

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ
SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI



KESİKLİ DÖKÜM PROSESLERİNDE ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN YENİ BİR
FİLTRELEME HAVUZUNUN TASARLANMASI

KERİM ALP KAYIKÇIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MURAT SARIKAYA

SİNOP - 2022

TEZ KABUL

KERİM ALP KAYIKÇIOĞLU tarafından hazırlanan “**Kesikli Döküm Proseslerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Yeni Bir Filtreleme Havuzunun Tasarlanması** ” başlıklı bu çalışma, 12.05.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Doç. Dr. Turgay KIVAK

Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Murat SARIKAYA

(Danışman)

Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yunus Onur YILDIZ

Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Erkal ARSLANOĞLU

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kerim Alp KAYIKÇIOĞLU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KESİKLİ DÖKÜM PROSESLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN YENİ BİR FİLTRELEME HAVUZUNUN TASARLANMASI

KERİM ALP KAYIKÇIOĞLU

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN:DOÇ. DR. MURAT SARIKAYA

Küresel çapta hızla ilerleyen teknoloji ve buna bağlı olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması karşısında fosil kaynaklı enerji türlerinin her geçen gün tükenmesi bilinen bir gerçektir. Diğer taraftan alternatif enerji kaynaklarının kullanımının henüz yeterli düzeyde olmaması son yıllarda enerji verimliliğinin önemini bir kez daha ispatlamıştır. Bu kapsamda üretim prosesinin her sürecinde enerjinin tüketiminde yapılan bir düzenleme ya da iyileştirme enerji verimliliğini arttırılması konusunda ilgili kurum/kuruluşlara olum yönde katkı sağlayacaktır. 20. Yüzyılın en gözde elementlerinden biri olan Alüminyum da bu enerji tüketiminde kendi üzerine düşen payı almıştır. Gerek rezerv eldesinden hammadde dönüşümüne gerekse hammaddeden yarı mamul ve nihai ürüne kadar alüminyumun işlenebilirliği sürecinde enerji tüketimi önemli boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle alüminyum proseslerinde enerji ve nihai ürüne yapılan her iyileştirme hem enerjinin verimliliğin arttırılması hem de çevre kirliliğinin azaltılması bakımından fayda sağlayacaktır. Bu kapsamda Alüminyum kesikli döküm proseslerinde geleneksel filtreleme havuzunun kullanılması durumunda ortaya çıkan problemlerin ortadan kaldırılması ve verimliliğin arttırılması için bu çalışmada yeni bir filtreleme havuzu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sonuç olarak tez kapsamında tasarlanan filtreleme havuzu metalürjik açıdan ve enerji tüketimi açısından incelenmiştir. Metalürjik açıdan incelendiğinde, filtreleme havuzundan geçen alaşımda akışkanlık, mekanik değerlerde artış ve bifilm index analizinde iyileşme elde edilmiştir. Enerji verimliliği bakımından filtreleme havuzu hedeflenen tüketimin altında kalarak başarı sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Üretim verimliliği; Enerji verimliliği; Kesikli döküm; Filtreleme; Alüminyum döküm.

Nisan 2022, 87 Sayfa

ABSTRACT

MSc THESIS

DESIGNING A NEW FILTERING POOL FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN DISCONTINUOUS CASTING PROCESSES

KERİM ALP KAYIKÇIOĞLU

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF INTERDISCIPLINARY NUCLEAR ENERGY AND
ENERGY SYSTEMS**

SUPERVISOR:ASSOC. PROF. MURAT SARIKAYA

It is a well-known fact that fossil-based energy types are being depleted day by day in the face of rapidly advancing technology on a global scale and the corresponding increasing energy demand. In this context, an arrangement or improvement in the consumption of energy in every process of the production process will contribute positively to the relevant institutions/organizations in increasing energy efficiency. Energy consumption reaches significant levels in the process of machinability of aluminum, from reserve acquisition to raw material conversion, and from raw materials to semi-finished and final products. For this reason, every improvement made to energy and its final product in aluminum processes will benefit both in terms of increasing energy efficiency and reducing environmental pollution. In this context, a new filtering pool was designed and manufactured in this study in order to eliminate the problems that arise in the case of using traditional filtering pools in aluminum batch casting processes and to increase efficiency. As a result, the filtration pool designed within the scope of the thesis was examined in terms of metallurgical and energy consumption. When examined from the metallurgical point of view, the fluidity, increase in mechanical values and improvement in the bifilm index analysis were obtained in the alloy passing through the filtering pool. In terms of energy efficiency, the filtration pool remained below the targeted consumption, and success was achieved.

KEYWORDS: Production efficiency; Energy efficiency; Non-continuous casting; Filtering; Aluminum casting.

May 2022, 87 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. MURAT SARIKAYA, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan Doç. Dr. Derya DİŞPINAR'a, bütün imkânlarını bana açan İTÜ CASTİNG ekibine, makinenin proje aşamasından yapılışına ve hayata geçiş dönemine kadar benle bilgisini ve tecrübesini paylaştan Encotherm firma sahipleri ve çalışanlarına, çalışma arkadaşlarım Ali GÜNGÖR ve Selim TEMEL'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürler ederim.



KERİM ALP KAYIKÇIOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM ÖNEMİ VE SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1. Alüminyum Genel Özellikleri	3
2.2. Alüminyumun Alaşımlanması ve Sınıflandırılması	5
2.2.1. Alüminyum Dövme Alaşımları	6
2.2.2. Alüminyum Dökme Alaşımları	7
2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri.....	8
2.3.1. Sürekli Alüminyum Döküm.....	8
2.3.2. Kesikli Döküm Yöntemleri.....	11
2.4. Alüminyum Döküm Yöntemlerinde Sıvı Metal Kalitesinin Önemi.....	16
2.4.1. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Gaz Alma Prosesi.....	19
2.4.2. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Flakslama Prosesi.....	23
2.4.3. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Filtreleme Prosesi.....	24
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	32
4. KESİKLİ FİLTRELEME PROSESİNE UYGUN FİLTRELEME HAVUZUNUN TASARLANMASI VE İMALAT PROSESİ.....	35
4.1. Filtreleme Havuzunun Modellemesi ve Geliştirilmesi	39

4.1.1. Filtreleme havuzunun gövdesi	41
4.1.2. Boşaltma Ağızı.....	41
4.1.3. Doldurma Hunisi.....	42
4.1.4. Isıtıcı Elemanlar	42
4.1.5. Termocouple Kılıfı	42
4.1.6. Dozaj Tüpü	42
4.1.7. Seramik Filtre	43
4.1.8. Hidrolik Platform	44
4.2. Filtreleme Havuzunun Basınç Kontrol Mekanizmasının Geliştirilmesi.....	46
4.3. Filtreleme Havuzunun Filtre Konum Ve Tipinin Belirlenmesi	48
4.4. Filtreleme Havuzunun Isıtıcı Tipinin Belirlenmesi	58
4.5. Makine Montaj Ve Sistem Devreye Alma.....	59
4.5.1. Sistemin optimizasyonu.....	63
4.5.2. Sistem Test Uygulaması	63
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	66
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	72
6.1. Porozite Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	72
6.2. Akışkanlık Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	73
6.3. Çekme Testi Sonuçları Ve Değerlendirilmesi	74
6.4. Filtreleme Havuzu Termal Gözlemlene.....	76
6.5. Enerji Sarfıyatı ve Enerji Verimliliği Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKÇA	84
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Alüminyum Genel Özellikleri	3
Tablo 2.2 Alüminyum dövme alaşımları tablosu	6
Tablo 2.3 Alüminyum döküm alaşımları	8
Tablo 2.4. Bifilm değerine göre metal kalite korelasyon tablosu	22
Tablo 2.5 Köpük filtrelerin kullanım alanları ve özellikleri	25
Tablo 3.1 1xxx Alüminyum Alaşımları için K değerleri	26
Tablo 4.1 Filtreleme havuzunda kullanılan refrakter içeriği.....	41
Tablo 4.2 Farklı filtre çeşitlerinin değişken basınç altında filtreleme miktarına karşılık gelen dolum ağırlığı kıyaslama tablosu	57
Tablo 5.1 Kimyasal içerik kriterleri	68
Tablo 5.2 Alaşımın spektral analiz sonuçları	68
Tablo 6.1 Üç aşamalı bifilm numune analizi sonuçları.....	72
Tablo 6.2 Filtreli ve filtresiz alaşımın akışkanlık testi sonuçları	74
Tablo 6.3 Filtreli ve Filtresiz Çekme Mukavemeti Değerlerinin Kıyaslanması	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Boksit cevheri görseli	1
Şekil 2.1 Dünya birincil alüminyum oranları	4
Şekil 2.2 Yıllara göre dünyadaki alüminyum üretimindeki artış	5
Şekil 2.3 Direk soğutma ile sürekli döküm yöntemi şematik gösterimi	9
Şekil 2.4 Bant döküm teknolojisi	10
Şekil 2.5 İkiz merdane üretim hattının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.6 Kum kalıba döküm şematik gösterimi	11
Şekil 2.7 Basınçlı döküm yöntemlerinden olan sıcak kamaralı döküm yönteminin şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.8 Basınçlı döküm yöntemlerinden olan soğuk kamaralı döküm yönteminin şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.9 Basınçlı döküm yöntemlerinden olan alçak döküm yönteminin şematik gösterimi	13
Şekil 2.10 Hassas döküm aşamaları şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.11 Dereceli hassas döküm adımları şematik gösterimi	15
Şekil 2.12 Kokil Kalıba Döküm Yönteminin Üç Boyutlu Gösterimi.....	16
Şekil 2.13 Ergimiş alüminyumun su ile olan ilişkisinin şematik gösterimi	17
Şekil 2.14 Alüminyumda sıcaklığa bağlı hidrojen çözünürlüğü	18
Şekil 2.15 Alüminyum Alaşımlarındaki Safsızlıkların Sınıflandırılması.....	19
Şekil 2.16 Rotor şaft ile gaz alma prosesi çalışma prensibi şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.17 İnert Gazların İle Oksit Arasındaki İlişkinin Gösterimi.....	21
Şekil 2.18 Bifilm indeks analizi numune görseli.....	22
Şekil 2.19 Ergimiş alüminyuma rotor şaft ile flakslama işleminin gösterimi	23
Şekil 2.20 Örgü filtre ile dökülmüş bir piston görseli.	24
Şekil 2.21 Eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında mükemmel ıslatma görseli	27
Şekil 2.22 Eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında kısmi ıslatma görseli	28
Şekil 2.23 İkinci bir sıvı faz olmadan eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında kısmi ıslatma görseli	29
Şekil 2.24 Fiziksel Eleme Şematik Gösterimi A) Fiziksel Eleme B) Kek Oluşumu.....	30
Şekil 2.25 Derin yatak filtrasyonu a) çatlak ve çukurda tutunma b) aralıklarda sıkışma c) yüzeyde kimyasal tutunma.	31
Şekil 3.1 Farklı partikül boyutları için temizleme verimliliği.	33

Şekil 3.2 Partikül boyutu skalasına göre kaplama çeşitlerinin verim kıyası.	33
Şekil 3.3 Piston Alaşımlarının Çekme Mukavemeti ; a) Isıl İşlem öncesi, b) Isıl İşlem Sonrası	34
Şekil 4.1 Sürekli dökümde kullanılan filtreleme kutusu görseli	35
Şekil 4.2 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusu	36
Şekil 4.3 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun teknik çizimi	37
Şekil 4.4 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun kesit görünüşü	37
Şekil 4.5 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun çalışma prensibi	38
Şekil 4.6 Filtreleme havuzunun iç tasarımının katı model görüntüsü	39
Şekil 4.7 Filtreleme havuzunun iç tasarımının izometrik katı model görüntüsü	40
Şekil 4.8 Filtreleme havuzunun ana bileşenlerinin tanımlanması	40
Şekil 4.9 Dozaj tüpünün katı model görüntüsü	43
Şekil 4.10 Değiştirilmiş ve filtre takılmış dozaj tüpü görüntüsü	44
Şekil 4.11 Hidrolik Platform şematik gösterimi	45
Şekil 4.12 Filtreleme havuzu boşaltma konumu teknik görseli.....	45
Şekil 4.13 Basınç test optimizasyonu deneme çalışmalarından bir görsel	47
Şekil 4.14 Sistem çevrim algoritması	47
Şekil 4.15 Scada sistemi aktif kontrol dozajlama çevrim süreleri.....	48
Şekil 4.16 Yataklanmış filtresi ile filtreleme havuzunun görüntüsü	49
Şekil 4.17 Dozaj tüpü içine yataklanmış filtre görüntüsü	49
Şekil 4.18 Farklı tip ve ölçüde seramik köpük filtre görseli	50
Şekil 4.19 Bpf tip filtre görüntüsü.	51
Şekil 4.20 100 mbar- 10 ppi- Sıcaklık-hız simülasyonu	52
Şekil 4.21 200 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu	52
Şekil 4.22 300 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu	53
Şekil 4.23 400 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu	53
Şekil 4.24 200 mbar- 20 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu	54
Şekil 4.25 300 mbar- 20 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu	54
Şekil 4.26 400 mbar - 20 ppi sıcaklık-hız simülasyonu	55
Şekil 4.27 200 mbar- 30 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu	55
Şekil 4.28 300 mbar- 30 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu	56

Şekil 4.29 400 mbar- 30 ppi- Sıcaklık-hız simülasyonu	56
Şekil 4.30 Kesikli dökümhaneler için tasarlanan filtreleme havuzunda kullanılan tüp rezistans görüntüsü	58
Şekil 4.31 Filtreleme havuzu SiC rezistans terminal yuvalarının kapak görüntüsü	59
Şekil 4.32 Filtreleme havuzu mekanik montajından görseller.	60
Şekil 4.33 Filtreleme havuzu elektrik ve PLC kontrol ünitesi görseli.....	61
Şekil 4.34 Makine konumu görseli.....	62
Şekil 4.35 Sinterleme programının PLC monitördeki görseli	63
Şekil 4.36 Filtreleme havuzuna ilk yükleme görüntüsü	64
Şekil 4.37 Filtreleme işlemi sırasında bir görsel	64
Şekil 4.38 Boşaltma sırasında çekilen görsel	65
Şekil 5.1 8 kollu akışkanlık testi kalıbı.....	66
Şekil 5.2 Kokil kalıp ve çekme çubuğunun teknik detayları ve kullanılan kokil kalıbın görüntüsü	67
Şekil 5.3 Flir E80 model termal kameranın görseli.....	67
Şekil 5.4 Vakum altında katılaşma testi cihazı, HYDRALVAC 1000.....	69
Şekil 5.5 Çekme çubukları ve çekme cihazı.....	70
Şekil 5.6 Vakum altında katılaşma numuneleri a) Ergitilmiş hazır alaşımdan alınan numune, b) Gaz giderme sonrası alınan numune, c) Filtreleme sonrası hazır alaşımdan alınan numune.....	70
Şekil 5.7 Hioki PW 3198 Güç kalitesi analiz cihazı.....	71
Şekil 6.1 Aday alaşım 2'nin a) filtreli ve b) filtresiz akış testi sonucu.....	73
Şekil 6.2 Çekme Cihazdan Alınan Ayrıntılı Sonuçlar (1- Filtresiz 2- Filtreli)	75
Şekil 6.3 Çekme Cihazdan Alınan Ayrıntılı Sonuçlar.....	75
Şekil 6.4 Fırının aktif çalışma sırasında anlık ekran görüntüsü	76
Şekil 6.5 Filtreleme havuzunun yan profilden termal olarak görünümü.....	77
Şekil 6.6 Filtreleme havuzunun ön profilden termal görüntüsü	77
Şekil 6.7 Filtreleme havuzunun enerji tüketim analizi	78
Şekil 6.8 Harmonik Eğim Grafiği.....	79
Şekil 6.9 Toplam Enerji ve Reaktif Güç Grafiği	80
Şekil 6.10 Voltaj Akım Grafiği	81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SEMBOLLER	AÇIKLAMA
H	Hidrojen
°C	Santigrat
MPa	Mega Pascal
Σ	Toplam
Al	Alüminyum
Hz	Hertz
Kg	Kilogram
KW	Kilowatt
Mm	Milimetre
m	Metre
m²	Metre kare
Mbar	Milibar
P	Basınç
Rpm	Dönme hızı
Ppi	Gözenek yoğunluğu
T.A.	Termal analiz
atm	Atmosfer
cm³	Santimetre küp
Ymk	Yüzey merkezli kübik
Cu	Bakır
Sn	Kalay
Mg	Magnezyum
Si	Silisyum
Zn	Çinko

SEMBOLLER	AÇIKLAMA
O	Oksijen
BI	Bifilm indeks
Dk	dakika
Fe	Demir
Plc	Programlanabilir mantıksal denetleyici
SiC	Silisyum karbür
St	Çelik
G	Gram
Maks	Maksimum
Min	Minimum
kVAR	Reaktif Güç
kWh	Kilowatt Saat
CFF	Seramik Köpük Filtre
s	Saniye
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
PID	Oransal-integral-türevsel denetleyici kontrol döngüsü Yöntemi

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, günlük hayatımızda oldukça önemli bir yer edinmiş ve artan teknoloji ile birlikte vazgeçilmez bir malzeme konumuna gelmiştir. Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan ikinci elementtir. Yer kabuğunda %8 oranında bileşik halde bulunan elde edilmesi güç bir metaldir. Alüminyum 19 yy.'in sonlarında gelişen teknolojiyle birlikte işlenebilir metal arzına cevap vermeye başlamıştır. Bu sayede dünya üzerinde kullanılan en sık ikinci metal haline gelmiştir.

Yer kabuğunda birkaç çeşit alüminyum cevheri olmasına rağmen en yaygın olanı doğada %50-60, Al_2O_3 içeren ve boksit adı verilen cevherdir. Şekil 1.1'de boksit cevheri görseli mevcuttur. Alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafif olmaları, ısıyı ve elektriği iyi iletmeleri bunun yanı sıra korozyon dayanımının iyi olması gibi birçok önemli özelliklerinin bir arada olması nedeniyle çok tercih edilmektedir. Bu nedenden ötürü otomotiv, uçak, gemi endüstrisi, kimya endüstrisi, makine endüstrisi ve mimari alan gibi birçok ileri düzey imalat ve proseslerde, son ve ara mamul olmak üzere kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Boksit cevheri görseli (Anonim, 2021)

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarından ürün elde etmek için; ekstrüzyon haddeleme ve döküm yöntemleri ile çeşitli yarı mamul ve ürünler elde edilmektedir. Döküm yöntemlerine baktığımızda, kokil döküm, basınçlı döküm, alçak basınçlı döküm, hassas döküm gibi başlıca döküm yöntemleri vardır. İmalat sürecinde, üretilebilirlik durumu ve geometrik şekline göre mamule uygun döküm yöntemi seçilir. Yöntemler farklı olsa da sonuç itibari ile nihai ürünün istenilen niteliklere sahip olması için sıvı metal kalitesi, yolluk sistemlerinin tasarlanması ve katılaşma şartları ile doğrudan ilgilidir (Campell, 2003). Artan verimlilik gereksinimleri bu sektörde de kendisini göstermiş olup Alüminyum alaşım temelli nihai ürünlerin kalitesi bazı şartlara bağlanarak düzenlenmiştir. Bu kapsamda alüminyum esaslı alaşımlarda başlıca sorun olan hidrojen (H) kaynaklı gaz muhteviyatı, empürite, oksit ve metalürjik spineller gibi mekanik özellikleri ve dökülebilirliği negatif yönde etkilemesi sebebiyle sınırlandırılmış hatta çok düşük seviyelere indirgenmiştir. Nihai üründe istenmeyen bu oksit ve kalıntıları iki türden incelemek mümkündür. Bunlar iç ve dış kalıntı kaynaklı oksidasyonlardır. İç kalıntılar alaşımda bulunan aktif elementlerin oksijene karşı ilgi göstererek reaksiyona girmesi ve oksit oluşturması olarak tanımlanabilir (Mi, Harding, Campbell, 2004). Dış kalıntı ise, potadan ya da refrakter parçalarından gelen istenmeyen partiküller olarak tanımlanabilir (Mi, Harding, Campbell, 2004). Bu oksidasyon ve düzensizliklerin sıvı metal alaşımından tamamen uzaklaştırmak imkânsızdır ancak minimum seviyeye getirmek metalürjik açıdan mümkündür (Mi, Campbell, 2004).

Bu kapsamda, mevcut tezdeki başlıca amaç; kesikli dökümhanelerde kullanılan standart alüminyum filtreleme havuzu sisteminde karşılaşılan tıkanma, akışkanlık problemleri, refrakter bozunumu ve rezistans sorunlarının ortadan kaldırılarak yerine kesikli döküme izin veren yeni bir filtreleme havuzunun tasarlanması ve imal edilmesidir.

2. ALÜMİNYUM ÖNEMİ VE SINIFLANDIRILMASI

2.1. Alüminyum Genel Özellikleri

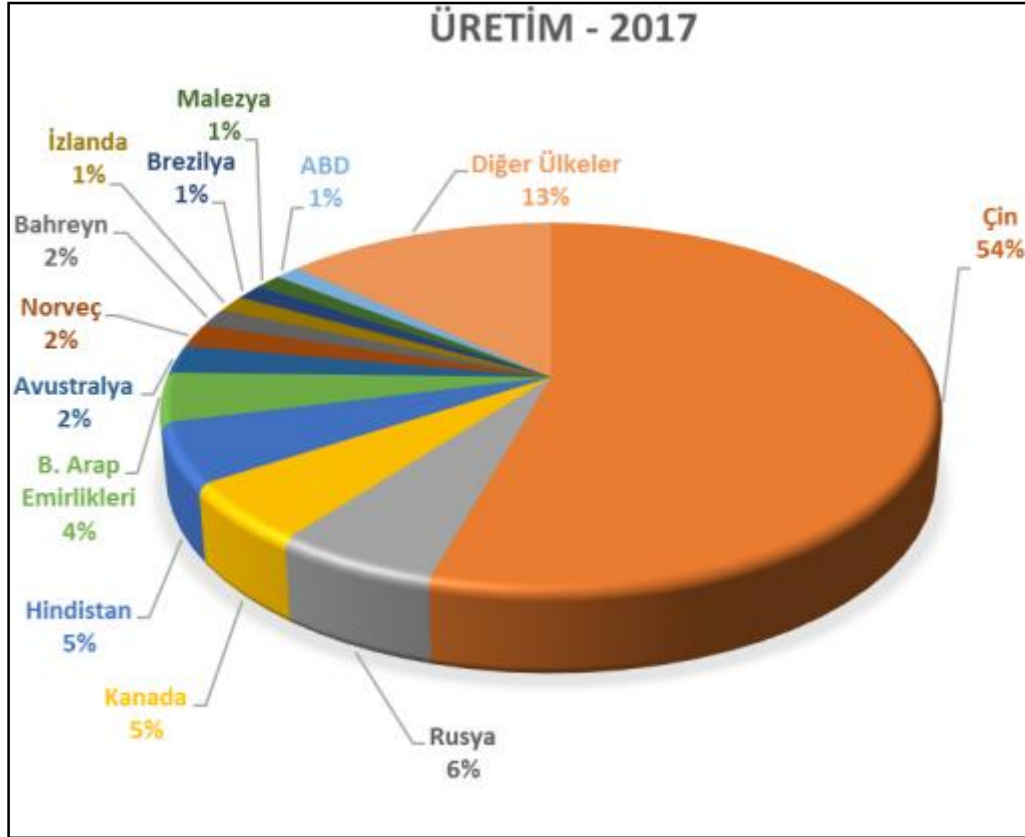
Alüminyum yeryüzünde en çok muhteviyat gösteren üçüncü element olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak doğada bulunuş şekli saf halde değildir. Doğada bilinen en yaygın şekli boksit cevheri halinde olmaktadır. Diasporit, alümin, demir ve manganez hidroksitleri ve hidrarjirit gibi minerallerin karışımından oluşur (Anonim, 2020). Rengi demir oksit nedeniyle kırmızı renktedir ve sıkışmış kil görünümüne sahiptir. Alüminyum saf halde elde etmek ilk keşif yıllarında oldukça zor denemelerden geçmiş olup oksit halinden ilk eldesi 1807 yılında Sir Humprey Davy tarafından elde edilmiştir (Mazzolani, 1994). İlerleyen yıllarda endüstriyel oranda alüminyum üretimi için kullanılan yöntem Bayer Prosesi olarak adlandırılır. 1886 yılında elektrolizle ayrıştırılması başarılmış olup yöntemin başlıca etkeni kriyolit alümina üzerindeki çözücü etkisi ile karbon elektrotların sayesinde elektroliz edilmiştir.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılması sadece bir asırlık bir geçmişe sahip olmasına rağmen metal üreticileri arasında demir-çelik sanayisinden sonra kendine yer bularak ikinci sırada karşımıza çıkmaktadır (Mahi, 1990). Alüminyum özellikleri bakımından çok çeşitli alanlarda kendine yer etmiştir. Özellikle uzay, havacılık ve otomotiv sektöründeki ihtiyaca olumlu yönde karşılık vermesi alüminyum talep edilen bir malzeme haline getirmiştir. Diğer metallere göre hafif, ısı ve elektrik iletiminin iyi olması ve korozyon dayanımının yüksek olması alüminyumun yüksek oranda talep görmesinin başlıca nedenleri arasındadır. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi alüminyumun genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Alüminyum Genel Özellikleri (Ediz, 2011)

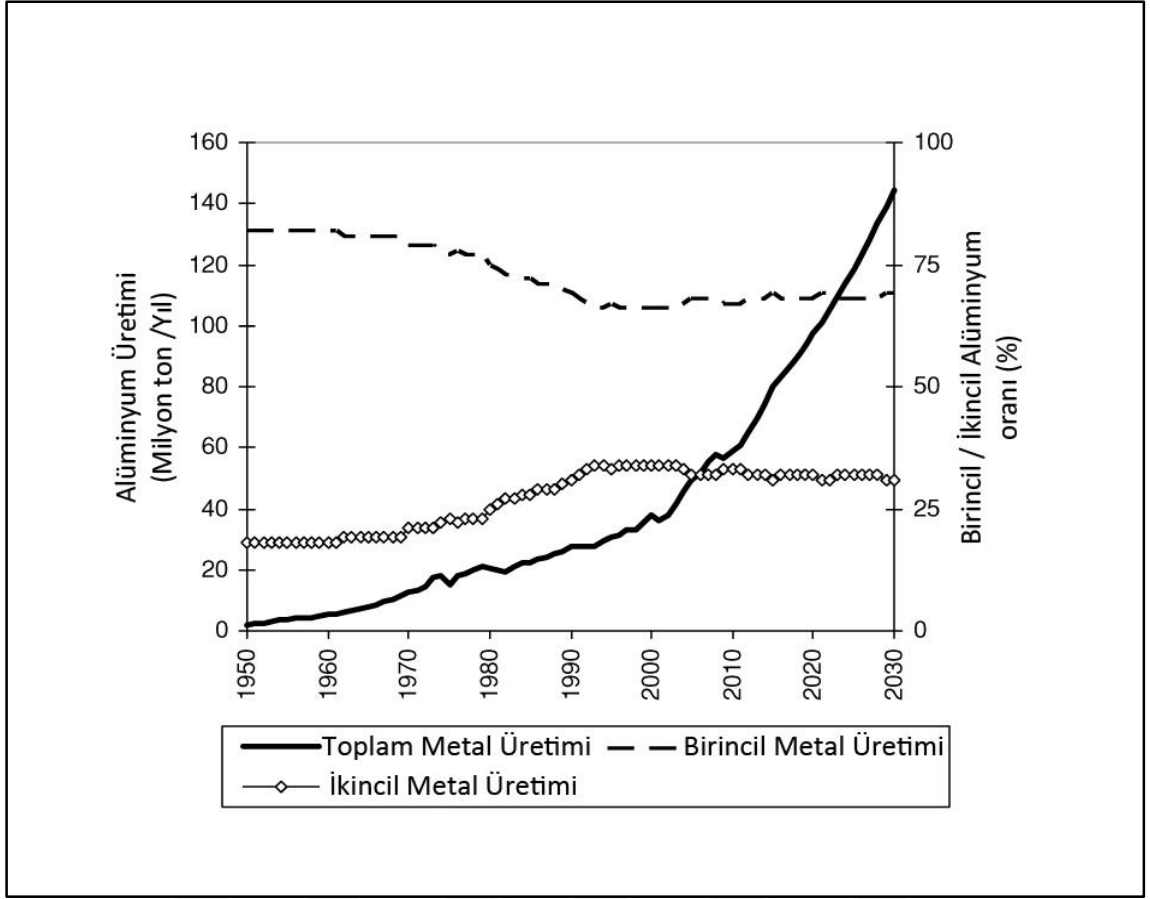
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kubik (YMK)
Özkütle	2,7 gr/ cm ³
Çekme Dayanımı	39-85 Mpa
Akma Dayanımı	10-30 Mpa
Elastik Modülü	7,06x10 ⁶ Mpa

Kopma Uzaması	%30-40
Ergime Sıcaklığı	660 °C



Şekil 2.1 Dünya birincil alüminyum oranları (Eroğlu, 2018)

Alüminyumun küresel çapta kullanım alanları olarak ulaşım, inşaat, tüketim malları, elektrik sektörü, makine imalat sektörü ve ambalaj sektörü gibi pek çok alan sıralanabilir (Asm Handbook Committee, 2002). Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere dünya birincil alüminyum (cevherden üretilen) üretim oranları görülmektedir. Bu oranlar her geçen yıl kullanım önceliğine göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2.2 Yıllara göre dünyadaki alüminyum üretimindeki artış (Bertram, 2009)

Yukarıda şekil 2.2’de görüldüğü üzere alüminyumun endüstriyel alanda ne derece önem kazandığı üretimindeki artıştan da anlaşılmaktadır.

2.2. Alüminyumun Alaşımlanması ve Sınıflandırılması

Alüminyum kullanım alanlarına göre çok çeşitli alanlarda yer alması onu mekanik ve şekil itibariyle birçok yönden değişime uğramaya yönlendirmiştir. Bu yönlendirme ile birlikte alüminyum saf halinden çeşitli ısıtım işlem ve alaşımlama elementleri ile birlikte mekanik özellikleri, şekil alma özellikleri ve dökülebilmede dahil olmak üzere çeşitli özellikleri değiştirmek için bir çok farklı yöntem oluşturmuştur. Bu hızlı çeşitlilik alüminyuma standartlar ve sınıflandırmalar getirmeyi zorunlu kılmıştır. Bunun sonucunda alüminyum alaşımları dövme alüminyum alaşımları ve dökme alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Bu iki ana grup içinde alüminyum alaşımlarının, ısıtım işlem uygulaması yapılabilen ve ısıtım işlem uygulaması yapılamayan alaşımlar şeklinde iki alt grupta daha ayrılmaktadır (Başer, 2012).

2.2.1. Alüminyum Dövme Alaşımları

Amerikan standartlar birliği tarafından belirlenen simgeleme ile dört rakamdan oluşan bir sıralama mevcuttur. Bu sıralama 1xxx saf alüminyum ile başlayıp 9xxx kullanılmayan dizi olarak biter. Alüminyum işlem alaşımları Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Alüminyum dövme alaşımları tablosu

Simgesel Gösterim	Alaşım Elementi	Kullanım alanları
1xxx	Saf Alüminyum	Elektrik, Kimya
2xxx	Bakır	Havacılık
3xxx	Mangan	Mimari
4xxx	Silisyum	Kaynak, Metalürji
5xxx	Magnezyum	Denizcilik
6xxx	Silisyum-Magnezyum	Otomotiv
7xxx	Çinko	Havacılık
8xxx	Diğer Elementler	-----
9xxx	Kullanılmayan Seri	-----

1xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Yüksek sünekliğe ve şekillendirilebilme özelliğine sahip olan bu alaşım kolay işlenebilme özelliğine de sahip olması nedeniyle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır (Cengiz, 2018).

2xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Bakır temelli olan bu alaşım çeşidi, yüksek akma dayanımına sahip olması nedeniyle havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Cengiz, 2018).

3xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Ana alaşımı mangan olan bu alaşım, mimari gibi çeşitli endüstrilerde görmek mümkündür. Bu alaşımlar korozyona karşı yüksek direnç sergilerler (Cengiz, 2018).

4xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Silisyumun alaşıma ilavesi ile elde edilir. Kaynak ve lehimle sektöründe kullanılmaktadır (Cengiz, 2018).

5xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Alüminyumun Magnezyum esaslı bu alaşımı denizcilik sektöründe kullanılmaktadır (Cengiz, 2018).

6xxx Serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Alüminyumun silisyum ve magnezyum ile alaşımlanmasından oluşan bu serinin korozyon direnci ve mukavemeti yüksektir. Otomotiv sektörü ve mimari alanda kullanımı yaygındır (Kaufman, 2000).

7xxx serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Başta havacılık sektörü olmak üzere dayanım/ağırlık oranının yüksek olması istenen sektörlerde kullanımı yaygın olan bu alaşım, çinko ile oransal olarak alaşımlanmıştır. Tüm seriler arasında mukavemet bakımından en güçlü seri bu seridir (Cengiz, 2018).

8xxx serisi Alüminyum Dövme Alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olan bu seri demir ve silisyum gibi elementler ihtiva etmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılan bu alaşımın yorulma direnci ve tokluğu diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla oldukça iyi düzeydedir (Kaufman, 2000).

