

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KULLANILAN
MAKİNELERİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ**

SEYİT KAPLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN SÖNMEZ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KULLANILAN
MAKİNELERİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ**

Seyit KAPLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 24.12.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül A. EKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu çalışma, T.C Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) Programı'nın Basınçlı Döküm Yöntemi ile Magnezyum Alaşımı Parça İmalatı İçin Entegre Seri Üretim Hattı Tasarımı isimli 00961.STZ.2011-2 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Son yüzyılın metali olarak da adlandırılan magnezyum, hafifliği ve dayanımıyla ön plana çıkan bir konstrüksiyon malzemesidir. Günümüzde birçok sektörde kullanımı yaygınlaşan magnezyum alaşımları, özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla daha önceden bu sektörde kullanılan çelik, dökme demir, bakır alaşımları ve hatta alüminyumun yerine tercih edilmeye başlanmıştır. Magnezyumun bu denli öne çıkmasının başlıca nedenleri, bu metalin kendine özgü mükemmel özellikleridir, bu özelliklere örnek olarak yüksek dayanım, rijitlik ve düşük yoğunluk verilebilir.

Hem ekonomik olması hem de otomasyona yatkınlığı nedeniyle basınçlı döküm yöntemi magnezyum alaşımları için ideal bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde kullanılması düşünülen 1 MN (100 tonluk) soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinin tasarım esasları incelenmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda cihaz imalatı için imalatçıya sipariş verilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca, beni her zaman destekleyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen ve mesleki hayatımda bana yol gösteren değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ' e teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında benimle ilgilenen, bilgilerini paylaşan, yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam, Arş. Gör. Ali Serdar VANLI' ya ve yüksek lisans tez çalışmam esnasında benden desteğini esirgemeyen değerli Hocam, Yrd. Doç. Dr. Anıl NOMAK AKDOĞAN' a teşekkürlerimi borç bilirim.

Benden maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim, 2012

Seyit KAPLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ixx
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xxiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	5
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KULLANILAN MAKİNELERİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ	5
2.1 Basınçlı Döküm Makineleri	6
2.1.1 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi.....	6
2.1.2 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi	7
2.1.2.1 Piston Hızı.....	12
2.1.2.2 Meme Giriş Hızı	12
2.1.2.3 Dolum Süresi	13
2.1.2.4 Piston Stroğu	16
2.1.2.5 Enjeksiyon Basıncı	17
2.1.2.6 Kilitleme Kuvveti	19
2.2 Ergitme Fırını.....	20
2.2.1 Pota Fırınları	21

2.2.2	Dozajlı Fırınlar	22
2.2.3	Daldırma Fırınları	22
2.2.4	İndüksiyon Fırınları	23
2.2.5	Uzun Alevli Fırınlar	25
2.2.6	Bacalı Fırınlar	25
2.3	Transfer Sistemi	26
2.4	Koruyucu Atmosfer Sistemi	27
BÖLÜM 3		35
DEĞERLENDİRMELER		35
BÖLÜM 4		38
SONUÇ VE ÖNERİLER		38
KAYNAKLAR		39
ÖZGEÇMİŞ		42

SİMGE LİSTESİ

A_g	Meme giriş kesit alanı
F	Kilitleme kuvveti
D	Piston çapı
P	Ergimiş metale uygulanan basınç
Q	Hacimsel akış debisi
V_p	Piston hızı
t_{min}	Minimum cidar kalınlığı
t	Dolum süresi
$t_{dök}$	Döküm sıcaklığı
T	Ortalama cidar kalınlığı
T_d	Kalıp sıcaklığı
T_f	Minimum akış sıcaklığı
ρ	Yoğunluk
g	Yer çekimi ivmesi

KISALTMA LİSTESİ

IMA	International Magnesium Association
MN	Mega Newton
MPa	Mega Paskal
NADCA	North American Die Casting Association
SEM	Scanning Electron Microscope

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Doehler' in basınçlı döküm makinesi patent dosyası	5
Şekil 2. 2 Sıcak kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi ...	7
Şekil 2. 3 Soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi	8
Şekil 2. 4 Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinde işlem çevrimi.....	8
Şekil 2. 5 Yatay soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi	9
Şekil 2. 6 Modern soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin operatör kısmından görünüşü	9
Şekil 2. 7 Modern soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin üstten görünüşü	11
Şekil 2. 8 Piston hızının 1. Ve 2. fazlardaki meydana gelen açılar ile ilişkisi.....	12
Şekil 2. 9 Meme giriş hızı ve dolum süresine göre çalışma aralıkları	15
Şekil 2. 10 Çalışma koşullarının döküm üzerindeki etkisi	16
Şekil 2. 11 Farklı proses parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan nomograf	18
Şekil 2. 12 Proses parametrelerini belirlemek için kullanılan metal basıncı-debi ($P-Q^2$) grafiği	19
Şekil 2. 13 Kalıp kilitleme mekanizmasının şematik gösterimi	20
Şekil 2. 14 Gaz ateşlemeli pota fırını	21
Şekil 2. 15 Dozajlı fırın	22
Şekil 2. 16 Elektrikli daldırma bekletme fırını	23
Şekil 2. 17 Kanal indüksiyon fırını şematik gösterimi.....	24
Şekil 2. 18 Maçasız indüksiyon fırını.....	24
Şekil 2. 19 Gaz ateşlemeli alevli fırın	25
Şekil 2. 20 Dozajlı fırın	26
Şekil 2. 21 Vacural proses	27
Şekil 2. 22 Ergiyik koruma sistemi parçaları	28
Şekil 2. 23 SEM mikroskobu görüntüleri 700 C' de 10 dakika süre için (a)0.25%, (b)0.5%, (c)0.75% and (d)1.25% HFC-134a koruyucu gaz atmosferi altındaki koruyucu yüzey film profilleri	29
Şekil 2. 24 SEM mikroskobu görüntüleri, 0.5% HFC-134a içeren koruyucu gaz atmosferinde (a) 10, (b) 30, (c) 60 dakika uygulama süresi için koruyucu yüzey film tabakası profilleri	30
Şekil 2. 25 Koruyucu gaz karışım düzeneği şeması	31

