlemler için ilk olarak numune yüzeyine su takviyeli kaba zımparalama işlemi uygulanmıştır. Zımparalama işlemine ilk olarak 120 SiC numaralı zımpara kullanımı ile başlanmıştır. Kullanılmakta olan her zımpara değişikliğinde numunenin yönü 90°'lik açı ile değiştirilerek, bir önceki zımparalama işleminde oluşmakta olan zımpara izlerinin (çiziklerinin), ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Numune yüzeyinde kaba kesme işlemi sonrasında oluşan izlerin ortadan kaldırılması ile 180 SiC numaralı zımpara kullanımına geçilmiştir. Zımpara işlemi

numune yüzey görüntüsü esas alınarak kademeli olarak 240-320-400 numaralı SiC zımpara kullanımı ile devam etmiştir.

Kaba zımparalama işlemi ile numune yüzeyi iyileştirildikten sonra ise ince zımparalama işleminin uygulanması aşamasına geçiş yapılmıştır. İnce zımparalama işlemi için kullanılan zımpara numaraları ise sırasıyla 600-800-1000-1200-2000 numaralarına sahip olan SiC zımparaları olmaktadır. Zımpara numarasında artış yaşandıkça numunenin yüzeyinde oluşmuş olan deformasyonlar azalmakta ve yüzeyi parlak bir görüntü almaktadır. Zımparalama işlemi ince zımparalama işlemi ile bittikten sonra ise numune yüzeyinin parlaklık kazanabilmesi için Alümina (Al_2O_3) parlatma solüsyonu parlatma keçeleri ile numune yüzeyine uygulanmıştır.

Parlatma işlemi için metalografi cihazına parlatma keçeleri bağlanmış ve keçelerin yüzeyine Alümina solüsyonu dökülmüştür. Alümina solüsyonu kullanımı ile numunenin yüzey alanı parlaklık kazanmaktadır. Parlatma işlemi bitikten sonra numunenin yüzeyi saf su ve alkol (etanol) kullanılarak yıkanmış, kurutma sonrasında ise numunenin yüzey alanı parlak bir hale gelmiştir.



Şekil 8.4. Zımparalama işlemi bitmiş olan numune

Numune yüzeyinin parlatılma işleminden sonra numune yüzeyinin incelenebilmesi için dağlama yapılmalıdır'da ğlama işlemi ile optik mikroskop altında incelenecek olan numunenin üzerine gelen ışığı yansıtması önlenmektedir. Alüminyum-silisyum alaşımı kullanıldığı için dağlayıcı olarak Keller reaktif bileşimi kullanılmıştır. Keller reaktif bileşiminin hazırlanabilmesi için n 1 cm³ hidroflüorik asit (HCl), 1.5 cm³ klorhidrik asit, 2.5 cm³ nitrik asit (HNO₃). ve 95 cm³ saf su malzemeleri bir deney tüpü içerisinde birleştirilmiştir. Alüminyum alaşımları için en etkin dağlayıcı türlerinden birisi olan Keller reaktif bileşiği, alaşımın yüzeyini dağlaması için numunenin 10-15 saniye aralığında içerisine daldırılması gerekmektedir. Numune cımbız yardımı ile tutularak dağlayıcı ile temas ettiği anda zaman sayımına başlanır ve zaman istenilen aralığa geldiğinde numune reaktif içerisinden çıkartılarak yüzeyinde kalan dağlayıcı bileşimi temizlenir. Temizleme işlemi sonrasında ise numune mikroyapı görünüsü alınması için hazır hale gelmektedir.



Şekil 8.5. Mikrotest multipay easy metalografi makinası

8.3. MIKROYAPI GÖRÜNTÜSÜ ALINMASI

Deneysel çalışma için kullanılan numunenin kesme, zımparalama, parlatma ve son olarak dağlama işlemleri bittikten sonra mikroyapı görüntüsüne ulaşabilmek için Carl Zeiss GmbH marka optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop ile ışık ve açı ayarlamaları yapıldıktan sonra numune mikroskopun cam tablasına yerleştirilmiş ve yüzeyi görüntülenmiştir. Görüntüleme işlemi için sırasıyla 10x, 20x, 50x ve 100x büyütme merceği kullanılmıştır. Bu işlem sayesinde farklı büyütme oranlarında yapının tane yapısı ve tane sınırları incelenebilmiştir.



Şekil 8.6. Carl Zeiss GmbH marka mikroskop

8.4. SERTLİK ÖLÇME

Proje içerisinde kullanılmakta olan numunenin sertlik değerini ölçebilmek için numunenin yüzeyinin hazırlanması gerekmektedir. Numunenin hazırlanma işlemi ise ilk olarak yüksek basınçlı döküm yöntemi sonucunda elde edilen parçanın yüzey alanının küçültülmesi için kesme işlemi yapılmasıdır. Kesme işlemi ile yüzey yapısı

deforme olduğu için ve düz bir yüzey alanına sahip olmadığı için metalografik işlemler ile yüzey yapısı hazırlanmaktadır. Bu işlemler sonucunda numune, sertlik cihazının tablası üzerine yerleştirilebilmektedir.