2.2.2. Alüminyum Dökme Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları dövme alaşımlar gibi serilere ayrılmıştır. Demire oranla döküm sıcaklığı çok daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Alüminyum döküm alaşımlarının hidrojen dışındaki gazlara ilgisi düşüktür. Bu yöntem ile son mamulde yüksek yüzey kalitesi ve dövme ile elde edilemeyecek kadar hassas parçalar üretmek mümkündür. Tablo 2.3’de alüminyum döküm alaşımları sınıflandırılması gösterilmiştir. Ayrıca mekanik özellikleri ve sertlik değerinin ayarlanması ısıtma işlem yöntemleri ile mümkündür. Alüminyum dökümünde başlıca sorunlar ergimiş metaldeki çözünmüş hidrojen miktarı ve katılaşma sırasında göstermiş olduğu çekinti davranışdır (Kılıç, 2020). Bu başlıca sorunlar gaz alma prosesi ile giderilebilir. Takviye olarak temizleme tozu kullanılabilir. Gaz giderme işleminde ise soy gazlardan azot (N) veya argon gazı (Ar) kullanılmaktadır. İyi havalandırma ve ortam izolasyonunun iyi yapılması koşulu ile klor (CL) kullanımı da mümkündür. Bütün bu yöntemler, alüminyum içindeki hidrojen ve oksitlerin uzaklaştırmada en eski bilinen ve hala kullanılan etkili yöntemlerdir. Bunların dışında alternatif olarak ultrasonik gaz giderme yöntemi de son dönemlerde popüler olmaya başlamıştır. Diğer başlıca sorun olan metalin sıvı fazdan katı faza

geçerken yaşadığı hacim kaybı olan çekinti sorunu kalıp tasarımında kendini göstermiştir. Çekinti oluşumu, alüminyum dökümde sık karşılaşılan bir sorun olduğu için kalıpların belirlenen bölgelerine besleyici olarak tabir edilen bölüm ile çekinti besleyici içerisinde tutularak esas parçadaki çekintinin önüne geçilmiş olur. Daha sonra o bölge kesilerek alınır ve böylece esas parça bütünlüğünü korumuş olur.

Tablo 2.3 Alüminyum döküm alaşımları

Seri Numarası	Alaşım Elementleri
1xxx	Saf Alüminyum (Al)
2xxx	Bakır (Cu)
3xxx	Silisyum (Si)-Bakır (Cu)-Mangan (Mn)
4xxx	Silisyum (Si)
5xxx	Magnezyum (Mg)
6xxx	Kullanım dışı
7xxx	Çinko (Zn)
8xxx	Kalay (Sn)
9xxx	Diğer

2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri

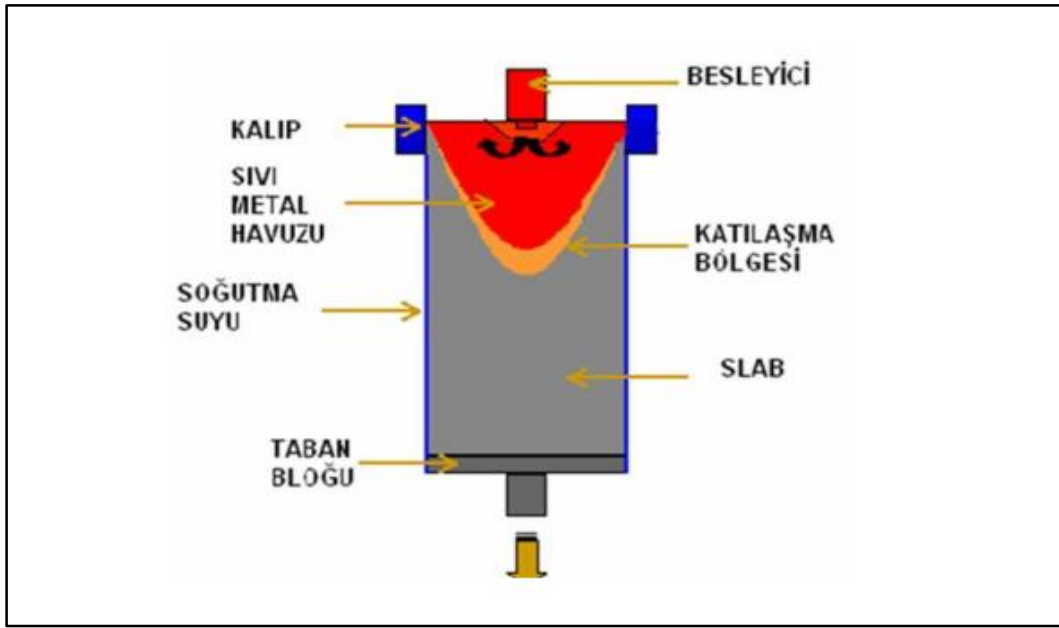
Alüminyum alaşımlarını döküm yöntemleri bakımından iki ana başlık adı altında toplayabiliriz. Bunlar, sürekli alüminyum döküm yöntemleri ve kesikli alüminyum döküm yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar altında da birçok döküm yöntemi vardır.

2.3.1. Sürekli Alüminyum Döküm

Yassı alüminyum üretiminde kullanılan başlıca sürekli döküm yöntemleri, direk soğutma, bant döküm ve merdane döküm olarak sınıflandırılabilir.

2.3.1.1. Direk Soğutma Döküm Yöntemleri

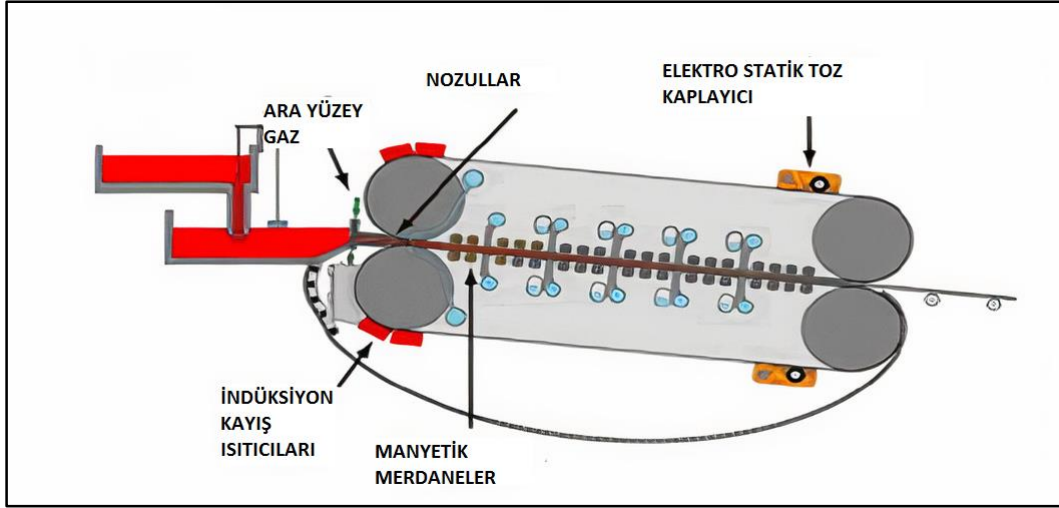
Bu sürekli döküm yönteminde eriyik metal kalıplara doldurulup su ile doğrudan soğutma yapılarak katılaşması sağlanır ve böylece nihai ürün elde edilmiş olur. Proses adımlarını sırasıyla ergitme fırını, transfer potası, tutma fırını, döküm makinası, slab bıçağı, frezeleme, ısıtma homojenizasyon fırını ve sıcak hadde olarak sıralayabiliriz (Özer, 2012). Bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.3’ verilmiştir.



Şekil 2.3 Direk soğutma ile sürekli döküm yöntemi şematik gösterimi (Özer, 2012)

2.3.1.2. Bant Döküm Tekniği

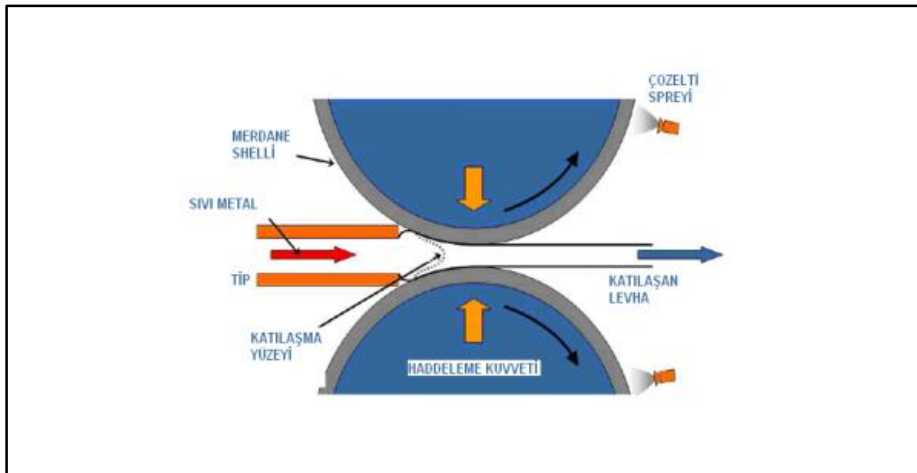
Bu yöntemde, ergitilmiş sıvı alüminyum ana ergitme ya da tutma fırınlarından yüksek ısılatmaz özellikli yoluklar ile taşınarak ikiz merdane arasına kontrollü bir şekilde aktarılır. Kalıptan geçen alüminyum alaşım su ile soğutularak katılaştırılır ve merdane arasından geçerek nihai son hali olan yassı levha haline gelir. Şekil 2.4’ deki görselde yöntemin şematik gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.4 Bant döküm teknolojisi (Özer, 2012)

2.3.1.3. İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği

Bu sürekli döküm tekniğinde ana ergitme bölümünde ergitilmiş olan alüminyum alaşımı, direk veya tutma fırını ara kademesinden sonra ısıtmaz özellikli alüminalı yolluklar ile merdane baş kısmına kadar getirilir. Bu bölümde baş kutusu adı verilen seramik hazneye gelen sıvı alüminyum, sürekli su ile soğutulan ve birbirine zıt yönde dönen ikiz merdaneden geçerken soğuyarak katılaşır ve ikiz merdanenin istediği şekli alır. Şekil 2.5’ deki görselde yöntemin şematik gösterimi mevcuttur.



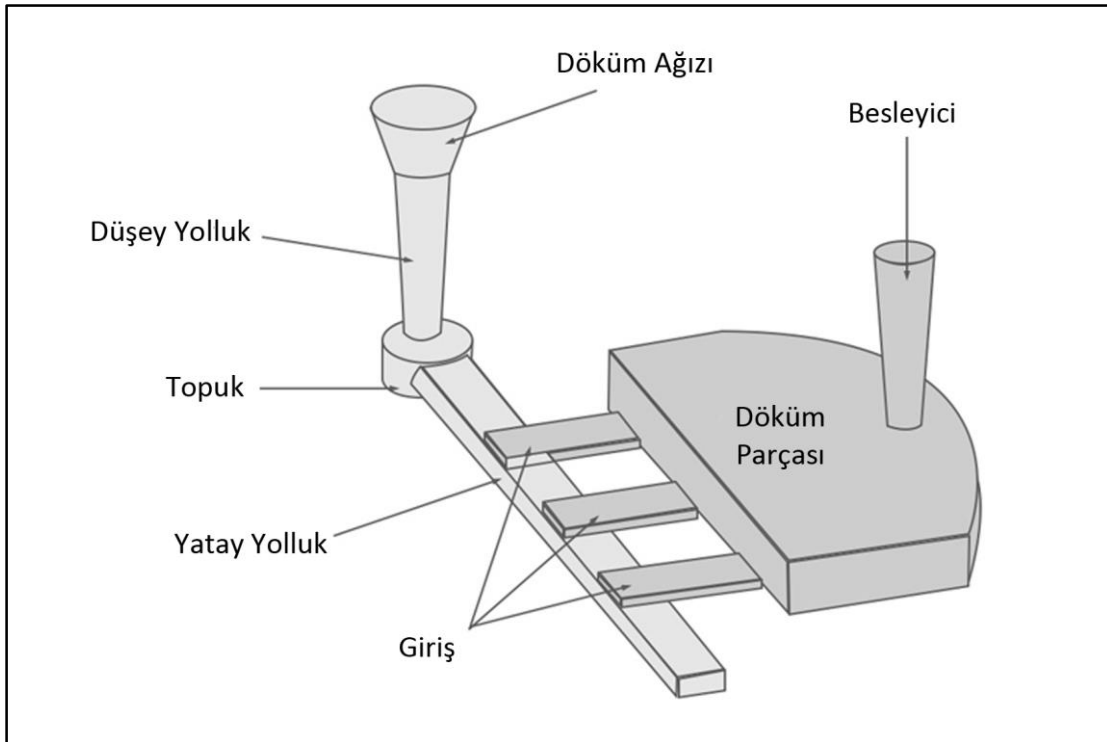
Şekil 2.5 İkiz merdane üretim hattının şematik gösterimi (Özer, 2012)

2.3.2. Kesikli Döküm Yöntemleri

Demir döküm yöntemlerinde olduğu gibi demir dışı metallerin döküm yöntemlerinde de adet temelli sürekli olmayan döküm türleri mevcuttur. Alüminyum da bu alanda kendine oldukça geniş bir yer bulmuştur. Endüstrinin ihtiyacı doğrultusunda alüminyum da kesikli adet esaslı yöntemler konusunda başlıca döküm yöntemlerini sıralamak gerekirse; kum kalıba döküm, basınçlı döküm, hassas döküm ve kokil kalıba döküm olarak dört ana başlık altında incelenebilir.

2.3.2.1. Kum Kalıba Döküm Yöntemi

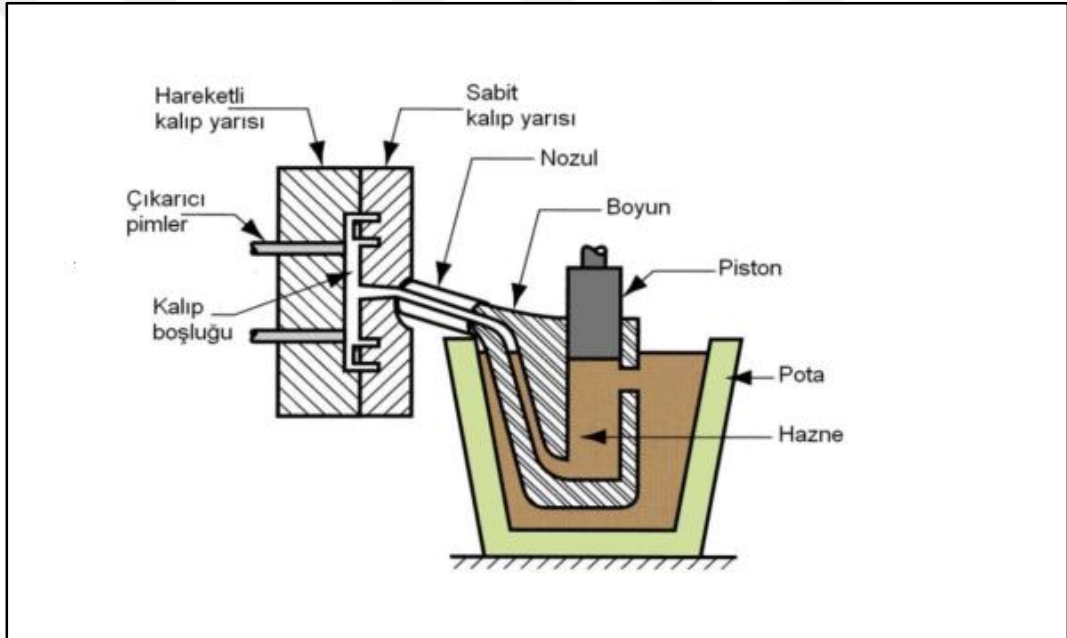
Bu yöntem döküm tarihinin bilinen en eski yöntemlerindendir. Temel olarak dökülmek istenen ana parça yolluk ve besleyicileri ile birlikte kum kalıp içinde maçalar ve modeller yardımı ile şekil verilir. Verilen şekil sonucunda kum kalıp modellenmiş bir şekilde kapatılır. Döküme hazır olan kum kalıbı ergimiş metal transferi ile dökülür. Bir süre soğuması beklenir ardından kum kalıp kırılır. Besleyici ve yolluk kesilir ve nihai ürün elde edilir. Adet olarak düşünüldüğünde her bir adet için yeni bir kalıp gerekmektedir. Kalıplama işçiliği oldukça fazladır. Ancak günümüzde hala aktif bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.6’ deki görselde şematik gösterimi mevcuttur.



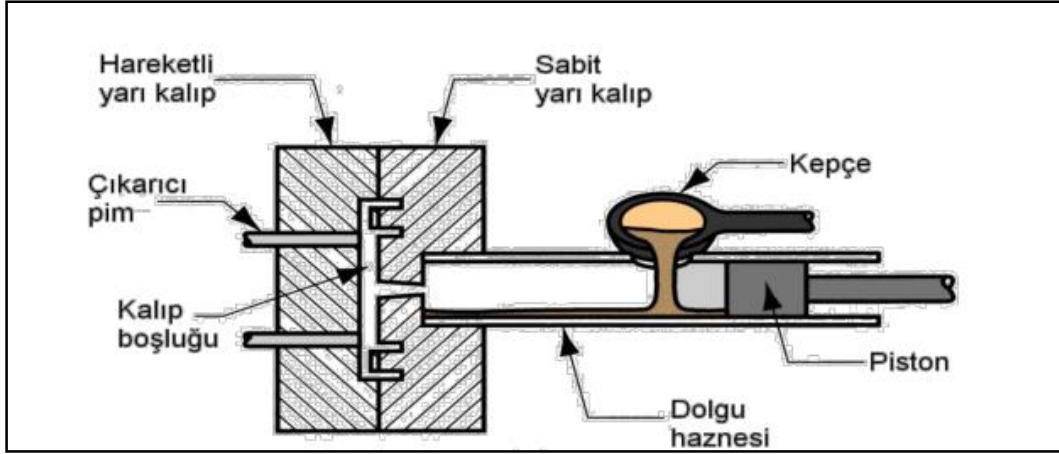
Şekil 2.6 Kum kalıba döküm şematik gösterimi (Akar, 2018)

2.3.2.2. Basıncı Döküm Yöntemi

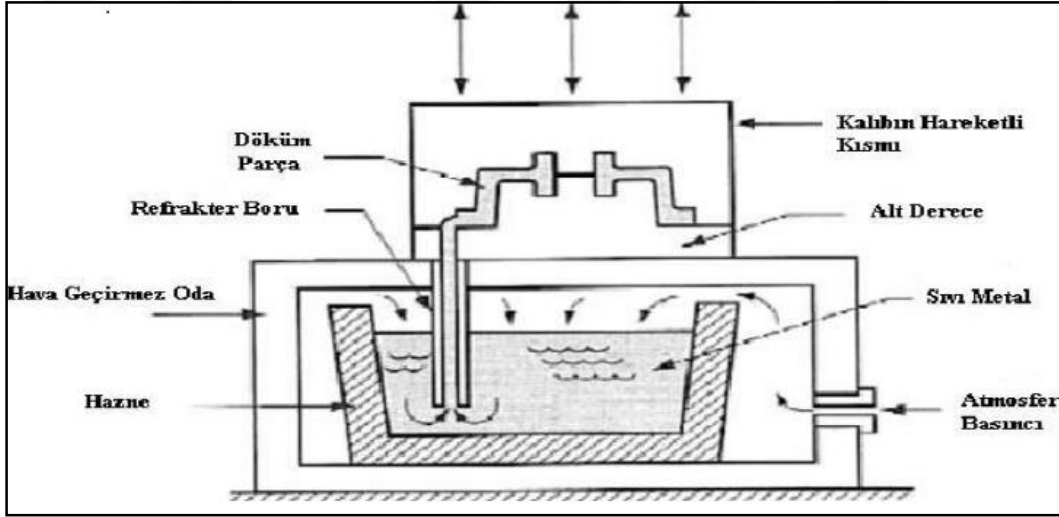
Basıncı döküm yöntemleri, karmaşık şekilli, boyut toleransları dar ve çok sayıda üretilecek parçalar için tercih edilmektedir. Elde edilen nihai üründe yüzey kalitesi kum kalıba oranla çok yüksektir. Temel olarak prosesten bahsetmek gerekirse, ergimiş metal üzerine uygulanan basınç ile birlikte metalin kalıba doğru dolması ve istenilen şekli alması ile elde edilen yöntemdir. Soğuma hızı ve üretim döngüsü çok hızlıdır. Kokil kalıba oranla çok daha fazla adetli nihai ürün istendiğinde tercih edilen bir yöntemdir. Ürünün dökülebilirlik ve kalıp şekli bu döküm yöntemine uygunsa tercih edilir. Alçak basınç ve yüksek basınç olarak iki temel döküm yöntemi vardır. Şekil 2.7, şekil 2.8 ve şekil 2.9'daki görsellerde yöntemin farklı uygulama biçimleri görülebilir.



Şekil 2.7 Basıncı döküm yöntemlerinden olan sıcak kamaralı döküm yönteminin şematik gösterimi (Gülmez, 2010)



Şekil 2.8 Basınçlı döküm yöntemlerinden olan soğuk kamaralı döküm yönteminin şematik gösterimi (Gülmez, 2010)

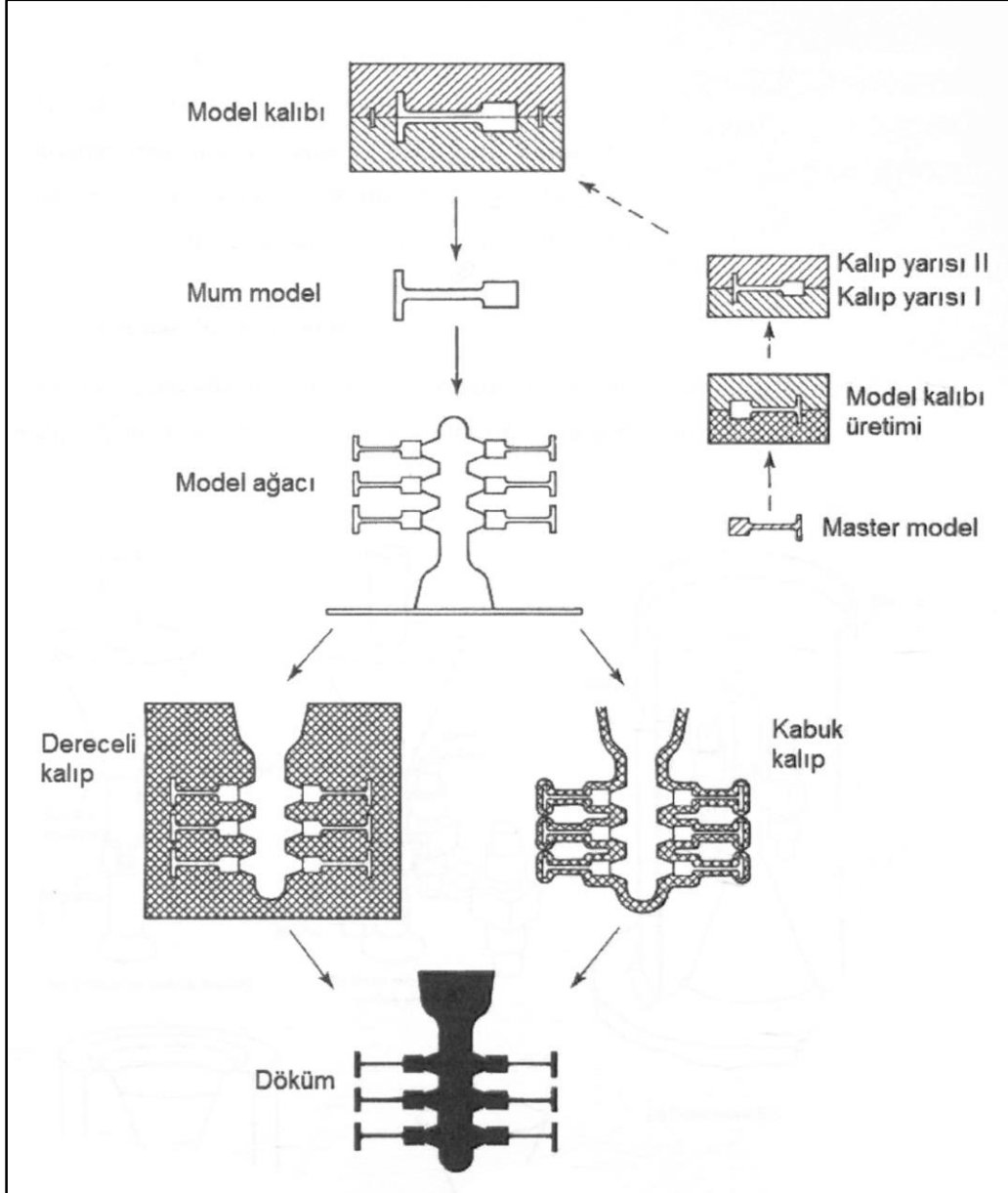


Şekil 2.9 Basınçlı döküm yöntemlerinden olan alçak döküm yönteminin şematik gösterimi (İzci, 2021)

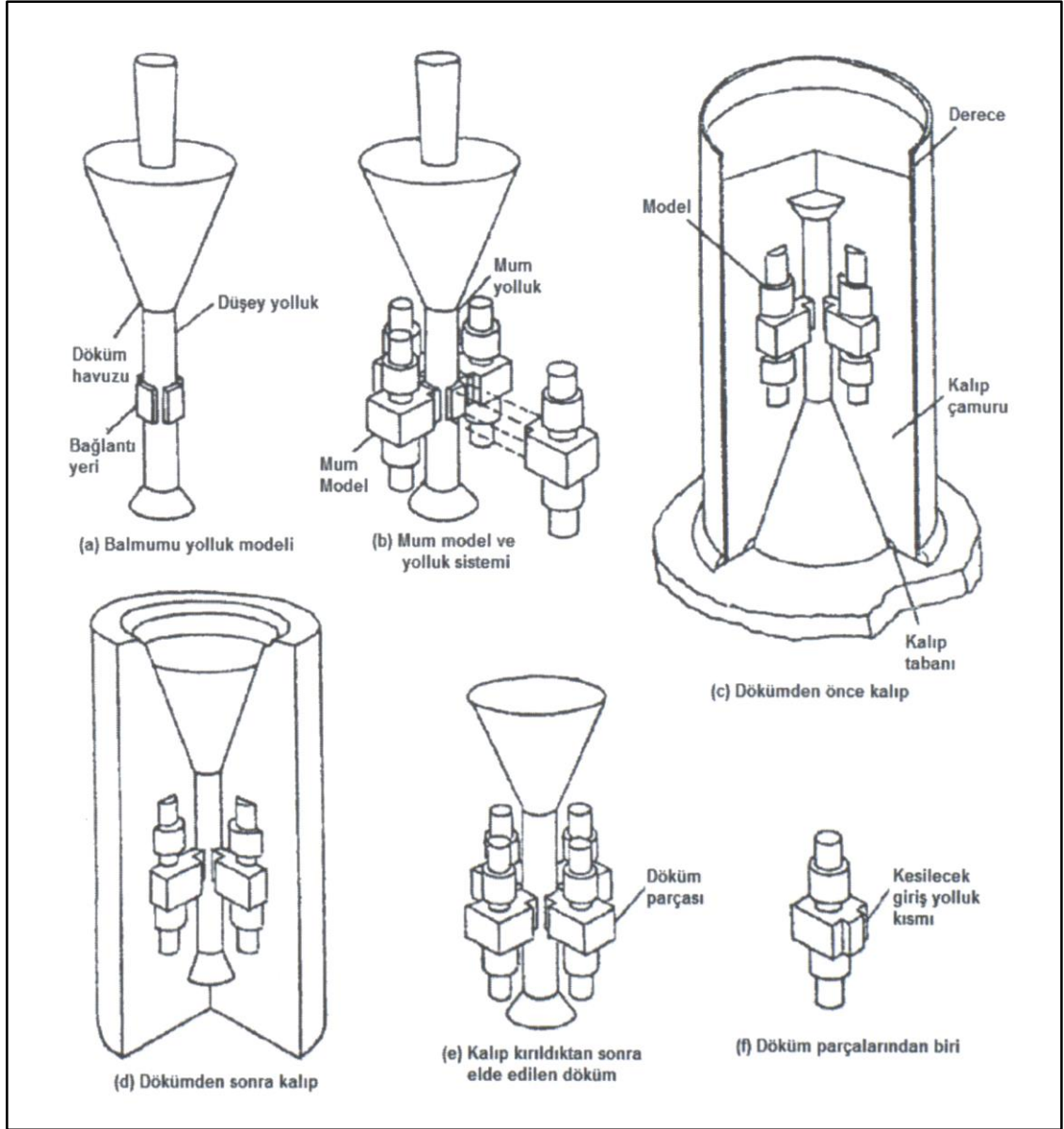
2.3.2.3. Hassas Döküm Yöntemi

Bu yöntem tarihi bakımından çok eskiye dayanmaktadır. Bu yöntemle daha yüksek yüzey kalitesine sahip parçalar için döküm yapabilmek mümkündür. Aynı zamanda karmaşık ve talaşlı imalatı zor olan mamullerde tercih edilmektedir. Yöntem, diğer döküm yöntemlerine nazaran daha pahalıdır. Bu yöntemde harcanabilen bir modelin etrafı oda sıcaklığında sertleşebilen bir refrakter ürünü ile kapatılarak elde edilen bir kalıp ile döküm sağlanır. Bu yöntemde genellikle mum ya da plastik esaslı hazırlanan model kalıplaması yapıldıktan sonra yakılarak istenilen nihai ürünün için döküm boşluğu şekillendirilmiş olur. İki çeşit hassas döküm yöntemi mevcuttur. Bunlardan ilki hassas

kabuk kalıp yöntemi diğeri ise dereceli kalıp yöntemidir (Güler, 2012). Bu yöntemler sırasıyla Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de sunulmuştur. Hassas döküm tekniği her ne kadar üstün özellikli bir yöntem gibi gözükse de kum kalıpta olduğu gibi her bir parça için modelleme ve kalıp yapımı zorluğu, üretim hızı ve kapasite düşüklüğü gibi kısıtlamalara sahiptir. Ayrıca döküm parça ağırlığının en fazla 5 kg ile sınırlı oluşu yöntemin bir diğeri negatif yönleri arasındadır (Akar, 2018).



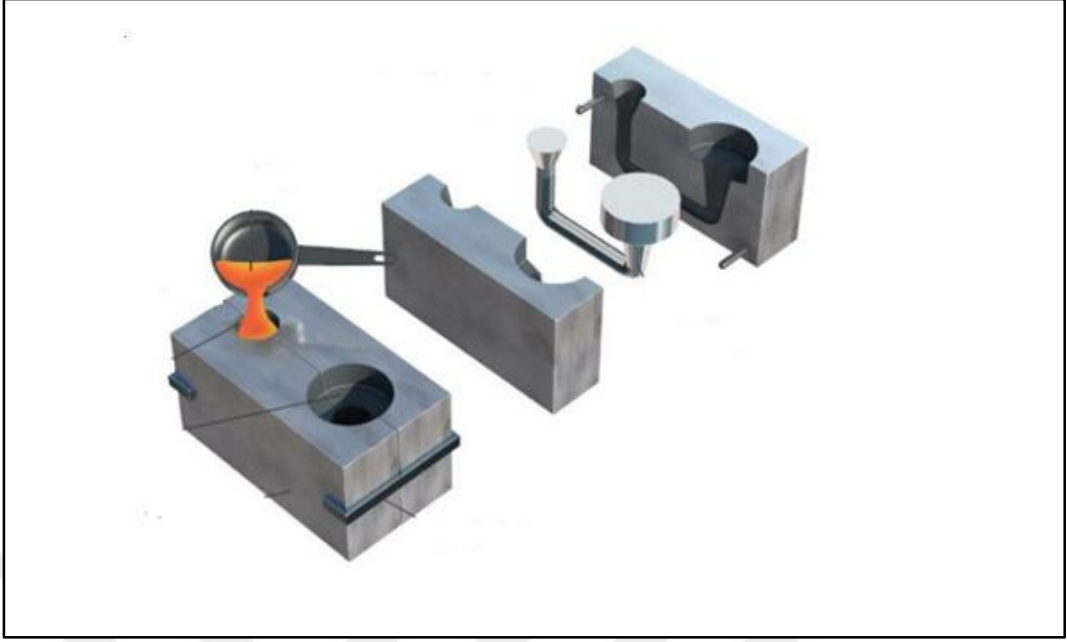
Şekil 2.10 Hassas döküm aşamaları şematik gösterimi (Beeley,2001)



Şekil 2.11 Dereceli hassas döküm adımları şematik gösterimi (Güler, 2012)

2.3.2.4. Kokil Kalıba Döküm Yöntemleri

Kokil kalıba döküm yöntemi, yüksek adetli ve yüzey hassasiyeti yüksek olan parçaların imalatı için uygundur. Bu yöntemde sıcak iş takım çeliklerinin kullanımı yaygındır. İstenilen ürüne göre modellenmiş olan kokil birbirine simetrik ya da dişi-erkek pozisyonunda olabilir. Düşey ya da dikey üretilecek parçaya uygun tasarlanmış hidrolik tezgâhlara bağlanan kokil kalıbı gerekli bakım ve poteyaj yapıldıktan sonra döküme hazır hale getirilir. Kalıplara su soğutma bağlanabilir. Üretimin çevrim süresi bu nedenle oldukça hızlıdır. Otomotiv pistonlarının bu yöntemle üretiminde oldukça yaygınlaşmıştır. Şekil 2.12’ deki görselde yöntemin şematik gösterimi mevcuttur.