Şekil 2. 26	Gaz besleme ağzını ve koruyucu film tabakasını gösteren şematik gösterimi ve kesiti.	32
Şekil 2. 27	700°C de %1 SF ₆ içeren kuru hava ile korunan magnezyumun 5 dakika sonraki mikroskopik görünümü	32
Şekil 2. 28	Ergimiş magnezyumun koruyucu SF ₆ atmosferinde (solda) ve korumasız atmosferde (sağda) davranışı.....	33
Şekil 2. 29	Koruyucu SF ₆ atmosferinde 700 C' de dökümü gerçekleştirilmiş magnezyumun yüzeyinin mikroskopik yapısı.....	33
Şekil 3. 1	İki gravürlü kalıp ile imal edilmiş çekme deneyi numuneleri.....	35
Şekil 3. 2	İşlem aşamalarının şematik gösterimi	36
Şekil 3. 3	Tasarımı yapılan basınçlı döküm makinesinin bir benzeri.	37

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Soğuk kamaralı pistonlu tip makinenin temel parçaları	10
Çizelge 2. 2 Soğuk kamaralı pistonlu tip makinenin temel parçaları	11
Çizelge 2. 3 Mg alaşımları için piston hızının 1. Ve 2. fazlardaki meydana gelen açılar ile oransal ilişkisi	12
Çizelge 2. 4 Mg alaşımları için meme giriş hızı değerleri	13
Çizelge 2. 5 IMA- Ergiyik magnezyumun korunması için farklı gaz karışımları	34

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KULLANILAN MAKİNELERİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ

Seyit KAPLAN

Makine Mühendisliği İmal Usülleri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Magnezyum konstrüksiyon metalleri arasında en hafif olan malzemedir. Özellikle otomotiv endüstrisinde yoğun metallerin yerine kullanılmaktadır, günümüzde sadece çelik, dökme demir, bakır yerine değil alüminyum yerine de tercih edilmeye başlanmıştır.

Soğuk kamaralı basınçlı döküm yönteminde işlem çevrimini basitçe bölümlere ayırmak gerekirse; 1) Enjeksiyon silindirisinin doldurulması, 2) pistonun (1. Fazdaki) yavaş hareketi, 3) Yolluk sisteminin doldurulması, 4) Kalıbın doldurulması, 5) Katılaşma prosesi olarak sınıflandırılabilir. Bütün bir basma çevriminde en çok gereken iki parametre; basınç ve hızdaki değişimlerdir. Bu yüzden çoğu sistem bu iki değişkeni anahtar parametreler olarak, üretim kontrolünü sağlama amacıyla kayıt altında tutmaktadır.

Basınçlı döküm yöntemiyle magnezyum alaşımlarından imal edilen parça sayısı gün geçtikçe artmaktadır ve ileriki yıllarda bu artışın sürmesi öngörülmektedir. Bu nedenle araştırma ve ürün geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada, magnezyum alaşımları ile parça imal edebilmek için kullanılacak 1 MN (100 ton) kilitleme kuvvetine sahip, yatay enjeksiyonlu soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesinin tasarım esasları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum Alaşımları, Basınçlı Döküm, Tasarım Esasları

**EXAMINATION OF THE DESIGN PRINCIPLES OF MACHINES USED
FOR PRESSURE DIE CASTING OF MAGNESIUM ALLOYS**

Seyit KAPLAN

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Magnesium is the lightest of all metals used as the basis for constructional alloys. It is this property which entices automobile manufacturers to replace denser materials, not only steels, cast irons and copper base alloys but even aluminium alloys by magnesium based alloys.

The simplest division of the process for a cold chamber is the following: 1) filling the shot sleeve, 2) slow plunger velocity, 3) filling the runner system 4) filling the cavity and overflows, and 5) solidification process (also referred as intensification process). During all cycle of enjection process, the most important two parametres; pressure and velocity. Because of this, these two parameters is used as key parameters by most of systems, due to control of process.

Die casting compenents of magnesium alloys has been increased by the years. And as can be seen the use of magnesium is predicted to rise into the new century.

In this study, examination of the design principles of machines used for pressure die casting of magnesium alloys which has 1 MN (100 ton) locking force.

Key words: Magnesium Alloys, Pressure Die Casting, Design Principles

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

1.1 Literatür Özeti

Konstrüksiyon metalleri içinde en hafif olanı magnezyumdur. Magnezyum bir plastik kadar hafif olmasının yanında diğer metaller kadar da dayanıklıdır. Çelik ve çinkodan %75, alüminyumdan ise %33 daha hafif olan magnezyum birçok sektörde yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Demir ve alüminyumdan sonra toprakta en çok bulunan yapı metali magnezyumdur.

Çelik ve alüminyum gibi diğer konstrüksiyon metallerine göre, dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlayan magnezyumun yoğunluğu $1,74 \text{ g/cm}^3$ ve ergime sıcaklığı 650°C dir. Alüminyumdan iki kat hızlı dökülebilen ve işlenebilen magnezyumun düşük yoğunluktan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Diğer konstrüksiyon metallerine göre hafif olması aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir [1].

Hafif olmasına karşı gösterdiği yüksek dayanım sayesinde birçok sektörde kullanılan magnezyum özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe tercih edilmektedir. Tarihsel süreç içinde alüminyuma göre daha pahalı olan magnezyumun piyasada kabul görmesi uzun zaman almıştır. Ancak Çin ve Avusturyalı firmaların bu metal ile yaptığı üretimler sayesinde düşen fiyatlar ile magnezyum da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır [2].

Magnezyum alaşımları için çok değişik döküm yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu yöntemler soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm, kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli kalıba (kokil) döküm, düşük basınçlı döküm (low pressure die casting), vakumlu döküm, yarı-katı metal döküm (semi-solid metal casting) ve sıkıştırma döküm (squeeze casting) yöntemleridir. Son yıllarda basınçlı döküm alaşımlarının kullanımı oldukça artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde; tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzey özellikler, üretilecek toplam parça sayısı ve alaşımların dökülebilirliği, belirleyici etkenlerdir [3].