Düz bir yüzey alanına sahip olan numune Brinell Sertlik cihazının tablasının yüzeyine yerleştirilir. Cihaz, ölçülmesi istenilen malzemenin sertlik değerini hesaplayabilmek için ölçümde kullanılacak olan yük ağırlığı ve izi oluşturacak olan bilye çapı ayarlaması yapılır. Ardından programa süre bilgisi girildikten sonra batıcı uç numune yüzeyine kontrollü bir baskı uygular. Uygulanan baskı işlemi ile numunenin yüzey alanında bilye çapı ile orantılı olan bir iz meydana gelmektedir. Oluşan iz çapının mikron cinsinden uzunluk değerleri bilgisayarlı ortam kullanımı ile alınır ve Brinell Sertlik değerinin hesaplanabilmesi için test sonucu formüle yerleştirilerek hesaplama yapılır. Brinell Sertlik ölçümünde kullanılan formülün görseli Şekil 8.7'de verilmiştir. Görsel içerisinde yer alan ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

- HB = Brinell sertlik derecesi, kg/milimetrekare
- P = Uygulanan ağırlık (yük), kg
- D = Küresel çelik bilyanın çapı, (milimetrekare). 44
- d = Bilyanın parça üzerinde oluşturduğu iz çapı, mm

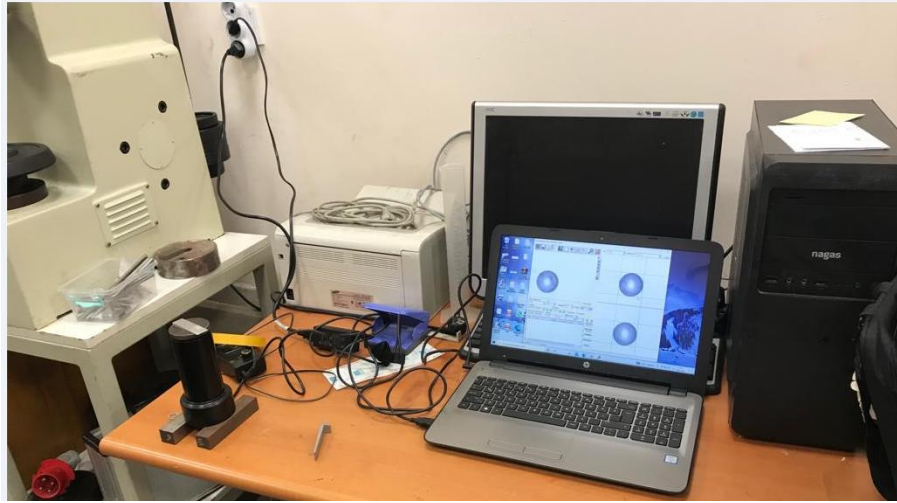
Ölçülen iz uzunluğu formül içerisine koyulduktan sonra hesaplama yapılarak numunenin sertlik değerine ulaşılmaktadır. Günümüzde gelişen teknolojik gelişmeler ile ölçüm değerine ulaşabilmek için numunenin bilgisayar destekli sertlik değeri ölçülebilmektedir. Bu ölçüm ise sertlik izi oluşmuş olan numunenin bilgisayara bağlı olan mikroskop üzerine sertlik izinin oluşmuş olan yüzey alanı gelecek şekilde konulması ve ardından program yardımı ile izin olduğu bölgelerin belirlenmesi ardından da bilye izinin dört köşesinin belirlenmesi ile sonuç elde edilebilmektedir.

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot d (D - \sqrt{D^2 - d^2})} , \text{ kg/mm}^2$$

Şekil 8.7. Brinell sertlik testi formülünün görseli.



Şekil 8.8. Brinell sertlik cihazı.



Şekil 8.9. Bilgisayar Destekli Sertlik Değer Ölçümü.

8.5. KOROZYON TESTİ

Korozyon deneyleri tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi ve potansiyodinamik polarizasyon testi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tuzlu çözelti püskürtme korozyon deney içerisinde kullanılan DIN 230D / EN AC 44300 Al-Si alaşımının kullanımı için belirlenen bölgeler açık hava ve su temasına uygun olan bölgeler olduğu için alaşımın korozyona maruz kaldığı koşullarda yaşanabilecek durumlar incelenmek için QUALİTEST makinası kullanılmıştır. Alaşımın korozyon koşulları 23 ± 2 °C sıcaklık altında %50 bağıl nemde 384 saat bekletilmesinin ardından kurutulup numune yüzeyinin incelenmesi ile başlamıştır. Numune üzerinde boya ya da vernik uygulaması olmadan 1 litre su içerisinde 50 mg tuz (% 5'lik) çözeltisinde 384 saat korozyon test makinası içerisinde bekletilmesi ile test yapılmıştır. Numune, her 48 saatte bir 90° döndürülmesi ile korozyon testine devam edilmiştir.



Şekil 8.10. QUALİTEST Korozyon Test Cihazı.

Potansiyodinamik polarizasyon testi için deney numuneleri Bakır tel ile sarılıp epoksi reçine ile kaplanmıştır. Numunelerin epoksi reçine dışındaki ön yüzü standart metalografik metod ile parlatılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testine T tabanındaki ve düz bölgeler tabii tutulmuştur. Korozyon testi sırasında çalışma elektrodu olarak test numunesi, karşı elektrod olarak grafik çubuk ve referans elektrod olarak da doymuş kolamel elektrodu uygun bir şekilde test hücresinin içerisine yerleştirilmiştir. Çalışma elektrodu ve doymuş kalomel elektrodu arasındaki

mV cinsinden korozyon potansiyel değişimi sistemden akım geçmeyecek şekilde 300 saniye boyunca tüm deney numuneleri için ölçülmüştür'de ney potansiyeline (Ecor) ulaşıldıktan sonra 1mV.s-1 tarama hızında -0,25v +0,25v aralığında potansiyodinamik polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Korozyon akım yoğunluğu ve korozyon potansiyeli tafel eğrileri analizi sonucu belirlenmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon testleri DC105 korozyon analizine sahip Gamry Pc4/300 mA potansiyostat/ galvonastat yazılımı arağılığıyla geręekleřtirilmiřtir.