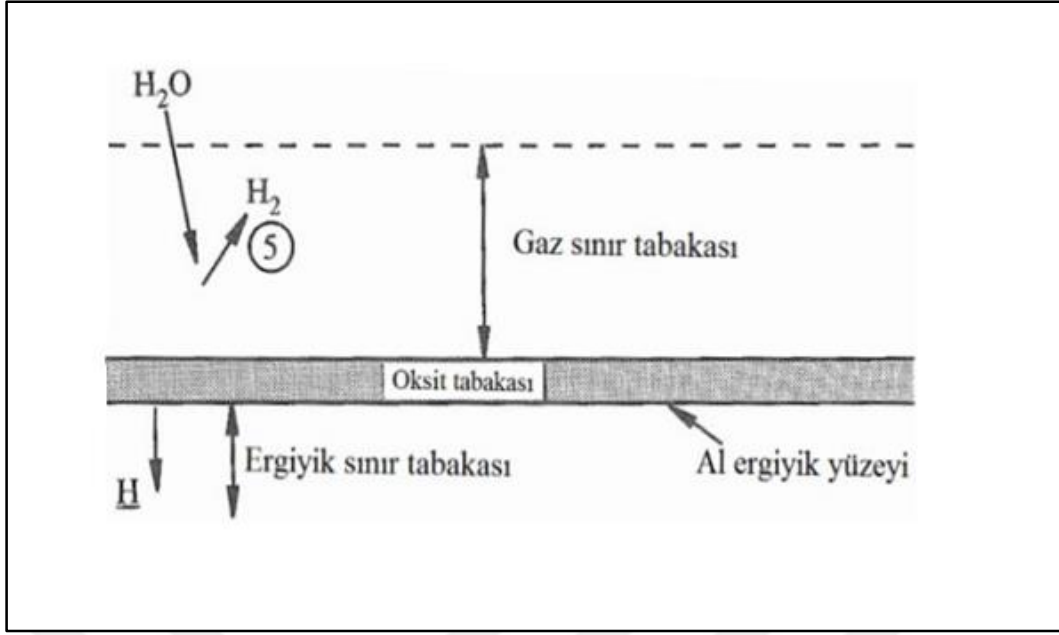


Şekil 2.12 Kokil Kalıba Döküm Yönteminin Üç Boyutlu Gösterimi (Anonim, 2021)

2.4. Alüminyum Döküm Yöntemlerinde Sıvı Metal Kalitesinin Önemi

Alüminyumun döküm sürecinde parça kalitesini olumsuz etkileyen birtakım durumlar da mevcuttur. Alüminyum doğası gereği kararlı kalmak ister ve oksitli yapısı onu kararlı kılar. Bu nedenle sürekli özüne dönme isteği yani doğada bulunma şekline dönmek istemesi nedeniyle son derece reaktiftir. Ergimiş alüminyum havadaki neme ilgisi oldukça fazladır. Şekil 2.13' bu durumun şematik olarak sunan bir görsel verilmiştir. Bu bağlamda sürekli olarak yüzey bölümünde aşağıda verilen reaksiyon gerçekleşir:

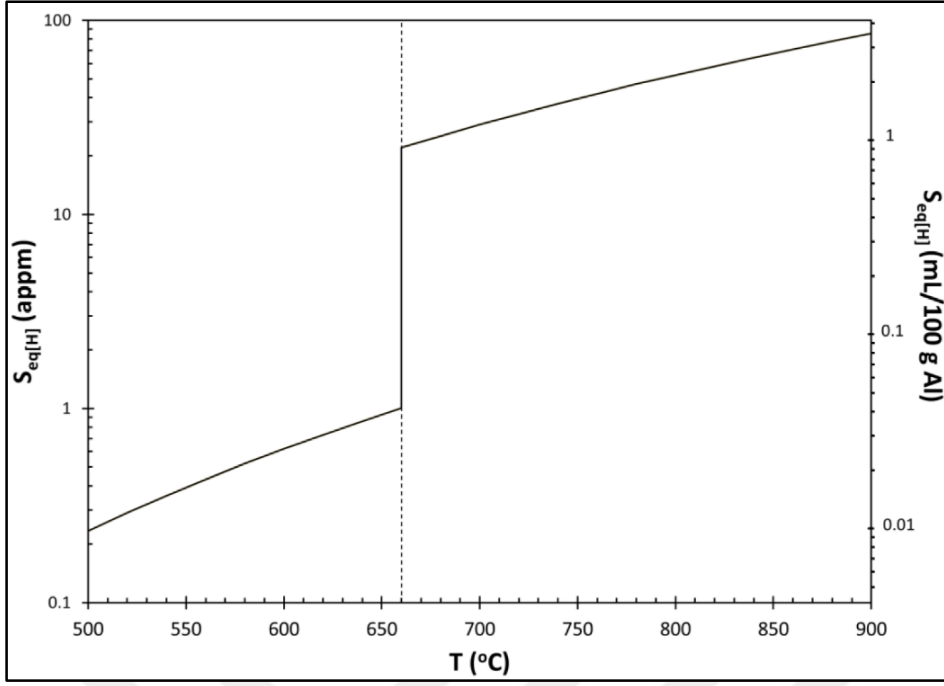




Şekil 2.13 Ergimiş alüminyumun su ile olan ilişkisinin şematik gösterimi (Yüksel, 2020)

Ergimiş haldeki Alüminyum yüzeyindeki kimyasal reaksiyonun önlenmesi zor olduğundan dolayı reaksiyon doğal süreç içerisinde sürekli olarak gerçekleşebilmektedir. Bu durumun sebebi oksijenin afinitesinin yüksek olması ve sistemin kararlı yapıya geçme isteğidir. Ayrıca reaksiyon sonucunda açığa çıkan hidrojen gazı da döküm içerisinde gözenekli bir yapı oluşmasına neden olarak mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olur.

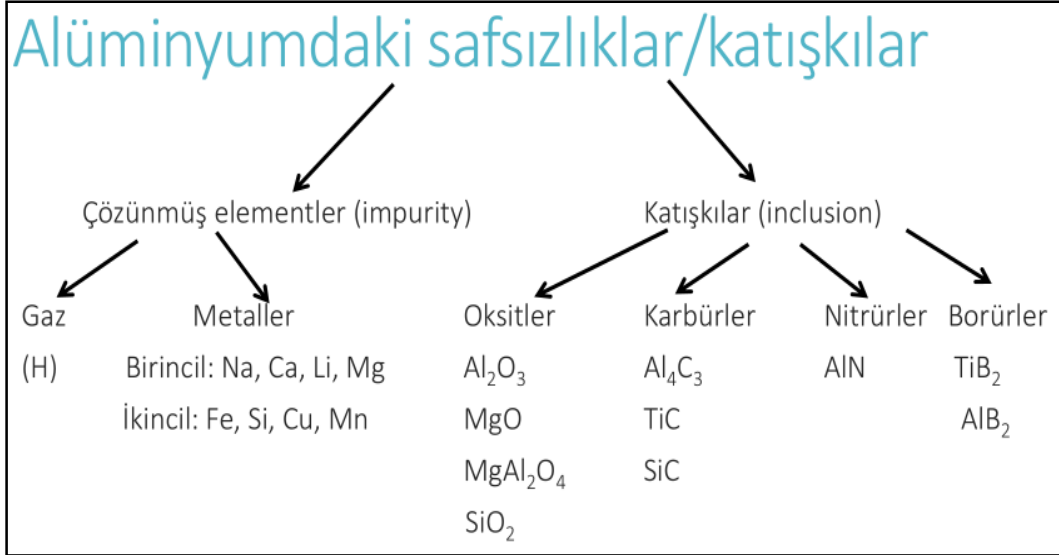
Tüm bu oluşan reaksiyonlar alüminyum üretim sürecine olumlu ve olumsuz olarak etki edebilmektedir. Olumlu olarak bakıldığında yüzeyde oluşan bu oksit tabakası ergimiş alüminyumun geri kalan kısmını kısmi olarak koruyucu bir tabaka görevi görmesidir. Olumsuz yönü ise, sıvı alüminyumun nihai üretim sürecinde bu oksitlerin yapıya girerek düzensiz katılaşması ve mekanik özelliklerinin zayıflamasıdır. Yapıda bulunan hidrojen ise, nihai üründe porozite denilen gözenekler oluşturur ve bu gözenekler yine oksit gibi mekanik özellikleri olumsuz yönde etkiler. Hidrojenin alüminyumdaki çözünürlüğü sıcaklıkla doğrudan ilgilidir. Şekil 2.14 'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Alüminyumda sıcaklığa bağlı hidrojen çözünürlüğü (Tiryakioğlu, 2020)

Oluşan bu oksit, alüminyumda en bilinen oksit oluşumudur. Ancak bunların yanı sıra alaşımlama ve dışarıdan gelen elementler, ergimiş metalde çok çeşitli oksit oluşumlarına da yol açmaktadır. Bu oksitlerin katlanarak sıvı ile aynı ya da daha ağır özgül ağırlığa sahip olması ve alüminyum tarafından ıslatılabilmesi nedeniyle yapıya karışırlar. Oluşan bu yapılar bifilm olarak adlandırılmıştır ve matematiksel olarak sayımı ve tanılandırılması yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre alaşımdaki oksit ve porozitelerin varlığı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

Yukarda bahsedilen alüminyum eriyikteki oksit ve porozite gibi inklüzyonların dışında yapıda metalik olmayan safsızlarda bulunmaktadır. Bunlar, yapılardaki oksit ve poroziteler gibi nihai ürünün mekanik özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. Bu safsızlıklar detaylı incelendiğinde; başlıca kaynaklarının potalardan gelen refrakter parçaları, rotor şaft takımından gelen refrakter parçaları ve geri döngüden gelen safsızlıklar olduğu görülmektedir. Tüm bunların dışında tespit edilen karbürler, nitrürler, borürleri de bu safsızlıklara eklenmektedir. Şekil 2.15’de alüminyum alaşımlarındaki safsızlıkların sınıflandırılması gösterilmiştir.



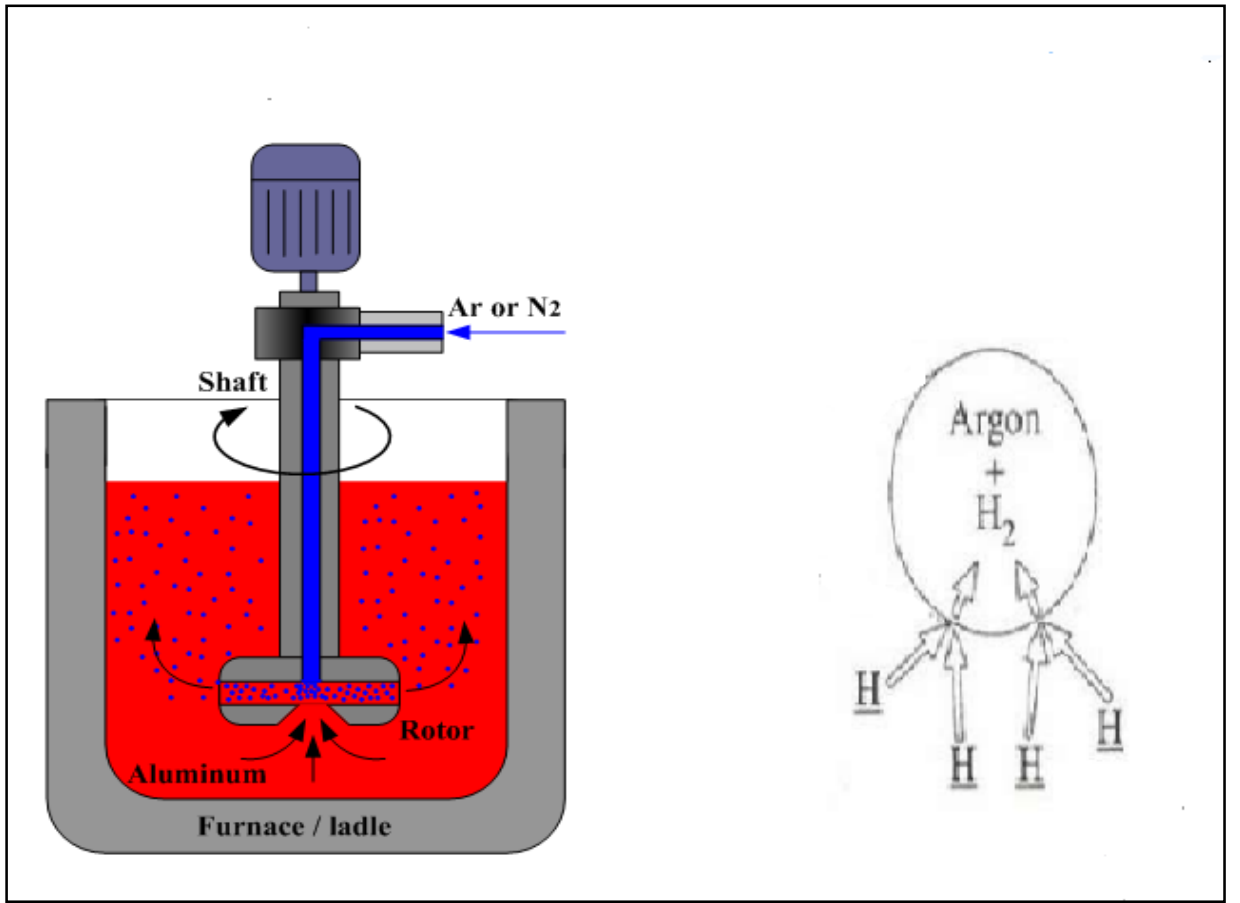
Şekil 2.15 Alüminyum Alaşımlarındaki Safsızlıkların Sınıflandırılması (Yüksel, 2020)

Genel olarak tüm bu safsızlık ve inklüzyonların istenmemesi durumu açıkça belirtilmiştir. Bu durumda üretim aşamasında bu safsızlık ve inklüzyonları sistemden uzaklaştırmak amacı ile geliştirilen ve uygulanan başlıca yöntemleri, gaz alma, flakslama ve filtreleme olarak 3 ana grupta incelemek mümkündür.

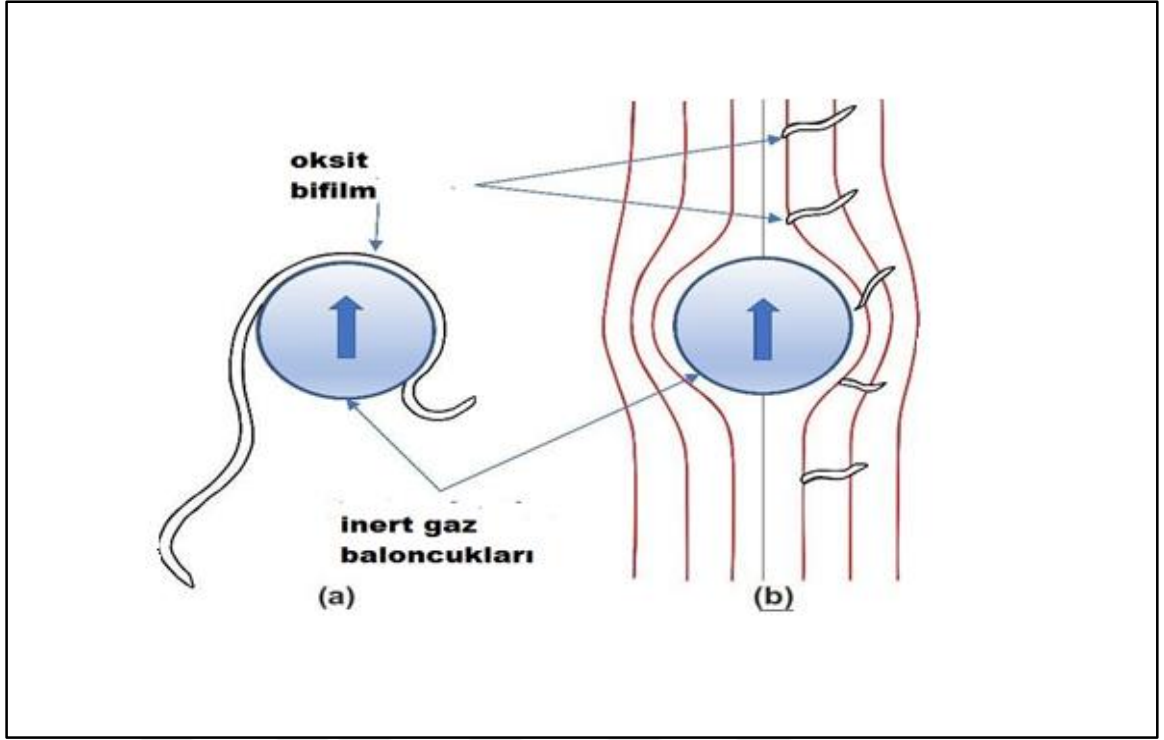
2.4.1. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Gaz Alma Prosesi

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi alüminyum ergitme prosesinin oksitlenmeye karşı duyarlılığından dolayı yapısına sürekli hidrojen çözünümü ile gaz almaktadır. Bu durumda yapıda oluşan istenmeyen gazı ergiyikten uzaklaştırmak için kullanılan başlıca yöntem, inert gaz ile gaz giderme ya da gaz alma prosesi olarak adlandırılmaktadır. Bu prosesin çalışma prensibi, çubuk, rotor ya da tapa gibi bir aktarım aleti ile yapıya azot ya da argon gazı belli bir süre üflenerek yapıdaki hem hidrojen gazını aynı zamanda da oksit ve inklüzyonları uzaklaştırmaktır. Gaz giderme yöntemlerinden en efektif olarak başarı sağlanan yöntem döner rotor şaft yöntemidir. Bu yöntemle inert gaz sayesinde yapıda geniş boyutlu oksitler, inert gazın aşağıdan yukarı hareketi sırasında yüzeyine tutunarak metal yüzeyinde cüruf oluşumu ile yapıdan uzaklaştırılmış olur. Ancak bu durum küçük çaplı oksitler için biraz daha zordur. İnert gazın yüzeyine tutunamayan küçük oksitler yapıda kalarak kirliliğe sebebiyet vermektedir. İnert gazın diğer görevi, yapıdaki hidrojenlerin inert gazın hareketi sırasında hidrojenin inert gaza doğru difüzyonu sağlanarak yüzeye ulaşmasını ve yapıdan uzaklaşmasını sağlamaktadır. Bu

durum şekil 2.16’da ve şekil 2.17’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu sayede gaz alma işlemi tamamlanmış olur. Yapıdan geniş boyutlu oksit ve hidrojen atomları uzaklaştırılmış olur. Gaz alma prosesi çevrim süresi her endüstride farklıdır. Üretilen nihai ürün hassasiyet derecesine göre süre artıp azalabilmektedir. Örneğin otomotiv pistonu parçası üretimi oldukça hassas bir ürün olması nedeniyle gaz alma prosesi yaklaşık 15 dakika sürerken, kapı pencere mobilya aksesuarı üreten firmalar bu sürenin yaklaşık yarısı kadar bir zaman yeterli geldiği için prosesi tamamlamaktadırlar. Tüm bu ürünlerden çok daha hassas olan havacılık sektöründeki nihai bir ürün için proses uzunluğu 25-30 dakikaları bulmaktadır.



Şekil 2.16 Rotor şaft ile gaz alma prosesi çalışma prensibi şematik gösterimi (Kopeliovich, 2012)



Şekil 2.17 İnerit Gazların İle Oksit Arasındaki İlişkinin Gösterimi (Campbell, 2015)

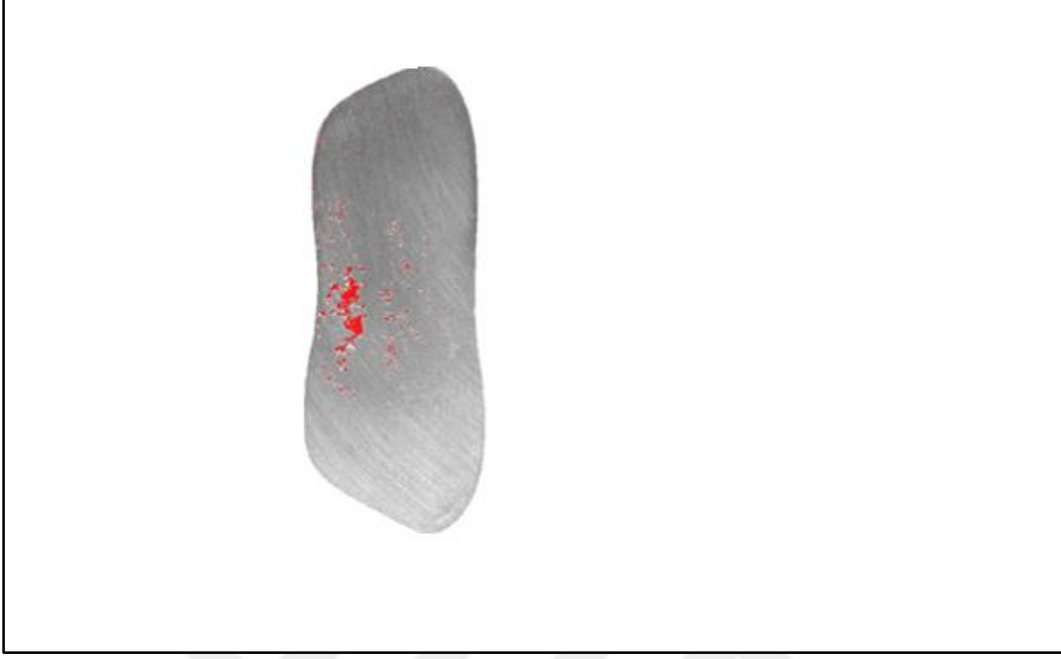
Bifilm indeks yöntemi sıvı metal kalitesinin belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde ergimiş alüminyum alaşımlarında bulunan katlanmış bifilm adı verilen oksitlerin sayısını ve büyüklüğünü tanımlayan etkili ve hızlı bir prosestir. Yüzey türbülansları ile doğrudan ilişkisi bulunan bifilm oksitler katılaşma sırasında yeniden bir şekil alma sürecine girerek düz bir çatlak formuna sahip olurlar. Bu yapı normal halinden daha zararlı hale gelmektedir (Campbell, Dispınar, 2006).

Hidrojen ve çekinti gözeneklerinin ve demir kaba tane yapısının mekanik özellikleri (sünekliği) düşürdüğü bilinmektedir. Bu gözenekler bifilmelerin amorf yapısını açarak uzun düzlemsel çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır (Campbell, Dispınar, 2006). Bifilmelerin ölçümü için yaklaşık 1-0.8 atm aralığında eriyikten alınan numune vakum altında katılaştırılır. Numune ortadan ikiye kesilir ve yüzeyi parlatılarak incelenir. Bifilm ölçümü için kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\text{Bifilm indeks} = \Sigma (\text{gözenek uzunluğu}) = Lb \quad (2.3)$$

Görüntü analizi yardımı ile porozitelerin boyutları, uzunluğu, alanı ve sayısı ölçülür. Poroziteyi gösteren örnek bir görsel Şekil 2.18’de verilmiştir. Porozitelerin maksimum uzunluğunun toplamı mm cinsinden Bifilm İndeks değerini verir. Bu değer ne kadar yüksek ise sıvı metalde o kadar çok oksit var demektir. Dolayısıyla hedef sıfır bifilm

indeksli sıvı metal ile döküm yapabilmektir. Bifilm indeks göstergesi Tablo 2.4'deki gibi sınıflandırmıştır.



Şekil 2.18 Bifilm indeks analizi numune görseli

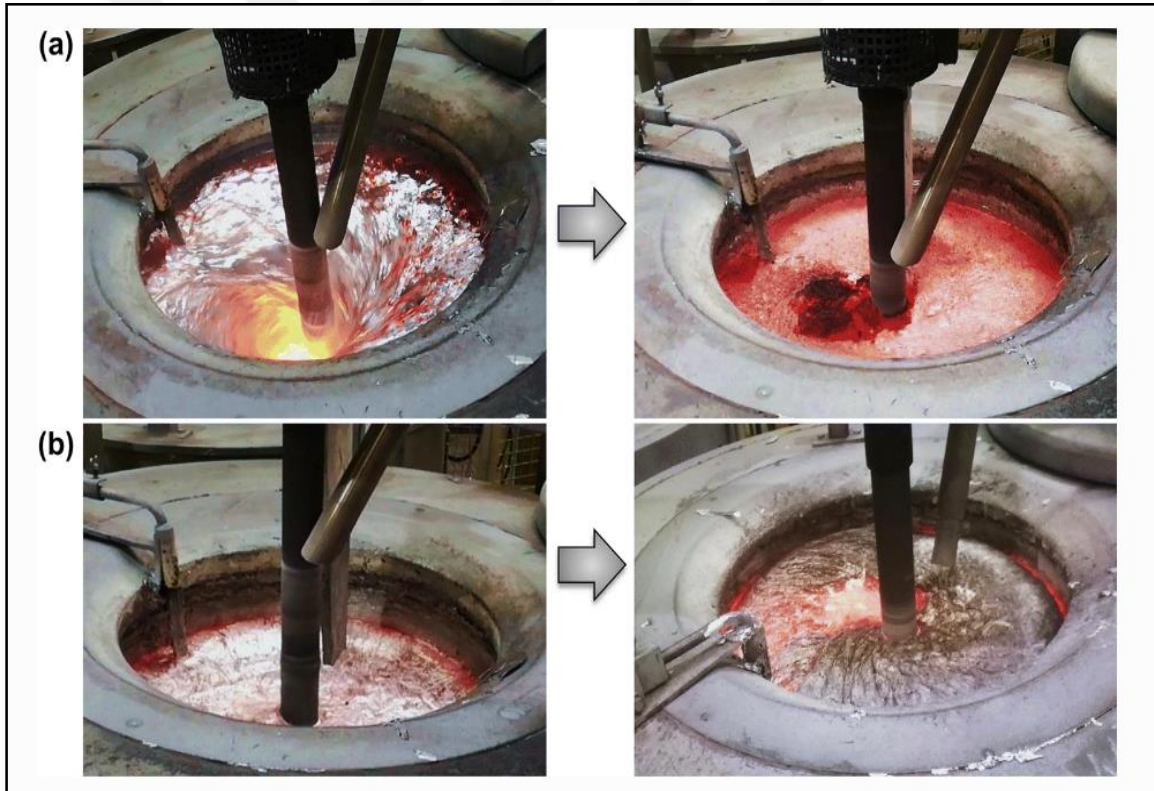
Tablo 2.4. Bifilm değerine göre metal kalite korelasyon tablosu (Dispınar, 2006)

Bifilm değeri	Bifilm değerine göre metal kalitesi
BI = 0 mm	Mükemmel sıvı metal
0 <BI <25 mm	Temiz metal
25 <BI <50 mm	Orta metal
50 <BI <100 mm	Kötü metal
BI> 100 mm	Çok kötü sıvı metal

Bu yöntem ile hedefe yakınlık değeri hakkında bilgi sağlanmış olur. Bu sayede endüstride kullanılan eriyik alüminyum kalitesi hakkında hızlı ve gerçeğe yakın sonuç elde edilmiş olur (Campell, Dispınar, 2006).

2.4.2. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Flakslama Prosesi

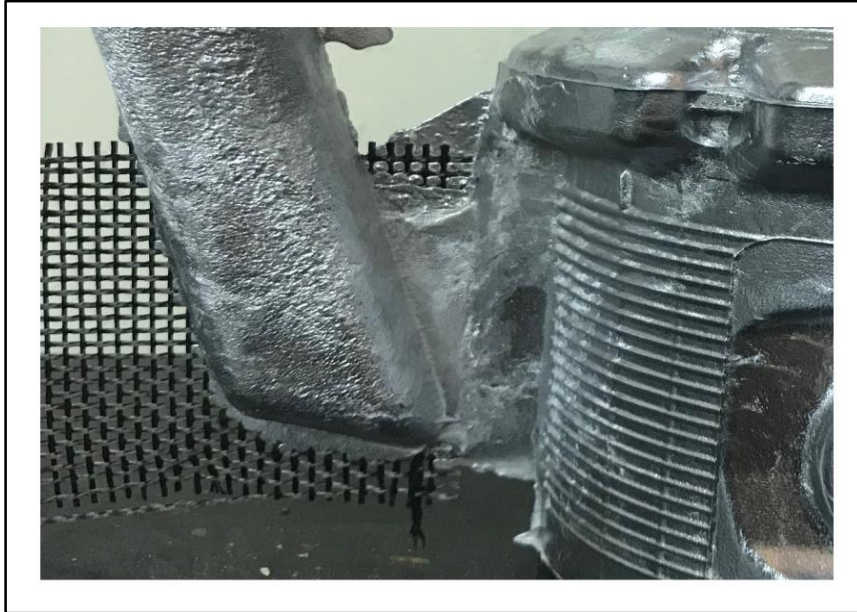
Flakslar ergimiş alüminyuma direk ya da dolaylı yoldan geçmiş olan inklüzyon ve safsızlıkların inert gazların yetersiz kaldığı durumlarda yapıdan uzaklaştırabilmek adına florür veya klorür bazlı tozlara verilen addır. Bu flaksların en verimli ve kabul görmüş kullanım şekli rotor şaft ile sağlanmaktadır. Belirlenen bir hıza çıkartılan rotor şaft çubuk dönme hızının etkisi ile ergiyik alüminyumda girdap oluşumu sağlanır. Girdap oluşumu gözlemlendikten sonra flaks eklemesi otomatik ya da manuel olarak yapılır. Girdabın etkisi ile flaks ergimiş alüminyumun içine doğru çekilir. Ardından flaks yapıdaki oksit ve safsızlıklar ile reaksiyona girerek oksite bağlanır bu bağlanma sırasında özgül ağırlık kaybının eriyik metalden düşük olması farkı ile cüruf oluşumu yüzeye doğru harekete geçerek eriyik alüminyumdan uzaklaşır. Şekil 2.19’da bu prosesi aşamalı olarak anlatan bir görsel verilmiştir.



Şekil 2.19 Ergimiş alüminyuma rotor şaft ile flakslama işleminin gösterimi (Gyarmati, Fegyverneki, Monika, 2021)

2.4.3. Ergimiş Alüminyum Alaşımlarında Filtreleme Prosesi

Ergimiş alüminyumdaki safsızlık ve inklüzyonları uzaklaştırmak için kullanılan son yöntem filtreleme işlemidir. Filtreleme prosesi safsızlığın şekli ve boyutuna, bakılmaksızın görevini yerine getirmektedir. Filtrelemenin önemi keşfedildikten sonra filtre hammaddesi olarak önceleri çelik esaslı ürünler denenmiş ancak yüksek sıcaklık dayanımının düşük olması ve oksidasyona maruz kalması gibi durumlar yüzünden istenilen verim elde edilememiştir. Ardından seramik esaslı filtreler denenmiş ve başarı sağlanmıştır. Prosese filtreleme işlemi uygulanırken dikkat edilmesi gereken hususlar; (i) filtre geçirgenlik derecesi yani por boyutlandırması, (ii) filtre türü ve (iii) eriyik metal temizlik oranıdır. Bu üç işlem başarı oranını arttırmada oldukça önemlidir. Aksi takdirde herhangi bir yanlış seçim bütün prosesi başarısız kılabilir. Örneğin; geri döngü oranı çok yüksek olan ve bu nedenle inklüzyon ve safsızlık oranı yüksek bir eriyiğe, por oranı çok düşük bir filtre seçimi yapıldığında filtre çok hızlı tıkanmasına sebebiyet vererek prosesi verimsiz kılar. Seramik filtreler çeşit bakımından dört adettir; (i) çekirdek filtreler, (ii) örgü filtreler, (iii) hücresel filtreler ve (iv) son olarak köpük filtrelerdir. Kullanım alanları Tablo 2.5’de verilmiştir. Örnek olarak örgü filtreler genellikle yolluk ağzlarına takılan ve kullan at özelliği bulunan tek kullanımlık filtrelerdir. Şekil 2.20’de örgü filtresine örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Örgü filtre ile dökülmüş bir piston görseli

Tablo 2.5 Köpük filtrelerin kullanım alanları ve özellikleri (Gören, Marşoğlu, 1998)

Filtre Kompozisyonu	Maksimum Kullanım Sıcaklığı	Isıl Şok Dayanımı	Mekanik Dayanım	Uygulama Alanları
Alümina (Kimyasal bağlı)	1425 °C	İyi (<815) Zayıf (>815)	Zayıf	Alüminyum, Bakır Bazlı Alaşımlar, Çinko, Düşük Ergime Sıcaklığı Pirinç, Bronz, Kalay
Alümina (Sinterlenmiş)	1090 °C 1650°C (Ön Isıtması)	İyi (<1090) Zayıf (>1090)	Mükemmel	Alüminyum, Nikel Bazlı Al-Ni, Kurşun, Mg Bazlı Alaşımlar
Zirkonya Alümina PSZ (Sinterlenmiş)	1700 °C	Mükemmel	Mükemmel	Paslanmaz Çelikler, Nikel ve Kobalt Bazlı Alaşımlar, Süper Alaşımlar ve Magnezyum Alaşımları.
SiC (Kimyasal Bağlı)	1590 °C	Mükemmel	İyi	Dökme Demirler, Bakır Bazlı Alaşımlar

Filtreleme veriminin hesap edilmesi için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Ray, 2005).

$$filtreleme\ verimi = 1 - e^{-\frac{K_0.L}{V_f}} \quad (3.1)$$

L: Filtre kalınlığını sembolize eder. (mm)

K_0 : Alaşımın, inklüzyon tipinin, gözenek boyutunun ve ortam tipinin bir fonksiyonudur.