Özellikle çevre dostu otomobillere olan talep doğrultusunda, otomotiv sektörünün desteğiyle en çok gelişen döküm yöntemi basınçlı döküm olmuştur. Magnezyumun basınçlı dökümü için, ticari olarak kullanılan dört adet magnezyum alaşım sistemi vardır. Bunlar magnezyum-alüminyum-çinko-mangan (**AZ**) serisi, magnezyum-alüminyum-mangan (**AM**) serisi, magnezyum-alüminyum-silisyum-mangan (**AS**) serisi ve yeni geliştirilen magnezyum-alüminyum-nadirtoprak-mangan (**AE**) serisidir[4].

Diğer konstrüksiyon metallerine göre daha düşük yoğunluğa sahip olan magnezyumun basınçlı döküm yöntemiyle üretiminde, alüminyum ve çinkoya kıyasla, aynı ağırlıktaki hammadde ile daha fazla ürün elde edilmektedir. Ayrıca otomasyona uygunluğu yönüyle, magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü, yüksek hacimli imalatlar için ideal bir yöntemdir. Alüminyum ve çinkoya kıyasla magnezyum alaşımlarının hacimsel özgül ısısı daha düşüktür, bu da dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınması demektir [5].

Basınçlı döküm, yüksek üretim hacimlerinde, aynı tip parçaların imalatında kullanılan, kendini tekrarlama esasına dayanan bir yöntemdir. Proses, ergimiş metalin yüksek basınç altında çelik bir kalıba enjekte edilmesi olarak tanımlanabilir. Basınçlı döküm, ergimiş magnezyumu tam ölçüde ve sorunsuz bir şekilde, mümkün olan en kısa çevrim süresinde, istenilen forma dönüştürme konusunda benzersiz bir yeteneğe sahiptir. Basınçlı döküm ile üretilen parçalar, plastik enjeksiyon yöntemine benzer bir şekilde, genellikle herhangi bir talaşlı işleme gerek duyulmadan, son şeklinde üretilmektedir [6].

Son 30-40 yıl basınçlı döküm tekniğinde büyük gelişmelere sahne olmuştur. Metal ve kalıp sıcaklıkları, basınçlar, besleme hızları gibi döküm faktörlerinin kontrolleri çok ilerlemiştir. 3-4 işçi ile çalıştırılabilen dalma silindirli basınçlı döküm makinesinden, tek bir işçi gerektiren ve saatte yüzlerce döküm veren tam otomatik piston tipi çağdaş makinelere kadar çok büyük gelişmeler kaydedilmiştir [7].

Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretimi diğer yöntemlerin sunamayacağı ekonomik avantajlar sunmaktadır. Basınçlı döküm, otomasyona uygunluğu yönüyle, yüksek hacimli imalatlar için ideal bir yöntemdir [8]. Basınçlı döküm, hassas bir yöntem olmasına rağmen, parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, parça-kalıp konstrüksiyonu ve kalıp üretiminin doğru yapılmasıyla yakından ilişkilidir. Ancak parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen faktörlerin başında, işlem parametreleri gelmektedir. Kalıp ve parça üretiminin doğruluğu; kalıbın bölme yüzeyine, hareketli ve sabit maçaların yerine, kalıbın rijitliğine, kalıp yarılarının tam öpüşmesine ve konikliğin uygunluğuna bağlı olarak belirlenebilir. Kusursuz bir kalıp tasarlayıp imalatı gerçekleştirilse bile, döküm prosesi esnasında yanlış seçilen işlem parametreleri, doğru tasarlanmış parçaların bile hatalı ve kötü mekanik özelliklere sahip olacak şekilde üretilmesine sebep olabilmektedir[1].

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde uygulanan parametreler, 15 yıl öncesine kadar, etkileyiş yönleri açısından çok fazla değerlendirilmemişti. Daha önceki yıllarda alüminyum alaşımlarının basınçlı dökümü için yapılan araştırmalar, magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm parametrelerini optimize etme çalışmalarına ışık tutmaktadır [9]. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde proses parametreleri; parça kalitesine, mekanik özelliklere, gözenekli ve hatalı parça üretimine doğrudan etki etmektedir. Proses parametreleri olarak incelenen unsurlar; enjeksiyon basıncı ile katılma sırasında metale uygulanan sıkıştırma basıncı, meme ve piston hızları, dolum süresi, kalıp sıcaklığı ve sıvı metalin döküm sıcaklığıdır [6].

Soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinelerinde, enjeksiyon sırasında uygulanan basınç 30-100 MPa arasında değişmektedir. Kalıp boşluğu dolduktan sonra katılma sırasında uygulanan sıkıştırma basıncı ise maksimum 120 MPa' dır. Uygulanan bu

basınç katılaşma sırasında meydana gelen kendini çekmeyi beslemeye yardımcı olmaktadır. Enjeksiyon ve sıkıştırma basıncı değerleri mümkün olabildiğince yükseltilmelidir. Düşük basınç değerleriyle çalışılması durumunda, parçada oluşan mikro ve makro porozite miktarı artmakta ve dayanım özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Basıncın yükseltilmesi, parça içindeki porozite miktarını azaltmakta ve yoğunluğun artmasını sağlamaktadır. Düşük poroziteli ve yüksek yoğunluktaki parçaların mekanik özellikleri daha iyidir. Ancak basıncın yükseltilmesi kalıp ömrünü azaltan bir faktördür[2]. Bu durum göz önüne alınarak optimum basınç değerleri tecrübelerden de faydalanılarak belirlenmelidir [1].