BÖLÜM 9

DENEY SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Çalışma içerisinde kullanılmakta olan DIN 230D / EN AC 44300 Al-Si alaşım elementinin, mikroyapı, sertlik ve korozyon sonuçları incelenmiştir. Alaşımın kullanılması planlanan bölgeler açık alanda hava ve su ile temas edilebilecek bir alan olduğu için alaşımın mikroyapı görüntüsü ile elde edilen element dağılımı, sertlik testi ile alaşımın dayanım oranı ve korozyon testi ile hava ve su bazlı ortamlara dayanım gösterebilmesi istenilmektedir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçların iyileştirilmesi için yapılması gereken işlemler incelenmiştir.

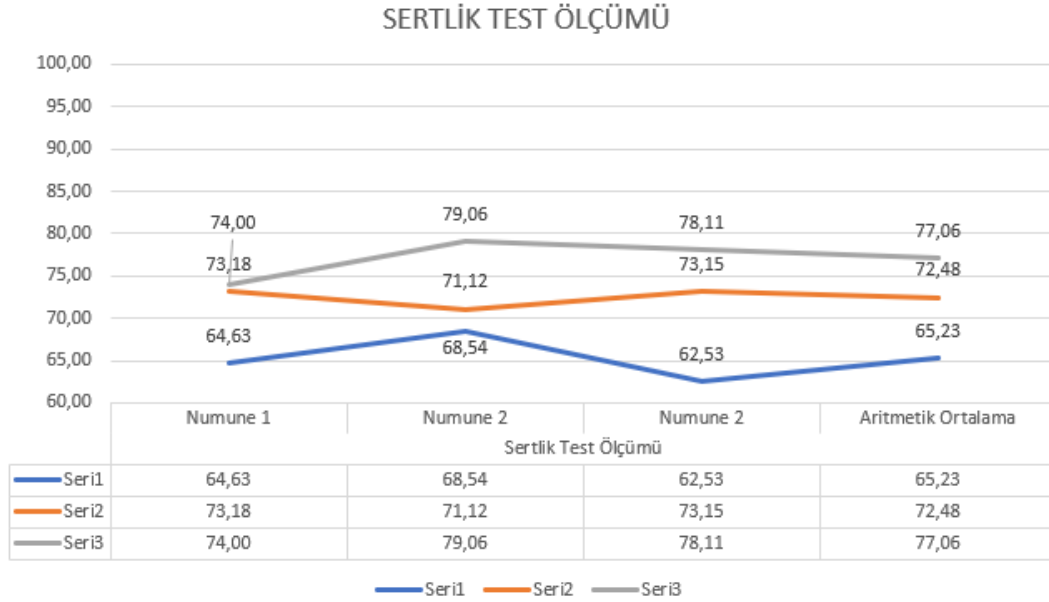
9.1. SERTLİK DENEY SONUÇLARI

Deneysel çalışmalar içerisinde kullanılmakta olan numunenin sertliğini ölçebilmek için Brinell sertlik cihazı kullanılmış ve alaşımın sertlik değerleri öğrenilmiştir. Numunenin alaşımı alüminyum-silisyum olduğu için numuneye 15 saniye yük uygulaması ile Şekil 9.1’de gösterilen 3 farklı bölgesinden sertlik değerleri alınmıştır. Alaşım için deney içerisinde kullanılan bilye çapı 5 mm, uygulanan yük ise 750 kg olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda sertlik ölçümü yapılmıştır. Bilgisayar destekli ölçüm yöntemi kullanımı ile seri-1 olarak isimlendirilen en kalın bölgeden alınan numunenin sertlik değerleri 64,63 HB, 68,54 HB ve 62,53 HB olup ortalama 65,23 HB, yanduvardan alınan seri-2 numunesinin sertlikleri 73,18 HB, 71,12 HB ve 73,15 HB olup ortalama 72,48 HB ve T tabanından alınan seri-3 bölgesinin sertlikleri ise 74,00 HB, 79,06 HB ve 78,11 HB olup ortalama 77,06 HB dir. Buradan görüldüğü gibi yüksek basınçlı döküm esnasında ince kesitli bölgenin sertliği daha yüksek iken kesit kalınlığı arttıkça sertlik düşmüştür. Sertlikler arasındaki fark % 11 kadardır.



Şekil 9.1. Sertlik ölçüm bölgeleri.

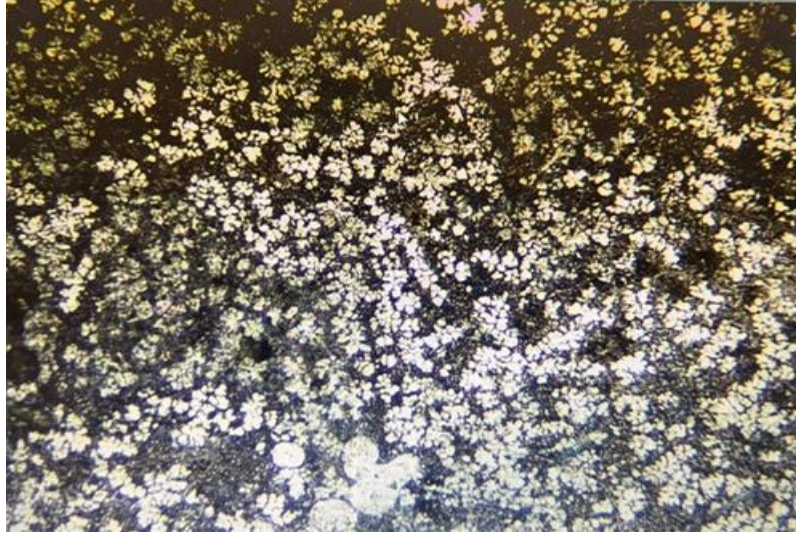
Çizelge 9.1. Sertlik Test Ölçüm Grafiği.