Tablo 2.6’da 1XXX alaşımları için örnek K değerleri verilmiştir.

V_f : alaşımın filtredeki akış hızını sembolize eder. (mm/sn)

Akış hızının hesap edilmesi aşağıdaki formülde yararlanılmıştır.

$$V_f \left(\frac{mm}{s} \right) = \frac{\text{metal akış hızı} \left(\frac{kg}{s} \right)}{\text{filtre boşluk oranı} \times \text{sıvı alüminyum yoğunluğu} \times \text{filtre yüzey alanı} (m^2)} \quad (3.2)$$

Tablo 2.6 1xxx Alüminyum Alaşımları için K değerleri (Ray, 2005)

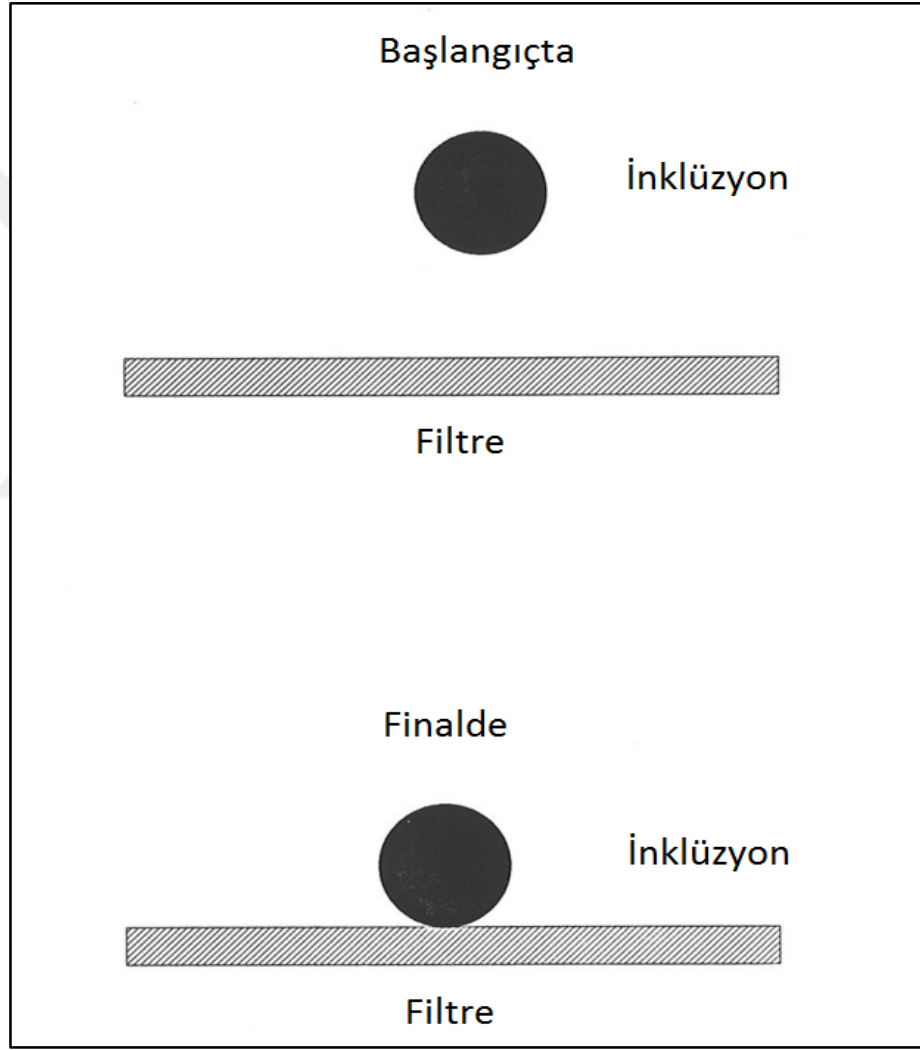
K Values (S^{-1})	CFF 30 Grid	CFF 50 Grid
K_{15-20}	0,205	0,301
K_{20-25}	0,250	0,360
K_{25-30}	0,283	0,429
K_{30-35}	0,323	0,478
K_{35-40}	0,375	0,547
K_{40-45}	0,409	0,627
K_{45-50}	0,452	0,783
K_{50-55}	0,509	0,940
K_{55-60}	0,596	1,100
K_{60+}	0,725	1,350

İyi tutarlı ve kontrollü döküm için filtre ön ısıtması ve CFF filtreleme sisteminin tasarımı, uygulaması ve bakımı, tekrarlanabilir filtreleme performansının sağlanmasında çok önemlidir (Milligan, 2002).

Islanabilirlik ve yapışma faktörü, iki sıvı fazı ile bir katı faz arasındaki etkileşimi tanımlar. Katı-katı etkileşimi ayrı olarak ele alınmalıdır. Bir kristal üzerinde erimiş bir metalin ıslanabilirliği hakkında, esas olarak kompozitlerin üretimi göz önünde bulundurularak çok sayıda makale yayınlanmıştır. Bu durum seramik ve erimiş metal arasında iyi bir ıslanma olduğunu açıklamaktadır.

Filtrasyon olayında durum biraz daha karmaşıktır. İdeal olan durumda, inklüzyon eriyiği ıslatmamalıdır. Çünkü inklüzyonlar filtrede tutunur. Diğer yandan, eriyiğin filtreyi ıslatması gerekir, çünkü inklüzyonlar eriyiği bir filtreden geçirmeye zorlayarak tutunur. Alüminyum endüstrisi tarafından sıklıkla kullanılan filtreler alüminadan yapılmıştır. Alüminyum inklüzyonları da endüstri için büyük bir sorundur. Bu durum bir paradoks gibi görünebilir.

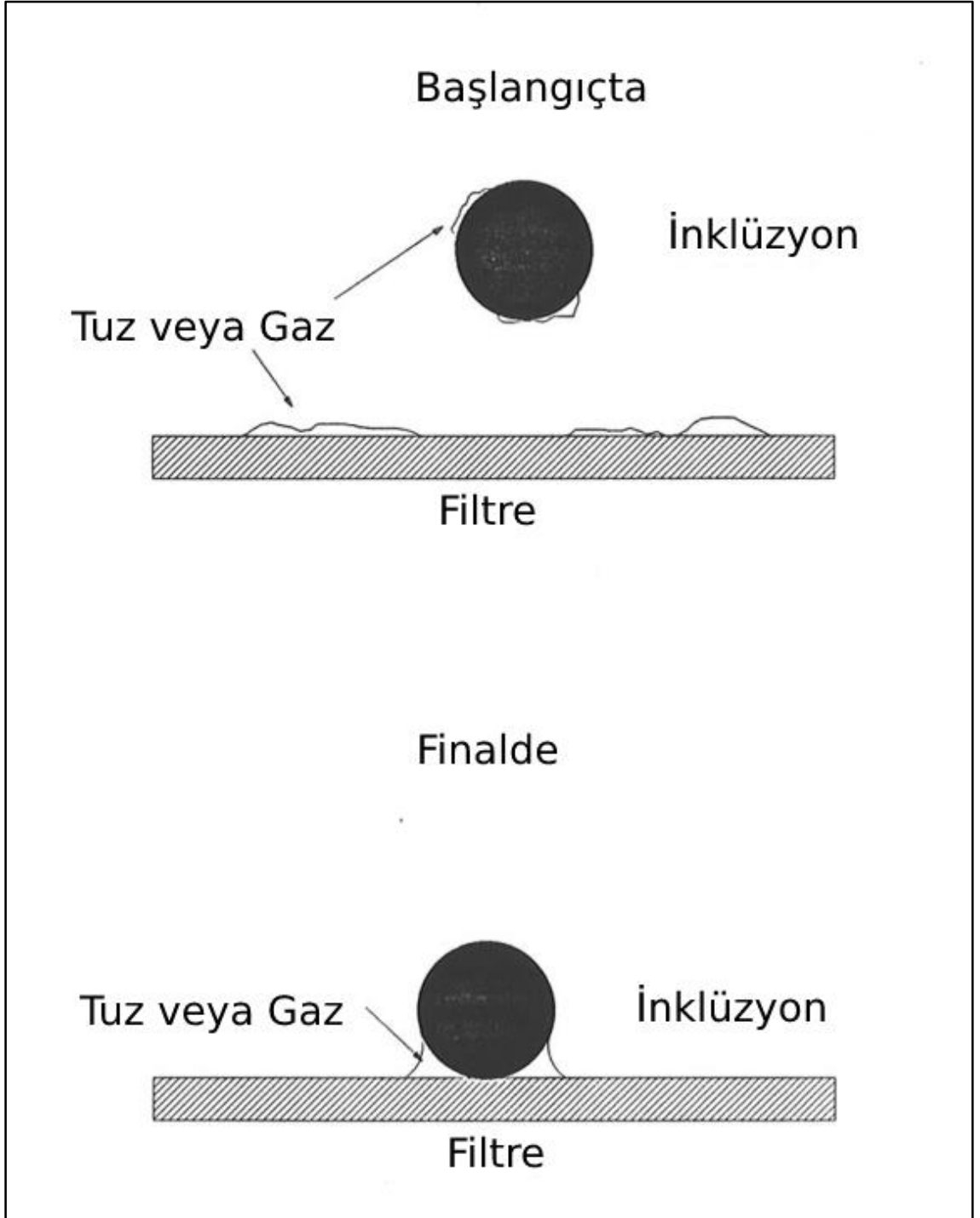
Şekil 2.21’de mükemmel ıslatma, sıvının katının üzerine tamamen yayıldığını gösterir. Kısmi ıslanma ile ıslanma açısının 180’den küçük olduğunu kabul edilir. İdeal filtrede inklüzyonlar ilk temasta tamamen filtre yüzeyine yapışık olmalıdır. Hem eriyik hem de filtre ile eriyik ve inklüzyon arasında mükemmel bir ıslanma ile, inklüzyon-filtre (katı-katı) etkileşiminin çok güçlü olması gerekmektedir. Şekil 2.21’de bu durum anlatılmıştır (Frisvold, 1993).



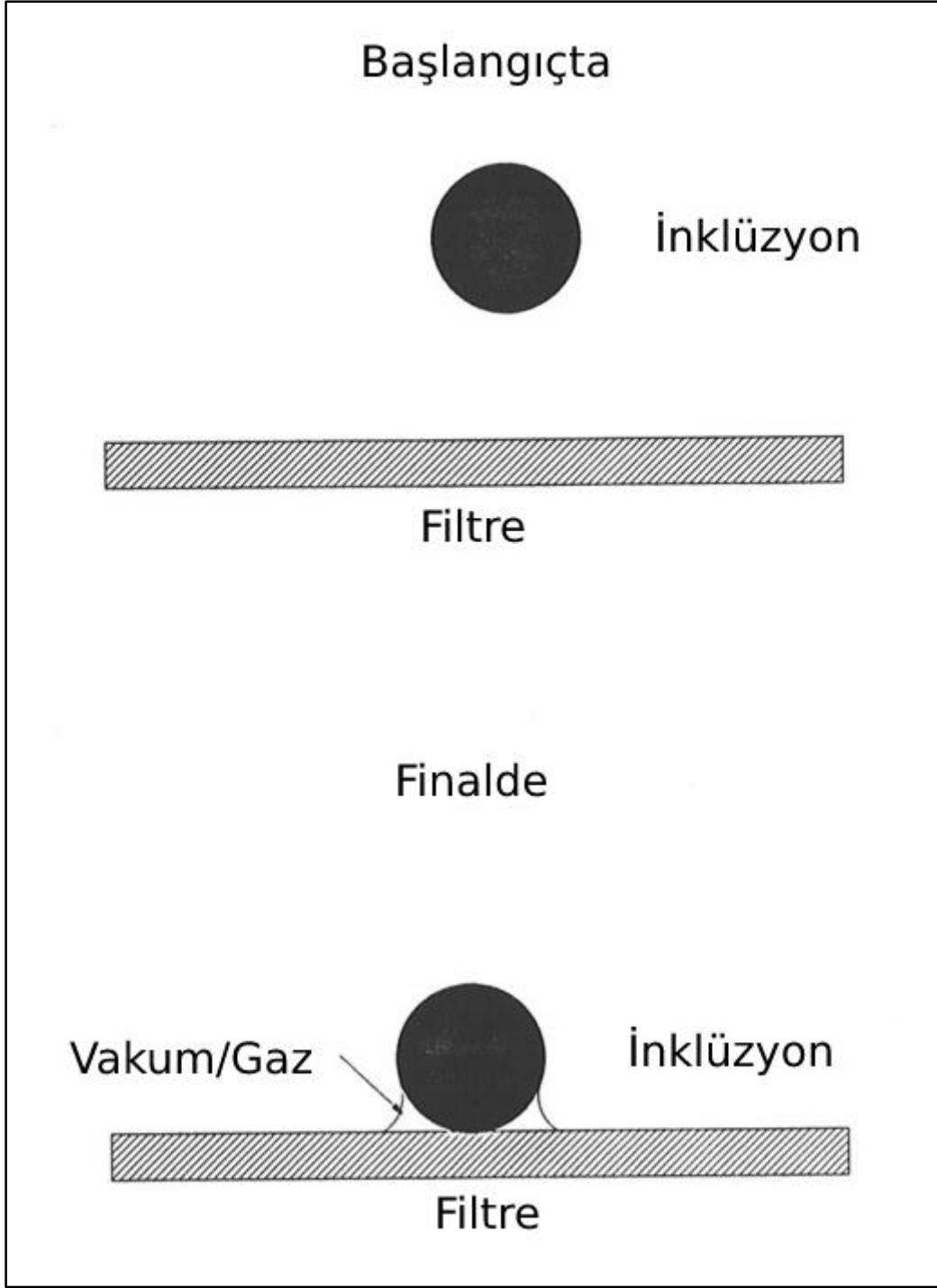
Şekil 2.21 Eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında mükemmel ıslatma görseli (Frisvold, 1993)

Yine de en gerçekçi durum şekil 2.22’de gösterilmektedir. Burada hem eriyik hem de filtre arasında kısmi ıslanma ve eriyik dahil etme vardır. Bu durumda ikinci bir sıvı fazı

(gaz veya tuz) filtreyi ve içeriği eriyikten daha iyi ıslatır. İkinci bir sıvı fazı olmadan, şekil 2.23'teki durumu elde edebiliriz.



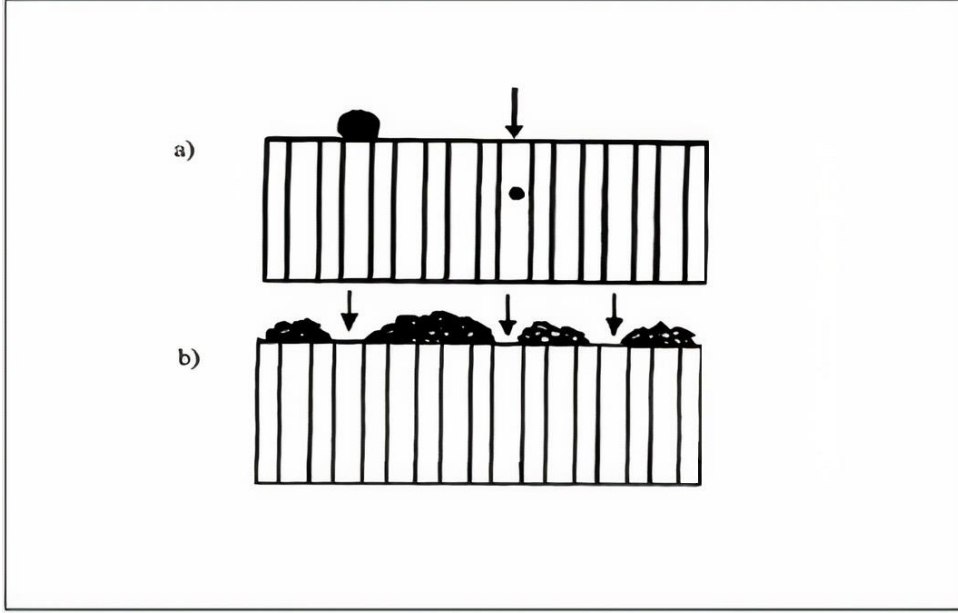
Şekil 2.22 Eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında kısmi ıslatma görseli (Frisvold, 1993)



Şekil 2.23 İkinci bir sıvı faz olmadan eriyik ile filtre ve eriyik ile inklüzyon arasında kısmi ıslatma görseli (Frisvold, 1993)

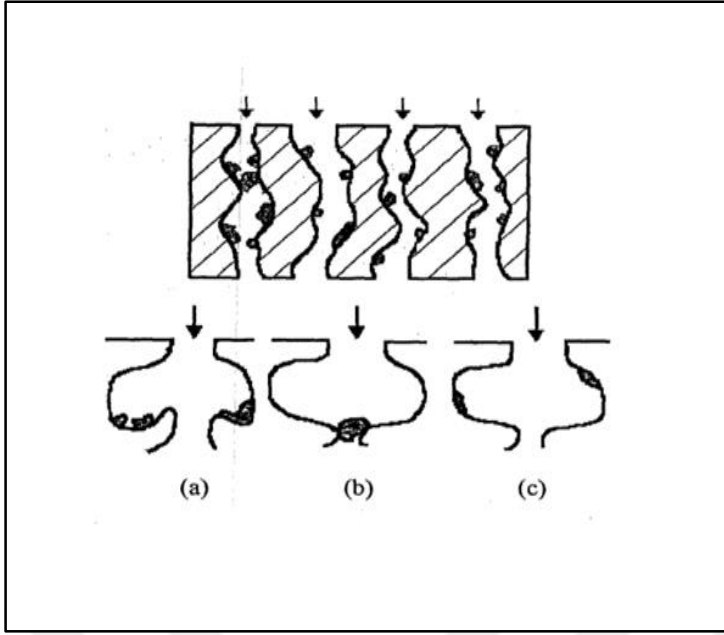
Köpük filtrelerde, filtreler eriyikteki katışıkları iki temel yöntemle ayrıştırırlar. Bunlar fiziksel eleme ve derin yatak filtrasyonudur. Filtre gözeneklerinden daha iri olan katışıkları temas halinde geçemeyerek süzgece takılır, zamanla bölgelere takılan katışıkları filtrenin parçası olur ve kek tabakası oluşturup ikincil bir eleme sağlamış

olurlar. Bu durum daha küçük katışıkların tutulmasında pozitif etki gibi gözükse de filtrasyon sırasında bu tabakanın aşırı oluşumu süzülen eriyiğe zamanla aşırı bir direnç göstererek akışkanlığı düşüreceği için döküm prosesinde istenmez (Gören, Marşoğlu, 1998). Şekil 2.24’ de fiziksel eleme ve kek oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Fiziksel Eleme Şematik Gösterimi A) Fiziksel Eleme B) Kek Oluşumu (Gören, Marşoğlu, 1998)

Derin yatak filtrasyonu; bu filtrasyonun oluşum mekanizmasında, köpük filtreler ana etkiyi taşımaktadır. Köpük filtrelerdeki akış yolundaki düzensiz ilerleyiş nedeni ile katışıkların filtre yolunda ilerleyememesi filtrenin gözenek bölgelerinde çökmesine ve ergimiş alüminyumdan ayrışmasına neden olur. Katışıklar filtrenin dar ve düzensiz hücrelerinde fiziksel olarak akış yönünde ilerlerken, diğer taraftan metalik olmayan safsızlıklar ısı ve yüzey enerjileri sayesinde eriyik tarafından ısıtılmamayan yüzeylerde kimyasal etkilerle tutunurlar (Gören, Marşoğlu, 1998). Filtre zeminine tutunan safsızlıklar sıvının akış yönünde taşınmalar bile filtre içinde bulunan çok sayıdaki gözeneklerde bir şekilde filtreleme işlemine maruz kalırlar (Er, 2004). Şekil 2.25’da derin yatak filtrasyonu şematik gösterimi tasvir edilmiştir.



Şekil 2.25 Derin yatak filtrasyonu a) çatlak ve çukurda tutunma b) aralıklarda sıkışma c) yüzeyde kimyasal tutunma (Gören, Marşoğlu, 1998).

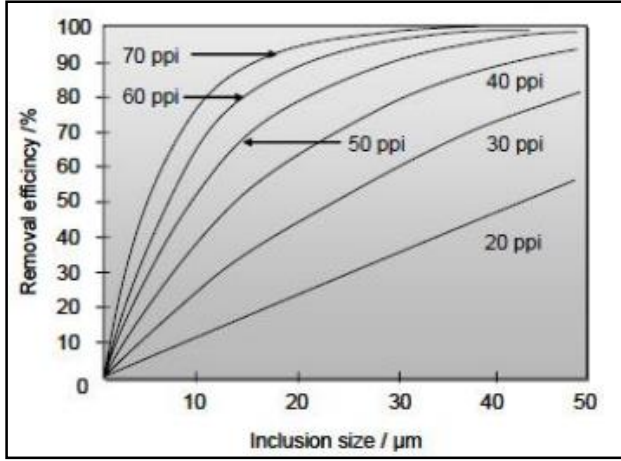
Döküm sektöründe kullanılan filtreleme kutuları sürekli döküm yöntemlerine uygun şekilde tasarlanmıştır. Tasarımı gereği kesikli dökümhanelerde kullanımı uygun değildir. Bu nedenle kesikli dökümhanelere uygun bir filtreleme kutusu ihtiyaç duyulmaktadır. Literatür araştırmasında da görülebileceği üzerine döküm yöntemlerinde filtreleme uygulaması yüksek parça kalitesi için bir zorunluluktur.

Bu tezde kesikli dökümhanelerde kullanabilmek adına kesikli döküm proseslerine uygun yeni bir filtreleme kutusu projelendirilmesi, dizayn edilmesi, imal edilmesi planlanmış ardından döküm yöntemleri ile uygulanabilirliği test edilmiştir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

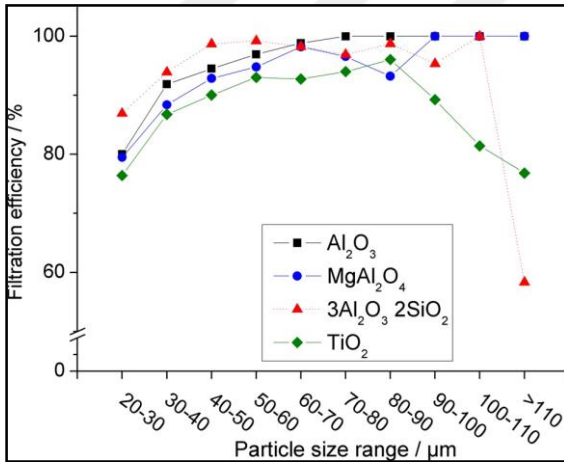
Bu tezde, alüminyum alaşımları döküm proseslerinde bilinen yöntemlere ek olarak filtreleme kutusu imal edilerek, alüminyum içindeki bifilm, oksit ve empüritelerin yapıdan uzaklaştırılması sağlaması hedeflenmiştir. Gaz alma ve flakslama proseslerinin yetersiz oluşu istenilen mekanik özelliklere kısmen ulaşılması ek bir proses ihtiyacı olan filtreleme prosesini ortaya çıkarmıştır. Bu filtreleme prosesi üzerine çalışan Campbell ve Habibollah Zadeh çalışmalarında kullandıkları 20 ppi poröz yapılı filtrelerin sıvı metal ilerleyişinde %75 civarı bir yavaşlamaya sebep olduğunu belirtmişlerdir (Habibollah, Campbell, 2004). Diğer bir çalışmada alüminyum alaşımlı bir döküm numunesi üzerinde filtrenin akış karakteristiğini %90 iyileştirdiği öne sürülmüştür (Bozchaloei, Varahram, 2012). Ergiyik alüminyum alaşımlarını yüzey kısmı hava ile temas sonucu koruyucu bir oksit film tabakası oluşturur. Bu oksit tabakası metal transferi sırasında ya da döküm sırasında kalıba girerken katlama oluşur (Tunçay, Özyürek, 2014). Bu oksit filmler katılma sırasında belirli bölgelerde sıkışarak gözenek oluşturur. O bölgede süreksizlik yaratır ve mekanik özellikleri düşürür. Bu nihai üründe istenmeyen bir durumdur. Bir diğer çalışmada Al-Si-Mg alaşımında dökümünde farklı gözenek yoğunluğuna sahip seramik köpük filtreler kullanılarak mekanik değerleri ve içyapısı üzerine etkisi incelenmiştir; İnceleme sonucunda köpük filtrelerin çekinti boşluğu, oksit gözenek, empürite kaynaklı döküm hatalarını minimum seviyeye indirdiği görülmüştür (Tunçay, Özyürek, 2014).

M. Brûna ve Sládek, hazırladığı derlemede, sıvı alüminyumun kalitesini arttırmaya yönelik yöntemleri anlatmış ve sıvı metal kalitesinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasının, gerçek döküm özelliklerinin kontrolü ve tahmini için hayati öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmada belirtildiği üzere seramik köpük filtreler 10 µm - 50 µm arası intermetalikleri tutma konusunda başarılıdır (Brûna, 2011).



Şekil 3.1 Farklı partikül boyutları için temizleme verimliliği

Le Brun ve çalışma arkadaşları seramik köpük filtrelerin davranışını ve verimliliğini değerlendirmek için laboratuvar ölçekli titiz bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada filtreler kaplanmıştır. Alümina, mullit, spinel ve rutil olmak üzere dört farklı yüzeye sahip filtreler değerlendirilmiş, filtrasyon verimliliği bir oksit analiz yöntemi olan LiMCA ile belirlenmiştir. (Le Brun 2016)



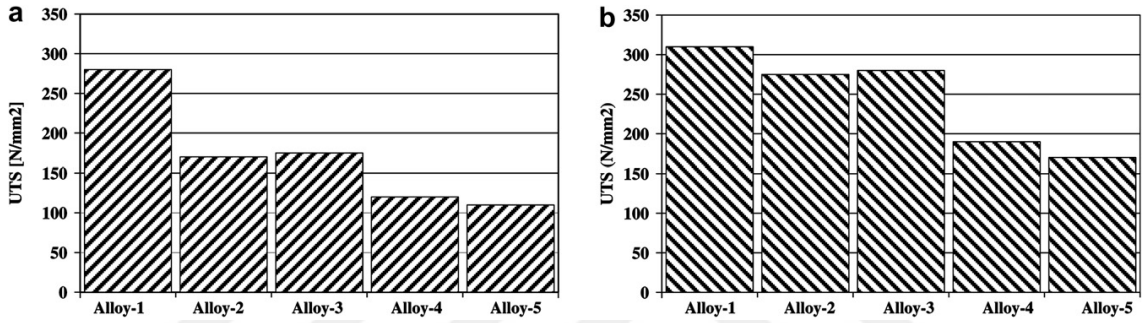
Şekil 3.2 Partikül boyutu skalasına göre kaplama çeşitlerinin verim kıyası

Bao çalışmasında Al₂O₃ filtreler alternatif olarak SiC filtreleri incelemiş, SiC filtrenin daha iyi ıslatma yeteneğine sahip olduğunu deneysel olarak kanıtlamıştır (Bao, 2011).

Dwivedi ve Rajan, gerçekleştirdiği çalışmada ötektik ve hiperötektiksilisyum oranına sahip LM-13 ve LM-28 alaşımlarının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. LM-28 alaşımında elde edilen ısıtma işlem sonrası mukavemet değerleri, 183 MPa, uzama değeri ise %1.28 olarak elde edilmiştir (Dwivedi, 2005).

Moffat ve arkadaşları çalışmalarında üç farklı alaşım için oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta çekme testi gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı alaşım üzerinde gerçekleştirdikleri testlerde, ötektik silis, %3,93 bakır, %2,8 nikel ve %0,67 magnezyum içeren alaşımda oda sıcaklığında 186 MPa çekme mukavemeti ve %0,9 uzama elde edildiği raporlanmıştır (Moffat, 2005).

M. ZEREN ve çalışma arkadaşları alüminyum esaslı piston alaşımlarının mekanik özelliklerine ısıtılma işleminin etkisini araştırmıştır. Araştırdıkları alaşımlar $AlCu_4MgNi$ alaşımı ve silisyum içeriği %10,5, %12, %18, ve %24 olarak belirlenen $AlSiCuMgNi$ alaşımlarıdır. Numunelere T6 ısıtılma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.3'te ısıtılma işlem öncesi ve sonrası çekme mukavemeti sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.3 Piston Alaşımlarının Çekme Mukavemeti; a) Isıtılma İşlemi Öncesi, b) Isıtılma İşlemi Sonrası

$AlSiCuMgNi$ alaşımları arasında en yüksek çekme mukavemeti Alaşım-3'te elde edilmiştir. $AlCu_4MgNi$ alaşımı ise diğerlerinden daha yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşmıştır. Şekil 3.3'te görüleceği üzere ısıtılma işlem tüm alaşımlarda olumlu etki göstermiştir. (Zeren, 2007)

Filtreleme kutusunun tasarımı ve verimi endüstriyel kullanımda ortaya çıkan eksikliklerinin ve bunların geliştirilebileceği öngörülmüştür. Bu nedenle endüstride kullanılan aksine bir filtreleme kutusu prototipi tasarlanıp, üretilip enerji ve filtreleme verimliliği açısından incelenmiştir. Filtreleme kutusunun tasarımı, verimi ve alaşımlanan metalin mekanik özelliklerine olan etkisi literatürde eksikliği görülmüştür.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda filtreleme ve alaşımlama arasındaki ilişkinin metal temizliğine etkisini irdelemek adına bu çalışma yapılmıştır.

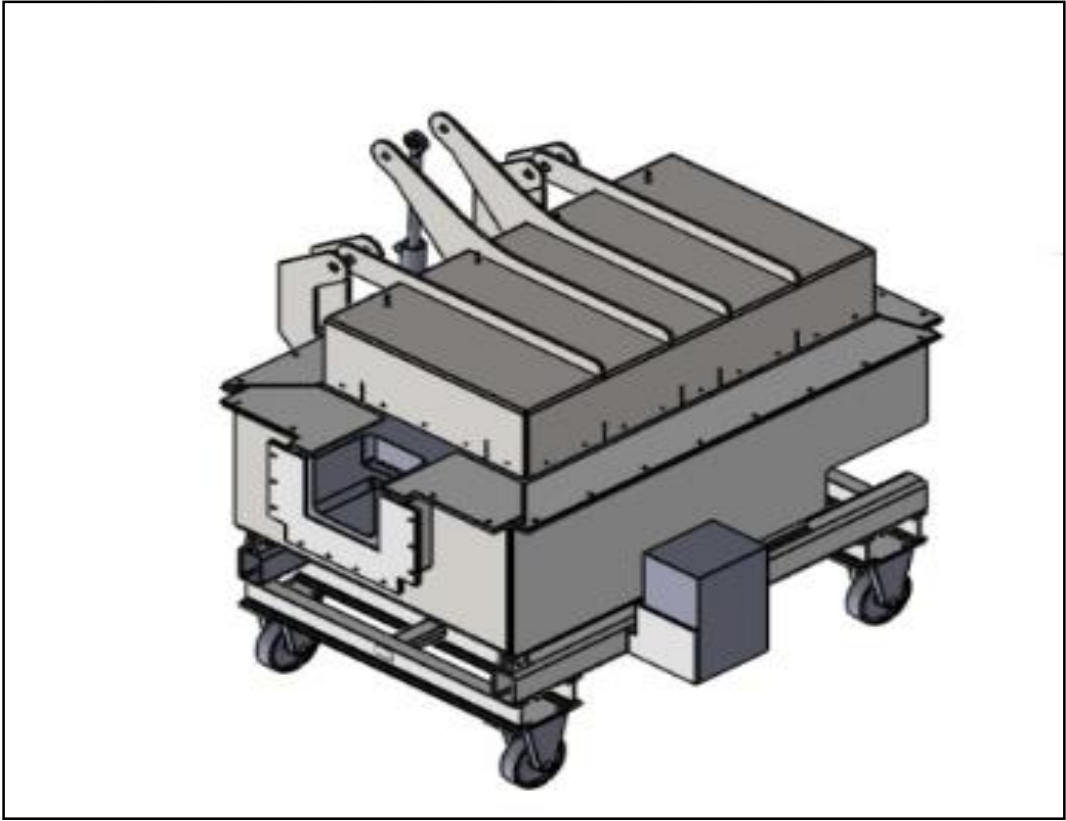
4. KESİKLİ FİLTRELEME PROSESİNE UYGUN FİLTRELEME HAVUZUNUN TASARLANMASI VE İMALAT PROSESİ

Sıvı alüminyum kalitesini yükseltmek için mevcut yöntemlere alternatif arayışlarına giren alüminyum döküm endüstri, talepleri karşılayabilmek adına farklı yöntemler denemeye başlamıştır. Gaz alma ve flakslama temizleme yönteminin de alüminyum kalitesini arzulanan seviyeye çıkaramamasından dolayı yeni yöntemler uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda yeni bir yöntem olan filtreleme tekniği, sıvı alüminyum alaşımlarında kendisine geniş bir yer bulmuştur. Ancak filtreleme tekniği sürekli döküm proseslerine adaptasyonu çok hızlı bir şekilde olurken kesikli döküm yöntemlerine adaptasyonu biraz zaman almıştır. Bunun sebebi etken filtrenin sürekli sıvı ile temas etmek zorunda olmasıdır. Aksi takdirde hava ile temas söz konusu olduğunda içinde bulundurduğu sıvı alüminyum alaşımı donarak filtrenin kullanılamaz hale gelmesine sebebiyet vermektedir. Bu nedenden ötürü kesikli döküm yönteminde filtreyi sürekli sıvı alüminyum içinde tutmak için bazı tasarım değişikliklerine gidilmiştir. Şekil 4.1’de sürekli döküm proseslerinde kullanılan bir filtreleme kutusu gösterilmiştir.