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde, meme giriş hızı, uygulanan yöntemle göre değişmektedir. En yaygın kullanılan hız değerleri 30-50 m/s aralığındadır. Meme hızını belirlerken dikkate alınan anahtar faktör ise, kalıbın dolum süresidir. Kalıbın dolum süresi için tavsiye edilen aralık 10-100 ms'dir. Genel kural, meme hızının döküm kalitesini bozmayacak şekilde, olabildiğince azaltılması şeklindedir. Ancak hızın 30 m/s'nin altına düşmesi kendini çekmeden kaynaklanan porozite miktarının artmasına; 50 m/s'nin üzerine çıkması ise kalıp boşluğundaki kaçamayan gazlardan dolayı gaz porozitesi miktarının artmasına neden olmaktadır[1]. Artan porozite ile yoğunluk değerleri düşmekte ve dayanım özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi Döküm Laboratuvarında deneysel çalışmalarda kullanılması düşünülen, magnezyum alaşımlarından basınçlı dökümün yöntemiyle parça üretimine uygun 1 MN (100 ton) kilitleme kuvvetine sahip soğuk kamaralı tip basınçlı döküm enjeksiyon makinesinin tasarım esasları incelenmiştir.

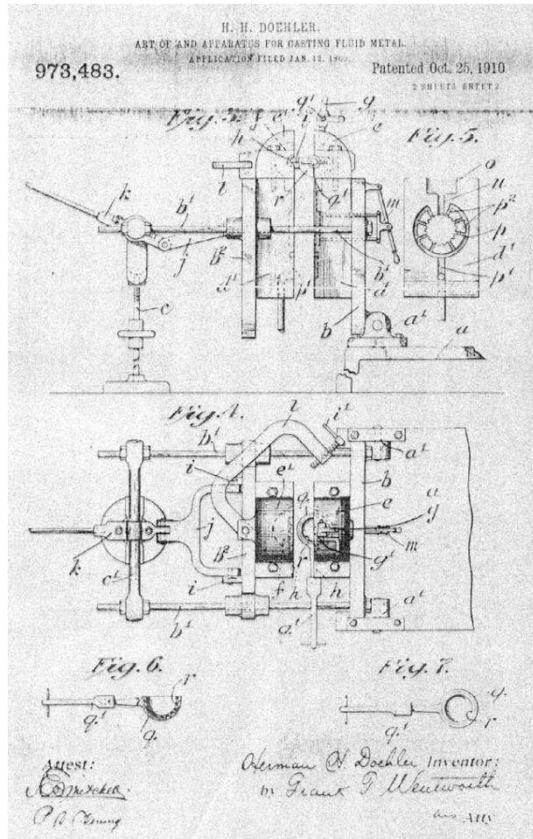
1.3 Hipotez

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde kullanılması düşünülen bu makine, üstün özellikleri bulunan magnezyum metali ile ülkemizde parça imalatı olanağı sağlayacak ve bu sayede ülke sanayine ekonomik katkıda bulunacaktır.

BÖLÜM 2

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KULLANILAN MAKİNELERİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ

Orta çağda başlayan metal kalıba döküm yöntemi, 19. yy sonlarına doğru gelişimini hızlandırmıştır ve 1910 yılında H.H. Doehler tarafından basınçlı döküm makinesi için ilk patent alınmıştır [8].



Şekil 2. 1 Doehler' in basınçlı döküm makinesi patent dosyası [1]

2.1 Basınçlı Döküm Makineleri

Basınçlı döküm makineleri sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı makineler olmak üzere iki ana gruba ayrılır, bu tanımlamalar metal enjeksiyon sistemlerinin tasarımlarından yola çıkılarak yapılmıştır. Soğuk ve sıcak kamaralı makinelerin arka kısımları aynı fakat enjeksiyon ve silindir-piston sistemleri farklıdır.

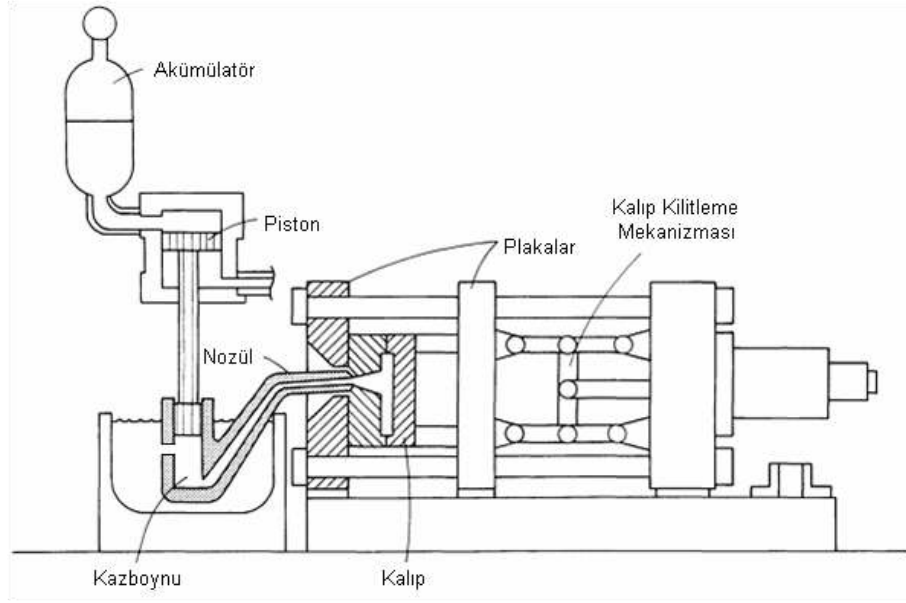
Basınçlı döküm makinelerinde makine büyüklüğü ifadesi sütunlar arası mesafeyle açıklanır ve bu mesafe kalıbın boyutlarını, kalıbın kilitleme sistemi de kapasiteyi belirler.

Bir basınçlı döküm makinesinin önemli elamanları aşağıdaki gibi sıralanabilir[4].