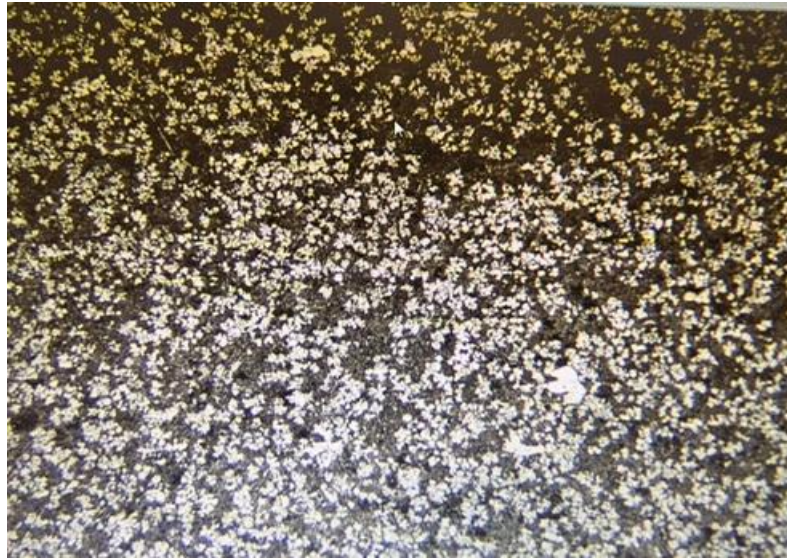
9.2. MİKROYAPI SONUÇLARI

Çalışma sonucunda DIN 230D/EN AC 44300 ticari isimli alüminyum-silisyum alaşım numunesinin farklı büyütme mercekleri ile alınan mikroyapı görüntülerine ulaşılmaktadır (Şekil 9.2-Şekil 9.5). Şekil 9.2 ve 9.4 aralığında incelenen alaşımın T bölgesinin mikroyapıları verilirken Şekil 9.5’de alaşımın düz bölgesinin mikroyapı görüntüsü sunulmaktadır. Bu sonuçlardan T bölgesinin yapısının düz bölgenin yapısından daha ince olduğu ortaya çıkmıştır. Mikroyapı görüntülerinde beyaz olarak dağlanan bölgeler α alüminyum, koyu olarak dağlanmış bölgeler ise ötektik

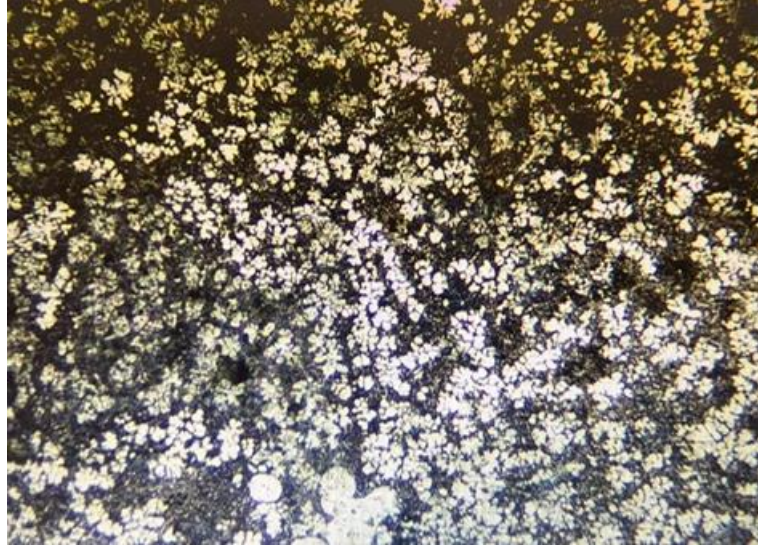
yapıdadır. Çalışma içerisinde ilk olarak numunenin yüzey alanı görüntülerine ulaşabilmek için kullanılan mercek 10x büyütme özelliğine sahiptir.



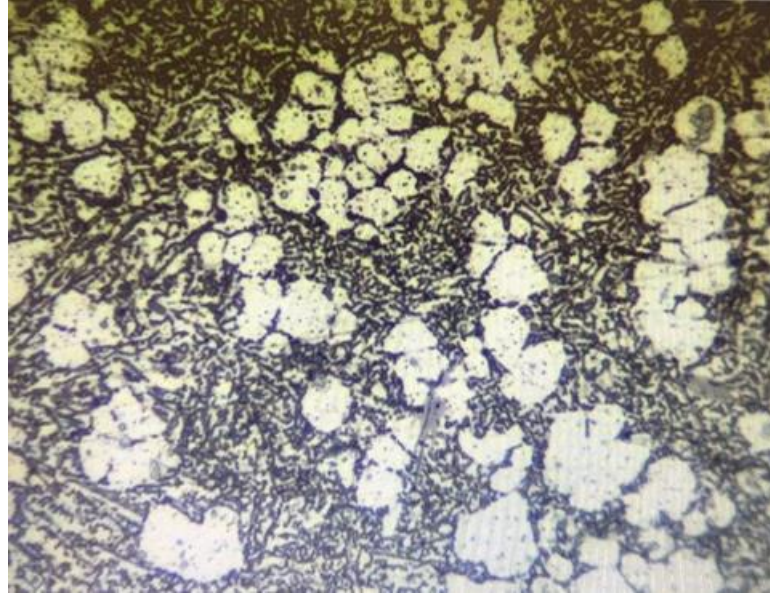
Şekil 9.2. 10X büyütme ince alaşımın mikroyapı sonuç incelemesi.