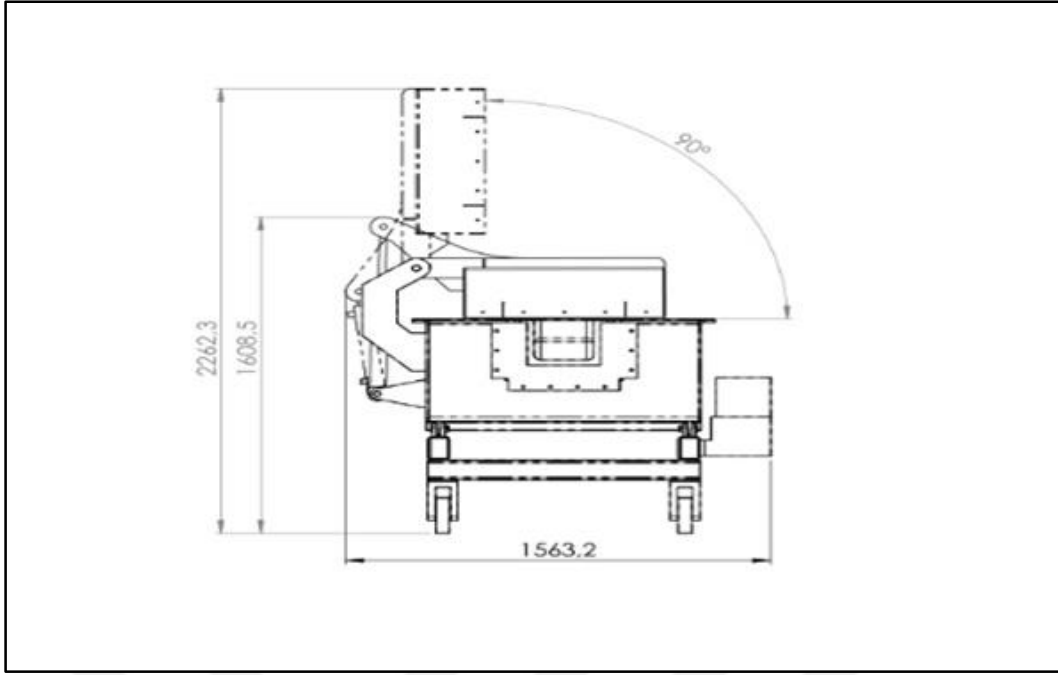


Şekil 4.1 Sürekli dökümde kullanılan filtreleme kutusu görseli (Anonim, 2021)

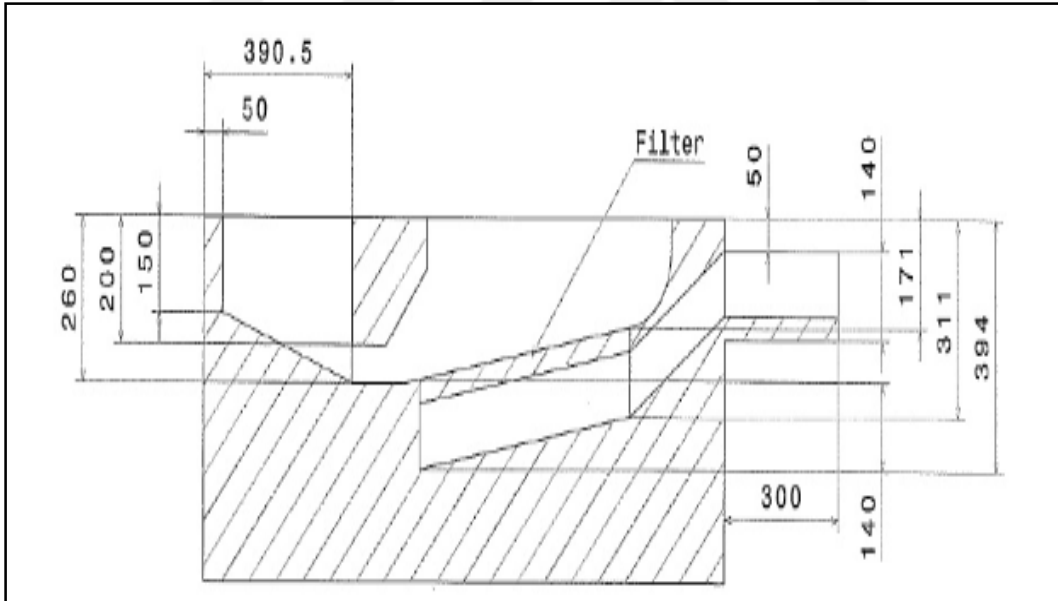
Filtreleme kutusunun alüminyumun sürekli döküm işlemlerinde parça kalitesini artırması ile birlikte kesikli döküm yapan diğer endüstriyel üreticiler de sistemi üretim süreçlerine entegre etmeye çalışmaktadırlar. Şekil 4.2’de görülen filtreleme kutusunda kullanılan filtre kesikli döküm yapan dökümhanelerde kullanılan filtreleme kutusuna örnektir. Bu filtreleme kutularında kullanılan filtreler sürekli sıvı alüminyum içerisinde kalacak şekilde filtreyi kutuya konumlandırılmış akabinde dökümün kesilmesi ile sistemde yine sıvı alüminyum tutarak filtrenin kullanımına olanak sağlanmıştır. Ayrıca sıvı metali sistemde sabit sıcaklıkta tutabilmek için kutunun üst kısmına rezistans eklenmiştir. Şekil 4.2’de kesikli döküm için uyarlanan filtreleme kutusunun görseli mevcuttur. Aynı zamanda şekil 4.3’de filtreleme havuzunun teknik resmi de sunulmuştur.



Şekil 4.2 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusu



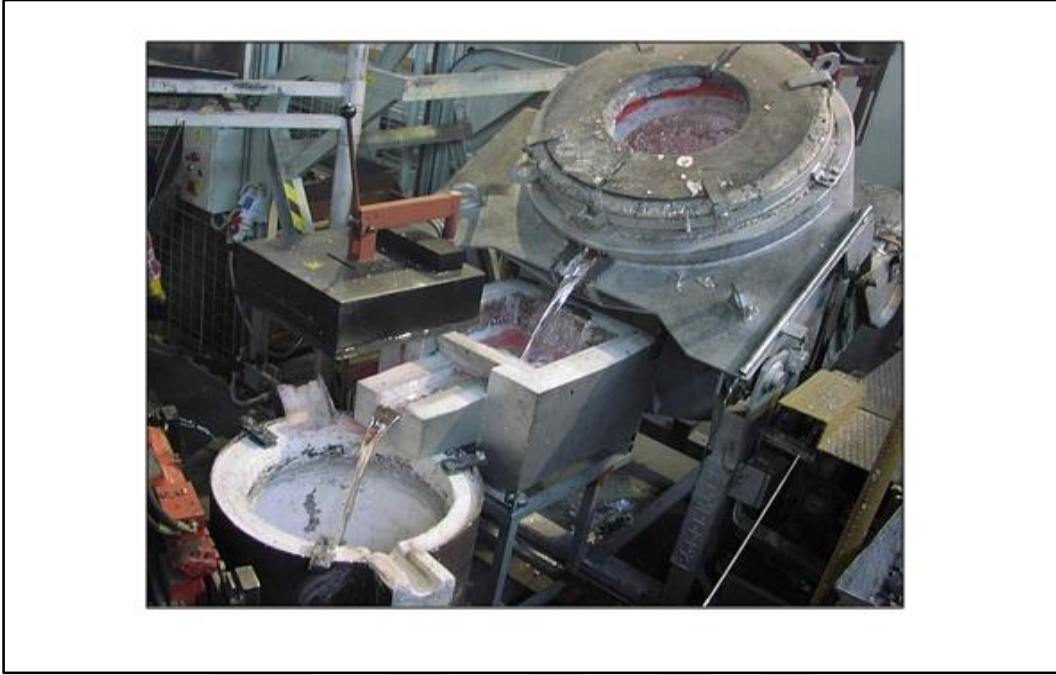
Şekil 4.3 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun teknik çizimi



Şekil 4.4 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun kesit görünüşü

Şekilde 4.4’de filtreleme kutusunun kesit görüntüsü yer almaktadır. Filtre açılı bir şekilde filtreleme kutusuna yerleştirilir ve montaj sırasında refrakter esaslı yapıştırıcılar ile birleşimi sağlanır. Bu sayede çalışma esnasında ergiyik alüminyumun yarattığı basınca dayanıklılık göstermiş olur. İlk çalışma öncesi sinterleme işlemi yapılır. Bu

işlem sayesinde, ani sıcaklık değişimlerinde termal şokun önüne geçmek ve yapısında bulunan nemi atması amaçlanmaktadır.

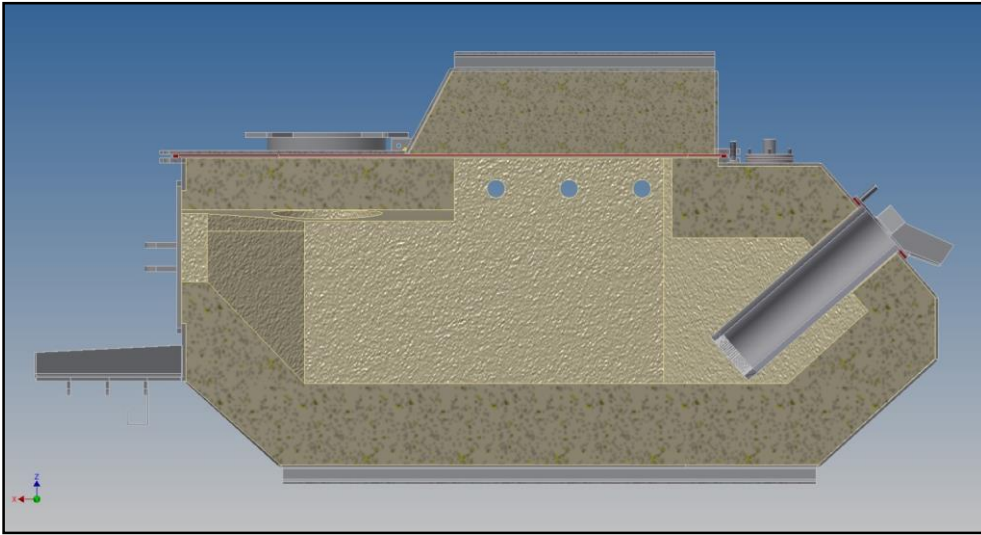


Şekil 4.5 Kesikli döküm alüminyum alaşımları için tasarlanan filtreleme kutusunun çalışma prensibi

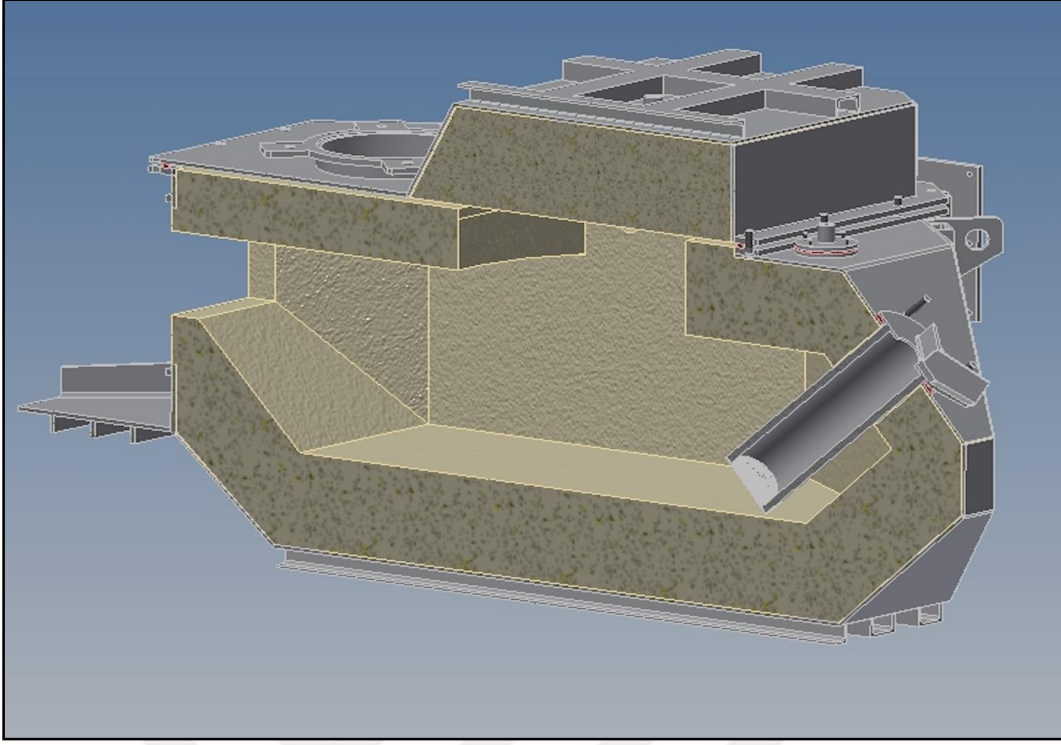
Şekil 4.5’de bir filtreleme kutusunun çalışması gösterilmiştir. Görselden anlaşılaacağı üzere transfer potasına ihtiyaç duyulacak kadar sıvı alüminyum filtreleme havuzunda geçirilerek alınır. Daha sonra döküm sonlandırılır. Ancak filtreleme havuzu yapısı itibariyle içerisindeki sıvı alüminyumu tutarak filtrenin kullanımının devamına olanak sağlar. Ancak kesikli döküm için tasarlanmış bu filtreleme kutusunun, döküm hızının yer çekimine bağlı hareket etmesi filtrenin özellikle geri döngü kullanan endüstrilerde hızlı tıkanmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum sürekli kullanımında verim kaybına yol açmaktadır. Aynı zamanda kullanılan rezistansın fazla enerji tüketmesi bunun yanı sıra kullanılan seramik refrakterlerin sıvı alüminyum ile sürekli teması sonucu refrakterlerde hızlı erozyona uğramasına neden olmaktadır. Bu hususlara bağlı olarak, termal iletkenliğin artması ve ısı kayıplarının yüksek olması gibi olumsuz durumlar söz konusudur. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda yeni bir filtreleme havuzunun tasarlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

4.1. Filtreleme Havuzunun Modellemesi ve Geliştirilmesi

Bu bölümde kesikli dökümlerde kullanılan filtreleme kutusunun yer çekimi etkisi altında filtrelemenin akışkanlığı düşürmesinden dolayı sisteme basınç verilerek basınç yardımı ile filtrelenenin gerçekleşmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda sistemin dinamikleri ve içyapısı olduğu gibi değiştirilmiştir. Sistemde basınç olacağı için model tamamen basınçlı kap gibi düşünülmüş ve sızdırmazlık dikkate alınarak tasarlanmıştır. Tasarım belirlenirken metalin basınçla akması için keskin köşelere, konik pah kırma işlemi gerçekleştirilmiş ve kararlılık sağlanmıştır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de filtreleme kutusunun katı modeli görülmektedir.

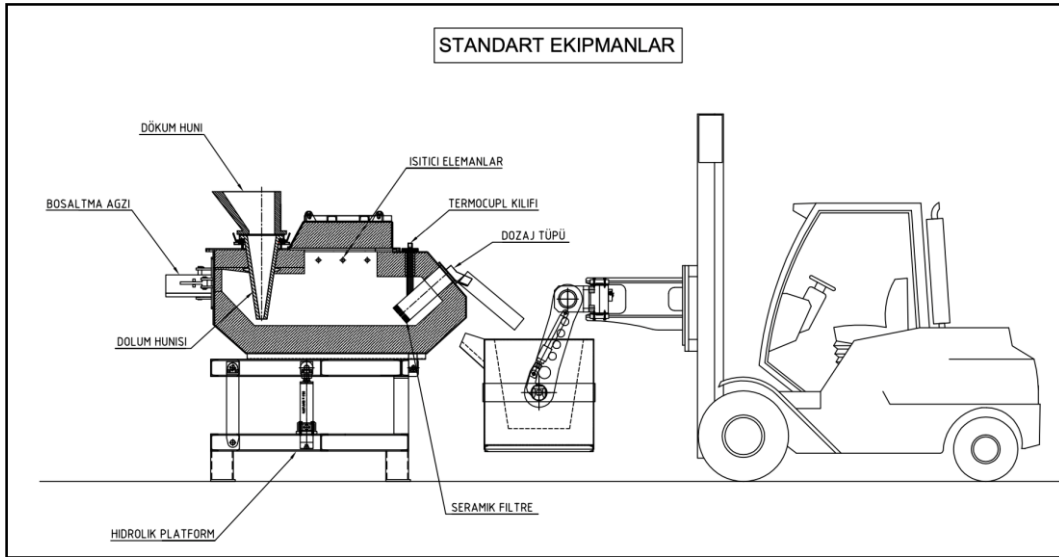


Şekil 4.6 Filtreleme havuzunun iç tasarımının katı model görüntüsü



Şekil 4.7 Filtreleme havuzunun iç tasarımının izometrik katı model görüntüsü

Katı prototip belirlendikten sonra sistemin ana bileşenleri tanımlanmıştır. Şekil 4.8’de filtreleme havuzunun ana bileşenleri görülmektedir.



Şekil 4.8 Filtreleme havuzunun ana bileşenlerinin tanımlanması

4.1.1. Filtreleme Havuzunun Gövdesi

Dökümün ağır koşulları dikkate alınarak gövde de st-37 siyah sac kullanılması uygun görülmüştür. Gövdesi 8 mm -15 mm kalınlıkta saclarla kuvvetlendirilmiş ve mukavemetli bir yapının olması istenmiştir. İç yüzeyde kullanılacak olan refrakter malzeme ile ısı verimin artması ve erozyon direncinin yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda en dış bölgede seramik 1200x1000x25 mm ebatlarında 1260 °C ye kadar dayanıklı Tek Fiber plakalar kullanılmıştır. Üzerinde 1000*610*50mm ebatlarında kalsiyum silikat plaka kullanılmıştır. En dış yüzey yani sıvı metal ile temas edecek yüzeye erozyon aşınma direnci yüksek malzeme olan yüksek alüminalı refrakter malzeme kullanılmıştır. Bu yüksek alüminalı refrakterin yoğunluğu 2,76 g/cm³'dür. Maksimum sıcaklık dayanımı 1540 °C'dir. Filtreleme havuzunda kullanılan refrakter içeriği Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Filtreleme havuzunda kullanılan refrakter içeriği

Kimyasal İçerik	Miktarı (%)
Al ₂ O ₃	84.8
SiO ₂	7.5
TiO ₂	3.0
CaO	2.4
Fe ₂ O ₃	1.3

4.1.2. Boşaltma Ağızı

Boşaltma ağızı, filtreleme havuzu içindeki sıvı metalin istenmeyen bir durumda, servis bakımı gerektiğinde ya da filtre tıkandığı zaman sistemden sıvı metalin uzaklaştırılması için tasarlanan bölgedir. Bu bölgenin zorunlu haller dışında açılmaması gerektiği için sisteme bir sensör dahil edilmiştir. Ayrıca kapak sızdırmazlık özelliğinin olması için özel yanmaz conta kullanılmıştır. İç yalıtkan malzemesi olarak seramik elyaf battaniye kullanımı tercih edilmiştir.

4.1.3. Doldurma Hunisi

Filtreleme havuzu içerisine sıvı metal transferini gerçekleştirmek için kullanılan parçadır. Bu bölüm sıvı metal ile ilk temas eden bölge olduğu için erozyon aşınımı en yoğun olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca bu bölgenin aşırı ısınma ve soğuma durumlarında çatlamasının önüne geçmek için termal şok dayanımı da yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı doldurma hunisinin imalatında dökme demir tercih edilmiştir.

4.1.4. Isıtıcı Elemanlar

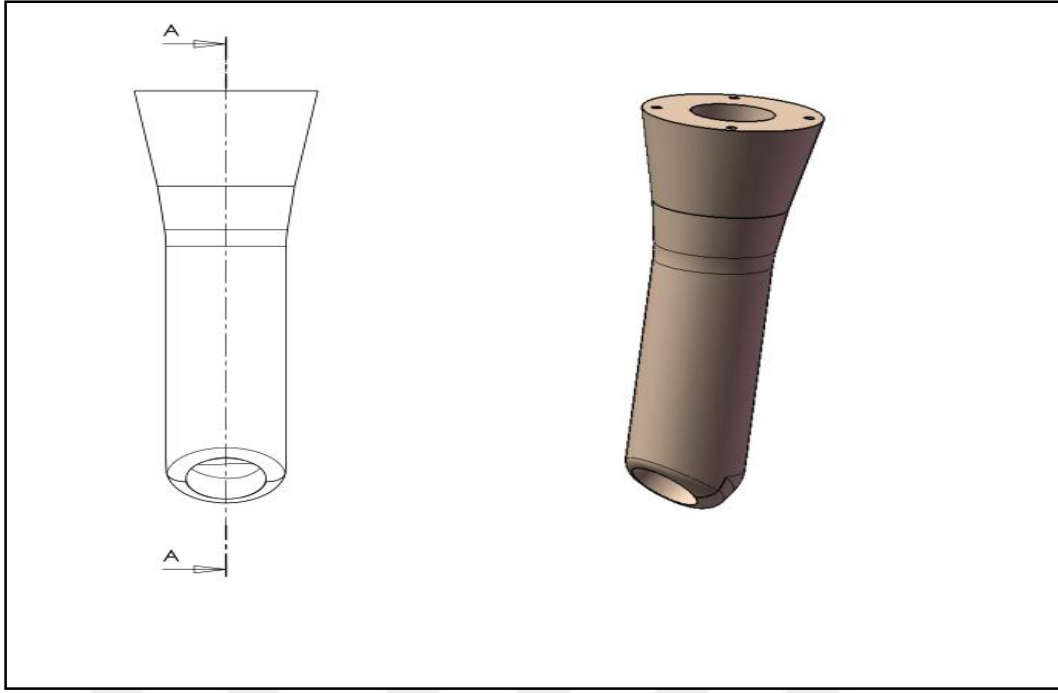
Filtreleme havuzu içindeki sıvı alüminyumun ısınıpı kompanse ederek istenen sıcaklıkta muhafaza edilmesini sağlamak için silisyum karbür tipi rezistans kullanılmıştır. Kesikli döküm için tasarlanan filtreleme havuzunda tüp rezistans kullanılmış ancak çalışma sıcaklığının 800 °C’de olması nedeniyle bu bölgelerde uzun süreli verimli çalışması öngörülemediği için kullanılması uygun görülmemiştir. Çalışmada 3 adet 8 kW’lık olmak üzere toplamda 24 kW güce sahip SiC bir ısıtma sistemi öngörülmüştür.

4.1.5. Termocouple Kılıfı

Filtreleme havuzu içindeki sıvı alüminyumun sıcaklığını ölçmekte kullanılacak olan ısı çift sensörünün muhafazası için silisyum nitrat kılıflı (Ni-CR-Ni) K tipi termokupl kullanılmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda sinterleme ve ortam sıcaklığı ile korelasyon yapılabilmesi için ortam atmosferini ölçen bir adet daha termokupul kullanılmıştır. Bu sayede hem maden hem de fırın atmosferinin ısınıpının kontrol altına alınması öngörülmüştür.

4.1.6. Dozaj Tüpü

Filtreleme havuzu içindeki sıvı alüminyumun basınç farkı ile taşıma potasına transferine yarayan seramik esaslı yolluk malzemesi yüzeyi, alüminyum nitrit ile kaplanarak ıslanmaz yüzey elde edilmiştir. Bu sayede boşaltma sırasında yüzey tutuculuğunun düşük olması sağlanacak ve zamanla oluşabilecek oksit tabaka oluşumu engellenecektir. Şekil 4.9’ de dozaj tüpünün katı modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Dozaj tüpünün katı model görüntüsü

4.1.7. Seramik Filtre

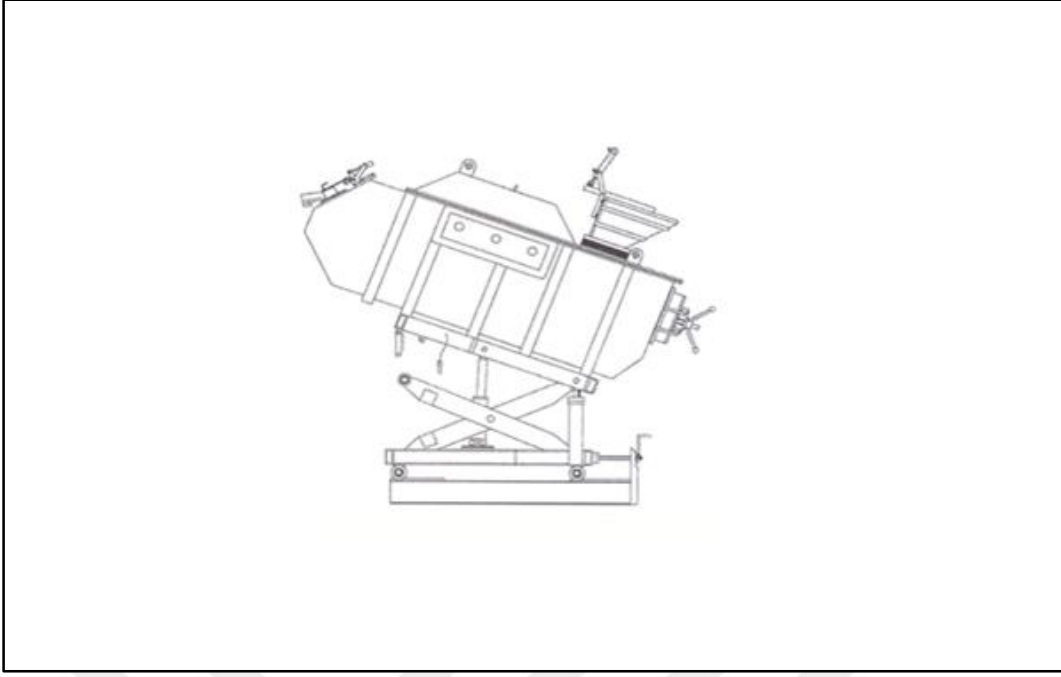
Bu  r n kesikli döküm için tasarlanan filtreleme kutularında yataklama ile geniş bir yer kaplamaktadır ve değiştirme işlemi sırasında sistem, refrakter ile birlikte tamamen kırılıp i  bileşenleri yeniden yapılmaktadır. Bu da sistemin verimini düşürdüğü için yataklama yerine dozaj tüpü başlangıç ağız kısmına seramik yapı tırıcısı ile montaj edilmiştir. Ancak dozaj tüpü ağız kısmı  ekil 4.9’da görüldüğü gibi uygun değildir. Bu nedenle u  değiştirilerek filtre takılmıştır. Şekil 4.10’da revize edilmiş dozaj tüpü ve filtresi görülmektedir.



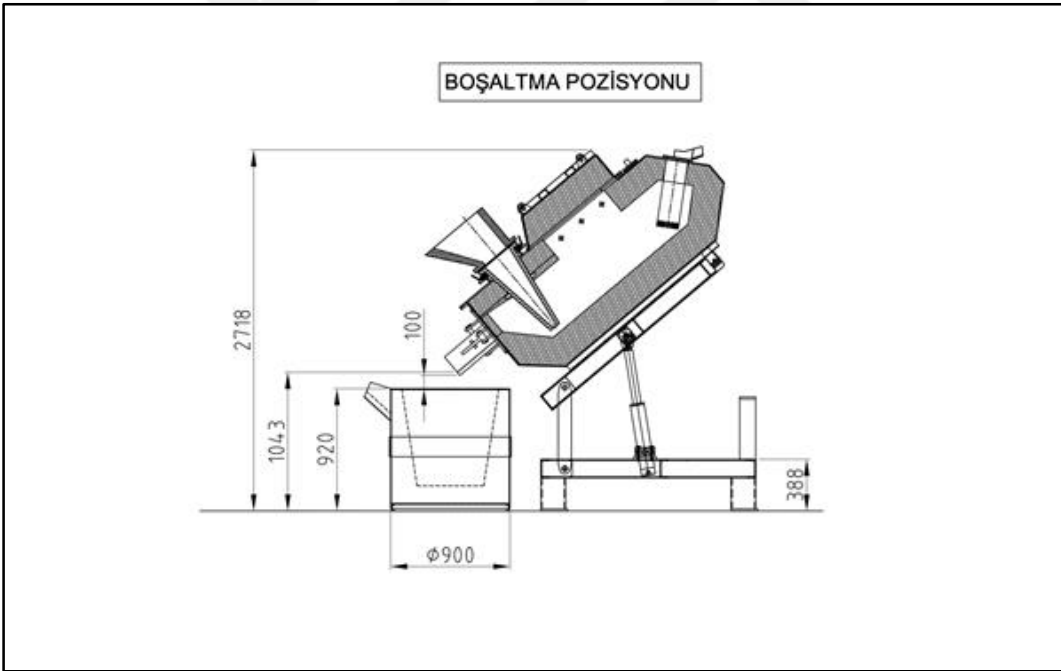
Şekil 4.10 Değiştirilmiş ve filtre takılmış dozaj tüpü görüntüsü

4.1.8. Hidrolik Platform

Filtreleme havuzu içindeki sıvı metalin istenildiğinde boşaltma ağzı aracılığı ile tahliye edilebilmesi için eğim verme işlemini sağlayan mekanizmadır. Sistemin istendiğinde tamamen boşaltılabilmesi için gerekli eğime göre bir hidrolik makas tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu bileşenin şekil 4.11 ve şekil 4.12’de şematik gösterimi mevcuttur.



Şekil 4.11 Hidrolik Platform şematik gösterimi



Şekil 4.12 Filtreleme havuzu boşaltma konumu teknik görseli

Makinenin bu pozisyonu sadece bakım gerektiğinde ya da acil durumlarda kullanılması için düşünülmüştür. Makine, hidrolik kol ile kaldıraç yapılarak kriko yöntemi ile yaklaşık 45 derece açığa gelene kadar kaldırılır ve içindeki sıvı metal tamamen alınır. Sıvı metal tamamen sistemden uzaklaştırıldığında yine kriko yöntemi ile normal

pozisyonuna getirilir. Makineden sıvı metal çıkışı yalnızca bu konumdayken yapılması gerektiğinden makine tahliye kapağına sensörlü kilit ve alarm sistemi yerleştirilmiş ve iş güvenliği konusunda önlem alınmıştır.

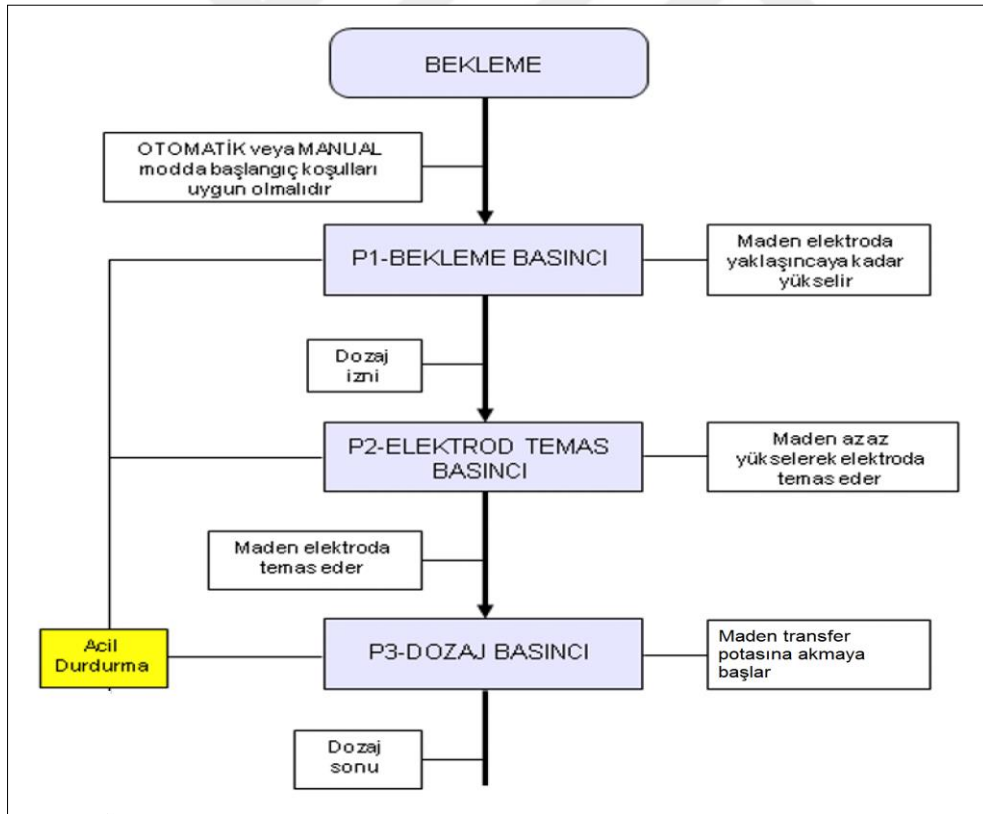
4.2. Filtreleme Havuzunun Basınç Kontrol Mekanizmasının Geliştirilmesi

Standart filtreleme havuzlarında ya da kesikli döküm için kullanılan filtreleme havuzlarında filtreleme için herhangi bir dış basınç etkisi kullanılmaz. Bunun yerine tamamen yer çekimi kuvvetinden yararlanılarak yükseklik farkından dolayı akış sağlanır. Bu çalışmada özellikle filtreleme havuzlarının kullanıldığı endüstrilerde geri döngü oranının ve viskozitenin yüksek olması, sıvı alüminyum filtrelemede akışı son derece zorlayan ve verim düşüklüğüne sebep olan durumlardan ötürü sisteme dışarıdan ek bir basınç ilave edilmiştir.