- Kilitleme Sistemi
- Sütunlar
- Kapama-Açma Hidrolik Sistemi
- Silindir
- Piston
- Sabit ve Hareketli Tabla
- Enjeksiyon Sistemi

2.1.1 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi

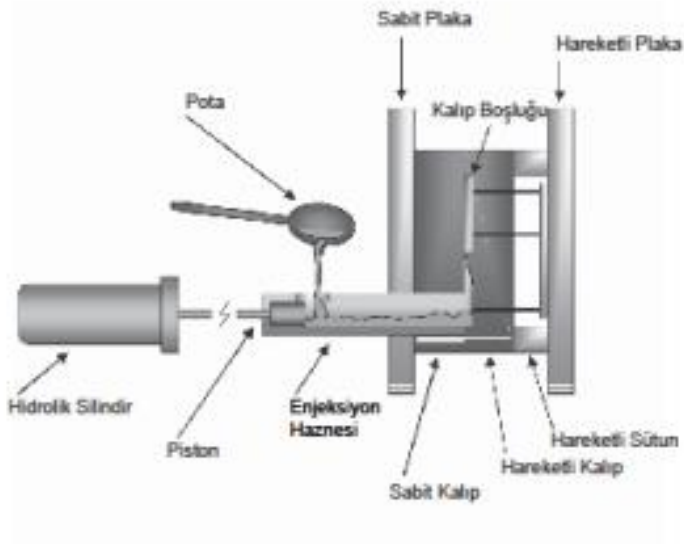
Orijinal proses H. H. Doehler tarafından icat edilmiştir. Düşük ergime sıcaklığına sahip (çinko, kalay, kuşun ve son zamanlarda magnezyum alaşımlarının) malzemelerin dökümünde kullanılır[10]. Sıcak kamaralı makinelerde enjeksiyon sistemi potanın içerisinde ergimiş metalle temas halindedir bu sayede ergimiş metalin kalıp boşluğuna ulaşınca kadar gideceği mesafe kısaltmakta ve bu da çevrim süresini kısaltmaktadır[8]. Sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri enjeksiyon sisteminin pistonlu ve havalı olmasına bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır[4].



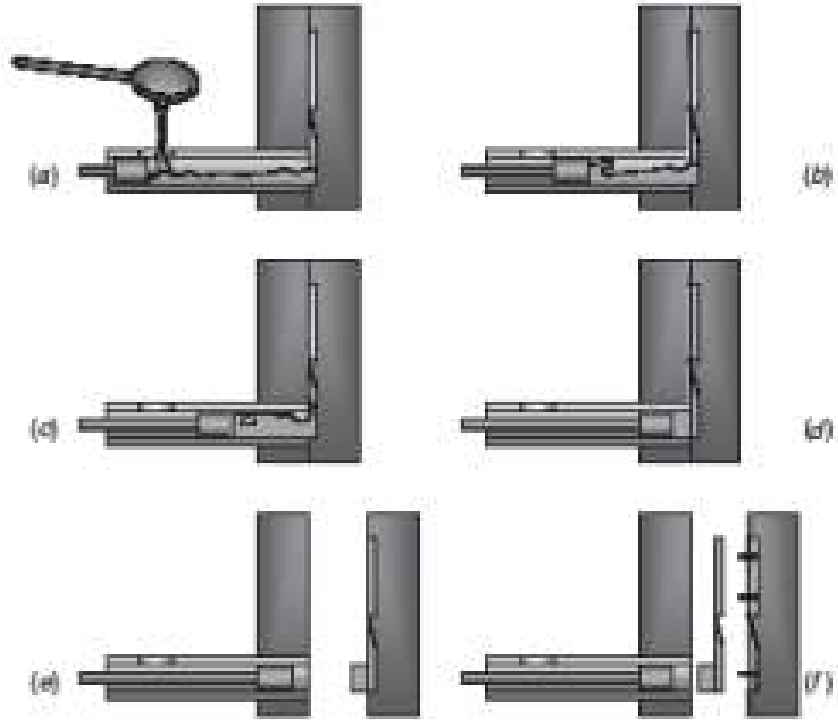
Şekil 2. 2 Sıcak kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi [11]

2.1.2 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri genellikle ergime sıcaklığı yüksek pirinç, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının dökümünde kullanılır. Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesinden farklı olarak ergimiş metalin bulunduğu pota makineden ayrılır [8]. Şekil 2. 3 de soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi verilmiştir. Burada işlem çevrimi ergimiş metalin pota yardımıyla ısıtma fırınından alınıp enjeksiyon haznesine dökülmesiyle başlar, enjeksiyon haznesinin bulunduğu kısım koruyucu atmosfer ile çevrilir ve bu sayede magnezyum alaşımının oksijen ile teması engellenir. Ergimiş metalin hazneye boşaltılmasından sonra hidrolik piston devreye girer ve ergimiş metal kalıp boşluğuna itilir. Bu sırada oluşan kuvveti dengelemek için kilitleme sistemi devrededir, kalıp boşluğunun dolması ve katılaşma işleminin tamamlanması ile kilitleme sistemi devreden çıkar, hareketli kalıp sabit kalıptan ayrılır ve imal edilen parça kalıp boşluğundan çıkartılıp temizleme işlemine tabi tutulur (Şekil 2. 4) [12].

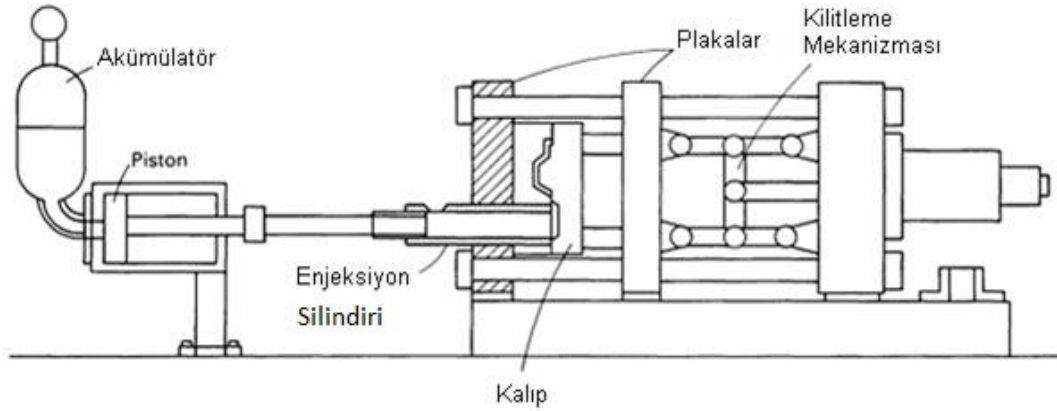


Şekil 2. 3 Soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi [8]