Şekil 9.3. 20X büyütmede incelenen alaşımın T bölgesinin minimikroyapı sonuçları



Şekil 9.4. 20X büyütme incelenen alaşımın T bölgesinin mikroyapı sonuçları



Şekil 9.5. 100X büyütmede incelenen alaşımın düz bölgesinin mikroyapı sonuçları

9.3. KOROZYON DENEY SONUCU

Tuzlu çözeltili püskürtme korozyon testi için, Alüminyum-Silisyum alaşım malzemedan yapılan DIN 230D belirli boyut aralıklarında kesilmiştir. Yüzey alanı ve kenarları metalografik işlemler ile hazırlandıktan sonra yıkama işlemi yapılmıştır. Temizleme işlemi bitirilen numuneler kurutulduktan sonra 0.0001 g hassasiyet oranına sahip olan terazi ile ağırlık ölçümü yapılmıştır. Boyutu ve ağırlığı ölçülen numuneler korozyon testi yapılabilmesi için makinanın içerisine girmiştir'de ney süreci boyunca günde bir kere görsel korozyon belirtisi başlangıcının olup olmadığı ve test sürecinde ağırlık kaybı yaşanıp yaşanmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan kontrol sonucunda elde edilen değerler kayıt altına alınarak test ara kontrolleri grafiği elde edilmiştir. Gözlem sürecinde test kontrolleri hem numune yüzeyinde oluşan korozyon tabakasının ölçümünü hem de korozyon ortam değerlerini kayıt altına alınmıştır. Korozyon testinin yapılmış olduğu makina içerisinde biriken tuz çözeltisinin Ph değeri ve çözelti hacmi ise makinanın bağlı olduğu bilgisayar tarafından kayıt altında tutulmuştur.

TEST ARA KONTROLLERİ			Toplama Kabında Biriken Tuz Çözeltisi Hacmi (ml)	Toplama Kabında Biriken Tuz Çözeltisi Ph (ml)	Korozyon Kontrolü Ağırlık Kaybı Numune 1	Korozyon Kontrolü Ağırlık Kaybı Numune 2
Tarih: 02/04/2023	Saat: 08:30	GÖZLEM: BAŞLANGIÇ	37	6,840	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 03/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	32	6,760	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 04/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	27	6,850	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 05/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	27	6,640	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 06/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	25	7,030	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 07/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	29	7,030	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 08/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	29	7,010	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 09/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	38	6,880	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 10/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	36	6,820	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 11/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	28	6,760	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 12/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	32	6,850	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 13/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	32	6,800	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 14/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	30	7,050	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 15/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	36	6,640	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 16/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM:	38	7,030	41.2 Gr	105.0 Gr
Tarih: 17/04/2023	Saat: 09:30	GÖZLEM: BİTİŞ	42	7,030	41.2 Gr	105.0 Gr

Şekil 9.6. Tuzlu çözeltili püskürtme korozyon testi süreci

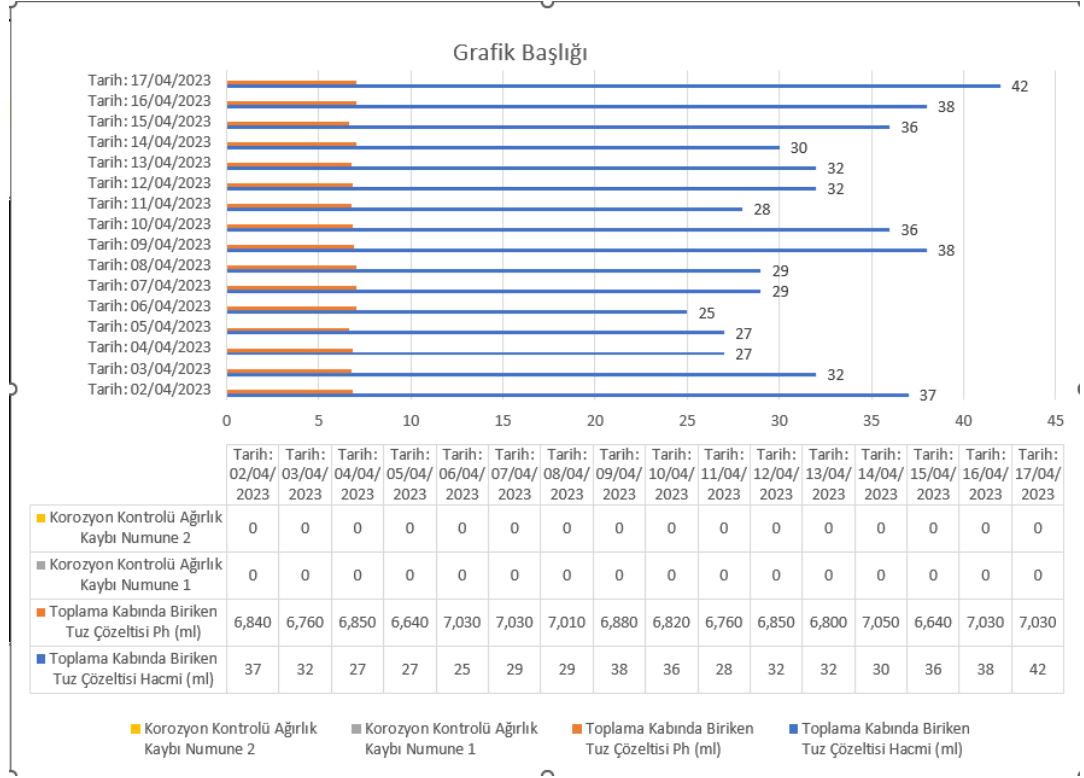


Şekil 9.7. 1. Numune Korozyon Testi Sonrası Ağırlık Ölçümü (gram).



Şekil 9.8. 2. Numune Korozyon Testi Sonrası Ağırlık Ölçümü (gram).

Görsel ve ağırlık kontrolü sonucunda korozyon testini tamamlayan Al-Si alaşımı test süreci boyunca yapılan ağırlık ölçümü ve numune yüzey görsel kontrolünü başarı ile tamamlamıştır.



Şekil 9.9. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi süresi kayıp tablosu.

Yapılan kontroller neticesinde numune yüzeyinde korozyona bağlı olan bir başlangıç belirtisi ve deney numunelerinin ağırlık ölçümleri süresince ağırlığa bağlı numunelerde bir değişim görülmemiştir. Alınan sonuçlar doğrultusunda inceleme yapıldığında ISO ve TUV standartlarına göre alaşım malzemesi üzerinde alaşıma etki edebilecek bir korozyon etkisi bulunmamaktadır.