Bu kapsamda dizayn edilen filtreleme havuzuna basınç uygulaması için çalışmalar başlatılmıştır. İstenen miktarda sıvı metalin izole bir ortamdan (filtre gövdesi) basınç farkı ile başka bir ortama kontrollü olarak transfer edilmesi için basit bir mekanik model üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Sızdırmaz bir kap içerisine doldurulan su, prototip olarak imal edilen kumanda panosu ve basınç enstrümanları ile kontrol edilmiştir. Akabinde sızdırmaz kabın iç basıncı bir transmitter ile gözlenmiş ve basınç farkı sağlanarak başka bir kaba sıvının kontrollü bir şekilde transferi sağlanmıştır. Bu transfer sırasında sisteme 100 mbar-200 mbar arasında basınç değerler verilir. Bu değerlere karşılık gelen miktar kg cinsinden tartılır. Elde edilen çıktılara göre algoritma kg miktarına göre milisaniye cinsinden belirli bir süre sisteme sabit bir basınç vermektedir. Buna karşılık istenilen miktarda kg sıvı alایش alınmış olur. Şekil 4.13’de basınç test kontrolü ile ilgili görsel mevcuttur. Ayrıca şekil 4.14’de de sistem çevrim algoritması gösterilmiştir.



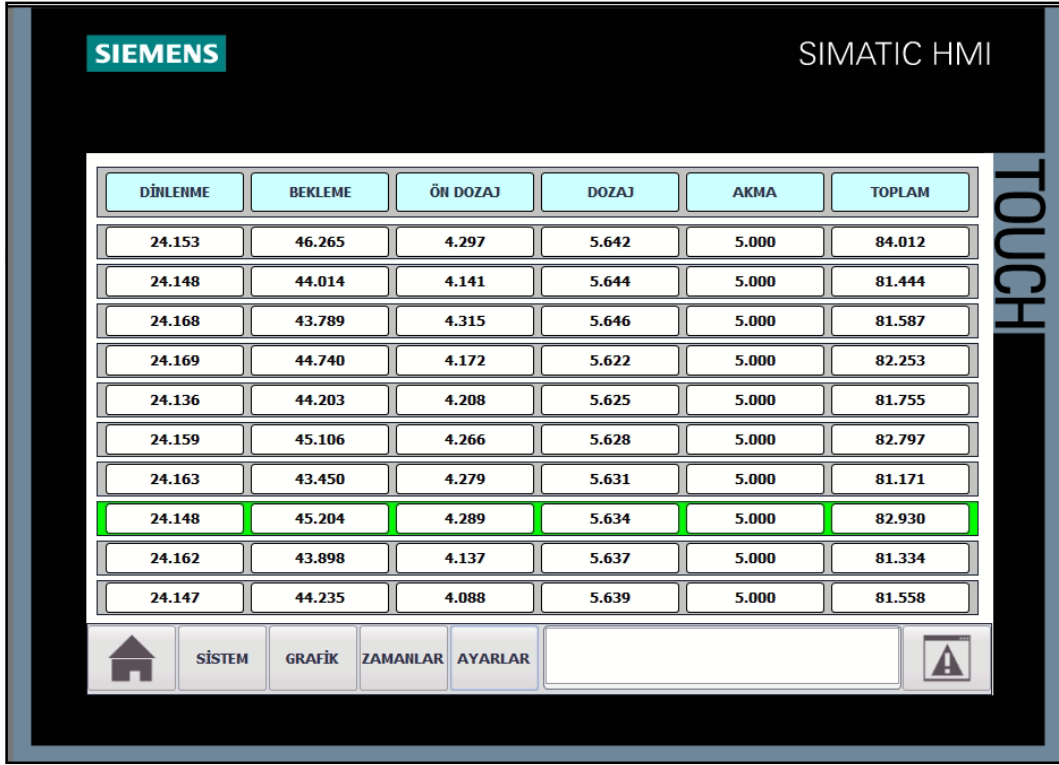
Şekil 4.13 Basınç test optimizasyonu deneme çalışmalarından bir görsel



Şekil 4.14 Sistem çevrim algoritması

Bu testler sırasında dozaj çevrimine ait parametre aralıkları tespit edilmiş, kontrol algoritması düzenlenmiştir. Dozaj çevrimi her zaman güvenli ve kontrollü bir çevrim

olarak sağlanmalıdır. Bu çevrimde Şekil 4.15’de görülebileceği gibi tüm adımlara ait zamanlar SCADA sisteminde kayıt altına alınmaktadır. Kayıtlara bakılarak sistem adımları takip edilebilir ve toplam çevrim süresi görülebilmektedir. Sistemin basıncı Analog bir modül ile ölçülerek sürekli takip edilmektedir. Benzer şekilde iç basınç istenen değerlerde analog output modülü- oransal valf grubu ile sabit tutulmaktadır. Kararlı bir akış için en uygun PID değerleri hesaplanarak kullanılmaktadır.



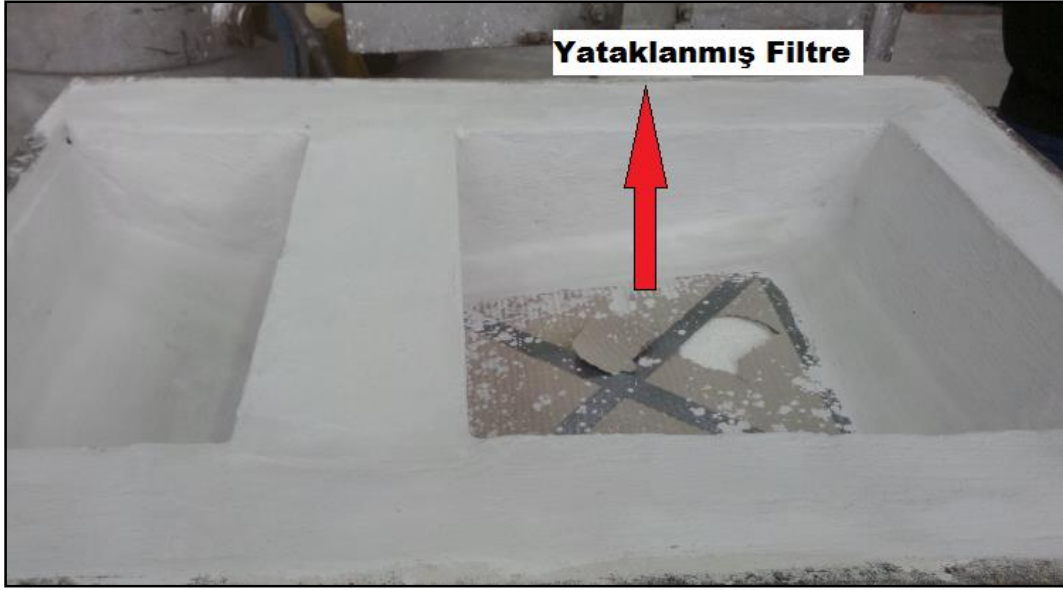
The image shows a SIMATIC HMI Touch screen interface. At the top left is the SIEMENS logo, and at the top right is the text 'SIMATIC HMI'. On the right side, there is a vertical label 'TOUCH'. The main display area contains a table with 6 columns: DİNLENME, BEKLEME, ÖN DOZAJ, DOZAJ, AKMA, and TOPLAM. The table has 12 rows of data. The 9th row is highlighted with a green border. At the bottom of the screen, there is a navigation bar with icons for a home screen, SİSTEM, GRAFİK, ZAMANLAR, AYARLAR, and a warning icon.

DİNLENME	BEKLEME	ÖN DOZAJ	DOZAJ	AKMA	TOPLAM
24.153	46.265	4.297	5.642	5.000	84.012
24.148	44.014	4.141	5.644	5.000	81.444
24.168	43.789	4.315	5.646	5.000	81.587
24.169	44.740	4.172	5.622	5.000	82.253
24.136	44.203	4.208	5.625	5.000	81.755
24.159	45.106	4.266	5.628	5.000	82.797
24.163	43.450	4.279	5.631	5.000	81.171
24.148	45.204	4.289	5.634	5.000	82.930
24.162	43.898	4.137	5.637	5.000	81.334
24.147	44.235	4.088	5.639	5.000	81.558

Şekil 4.15 Scada sistemi aktif kontrol dozajlama çevrim süreleri

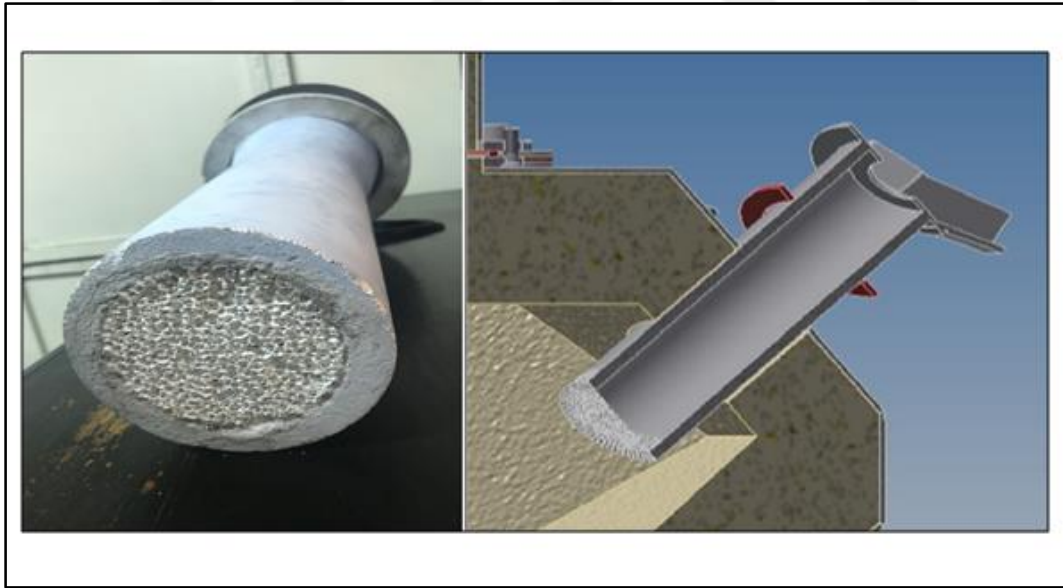
4.3. Filtreleme Havuzunun Filtre Konum Ve Tipinin Belirlenmesi

Klasik yöntem filtreleme havuzlarında filtre konumu yatay açılı bir şekilde havuza yataklanır. Ardından refrakter harç ile sabitlenir. Ancak herhangi bir tıkanma durumunda sistemdeki refrakterin tamamen kaldırılması gerekmektedir. Şekil 4.16’de klasik tip kesikli dökümler için bir filtre yataklaması görseli mevcuttur.



Şekil 4.16 Yataklanmış filtresi ile filtreleme havuzunun görüntüsü

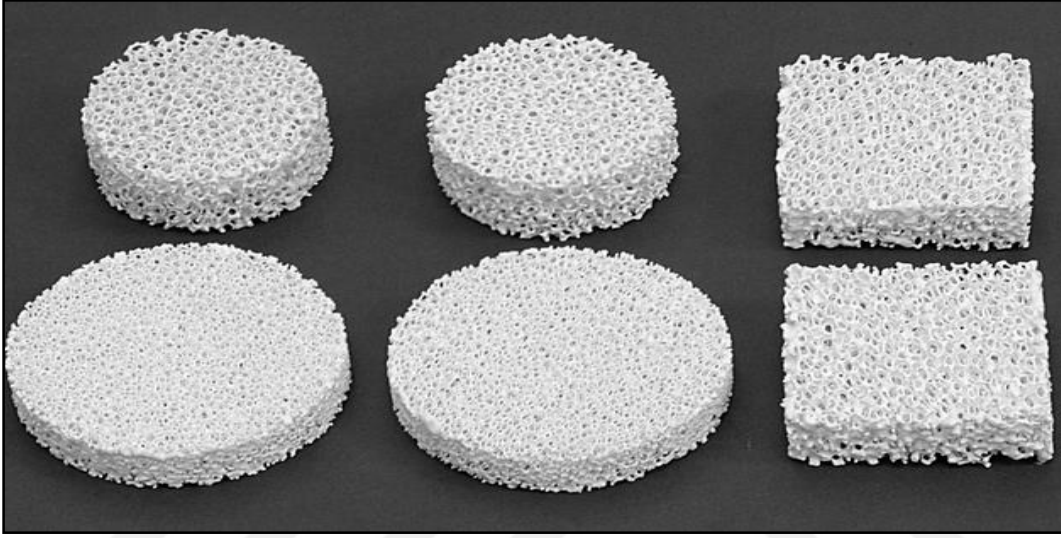
Bu nedenle bu tasarlanan filtreleme havuzunda filtre konumunun, yataklamak yerine daha hızlı ve sisteme zarar vermemesi açısından dozaj tüpü ağzına yerleştirilmesine karar verilmiştir. Şekil 4.17’de dozaj tüpü içine yataklanmış filtre görüntüsü mevcuttur.



Şekil 4.17 Dozaj tüpü içine yataklanmış filtre görüntüsü

Filtre çeşidi bakımından 2 tip filtre aday olarak seçilmiş ve incelemeye alınmıştır. Bunlar;

a) Seramik köpük filtre: Bu seramik köpük filtreler endüstride kullanılan en yaygın köpük filtre gurubudur. İstenilen çap ve uzunlukta müşterinin ihtiyacına göre imal edilebilmektedir. Bu kullanım kolaylığı tüketiciler tarafından tercih edilmesine olanak sağlamıştır. Ana bileşeni fosfat bağlı alüminadır. Şekil 4.18’de farklı ölçülerde seramik köpük filtreler mevcuttur.



Şekil 4.18 Farklı tip ve ölçüde seramik köpük filtre görseli (Anonim, 2021)

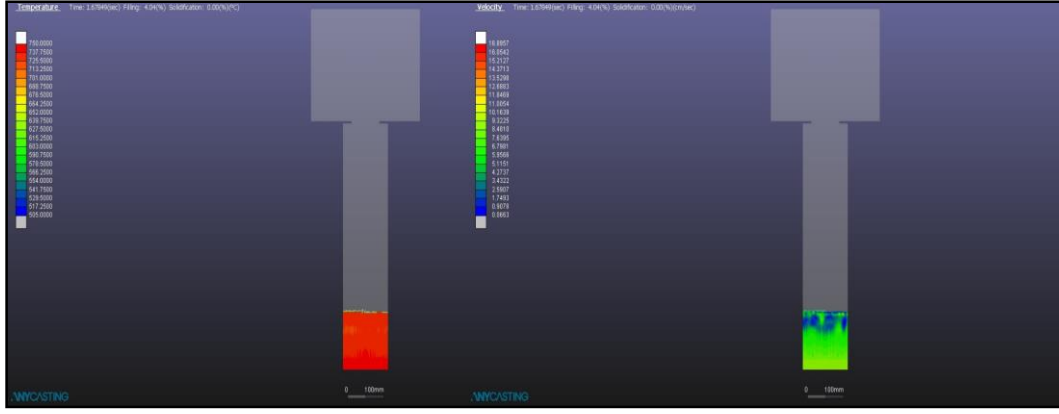
b) BPF tipi filtre: Bu filtreler diğer aday olan seramik köpük filtrelere oranla geçirgenliği çok daha düşüktür. Bu sayede eriyik alüminyum alaşımında daha yüksek kalite elde edilebileceği öngörülmektedir. Fakat sıvı metalin akış hızında ciddi oranda azalma olması da muhtemeldir. Tasarım uygunluğuna göre filtreleme hedefi 150 kg\dk olarak belirlenmiştir. Buna karşılık uygun görülen filtre 17’’ boyutlarında hesap edilmiştir. Ancak bu filtre boyut olarak çok büyük geldiği için bpf filtre kullanmaktan vazgeçilmiştir. Şekil 4.19’de BPF tipi filtrelerin görseli paylaşılmıştır.



Şekil 4.19 Bpf tip filtre görüntüsü (Anonim, 2021).

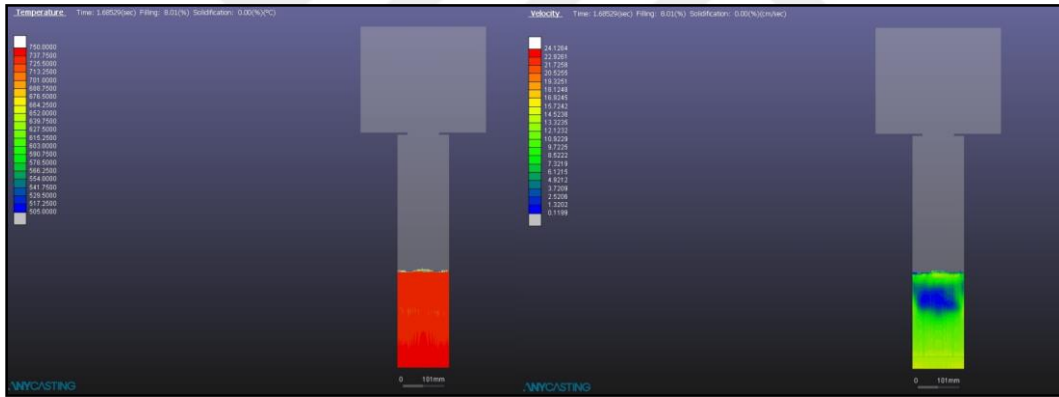
Boyut olarak seramik köpük filtrelerin daha uygun olacağı değerlendirilmiş ve BPF tipi filtre yerine tercih edilmiştir. Sisteme uygun ppi değeri kullanılması konusunda çalışmalar başlatılmış ve bu kapsamda CFD analizi yapılarak akış hakkında öngörü sağlanarak filtre ppi seçimi yapılmıştır. Ppi seçimi yapılırken aday olarak 3 tip filtre seviyesi seçilmiştir. Bunlar 10-20-30 ppi filtre tipleridir. Aşağıdaki görsellerde farklı hızlarda filtre tiplerinin analizleri mevcuttur.

CFD analizi: Filtreleme süresi metalin sıcaklığını kaybetmemesi için maksimum dolum süresi olarak 5 dakika hedeflenmiştir. Yer çekimine bağlı kokil dökümde çalışma sıcaklığı 750 ile 850 °C arasında olduğu için kritik sıcaklığın herhangi bir intermetalik faz oluşmaması ve katılaşma başlamaması için 700 °C kritik sıcaklık seçilmiştir. Dolayısıyla yapılan çalışmada bu sıcaklığın 750 °C'nin üzerinde tutulması hedeflenmiştir. Bu süreçte yapılan testler neticesinde basıncın 100 mbar ve 200 mbar arasında yeterli olacağı öngörülmüştür. Hatta daha yüksek basınçlara çıkılarak istenilen optimal sürenin de elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu veriler ışığında 100 mbar'dan başlayıp ihtiyaç duyulması durumunda 500 mbar'a kadar 3 farklı ppi seviyesinde filtre takılmış dozajlama tüpü üzerinde CFD analizi yapılarak veriler elde edilmiştir. Riser Tube tasarımı için 750°C'deki alüminyum alaşımı için; 10, 20 ve 30 ppi filtrelerden 100, 200, 300 mbar basınç değerlerinde alçak basınç simülasyonları yapılmıştır. Yaklaşık 1,5 ile 1,7 saniye aralığında sıvı metalin ilerlediği miktarın sıcaklık ve hız verileri aşağıda gösterilmiştir.



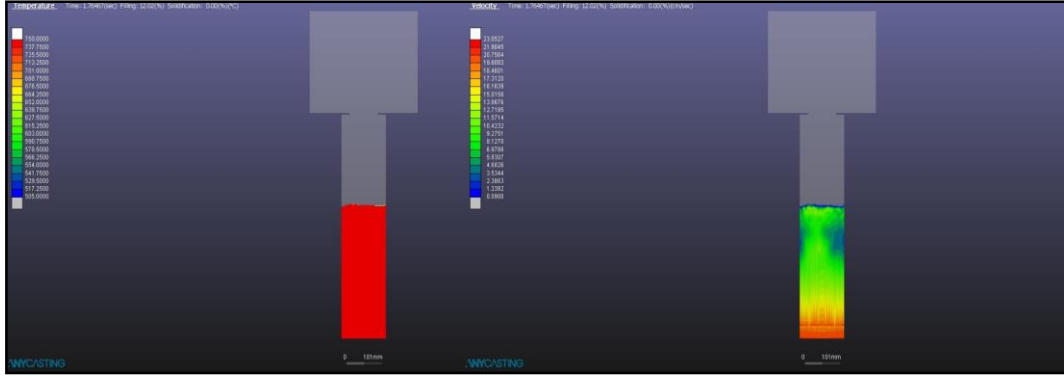
Şekil 4.20 100 mbar- 10 ppi- Sıcaklık-hız simülasyonu

100 mbar – 10 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,6 saniyede elde edilen dolum değeri % 4.04 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplamalar dahilinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 38,25 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.20).



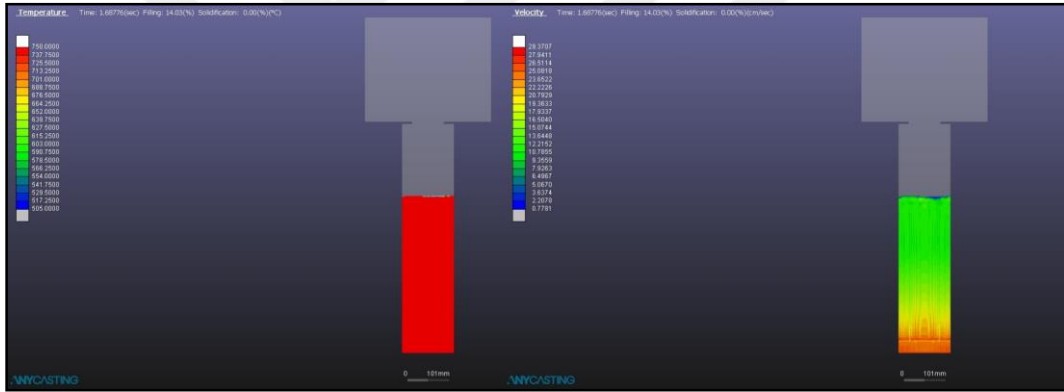
Şekil 4.21 200 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu

200 mbar – 10 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,6 saniyede elde edilen dolum değeri % 8.01 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplamalar neticesinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 79,8 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.21).



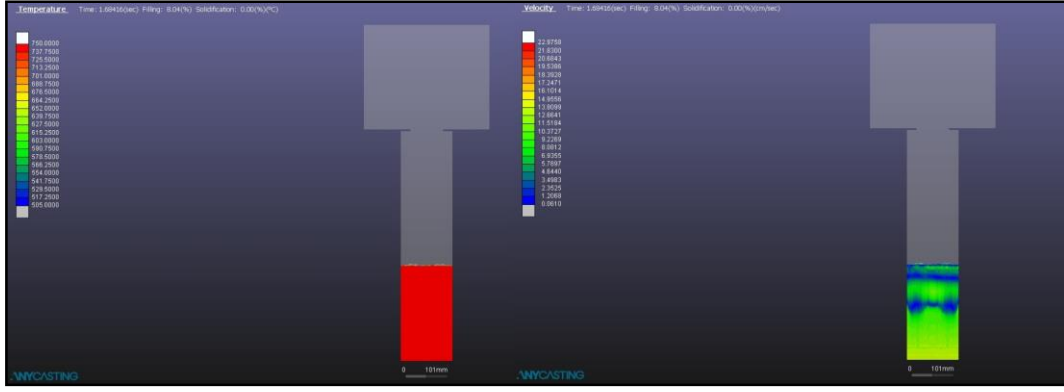
Şekil 4.22 300 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu

300 mbar – 10 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri %12,02 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplamalar sonucunda dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 120,6 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.22).



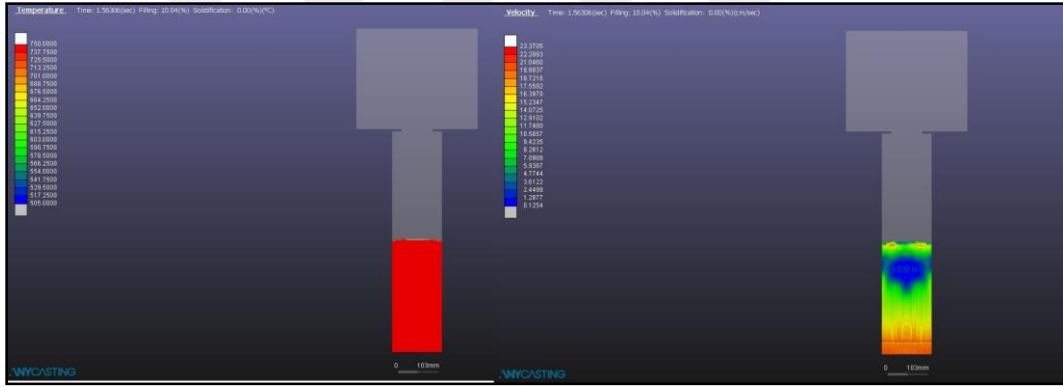
Şekil 4.23 400 mbar - 10 ppi - sıcaklık-hız simülasyonu

400 mbar – 10 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri % 14,04 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplamalar dahilinde dakika filtrelenmiş alaşım miktarı 134,6 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta herhangi bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.24 200 mbar- 20 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu

200 mbar – 20 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,6 saniyede elde edilen dolum değeri %8,04 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplama neticesinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 205,9 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.24).



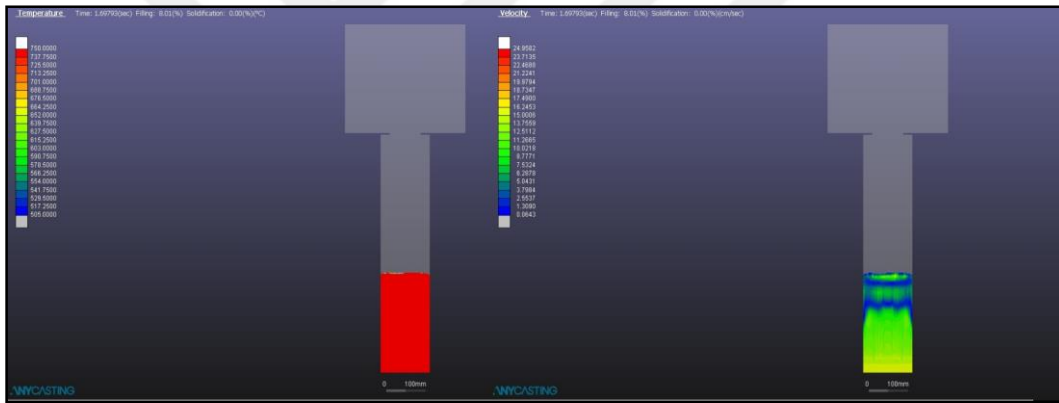
Şekil 4.25 300 mbar- 20 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu

300 mbar – 20 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,5 saniyede elde edilen dolum değeri %10,04 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplama dahilinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı: 57 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.26 400 mbar - 20 ppi sıcaklık-hız simülasyonu

400 mbar – 20 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri % 14,03 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplama sonucunda dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 360 kg/dk olarak belirlenmiş olup sıcaklıkta herhangi bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.26).



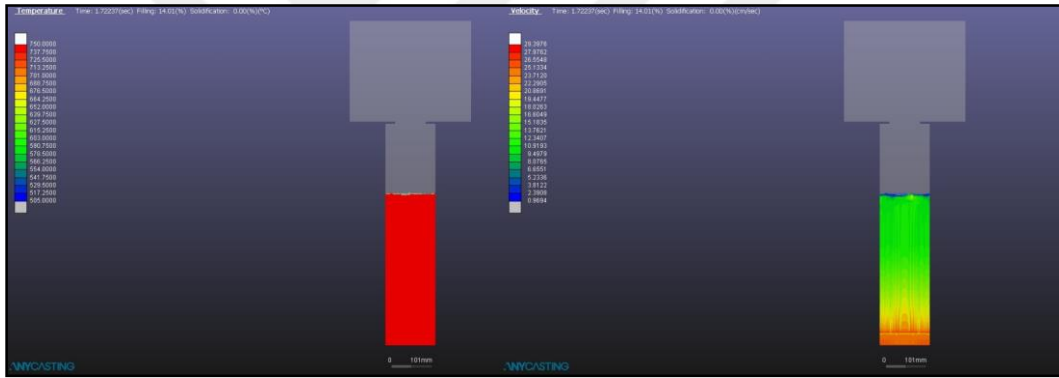
Şekil 4.27 200 mbar- 30 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu

200 mbar – 30 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri %12 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplama dâhilinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 205 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.28 300 mbar- 30 ppi- sıcaklık-hız simülasyonu

300 mbar – 30 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri %12 olarak ölçülmüştür. Bu hesaplama dâhilinde dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 308 kg/dk olarak belirlenmiş olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.29 400 mbar- 30 ppi- Sıcaklık-hız simülasyonu

400 mbar – 30 ppi filtre ile simülasyon sonucuna göre 1,7 saniyede elde edilen dolum değeri %14 olarak ölçülmüştür. Dakikada filtrelenmiş alaşım miktarı 360 kg/dk olarak hesaplanmış olup sıcaklıkta bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 4.29).

Tablo 4.2 Farklı filtre çeşitlerinin değişken basınç altında filtreleme miktarına karşılık gelen dolum ağırlığı kıyaslama tablosu

Kullanılan Filtre Ppi Değeri	Uygulanan Basınç Değeri	Adlıği Yol Dolum Miktarı	Dolum Ağırlığı
10 Ppi	100 mbar	%4	38,25 kg/dk
10 Ppi	200 mbar	%8	79,8 kg/dk
10 Ppi	300 mbar	%12	120,6 kg/dk
10 Ppi	400 mbar	%14	134 kg/dk
20 Ppi	200 mbar	%8	205,9 kg/dk
20 Ppi	300 mbar	%10	257 kg/dk
20 Ppi	400 mbar	%14	360 kg/dk
30 Ppi	200 mbar	%8	205 kg/dk
30 Ppi	300 mbar	%12	308 kg/dk
30 Ppi	400 mbar	%14	360 kg/dk

Tüm bu veriler ışığında başlıca 2 husus dikkate alınarak aday filtre kullanımına karar verilmiştir.

a) Maden Kontrolü ve İş Güvenliği: Filtre mukavemeti dikkate alındığında, 200 mbar üzeri basınçlarda kullanımı iş güvenliği açısından tehlike arz etmektedir. Filtrenin mukavemetini kaybedip kırılması, alaşımın taşması, çalışma ortamında yangın tehlikesi gibi istenmeyen durumların oluşabileceği öngörülmüştür. Ayrıca makinanın her bir kapak çıkış bölmesinde grafit contalarla sızdırmazlık sağlanmıştır. Ancak yüksek basınç, bu bağlantı bölgelerinden minör kaçakların artmasına, sistemdeki kontrol algoritmasının bozulmasına ve yanlış sonuçlar vermesine sebep olacaktır. Bu nedenlerden ötürü sistem basıncı sınırlandırılmıştır.

b) Filtrenin etkinliği: 3 farklı ppi seviyesine sahip filtre simülasyon ortamında denenmiş olup zaman akış dinamiği ve temizleme oranı optimize edildiğinde, 20 ppi filtre makine için uygun olarak öngörölmüş ve kullanılmasına kararına verilmiştir.

4.4. Filtreleme Havuzunun Isıtıcı Tipinin Belirlenmesi

Filtreleme havuzunda ısıtıcı olarak kullanılabilecek tüp rezistans ve SiC olmak üzere 2 farklı aday ön plana çıkmıştır. Tüp rezistans ısıtıcı kesikli dökümhaneler için tasarlanan filtreleme havuzlarında kullanılmaktadır. Şekil 4.30'da kesikli dökümhaneler için tasarlanan filtreleme havuzunda kullanılan tüp rezistans görüntüsü mevcuttur.



Şekil 4.30 Kesikli dökümhaneler için tasarlanan filtreleme havuzunda kullanılan tüp rezistans görüntüsü

Görseldeki rezistans 3 set olmak üzere her biri 220 V ve 3.3 kW'lık güç tüketmektedir. Toplamda 10 kW'lık güç tüketen bu ısıtıcılar 150 kg alaşım için 750 °C - 800 °C aralığında çalışması oldukça zordur. Ayrıca bu çalışma koşullarında çalışan boru tipi tüp rezistans üretimi de sınırlıdır. Diğer taraftan tüp rezistansların kullanım koşullarına bağılı olarak zamanla alüminyum buharından etkilenecek yüzey yaşlanmaya uğraması ve oksitlenerek rezistansın yanması gibi olumsuz durumlarla da karşılaşılabilir. Son olarak artan hacim 600 kg tutma kapasitesine sahip olan bu cihazı tüp rezistans ile tutmak için yaklaşık 40 kW enerji sarfiyatı ile SiC'den daha fazla enerji tüketmesi söz konusudur. SiC rezistans 3 adet 8 kW'lık toplamda 24 kW'lık güç tüketecek şekilde istenilen sıcaklıkta tutulacağı öngörölmüştür. Bu da enerji sarfiyat açısından tüp

rezistanstan daha avantajlıdır. Ayrıca SiC rezistansın sahip olduğu sır tabakası ile yüzey oksidasyonu ve kimyasal buhar yaşlanma etkisini minimum seviyede tutacaktır. Diğer rakibine göre bu özellikler SiC rezistansı ön plana çıkarmaktadır. Şekil 4.31’de kullanılmasına karar verilen SiC rezistansların sızdırmazlığı için yapılan conta yuvası görülmektedir.