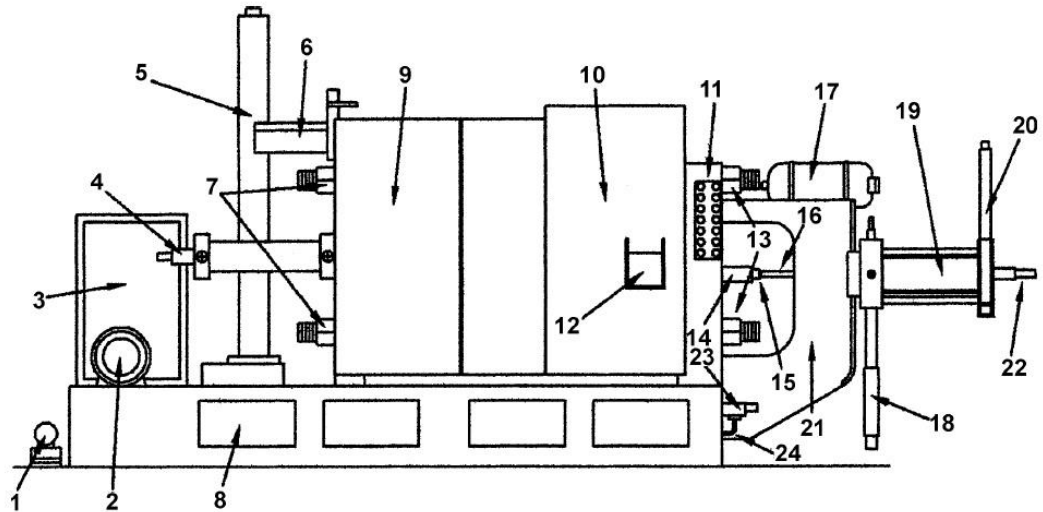
Şekil 2. 4 Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinde işlem çevrimi [8]

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri pistonun konumuna göre yatay ve düşey tip olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 2. 5 de görülen yatay soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesi yaygın olarak kullanılan tiptir ve bu tez çalışmasında bu döküm makinesi incelenmiştir.



Şekil 2. 5 Yatay soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi [10]

Şekil 2. 6 da modern soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesi detaylı olarak gösterilmiş ve makinenin ana kısımları Çizelge 2. 1 ' de açıklanmıştır.

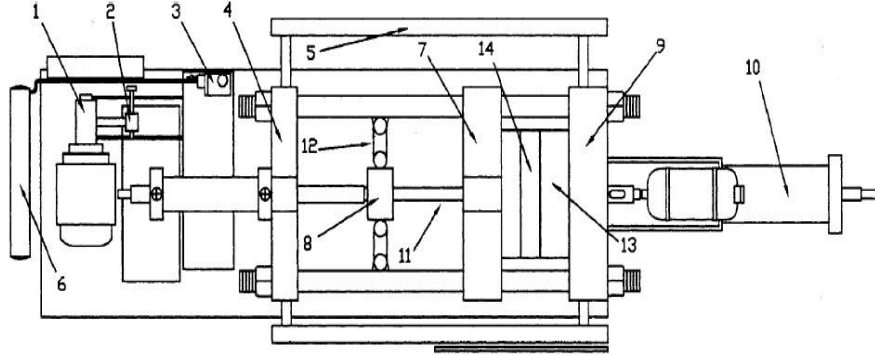


Şekil 2. 6 Modern soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin operatör kısmından görünüşü [13]

Çizelge 2. 1 Soğuk kamaralı pistonlu tip makinenin temel parçaları

Parça Numarası	Parça Tanımı
1	Isı Değiştirici
2	Ana Motor
3	Elektrik Kabini
4	Kalıp Kilitleme Silindiri
5	Kalıp Kilidi Akümülatörü
6	Güvenlik Mekanizması
7-13	Somun
8	Rezervuar Giriş Kapağı
9	Koruma Kapağı
10	Güvenlik Kapısı
11	Operatör Kontrol Paneli
12	İzleme Penceresi
14	Soğuk Kamara
15	Besleme Sistemi Parçası
16	Enjeksiyon Kolu
17	Nitrojen Akümülatörü
18	Kaldırma Mekanizması
19	Enjeksiyon Silindiri
20	Akümlatör
21	Destek Kolu
22	Enjeksiyon Strok Ayarı
23	Enjeksiyon Hız Kontrol
24	Hidrolik Dönüş Hattı

Şekil 2. 7 de modern soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesinin üstten görünümü Şematik olarak gösterilmiş ve makinenin ana kısımları Çizelge 2. 2 ' de açıklanmıştır.



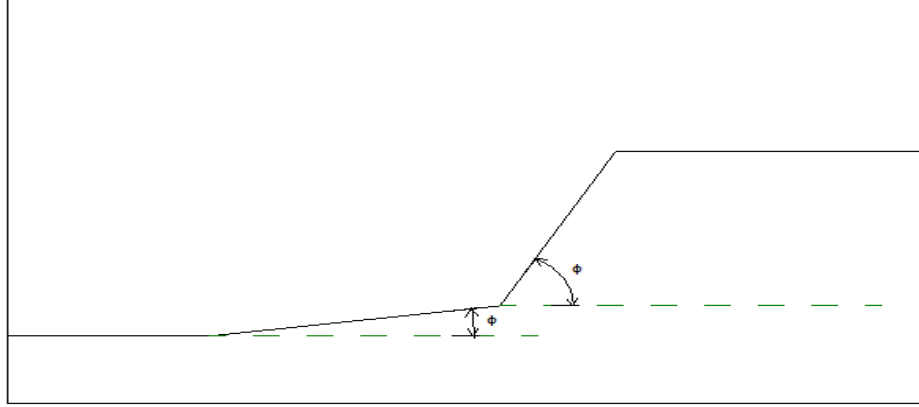
Şekil 2. 7 Modern soğuk kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinesinin üstten görünüşü [13]

Çizelge 2. 2 Soğuk kamaralı pistonlu tip makinenin temel parçaları

Parça Numarası	Parça Tanımı
1	Pompa
2	Vana
3	Sirkülasyon Pompası ve Filtre
4	Ayarlanabilir Plaka
5	Koruma Bölümü
6	Isı Değiştirici
7	Hareketli Plaka
8	Kilitleme Sistemi Merkezi
9	Sabit Plaka
10	Enjeksiyon Silindiri
11	Kilitleme Sistemi Eksen Mili
12	Kilitleme Mekanizması
13	Sabit Kalıp
14	Hareketli Kalıp

2.1.2.1 Piston Hızı

Piston hızını ölçmek genellikle kolaydır. Bu hızı ölçerken enjeksiyonun birinci ve ikinci fazında meydana grafikteki açılardan faydalanılır ve tablo yardımıyla hız belirlenir.