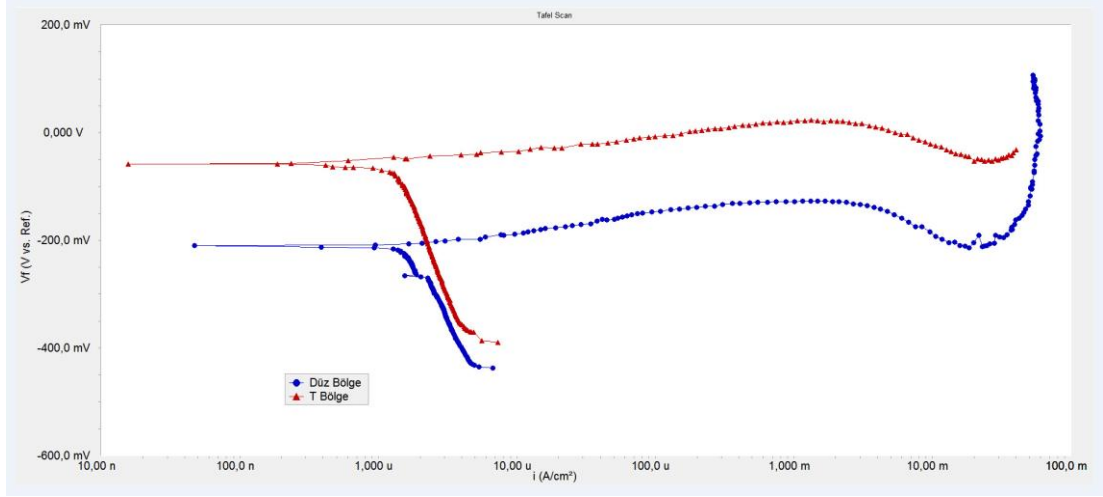
192. saate gelindiğinde üzerinde herhangi bir korozyon başlangıç belirtisinin olup olmadığına bakılmıştır. Korozyon test numunesi test için ideal süre seçilen 384. saatin sonunda korozyon test makinası içerisinden çıkartılmış ve yüzeyi incelenmiştir. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testine tabi tutulan numunelerin yüzeyinde tuz birikintileri hariç belirgin bir hasar gözlenmemiştir.



Şekil 9.10. Tuzlu çözelti püskürtme korozyon testi sonucu numune yüzey görünümü.

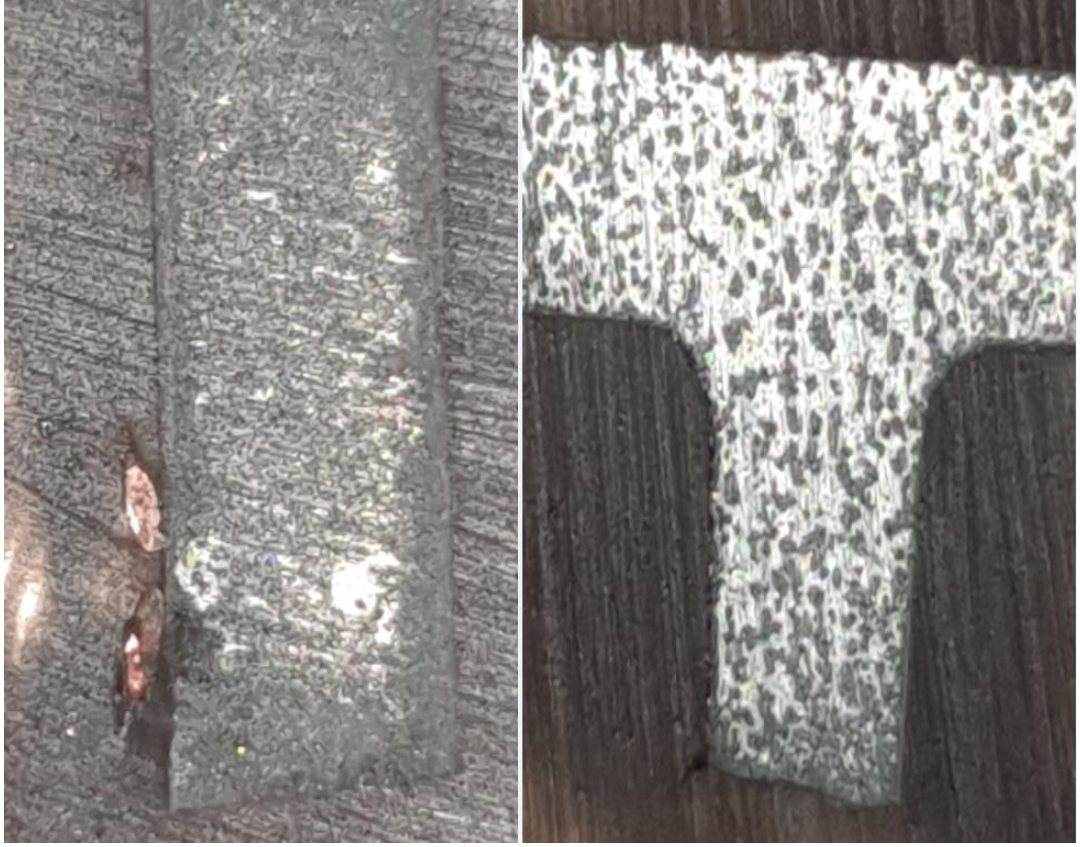
Düz numune ve T Bölgesi için potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu elde edilen Tafel eğrileri Şekil 9.11’de verilmiştir. İncelenen düz bölgeden elde edilen Tafel eğrisi T bölgede elde edilen Tafel eğrisinden daha aktif potansiyel bölgesinde yer almaktadır. Tafel eğrilerinden düz bölgenin korozyon akım ve korozyon potansiyeli değerleri sırasıyla $2,3 \times 10^{-6}$ A/cm² ve -210 mV iken T bölgesinin korozyon akım ve korozyon potansiyel değerleri sırasıyla $1,72 \times 10^{-6}$ A/cm² ve -57,9 mV değerindedir. Görüldüğü gibi T bölgesindeki hem korozyon akım yoğunluğu düşük hem de korozyon potansiyeli daha asil bölgededir. Bu durum T bölgesinin korozyon direncinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum T bölgesinin üretim sırasında iç gerilme ve hızlı soğuma ile mikroyapısındaki değişime bağlanabilir.