Şekil 4.31 Filtreleme havuzu SiC rezistans terminal yuvalarının kapak görüntüsü

Filtreleme havuzunun gövdesi üzerinde açılacak izole deliklere yerleştirilecek olan üç adet SiC ısıtıcı mevcuttur. Şekil 4.31’deki fotoğraflarda görülen sızdırmaz bir terminal kutusu ile sonlandırılarak enerji beslemesi için kablo klemens bağlantıları bu izole kutu içinde yapılmıştır.

4.5. Makine Montaj Ve Sistem Devreye Alma

Filtreleme havuzuna ilk olarak şasi yapımıyla başlanmıştır. Şasi yapımında yaklaşık 30 metre kutu profil kullanılmıştır. Şasi bağlantı bölgeleri tamamlandıktan sonra şasi üzerine gövde imalatına başlanmıştır. Bu imalat sırasında 1500 kg st-37 sac malzeme kullanılmıştır. Gövdenin sızdırmaz özellikte olması nedeniyle argon kaynağı tercih edilmiştir. Akabinde gövde içine refrakter örülmeye başlanmıştır. En dış yüzeye 1200*1000*50MM ‘ölçülerinde 1350 °C’ye dayanıklı fiber plakalarla çevreleme işlemi yapıldıktan sonra yaklaşık 10 m² 1000*610*50mm ölçülerinde kalsiyum silikat plaka ile örme yapılmıştır. Son olarak en dış yüzeye sıvı alüminyum ile temas edecek bölgeye yoğunluğu 2,76 g/cm³ olan maksimum sıcaklık dayanımı 1540 °C’ye sahip yüksek alüminalı refrakter örülerek işlem tamamlanmıştır. Sonrasında hidrolik makas sisteminin montajı, basınç kontrol sistemi bileşenlerinin montajı ve borulaması

aşamalarından sonra sistemin testi için kumanda sistemi kablo bağlantıları tamamlanmıştır. Bütün bu işlem aşamaları Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Filtreleme havuzu mekanik montajından görseller

Elektronik aksamının montajı kısmında tasarlanan elektrik projesine uygun kontrol cihazı olarak Siemens S7 1200 PLC grubu ve yine Siemens HMI panel kullanılmıştır. Temel kontrol olan basınç kontrolü PLC’de PID blok yardımıyla programlanmış ve devreye alınmıştır. Sahada bulunan tüm ekipmanlar SCADA ekranlarında gösterilerek kullanıcıların kolay arıza tespiti sağlanmıştır. Tedarik edilen malzemelerle sisteme ait kumanda panosu imalatı ve montajı yapılmıştır. Şekil 4.33’de filtreleme havuzu elektrik panosu gösterilmiştir. Aynı zamanda PLC kontrol ünitesi de bu pano üzerine konumlandırılmıştır.



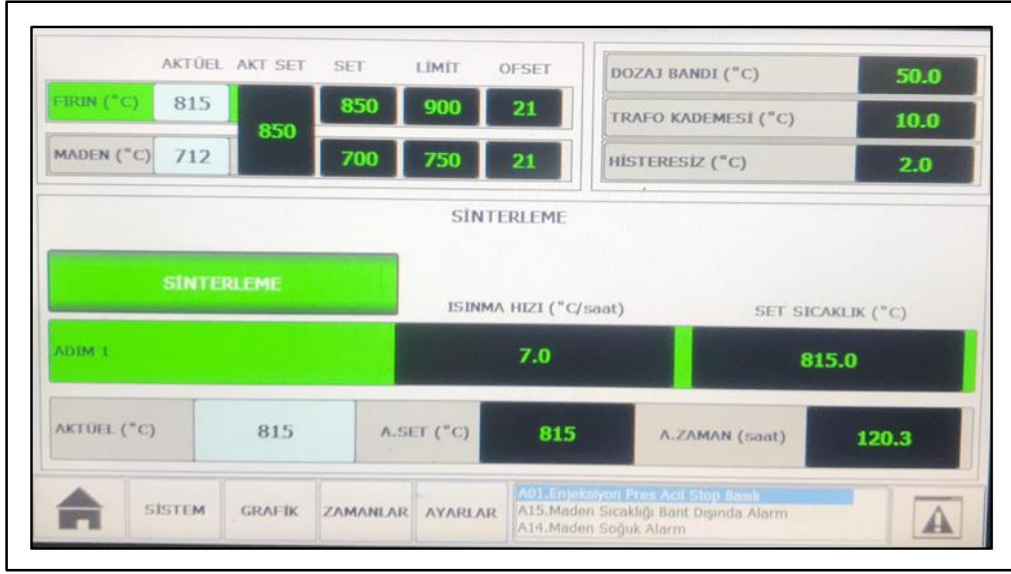
Şekil 4.33 Filtreleme havuzu elektrik ve PLC kontrol ünitesi görseli

Tüm imalat süreci Encotherm firmasında tamamlandıktan sonra sistem devreye alma ve ilk çalıştırma için makine Parsat Piston fabrikasına nakliye edilip dökümhane bölümüne konumlandırılmıştır. Şasi boyunun uzun olması nedeniyle filtreleme havuzunun konumu sabit olarak kalması, metal transferinin taşıma potası ile yapılmasına yol açmıştır. Şekil 4.34’ de makine konum görseli mevcuttur.



Şekil 4.34 Makine konumu görseli

Son olarak sinterleme programı çalıştırılmıştır. Programa göre sinterleme toplam 6 gün sürmüştür. Filtreleme kutusunun refrakter malzeme kullanılan bölgelerde termal çatlakların oluşmaması için Sıcaklık 7 °C/saat hızla artırıldı. Ölçülen ve set edilen son sıcaklık 850 °C de hedefe ulaştıktan sonra 1 gün daha bu sıcaklıkta tutuldu ve sistem sinterlemesi sonlandırılmıştır. Şekil 4.35’ da sinterleme programının PLC monitördeki görseli mevcuttur.



Şekil 4.35 Sinterleme programının PLC monitördeki görseli

4.5.1. Sistemin Optimizasyonu

Bu süreçte optimizasyon süreci başlatılmış ve basınç testleri yapılmıştır. Testler ile birlikte 1,5 dakika içerisinde 100 kg filtrelenmiş metal için optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. İlk deneme de verilen çarpan ile elde edilen filtrelenmiş metal yaklaşık olarak 80 kg ile sonuçlanmıştır. Çarpan değeri değiştirilmiş 2. denemede 96 kg metal 1,5 dakikada filtrelenmiş olarak elde edilmiş ve sistem optimizasyonu başarılı kabul edilip sonlandırılmıştır.

4.5.2. Sistem Test Uygulaması

Bu bölümde 3 adet test uygulaması yapılmıştır. Bunlar;

1. adım yükleme: Makineye transfer potası ile 550 kg metal transferi yapılmıştır. Ardından set değeri 790 °C’de istenmiş ve fırının bu istenen sıcaklığa göre tepki vermesi gözlemlenmiştir. Her iki (maden ve iç atmosfer) noktadan ısı kontrolü sağlayan makine maden sıcaklığını istenen sıcaklıkta tutmak için rezistanslara kademeli olarak güç verdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.36’da filtreleme havuzuna ilk yükleme görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.36 Filtreleme havuzuna ilk yükleme görüntüsü

2. adım filtreleme: 1,5 dakikada 100 kg filtrelenmiş eriyik hedeflenmiş ve filtreleme yapılmıştır. Filtreleme için transfer potası makine çıkış ağzına konumlandırılmış ve filtrelenmiş metal alınımlı sağlanmıştır. Şekil 4.37' denemeler sırasında ilk filtrelenme sırasında çekilen görsel mevcuttur.



Şekil 4.37 Filtreleme işlemi sırasında bir görsel

3. adım boşaltma: Bu adımda filtre tıkanıklığı ve herhangi bir acil durumda boşaltma durumu için makine test edilmiştir. Sistem bekleme pozisyonuna alınıp mekanik kaldırma yöntemi ile açısı değiştirilip eğim verilerek ergimiş metal boşaltılmıştır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Boşaltma sırasında çekilen görsel

5. MATERYAL VE YÖNTEM

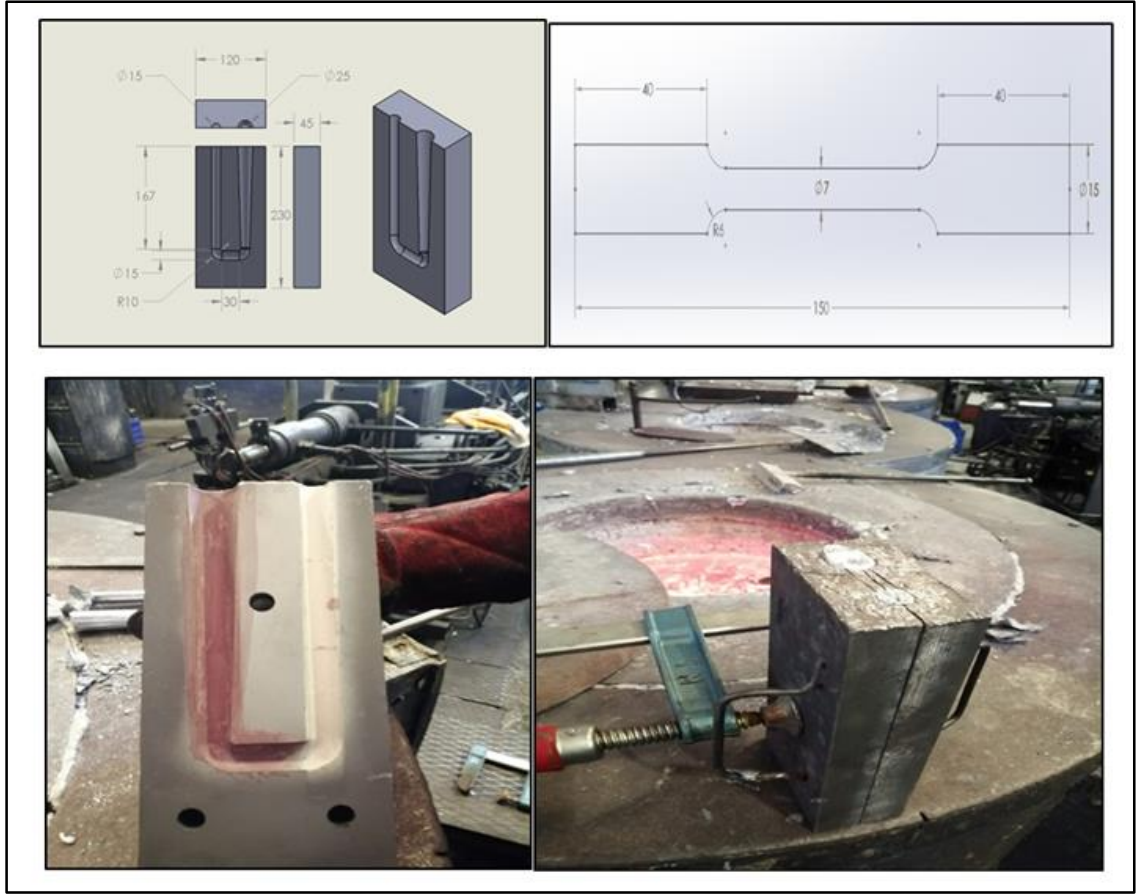
Deneyisel çalışmada kum ve kokil kalıplara dökümler yapılmıştır. Metalin akışkanlık özelliğini ölçmek için 8 kollu akışkanlık numunelerinin kum kalıbı üretilmiştir. Akışkanlık numune test kalıbı 8 adet farklı ölçülerde (0,5 mm'den başlayarak 8 mm kalınlığa kadar olmak üzere) kalınlığa sahiptir. Bu sayede alaşımın her kalınlıkta akışkanlık davranış biçimi incelenebilmektedir. Bu kalınlık değerlerinde meydana gelen döküm akış yüksekliği kalıptan çıkarılarak metre yardımı ile ölçülür ve sonuçlar kıyaslanır. İki adet akışkanlık kalıbı kum kalıptan imal edilmiştir. Şekil 5.1' de akışkanlık kalıplarının sırasıyla boş ve dolu halleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1 8 kollu akışkanlık testi kalıbı

Kum kalıpların üretilmesinde silis kumu kullanılmıştır. Silis kumuna reçine ve sertleştirici eklenmiş, ahşap dereceler yardımıyla sıkıştırılarak kum kalıplar elde edilmiştir. Bir kilogram kum için 80 gram reçine ve 20 gram sertleştirici kullanılmıştır. Ahşap derecelerde sıkıştırılan kumlar en az iki saat sertleştirmeye bırakılmıştır.

Çekme mukavemetlerini kıyaslamak amacıyla sıcak iş takım çeliğinden üretilen kokil kalıp kullanılarak çekme çubuğu üretilmiştir. Kalıp tasarımı ve çubuk boyutları Şekil 5.2'de belirtilmiştir.



Şekil 5.2 Kokil kalıp ve çekme çubuğunun teknik detayları ve kullanılan kokil kalıbın görüntüsü

Deney kapsamında ergitme ocağında alaşım 810°C sıcaklıkta ergitilmiş ve hazırlanmıştır. Döküm sırasında Flir E80 model termal kamera ile görüntüler alınmış ve ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.3'te Flir E80 model termal kameranın görseli mevcuttur.



Şekil 5.3 Flir E80 model termal kameranın görseli

Ergitme işlemi sırasında saf alüminyum külçeler ergitilmiştir. Ergimiş metale önceden belirlenmiş oranlarda master alaşımlar eklenerek istenen kimyasal kompozisyon elde edilmiştir. Hazırlanan alaşımın kimyasal kompozisyonu Tablo 5.1.'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Kimyasal içerik kriterleri

Alaşım Kimyasal İçerik Kriterleri		
Si	%	16-18
Fe	%	Maks 0,5
Cu	%	3,4-3,8
Mg	%	0,5-0,75
Ni	%	2-2,5
Zn	%	Maks. 0,25
Ti	%	Maks 0,25
Cr	%	Maks 0,10
Mn	%	0,25-0,5
P	ppm	75-120
Sr	ppm	Maks 5
B	ppm	100-140
Zr	%	0,2-0,3
V	%	0,08-0,1
Ca	ppm	Maks 5
Na	ppm	Maks 5
Pb	ppm	Maks 30
Sb	ppm	Maks 30
Al	%	Kalan

Tablo 5.2 Alaşımın spektral analiz sonuçları

Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Zn	Ti	Cr	Mn	Bi
16,3703	0,1671	3,6045	0,6066	2,1857	0,0061	0,0107	0,002	0,259	0,001
Ca	Na	P	B2	Pb	Sb	V	Zr	Sr	Al%
0,0004	0,0	0,0085	0,0005	0,0008	0,0011	0,0885	0,231	0,0	Bal.

Tablo 5.2'de spektral analizi verilen alaşım tüp şeklindeki kokil külçelere dökülmüştür. Üretilen alaşımlar daha sonra 810 °C tekrar ergitilmiştir. Sıvı metale 735 saniye boyunca azot gazıyla gaz giderme işlemi yapılmıştır. Kimyasal kompozisyon doğrulandıktan sonra gaz giderme işlemi öncesi, sonrasında ve filtreleme sonrası vakum

altında katılaşma testi yapılmıştır. Testler -0.9 atm basınç altında HYDRALVAC 1000 cihazında gerçekleştirilmiştir. İşlem Şekil 5.4. de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Vakum altında katılaşma testi cihazı, HYDRALVAC 1000

Çekme numuneleri ve akışkanlık numuneleri, filtrelenmiş ve filtrelenmemiş olacak şekilde 2 farklı parametrede dökülmüştür. Dökülen çekme çubukları T6 ısıtma işlemi 505 °C’de 1 saat ısıtmanın ardından oda sıcaklığında suya atılmış olup ve sonrasında 200 °C’de 5 saat temperleme yapılmıştır. Sertlikler ölçülmüş ortalama 140 HB değeri kayıtlı edilmiştir. Dökümü gerçekleştirilen çekme çubukları ASTM-E8 standartlarına uygun şekilde tornalanmış ve çekme testine hazır hale getirilmiştir. Çekme testleri İstanbul Teknik Üniversitesi, Kritik ve Fonksiyonel Malzemeler Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen çekme numuneleri ve cihazının görselleri sırasıyla Şekil 5.5’de verilmiştir.

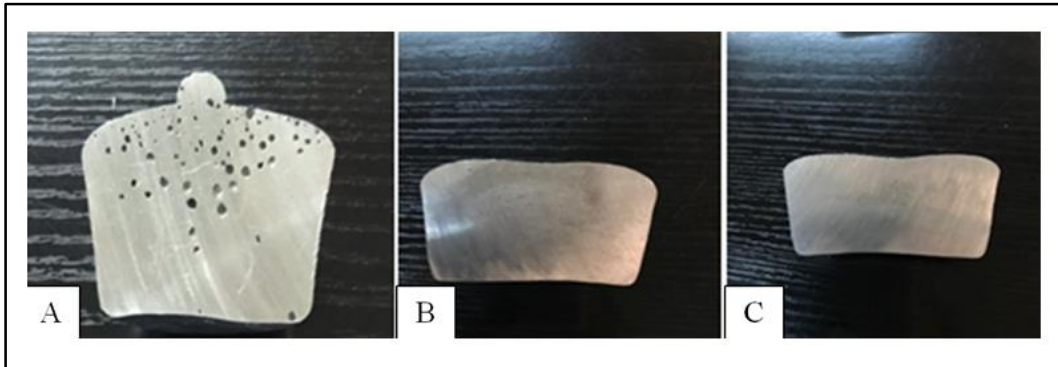


Şekil 5.5 Çekme çubukları ve çekme cihazı

Dökümler sırasında elde edilen vakum altında katılaşma numuneleri üç aşamada incelenmiştir. Bunlar;

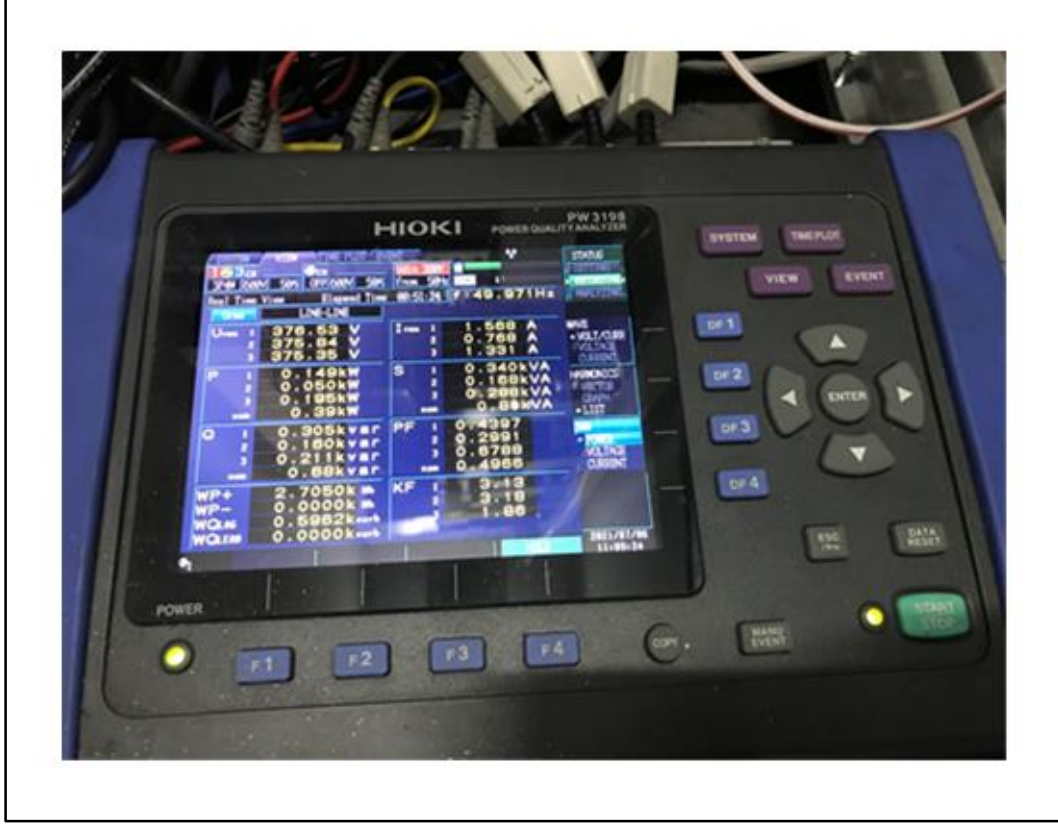
- Ergitilmiş hazır alaşım
- Gaz giderme sonrası hazır alaşım
- Filtreleme sonrası hazır alaşım

Üretilen kek şeklindeki numuneler ortadan kesilerek P400'e kadar zımparalanmış ve Kameram görüntü analizi programı ile bifilm indeksleri ölçülmüştür. Numunelerin görselleri sırasıyla şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Vakum altında katılaşma numuneleri a) Ergitilmiş hazır alaşımdan alınan numune, b) Gaz giderme sonrası alınan numune, c) Filtreleme sonrası hazır alaşımdan alınan numune

Filtreleme kutusu kullanırken harcanan enerji sarfıyatı ve enerji kalitesini/verimini hesaplamak adına Hioki PW 3198 modeli güç kalitesi analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Hioki PW 3198 Güç kalitesi analiz cihazı

Numunelerden elde edilen analiz sonuçları, “Bulgular ve Değerlendirme” bölümünde irdelenmiştir.

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında filtreleme havuzu devreye alındıktan sonra deneysel çalışma ile filtreleme kutusunun verimliliği araştırılmıştır. İlk olarak ergimiş alüminyum alaşımından filtreleme öncesi ve sonrası numuneler alınarak bifilm indeksi incelenmiştir. Ardından 8 kollu akışkanlık deneyi bir önceki testteki gibi filtreleme öncesi ve sonrası olarak test edilmiş ve akışkanlık değerleri kıyaslanmıştır. Son olarak alaşımdan elde edilen filtreleme öncesi ve sonrası numuneler çekme kalıbına dökülerek sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Tüm bu denemeler sırasında filtreleme kutusu termal analiz ile görüntülenmiş aynı zamanda enerji analizör cihazı ile sarfiyat ve enerji verim kalitesi ölçülmüştür.

6.1. Porozite Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Filtreleme havuzu devreye alınıp ilk test alaşım ile yapılmıştır. İlk olarak ana ergitmede 810 °C’de alaşım hazırlanıp deneyin her kademesinde vakum altı bifilm analizi için numune alınmıştır. Elde edilen BI değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Üç aşamalı bifilm numune analizi sonuçları

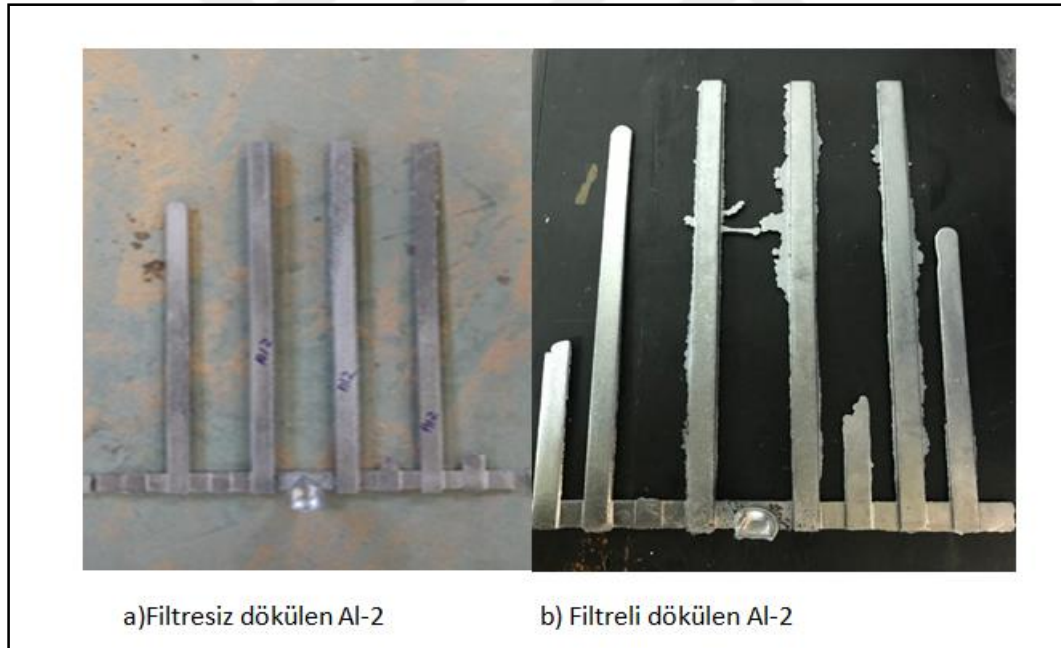
Numune İsmi	Bifilm İndeks
a	83
b	12
c	5

Şekil 4.6’daki görselde verilen numunelerde vakum altı katılaşma etkilerini gözlemlemek mümkündür. Gaz alma veya filtreleme gibi herhangi bir prosese tabi tutulmayan döküm alaşımının gözenekli ve oksitli yapısı gözle de görülmektedir. Nitekim bu alaşımın Bifilm analiz sonuçlarından elde edilen yüksek değer (83 BI) bunu destekler niteliktedir. İkinci alaşıma (Numune b) uygulanan gaz alma prosesi neticesinde baz alaşımdaki hem gözenekler hem de oksitli yapı büyük oranda ortadan kaldırılmıştır. Gaz alma uygulamasıyla birlikte Bifilm indeksi değeri de 83’ten 12’ye

kadar düşürülmüştür. Diğer bir ifadeyle Bifilm indeksinde %85,54 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır. Son olarak alaşım filtreleme kutusundan geçirilerek son hali gözlemlenmiştir. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere numune oldukça temizdir. Son filtreleme işlemi sonrası elde edilen bifilm indeksi 5’dir (Tablo 6.1). Bu değer Tablo 2.4’e göre alaşımı temiz metal kategorisi içerisine dahil etmektedir. Değerin sıfıra oldukça yakın olması mükemmel metal temizliğine de yaklaşıldığının bir göstergesidir.

6.2. Akışkanlık Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İlk olarak filtrelenmesi yapılmamış ancak gaz alması işleminden geçirilmiş alaşım 800 °C’de akışkanlık kalıbına dökülerek deneme dökümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı alaşım benzer şekilde 800 °C’de filtrelemeden geçirilip akışkanlık test kalıbına dökülmüştür. Akışkanlık testi sonucundan elde edilen veriler Tablo 6.2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.1’de filtreli ve filtersiz döküm sonucu elde edilen numunelerin görüntüsü de sunulmuştur.



Şekil 6.1 Aday alaşım 2’nin a) filtreli ve b) filtersiz akış testi sonucu

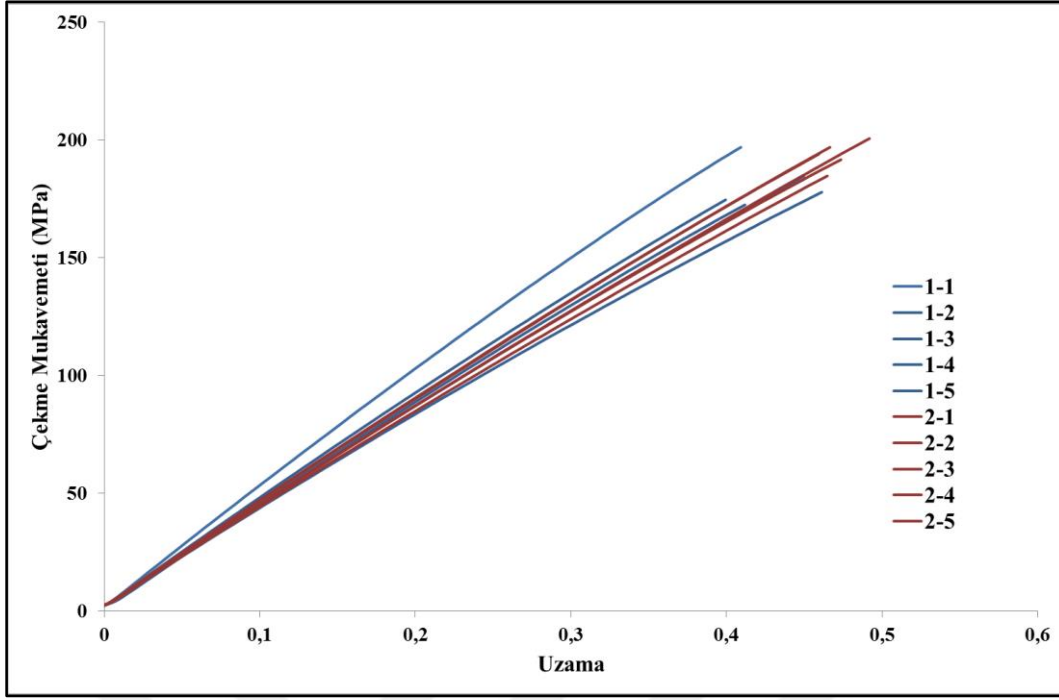
Tablo 6.2 Filtreli ve filtresiz alaşımin akışkanlık testi sonuçları

Kolların kalınlık ölçüsü	2mm	4mm	0.5mm	8mm	6mm	1mm	5mm	3mm
AL2 Filtresiz	1,1	38,8	0,1	47,5	47,5	2,1	47,5	2,4
AL2 Filtreli	16,3	42,2	0,1	47,5	47,5	10,5	47,5	29,2

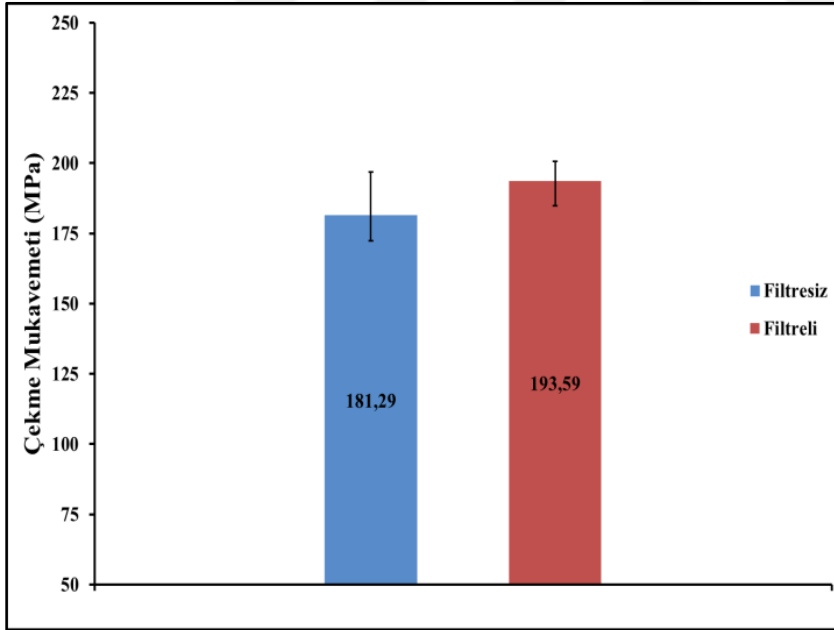
Şekil 6.1’de görseli bulunan filtreli ve filtresiz dökülen akışkanlık numuneleri metre yardımı ile ölçülmüş her bir kol kalınlığına denk gelen yerde akış yüksekliği tablo 6.2’de değerlendirilmiştir. Bu tabloda elde edilen değerlere göre 0,5 mm kalınlığı iki alaşım içinde ilerleyişi oldukça zor olmuş ve yeterli akış sağlanamadığı için değer 0,1 mm olarak ölçülmüştür. 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm değerlerine bakıldığında filtrelenerek dökülen alaşım filtresiz alaşıma göre daha fazla akış göstermiştir. 5 mm, 6 mm ve 8 mm kalınlığındaki kolların genişliği iki alaşım içinde yeterli olduğundan dolum tam gerçekleşmiştir.