Şekil 2. 8 Piston hızının 1. ve 2. fazlardaki meydana gelen açılar ile ilişkisi[14]

Çizelge 2. 3 Mg alaşımları için piston hızının 1. Ve 2. fazlardaki meydana gelen açılar ile oransal ilişkisi [14]

Açı°	Hız m/s
31	0,3
50	2,35
63	3,92
71.5	5,86
76	7,79
80	11,72

Makine tasarlanırken, piston hızı birinci fazda maksimum 0,5 m/s ikinci fazda ise 10 m/s olacak şekilde hesaplar yapılmıştır. Birinci ve ikinci fazlardaki optimum piston hızı değerleri, deneysel çalışmalar ile belirlenecektir.

2.1.2.2 Meme Giriş Hızı

Meme giriş hızı ile ikinci fazdaki piston hızı arasında basit bir aritmetik ilişki bulunmaktadır. (Eşitlik 2. 1) [14]

(2.1)

Eşitlik 2.1’ de geçen meme giriş kesit alanı ise eşitlik (2.2) yardımıyla hesaplanabilir[15].

(2.2)

Burada;

A_g : Meme Giriş Kesit Alanı

Q : Debi

P : Metal Basıncı

C_d : Sabit (0,4)

g : Yer Çekim İvmesi

ρ : Metal Yoğunluğu

Meme giriş hızı genellikle Çizelge 2. 4 ‘ de gösterilen aralıklarda seçilmekte olup, kalıp dolum süresiyle doğrudan ilişkilidir. [15]

Çizelge 2. 4 Mg alaşımları için meme giriş hızı değerleri

Meme giriş Hızı	Uygulama Alanı
40 m/s – 85 m/s	Standart Mg Dökümü
100 m/s	İnce duvarlı döküm
30 m/s den daha küçük	4-5 mm duvar kalınlığı

2.1.2.3 Dolum Süresi

Yolluk sisteminin tasarımında ve döküm sıcaklığının belirlenmesinde anahtar faktör, kalıp boşluğunun dolması için gerekli dolum süresidir (filling time). Dolum süresi hata oluşumuyla da yakından ilişkili olup, hataların azaltılması, hesaplanan dolum sürelerinin doğruluğuna bağlıdır. Dolum sürelerini hesaplamak için NADCA (North American Die Casting Association) tarafından geliştirilmiş (2.3) eşitliğinden faydalanılmaktadır.

$$t = 0,0346 [(T_m - T_f + 2,5 S) / (T_f - T_d)] T \quad (2.3)$$

Eşitlikte t (s), saniye cinsinden başarılı bir döküm için gerekli dolum süresini belirtmektedir. T_m ($^{\circ}\text{C}$), ergimiş metalin döküm sıcaklığını; T_f ($^{\circ}\text{C}$), minimum akış sıcaklığını; S (%), beslemeyi engellemeden oluşabilecek en yüksek katılaşma oranını; T_d ($^{\circ}\text{C}$), kalıp sıcaklığını ve T (mm), ortalama cidar kalınlığını göstermektedir[11].

Bunun yanı sıra dolum süresi, ergimiş metalin kalıp boşluğuna girmesi ve kalıp boşluğunu tamamen doldurması için gerekli süre olarak düşünülürse akış debisinin de dolum süresiyle doğrudan ilişkili olduğu ortaya çıkar, buradan yola çıkılarak eşitlik (2.4) elde edilir.

$$\text{---} \quad (2.4)$$

Burada;

Q: Akış Debisini

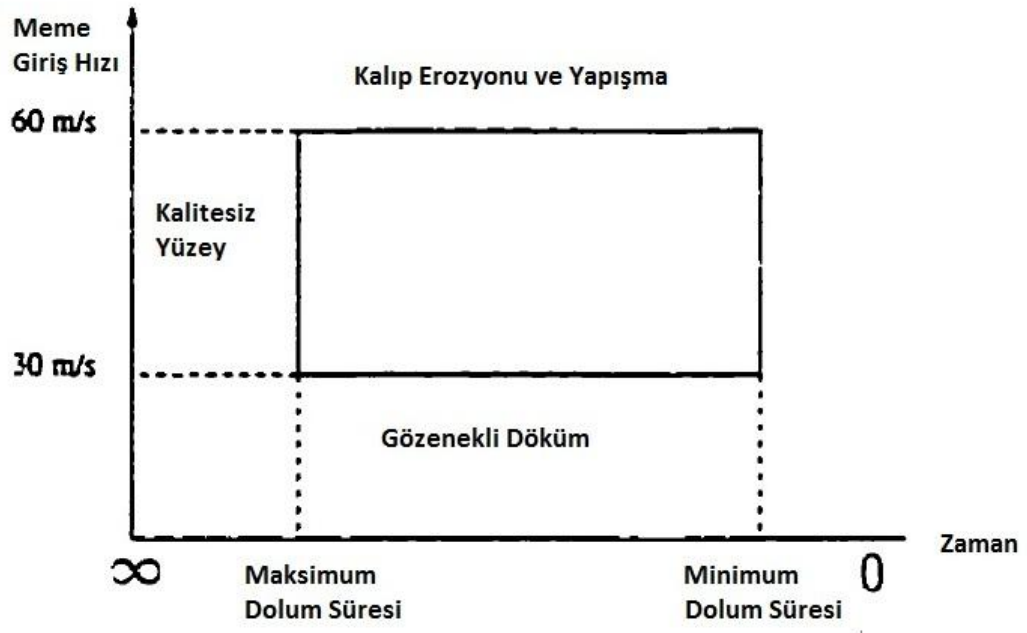
Vol: Memeden geçen ergimiş metalin toplam hacmini

t: Dolum Süresini göstermektedir.