Ayrıca Şekil 9.11’den incelenen Al-Si alaşımlarının pasifleşme eğrilerine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Düz numune T numunesinden daha kısa sürede pasifleşme sergilediği Şekil 9.11’den belirlenebilmektedir.



Şekil 9.11. İncelenen numunelerin Tafel eğrisi.

Şekil 9.12’de potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu elde edilen yüzey görümleri sunulmaktadır’da ha hızlı korozyona uğrayan düz numunenin yüzey daha az korozyona uğrayan T numunesi yüzeyinden daha fazla oksit kaplıdır. Burada düz numune çok hızlı korozyona uğrayarak nihayetinde yüzeyinde koruyucu bir oksit tabakası oluşmuş ve pasifleşme meydana geldiği düşünülmektedir. Bununla birlikte T numunesinde de korozyon süresinin devam etmesi halinde pasifleşme bölgesine ulaşılacağı gözlemlenmektedir.



(a)

(b)

Şekil 9.12 (a) Düz numune ve (b) T numunesinin korozyon deney sonrası görünümleri

BÖLÜM 10

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada DIN 230 – EN/AC 44300 alaşımı Alüminyum malzemenin mikroyapı, sertlik ve korozyon testleri sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- İncelenen DIN 230D kalite alaşımın mikroyapısının α Alüminyum ve ötektik fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Yüksek basınçlı döküm kalıbındaki ince ve T şekilli bölgelerin mikroyapısının daha ince ve düz bölgelerin mikroyapısının bir miktar kaba olduğu bulunmuştur.
- İncelenen alaşımın kalın kesitli düz bölge ve T bölgelerinin sertlikleri sırasıyla arttığı kaba kesitli bölgenin sertliğinin düşük olduğu bulunmuştur. Bu durum yüksek basınçlı döküm sırasında mikroyapı değişiminden kaynaklandığı düşünülmüştür.
- Tuz püskürtme testi sonucu incelenen DIN 230D alaşımının fiziksel özellikleri fark etmeksizin herhangi bir ağırlık değişimi gözlenmemiştir. Ağırlık kaybı veya yüzeye tutunan tuz partikülleri olmamıştır.
- Potansiyodinamik incelemelerinde ise yüksek basınçlı dökümden üretilen bu ürünlerde T şekilde kesilen kesitlerin korozyon akım yoğunluğunun düşük korozyon potansiyelinin de daha asil olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte düz yüzeyli bölgelerin hem korozyon akım yoğunluğu daha yüksek hem de korozyon potansiyeli daha aktif yöndedir.

KAYNAKLAR

1. Srivastava V.C, Mandal R.K, Ojha S.N., 2004. Evolution of microstructure in spray formed Al-18%Si alloy, *Material Science and Engineering A* 383, 14-20 Surface and Coating Technology 169-170 (2003). 468-471
2. Wang F., Zhang J., Xiong B., Zhang Y., 2009. Effect of Fe and Mn additions on microstructure and mechanical properties of spray-deposited Al-20Si-3Cu-1 Mg alloy , *Materials Characterisation* 60, 384-388
3. Hedge S., Prabhu K.N., *Modification of Eutectic Silicon in Al-Si alloys*, 2008, J. Mater Sci, 43, 3009-3027
4. Murray J.L and McAlister A.J, 1984. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 5, 1, 74-84
5. Chang J., Moon I., Choi C., 1998. *Refinement of Cast Microstructure of Hypereutectic Al-Si Alloys Through the Addition of Rare Earth Metals*, *Journal of Materials Science* 33, 5015 – 2023
6. Lu Dehong, Jiang Yehua, Guan Guisheng, Zhou Rongfeng, Li Zhenhua, Zhou Rong, 2007. Refinement of primary Si in hypereutectic Al-Si alloy by electromagnetic stirring ,*Journal of Material Preccessing Technology* 189, 13-18
7. Seok H.K, Lee J.C., Lee H.I., 2005. Extrusion Of Spray-Formed Al-25Si-X Composites And Their Evaluation, **Journal Of Material Processing Technology** 160, 354-360
8. Hogg S.C., Atkinson H.V., Kapranos P., 2004. Semi-Solid Rapid Compression Testing Of Spray-Formed Hypereutectic Al-Si Alloys, *Metallurgical And Materials Transactions A Volume 35aa*, March -899–910
9. Ward P.J, Atkinson H.V., Kirkwood D.H., Sellars C.M.: 1992. Proc. 2nd Int. Conf. On *Semi-Solid Processing Of Alloys And Composites*, Cambridge, MA, 1992, S.B Brown and M.C Flemings, eds, Massachussets Instutue Of Technology Press, Cambridge, MA, 1992.pp. 440-46
10. Chiang C.-H., Chi Y.A. Tsao, 2005. Si coarsening of spray-formed high loading hypereutectic *Al-Si alloys in the semisolid state**Material Science and Engineering A* 396, 263–270
11. Chiang C.H., Tsao C.Y.A., 2003, Workability of Spray-Formed Al/Sip Metal *Matrix Composites*, Key Engineering Materials 249, 189-194