6.3. Çekme Testi Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

Şekil 6.2’de filtreli ve filtresiz dökülen alüminyum alaşım numunelerinin çekme test sonuçları grafiği görülmektedir. Ayrıca çekme testinden elde edilen sonuçların ortalaması da Şekil 6.3’de sütun grafik olarak sunulmuştur. Buna göre filtresiz dökülen çekme çubuklarının çekme mukavemeti ortalama 181,29 MPa olurken, filtreli olarak dökülen çekme çubukların mukavemet değerlerinin ortalaması 193,59 MPa olarak ölçülmüştür (Tablo 6.3). Diğer bir ifadeyle filtreli döküm sayesinde üretilen numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık olarak %6,4 oranında arttırılmıştır. Genel olarak bakıldığında döküm sıcaklık ve bifiilm parametreleri sıkı kontrol altında döküm gerçekleştirildiğinde filtreli numunelerin mukavemet değerlerinde daha istikrarlı ve yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.2 Çekme Cihazdan Alınan Ayrıntılı Sonuçlar (1- Filtresiz 2- Filtreli)



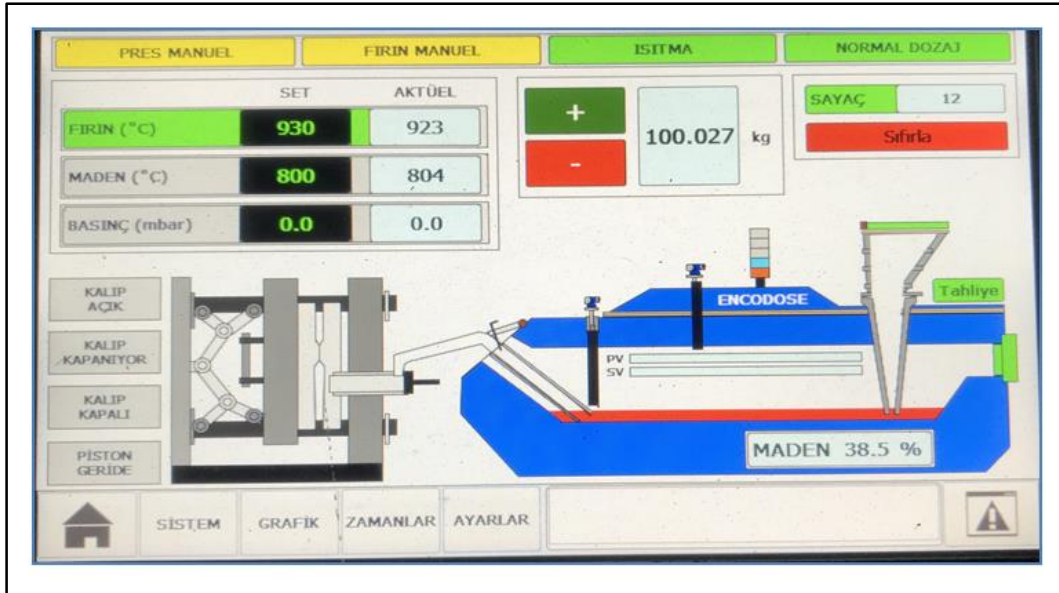
Şekil 6.3 Çekme Cihazdan Alınan Ayrıntılı Sonuçlar

Tablo 6.3 Filtreli ve Filtresiz Çekme Mukavemeti Değerlerinin Kıyaslanması

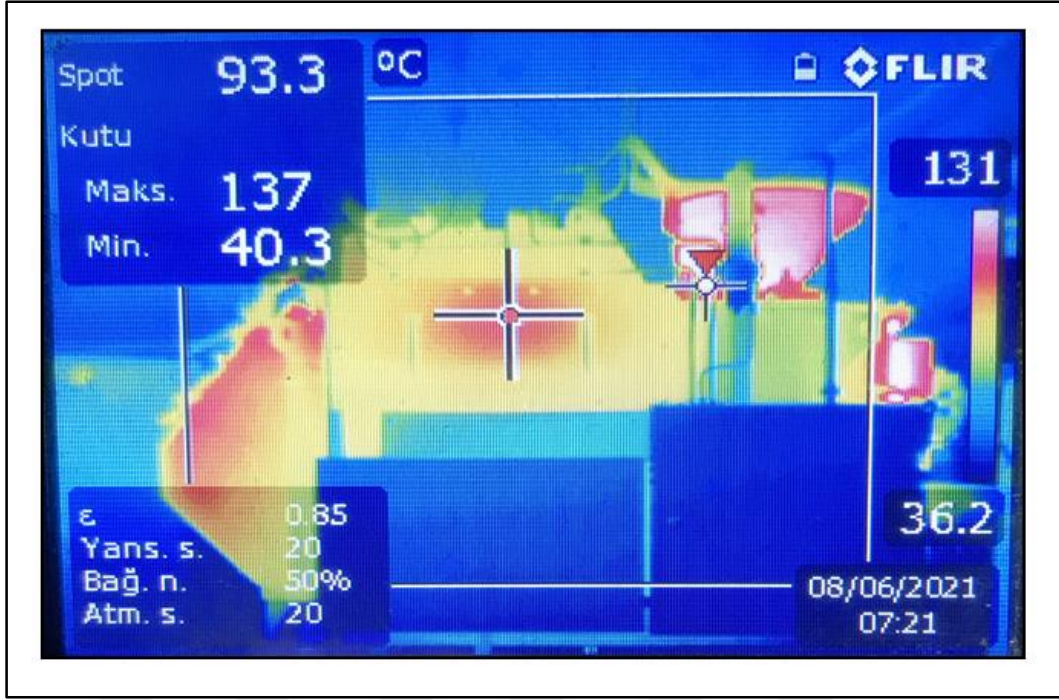
Çekme Mukavemeti Değerleri			
Filtresiz		Filtreli	
Numune Kodu	Değer (MPa)	Numune Kodu	Değer (MPa)
1-1	196,89	2-1	194,06
1-2	172,46	2-2	191,64
1-3	174,61	2-3	184,74
1-4	177,85	2-4	200,60
1-5	184,63	2-5	196,90
Ortalama	181,29	Ortalama	193,59

6.4. Filtreleme Havuzu Termal Gözlemler

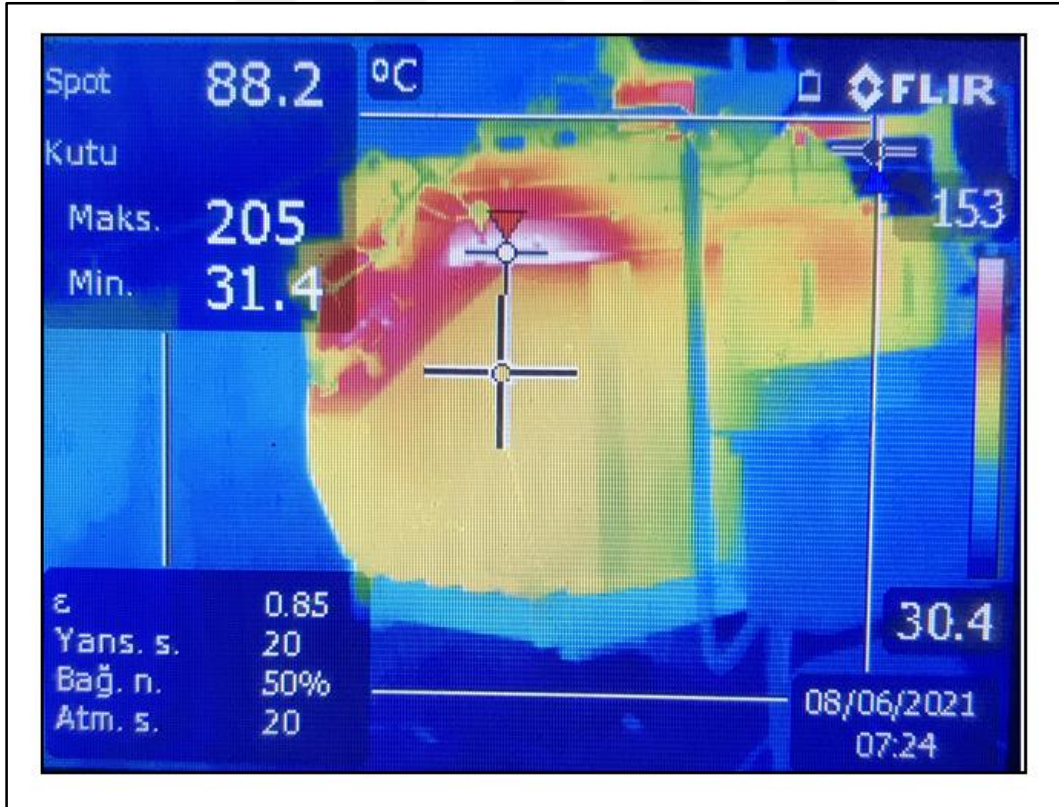
Fırın atmosfer sıcaklığı anlık 923 °C olarak elde edilirken maden sıcaklığı 804 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 6.4’de filtreleme havuzunun çalışma anında PLC ekranında anlık bilgi aktarımı görseli mevcuttur. Şekil 6.5 ve 6.6’da filtreleme havuzunun anlık termal görüntüleri mevcuttur.



Şekil 6.4 Fırının aktif çalışma sırasında anlık ekran görüntüsü



Şekil 6.5 Filtreleme havuzunun yan profilden termal olarak görünümü



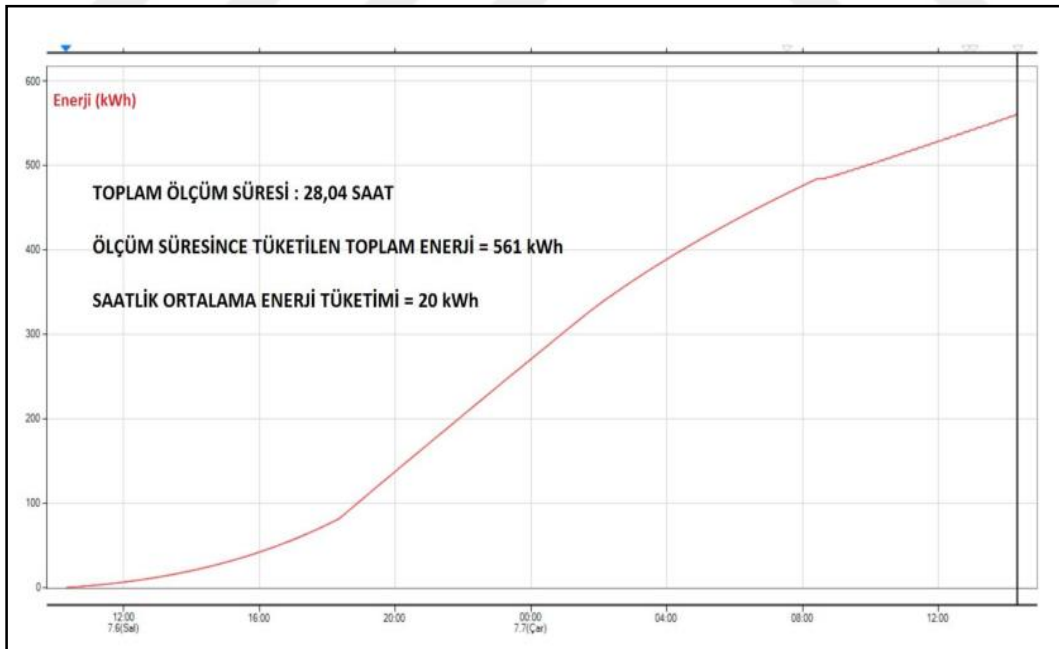
Şekil 6.6 Filtreleme havuzunun ön profilden termal görüntüsü

Termal kamera ile anlık ölçümler doğrultusunda filtreleme havuzu yan yüzeyleri 85-95 °C aralığında ölçülmüştür. Filtreleme havuzu tasarım başlangıç evresinde dış sıcaklık hedef değeri 100 °C altı olarak hedeflenmiştir. Ancak termal kameranın saptadığı bazı bölgeler hedef dışıdır. Bu bölgeler rezistans bağlantı bölgesi ve maden yükleme bölgesi olduğu saptanmıştır ve hedef dışı kalmıştır. Diğer yüzeysel bölgeler hedef değer in altındadır.

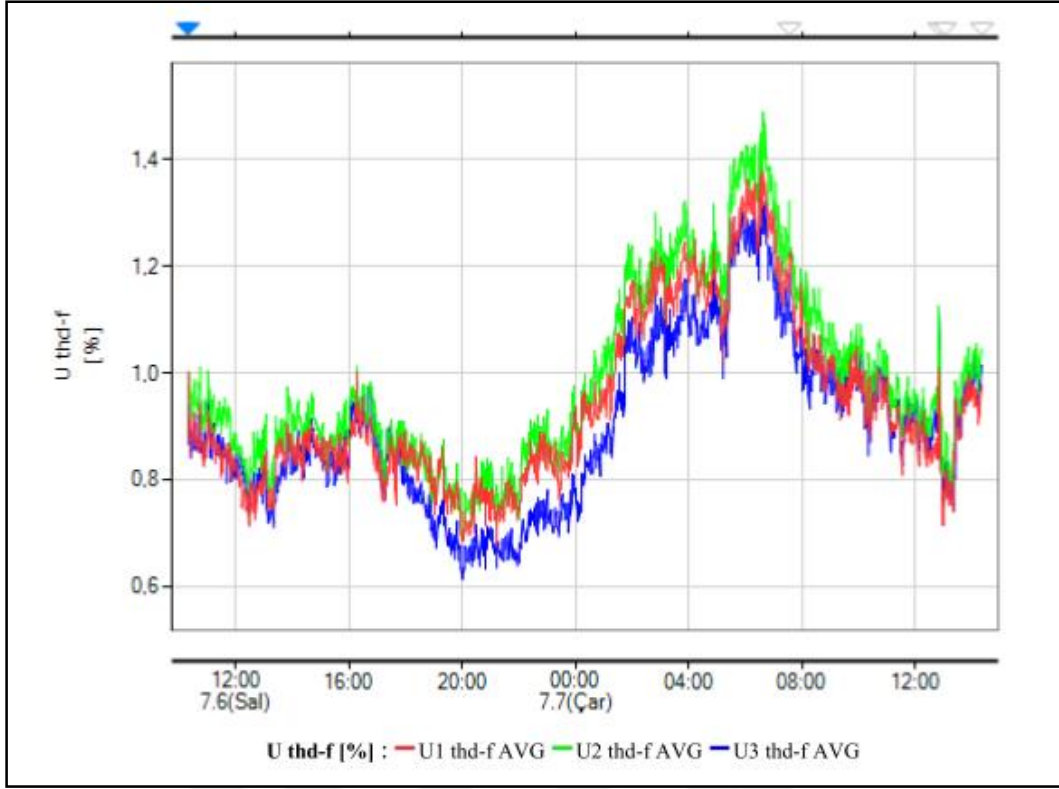
6.5. Enerji Sarfıyatı ve Enerji Verimliliği Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Filtreleme havuzunun çalışması esnasında takılan Hioki PW3198 analizör cihazı ile makine enerji tüketimi Şekil 6.7’de görüldüğü gibi 28 saat süresince izlenmiştir. Makine ölçüm süresi boyunca 561 kWh enerji tüketmiştir. Ölçüm süresince maksimum güç 35 kW’tır. Makinenin ortalama enerji tüketimi 20 kWh’tır. Hedeflenen ortalama enerji tüketimi 24 kw iken gerçekleşen ortalama enerji tüketimi bunun altına kalmıştır.

Makine çalışma karakteristiği olarak sürekli devreye girip çıkan yüklerden oluşmaktadır. Bu nedenle aktif güç değeri 0 kW ile 33 kW arası değişmiştir. Makinenin reaktif güç değeri 700 Var ile 1 kVar arası değişmektedir. Makinenin güç faktörü ise tam yükte 0,998’dir. Bu değer ideal seviyededir.

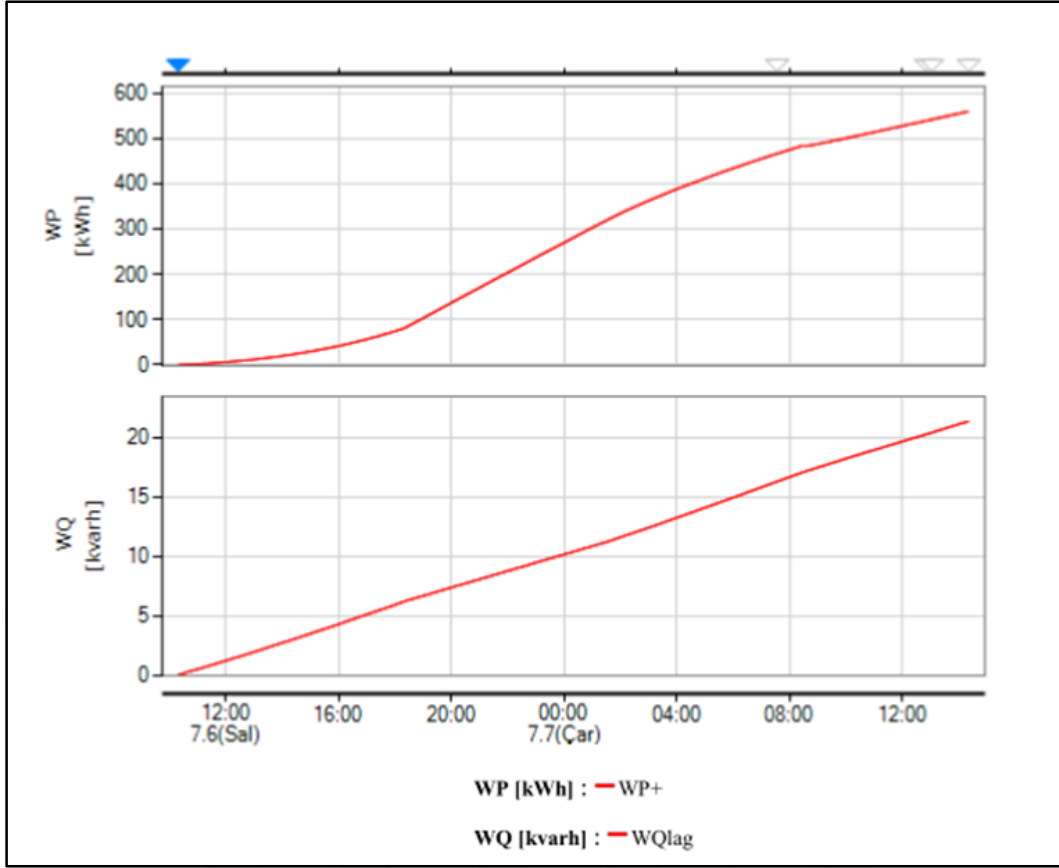


Şekil 6.7 Filtreleme havuzunun enerji tüketim analizi



Şekil 6.8 Harmonik Eğim Grafiği

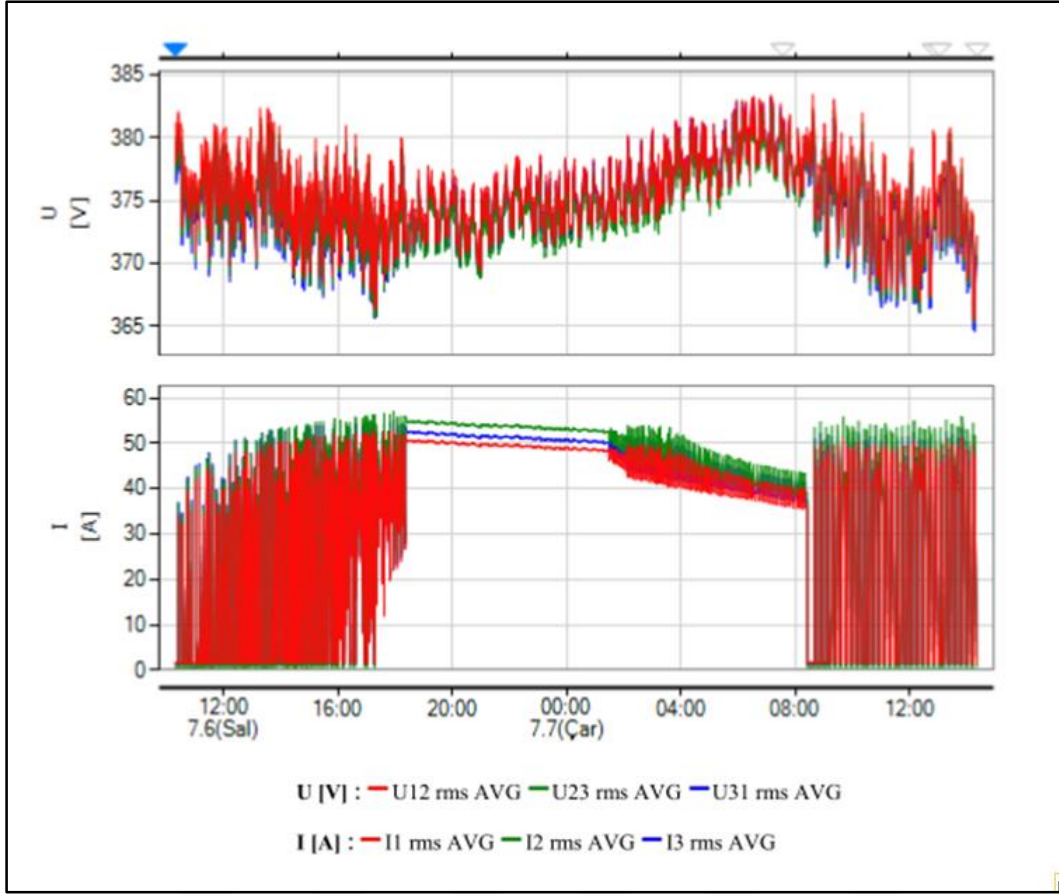
Harmonik bozulma makine ile trafo arasındaki yüksek gerilimin uyumunu göstermektedir. Bozunma oranı ne kadar düşükse trafodan makinaya gelen akım o kadar temizdir. Şebeke gerilimi harmonik bozulma oranı %0,6-%1,5 arası değişmiştir. Bu değer ideal seviyededir (Şekil 6.8). Çünkü EN50160 standardına göre maksimum gerilim harmonikleri bozulma oranı %8'dir (Ünlüsoy, 2020). Harmonik faz bozulma oranı % 4-5 hedeflenmiştir. Ölçülen değer ise %0.6-%1.5 arası değişmiştir.



Şekil 6.9 Toplam Enerji ve Reaktif Güç Grafiği

Makine ölçüm süresince toplam kümülatif çektiği enerji miktarı 561 kWh olarak ölçülmüştür (Şekil 6.9). Ölçüm süresince fazlar arası gerilim 365-383 volt arası değişmiştir. Makine Trifaze yüksek gerilim hattı ile çalışmaktadır.

Kondansatör veya bobin içeren devrelerde, akım e gerilimin arasında faz farkı bulunmasından kaynaklanan ve böyle durumlarda oluşan bir zahiri güç bileşenine reaktif güç denir. Bir başka deyişle elektrik şirketinin prizden çıkan gücün kullanılmayarak iade edilen kısmıdır. Makine Reaktif enerji tüketimi ise toplamda 22 kVARh olup saatlik ortalaması 784 VARh'tır. Şekil 6.9'da toplam çekilen enerji ve toplam reaktif enerji tüketimi gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Voltaj Akım Grafiği

Yine bu ölçüm süresince makine şebekeden çektiği yük 0-57 amper arasında değişmiştir. Şekil 6.10'da görüldüğü üzere, ölçüm süresince fazlar arası gerilim değerleri 365-383 volt arası değişmiştir. Grafik gösterindeki dalgalanmaların sıklığı nedeni, makinenin tristörlü şekilde çalışmasından kaynaklanmaktadır. Devre kontrol altında sürekli olarak aç kapa yapmaktadır. Buda grafiğin dalgalı oluşmasına sebebiyet vermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yer çekimine dayalı kokil döküm için tasarlanan klasik tip filtreleme kutusunun eksikliklerini gidermek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen eksiklikler şu şekildedir.

- Yer çekimi kuvveti yeterli gelmediği için seramik köpük filtrenin tıkanması
- Boru tipi tüp rezistansının elektrik sarfiyatının fazla olması
- Filtre kullanım süresinin kısa olması ve filtre değişimi için harcanan işçiliğin süresinin yüksek olmasıdır.

Belirtilen eksiklikler nedeniyle çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Bunlar:

- Seramik köpük filtrenin tıkanmasını önlemek için sisteme pozitif basınç ilave edilmiştir. Kullanım süresi 2 haftadan, 10 haftaya çıkartılmıştır.
- Elektrik sarfiyatını azaltmak için SiC rezistanslar kullanılmıştır. Bu sayede sarfiyat 40 kW'dan 20 kW ya düşürülmüştür.
- İşçiliğin süresini düşürmek için yataklanmış filtre yerine dozajlama tüpü kullanılmıştır.

Geliştirilen filtreleme kutusu ile piston alaşımının filtreleme öncesi ve sonrası mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır

Sıvı metal kalitesini belirleyen bifilm indeks değeri, gaz giderme öncesi 83 mm, gaz giderme sonrası 12 mm ve filtrasyon sonrası 5 mm olarak ölçülmüştür. Sıvı metal kalitesinde gaz giderme ve filtreleme sonucu %85,54'lük bir iyileşme elde edilmiştir.

Filtrelenmiş ve filtrelenmemiş alaşımlar kıyasladığında, 0,5 mm kalınlığındaki kollar her iki alaşımda da ilerleme gösterememişken 5 mm, 6 mm ve 8 mm kalınlığındaki kollarda, her iki alaşımda da tam dolum gerçekleşmiştir. 1-4 mm kollarda filtrelenmiş alaşım daha iyi sonuçlar göstermiştir. 1 mm kalınlığındaki kolda 8,4 cm, 2 mm'lik kolda 15,2 cm, 3 mm'lik kolda 26,8 cm, 4 mm'lik kolda ise 3,4 cm iyileşme görülmüştür. Bu sonuçlara göre filtrasyonun akışkanlığı arttırdığı tespit edilmiştir.

Filtrelenmiş alaşımın çekme mukavemeti filtrelenmemiş alaşımın çekme mukavemetine göre ortalama 12,3 MPa artış göstermiştir. Filtrelenmemiş alaşımın standart sapması

%13,48, filtrelenmiş alaşımınki ise %8,19'dur. Bu nedenle filtrelenmiş alaşımın çekme testlerinin daha tekrarlanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Prototip olan filtreleme kutusunun üzerinde yapılan denemelerde elde edilen gözlemler ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Maden yükleme ve rezistans bölgelerindeki ısı kaçaklarının hedef üzerinde olması, enerji verimliliğine olan negatif etkisi nedeniyle bir sonraki tasarımda bu bölgelerin izolasyon değerleri geliştirilebilir.
- Mevcut filtrelemede kullanılan 30 ppi değeri arttırılarak alaşım üzerindeki mekanik etkileri incelenebilir.
- Küçük işletmeler için (günde 10 ton döküm yapabilen) filtreleme kutusunun boyutları, şasi ve sıvı metal hacmi daha küçük olarak planlanabilir.

KAYNAKLAR

Akar, M., 2018. Döküm Hatları Ve Önlenmesi İçin Tasarım Yöntemleri. Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Denizli.

Anonim, 2020. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Boksit> (Erişim tarihi: 12.10.2020)

Anonim, 2020. <https://tr.depositphotos.com/stock-photos/boksit.html> (Erişim tarihi: 12.10.2020).

Anonim, 2021. <http://www.adtechamm.com/aluminum-ingot-metallurgy-castable-refractory-ceramic-disc-filter/> (erişim tarihi: 14.05.2021).

Anonim, 2021. <https://patronage.in/2017/11/30/quality-material/> (erişim tarihi: 17.05.2021).

Anonim, 2021. <https://www.engineeringclicks.com/die-casting/> (Erişim tarihi: 08.05.2021).

Anonim,2021.<https://www.pyrotek.com/primarysolutions/aluminium/casthouse/show/ProductLine/bonded-particle-filters> (erişim tarihi:14.05.2021).

Asm Handbook Committe, 2002. Asm Handbook Properties And Selection: Nonferrous Alloys And Special Purpose Metarilas. Vol 2. Asm İnternational. 3470p.

Bao, S. (2011). Filtration of Aluminium-Experiments, Wetting, and Modelling.

Başer, A. T., 2012. Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, Vol 53, no. 635, pp. 51-56.

Beeley, P., 2001. Foundry Technology, second edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Bertram, M., Martchek, K. J., & Rombach, G. (2009). Material flow analysis in the aluminum industry. Journal of Industrial Ecology, 13(5), 650-654.

Bozchaloei G.E.,Varahram N., Davami P., Kim S.K., 2012. Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al–7Si–0.3Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation., Materials Science and Engineering A 548., 99-105.

Brun, P. L., Taina, F., Voigt, C., Jäckel, E., & Aneziris, C. (2016). Assessment of active filters for high quality aluminium cast products. In Light Metals 2016 (pp. 785-789). Springer, Cham.

Bruna, M., & Sládek, A. (2011). Hydrogen analysis and effect of filtration on final quality of castings from aluminium alloy AlSi7Mg0. 3. Archives of Foundry Engineering, 11(1), 5-10.

Campbell, J. 2003. Casting. Butterworth- Heinemann,Oxford, United Kingdom, 2 S.

- Campell, J., 2015. Complete Casting Handbook, 2 nd Edition – Metal Casting
- Campell, J., Dispınar D., 2006. Effect of melting and casting conditions on aluminium alloy quality, 67th world foundry congress.
- Campell, J., Dispınar D., 2006. Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality, International journal of cast metals research, vol. 19 no.1.
- Campell, J., Dispınar D., 2006. Vakum altında katılaşma testinde kullanılan kalıplarda bağlayıcı miktarının porozite üzerine etkisi, 11. Malzeme sempozyumu.
- Cengiz, İ. D., 2018. Alüminyum Metal Kalitelerine Göre Gaz Alma Süreçlerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Dispınar, D., 2006. Determination of metal quality of aluminium and its alloys (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- Dwivedi, D. K., Sharma, A., & Rajan, T. V. (2005). Influence of silicon morphology and mechanical properties of piston alloys. Materials and Manufacturing Processes, 20(5), 777-791.
- Ediz, Ç., 2011. Alüminyum Geri Dönüşüm Süreci Ve Süreçte Kullanılan Malzemelerin Alüminyum Bileşenlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Er, S., 2004. Silisyum Karbür Esaslı Seramik Köpük Filtre Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi.
- Eroğlu, G., Şahiner, M., 2018. Dünyada ve Türkiyede Alüminyum, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Frisvold, F., 1993. Doktora Tezi Filtration of aluminium: Theory, mechanisms, and experiments, Trondheim Üniversitesi, Norveç.
- Gören, R., Marşoğlu, M., 1998. Metalik Ergiyiklerin Temizlenmesinde Filtreler Ve Köpük Filtre Üstünlükleri, Metal Makine Dergisi, Sayı 97.
- Güler, A. K., 2012. Dereceli Hassas Döküm Yüzey Kalitesi Ve Boyutsal Hassasiyet. Kısaltılmış Doktora Tezi, İstanbul Sanayi Odası, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gyarmati, G., Fegyverneki, G., Tokar, M., 2021. The Effects Of Rotary Degassing Treatments On The Quality Of An Al-Si Casting Alloy, International Journal Of Metalcasting Vol. 15, Issue 1, Hungary.
- Habibollah Zadeh A., Campbell, J., 2004. “Filter systems for high velocity liquid metal flow”. International Journal of Cast Metals Research, Volume 17., 99-106.
- İzci, B., 2021. <https://www.slideshare.net/burakizci9/malzeme-bilimi> (erişim tarihi: 08.05.2021)

Kaufman, j. G., 2000. Introdiction to Aluminium Alloys and Tempers, ASM International, USA. p. 237.

Kılıç, Ö., 2020. Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Yörüngesel Çalkalanmanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Kopeliovich, D., 2012. <http://www.substech.com> (erişim tarihi: 15.05.2021)

Mahi, P. 1990. Trends In Aluminium Recycling In The United Kingdom, In Rcycling Of Metalliferous Metarials, Imm, London, P.133

Mazzolani, F. (1994). Aluminium alloy structures. CRC Press.

Mi, J., Harding, R, A., Campbell, J. 2004. Effects Of The Entrained Surface Film On The Reliability Of Castings. Metallurgical And Materials Transactions A-Physical Metallurgy And Materials Science, Vol. 35a, No 9, 2893-2902.

Milligan, B., Vincent, M., 2002. Innovative Solutions for Improved Melt Quality – SIVEX Filtration Systems, Aluminium Processing Technology Essen, 18-20.

Moffat, A. J., Barnes, S., Mellor, B. G., & Reed, P. A. S. (2005). The effect of silicon content on long crack fatigue behaviour of aluminium–silicon piston alloys at elevated temperature. International Journal of Fatigue, 27(10-12), 1564-1570.

Özer, H., 2012. Alüminyum Alaşımlarının Sürekli Dökümde Kullanılan Hidrojen Gaz Giderme Sistemi Parametrelerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Processes, Metallurgy, Techniques and Design. Boston: Butterworth- Heinemann, 2015. pp. 3-90., 779-783.

Ray, S., Milligan, B., Keegan, N., 2005. Measurement of filtration performance, filtration theory and practical applications of ceramic foam filters. Aluminium Cast House Technology, 1-12.

Tiryakioğlu, M. (2020). The effect of hydrogen on pore formation in aluminum alloy castings: myth versus reality. Metals, 10(3), 368.

Tunçay, T., Tekeli S., Özyürek D., 2013. The Effect Of Diffuser and Non-Diffuser Runner Systems On The Mechanical Properties Of A356 Alloy., Journal of Faculty Of Engineeringand Architec Of Gazi University, Vol 28, No2,241-249.

Ünlüsoy, B., 2011. Enerji Kalitesi, TS EN 50160 Standardı ve Ülkemizdeki Uygulamaları, Schneider Elektrik San. Tic. A.Ş., İstanbul.

Zeren, M. (2007). The effect of heat-treatment on aluminum-based piston alloys. Materials & design, 28(9), 2511-2517.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kerim Alp KAYIKÇIOĞLU

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Sinop Anadolu Lisesi, 2007

Lisans : Kocaeli Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, 2012

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi Disiplinlerarası Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, 2022

Mesleki Deneyim

İş Yeri : KAYAPEN –DÖKÜMHANE SORUMLUSU 2012-2013

İş Yeri : GENMOT- LABARATUAR SORUMLUSU 2013-2014

İş Yeri : PARSAT PİSTON- DÖKÜMHANE MÜDÜRÜ 2014-2022

Yayın Listesi : TEYDEP-SANAYİ VE AR-GE DESTEKLEME PROGRAMI- Tank ve Savunma Araçlarındaki Alüminyum Döküm Parçalarının Üretimine Yönelik Yerli Muadili Bulunmayan Filtreleme Havuzu Geliştirilmesi