12. Tomida S., Nakata K., Shibata S., Zenkouji I., Saji S., 2003. Improvement in wear resistance of hyper-eutectic Al-Si cast alloy by laser surface remelting, *Proceedings of Frontiers of Surface Engineering*, 169-170, 468-471
13. Ī H.S., Liu X.F., 2008, Refinement performance and mechanism of an Al-50Si alloy, *Material Characterization* 59, 1559-1563
14. Cho S.S., Chun B.S., Wo C.W., Kim H.K., Lee B.S., Yim K.H., Eom S.H., Baek H., Song B.J., and Suryanarayana C., 1998, Journal of *Material Synthesis and Processing*, Vol. 6. No.2,
15. Hong S.J. and Suryanarayana C., 2005. Mechanical Properties And Fracture Behavior of An Ultrafine-Grained Al-20 wt pct Si Alloy, , *Metallurgical and Materials Transactions A* 36A, 715
16. Zhang Q., Liu X., Dai H., 2009. *Re-formation of AlP Compound in Al-Si melt*, *Journal Of Alloys Abd Compounds* 480 376-381
17. Dwivedi D. K., Sharma A. and Rajan T.V., 2005, Influence Of Silicon *Morphology And Mechanical Properties Of Piston Alloys*, *Materials And Manufacturing Processes*, 20: 777-791
18. Rao A.G, B.R.K. Rao, V.P'de shmukh, A.K.Shah, B.P.Kashyap, 2009, Microstructural refinement of a cast hypereutectic *Al-30Si* alloy by friction stir processing, *Materials Letters* 63, 2628-2630
19. Chiang C.-H., Tsao Chi Y.A., 2006, Microstructures and mechanical properties of spray-formed and squeeze-cast Al-25Si-0.89Cu-1.0Ni-0.84Mg alloys in solutionized and aged conditions, *Material Science and Engineering A* 417, 90-98
20. Rajabi M. Simchi A., Vahidi M., Davami P., 2008. Effect of Particle Size on the Microstructure of Rapidly Solidified Al-20Si-5Fe-2X (X= Cu, Ni, Cr). Powder, *Journal of Alloys and Compounds* 466, 111-118
21. Chen C., Liu Z.X., Ren B., Wang M.X., Weng Y.G., Liu Z.-Y., 2007. Influences of complex modification of P and RE on microstructure and mechanical properties of hypereutectic *Al-20Si alloy Trans.* Nonferrous Met. Soc. Chine 17 301- 306
22. Srivastava V.C, Ghosal P., Ojha S.N., 2002. Microstructure and phase formation in spray-deposited Al-18%Si-5%Fe-1.5%Cu alloy, *Materials Letters* 56, 797-801
23. Yang B., Wang F., Zhang S.J., Xiong B.Q., Duan X.J., 2001. The Effect of Mn on the *Microstructure of Spray-deposited Al-20Si-5Fe-3Cu-1Mg Alloy*, *Scripta Materialia*, 45 (2001). 509-515

24. Campbell, J., “*Casting*”, Butterworth- Heinemann, Oxford, United Kingdom (2003).
25. Süzen, C. ve Duran A., “*Genel Dökümcülük Bilgisi Temel Ders Kitabı Cilt 1*”, MEB, Ankara 208-243 (1991)..
26. Yu K. O., “*Modeling for Casting and Solidification Processing*”, Marcel Dekker, New York. 1-54 (2002).
27. Stefanescu, D.M., “*Science and Engineering of Casting Solidification*”, Springer, New York, 1-3 and 75-125 (2009).
28. İnternet: Vesuvius, “Feseco”, http://www.foseco.com.tr/tr/downloads/brochures/SEDEX_tr_final.pdf (2015).
29. Liu, Q., Smith, L. W. and AHOO, M. S., “*Influence of filtreingi degassing and mish metal addition on hot tearing of c83609 cupper alloy*” AFS Tran., 756-770 (1993)..
30. Nikolai, M.F., “*Effect of metal filtration on ASTM test bars*” APS Transactions (96-145)., 1017-1029 (1996).
31. Eroğlu G., Şahiner M., *Dünyada ve Türkiye’de Alüminyum, alüminyum.pdf* (mta.gov.tr). (Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020).
32. Doğan E., 1050 ve 8006 *Alüminyum Alaşımlarının Deformasyon ve Yeniden Kristalleşme Davranışı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 172134.
33. Kalaoğlu M. E., Bir Ağır Ticari Araca Ait Ön Süspansiyon Braketinin *Alüminyum Döküm Yöntemine Uygun Olarak Yeniden Tasarlanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 467116.
34. <http://talsad.org.tr/aluminyum/aluminyum-ve-tarihce/>, (Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2020).
35. Rana R. S., Purohit R., Das S., *Reviews on The Influences Of Alloying Elements On The Microstructure And Mechanical Properties Of Aluminum Alloys And Aluminum Alloy Composites*, International Journal Of Scientific And Research Publications, 2012, 2(6), 1-7.

ÖZGEÇMİŞ

Muharrem İlbeyi İNCEDERE Akıncı Lisesin Sayısal Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği %100 İngilizce Eğitim Programı'nda öğrenime başlayıp 2018 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2018 yılında mezuniyet sonrasında Marmara Paslanmaz firmasında Dış Ticaret ve Paslanmaz Çekme Boru Satınalım süreçlerini yönetti. 2018-2021 yılları arasında Güvenal Kalıp Elemanları firmasında Yurtdışı Satış-Satınalma süreçlerinde görev aldı. 2021 Nisan ayından itibaren ise Kormetal A.Ş.'de teknik satınalma mühendisi olarak görev almaktadır. 550 kişilik bir ekibin tüm teknik satınalmalarını kendisi yürütmekte ve kaizen çalışmaları ile de firmaya destek olmaktadır.