Bu formülden dolum süresi çekilirse Eşitlik 2. 5 elde edilir.

$$\text{---} \quad (2.5)$$

Dolum süresi genellikle 0.01 saniye ve 0.06 saniye arasında değerler alır. Döküm hacmine göre bu değer azalma ya da artış gösterebilir. Dolum süresi kalıp sıcaklığı ile de doğrudan ilişkilidir çünkü kalıp sıcaklığı ergimiş metalin kalıp içerisindeki akış hızına etki etmektedir. Daha önceden bahsedilen formüllerden de faydalanılarak elde edilmiş olan diyagramlar yardımıyla deneysel çalışmalarda uygun çalışma koşulları belirlenebilmektedir. Bunlardan bazıları Şekil 2. 9 ve Şekil 2. 10' da gösterilmiştir.[16]



Şekil 2. 10 Çalışma koşullarının döküm üzerindeki etkisi[16]

2.1.2.4 Piston Stroğu

Piston stroğunu hesaplayabilmemiz için önce enjekte edilecek ergimiş metalin ağırlığını belirlememiz gereklidir. Dört gravürlü bir kalıp tasarımı için enjekte edilmesi öngörülen ergimiş Mg alaşımının ağırlığı yaklaşık olarak 350 g dır. Buradan yola çıkarak gerekli hacim hesaplanır. AZ91 alaşımının yoğunluğu 1.80 g/ olarak alınır;

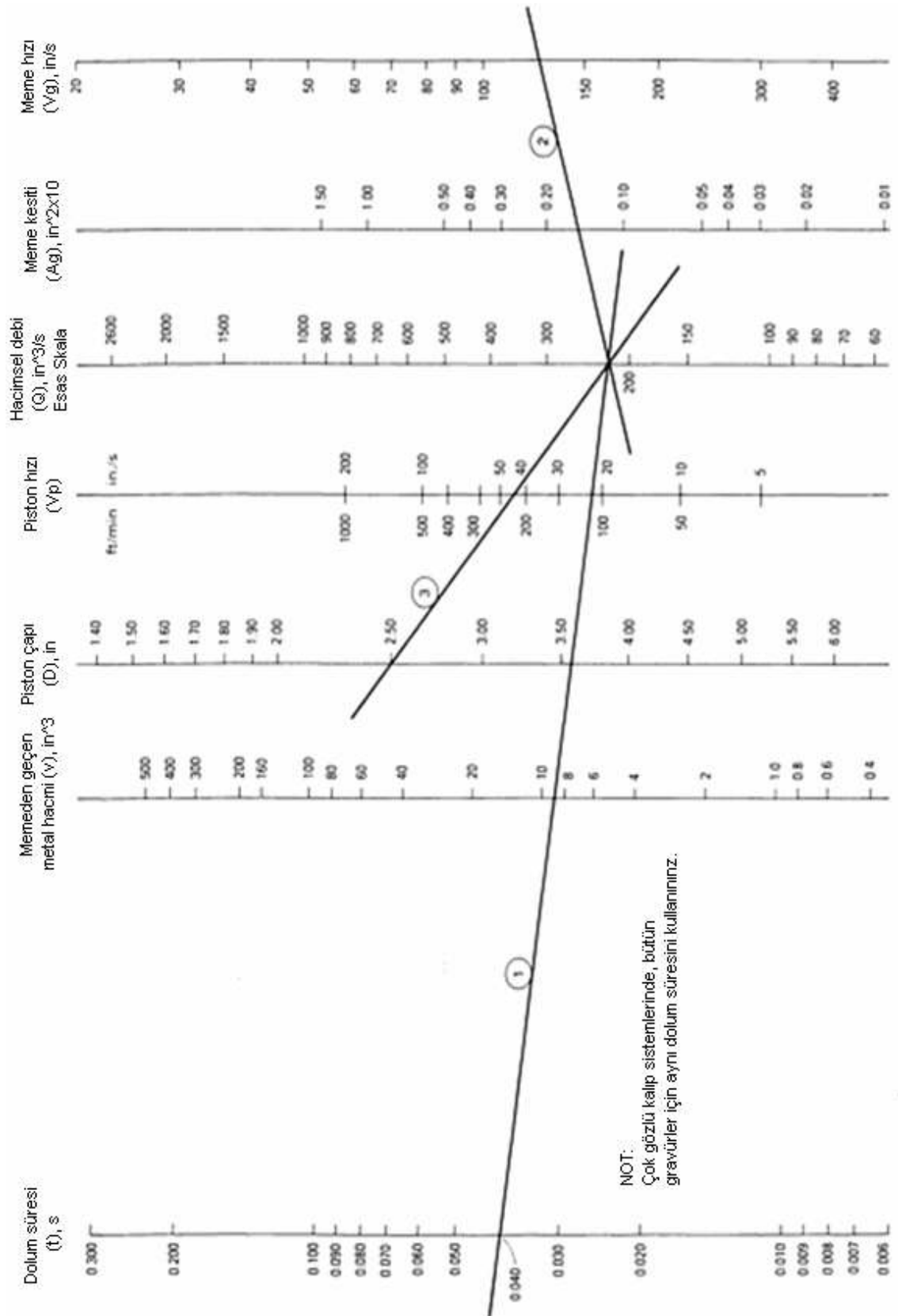
olarak bulunur. Piston silindrinin 3 de 2 si dolu iken döküm yapılacağı düşünülürse, silindir hacmi yaklaşık 295 olarak hesaplanır. Bu değeri de piston alanına bölersek gerekli piston stroğunu elde etmiş oluruz[14].

2.1.2.5 Enjeksiyon Basıncı

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde, enjeksiyon sırasında uygulanan basınç 30-100 MPa aralığında değişmektedir. Bu basınca ilaveten kendini çekme boşluklarının beslenebilmesi için bir de sıkıştırma basıncı uygulanmalıdır, sıkıştırma basıncı ise maksimum 120 MPa olmalıdır.

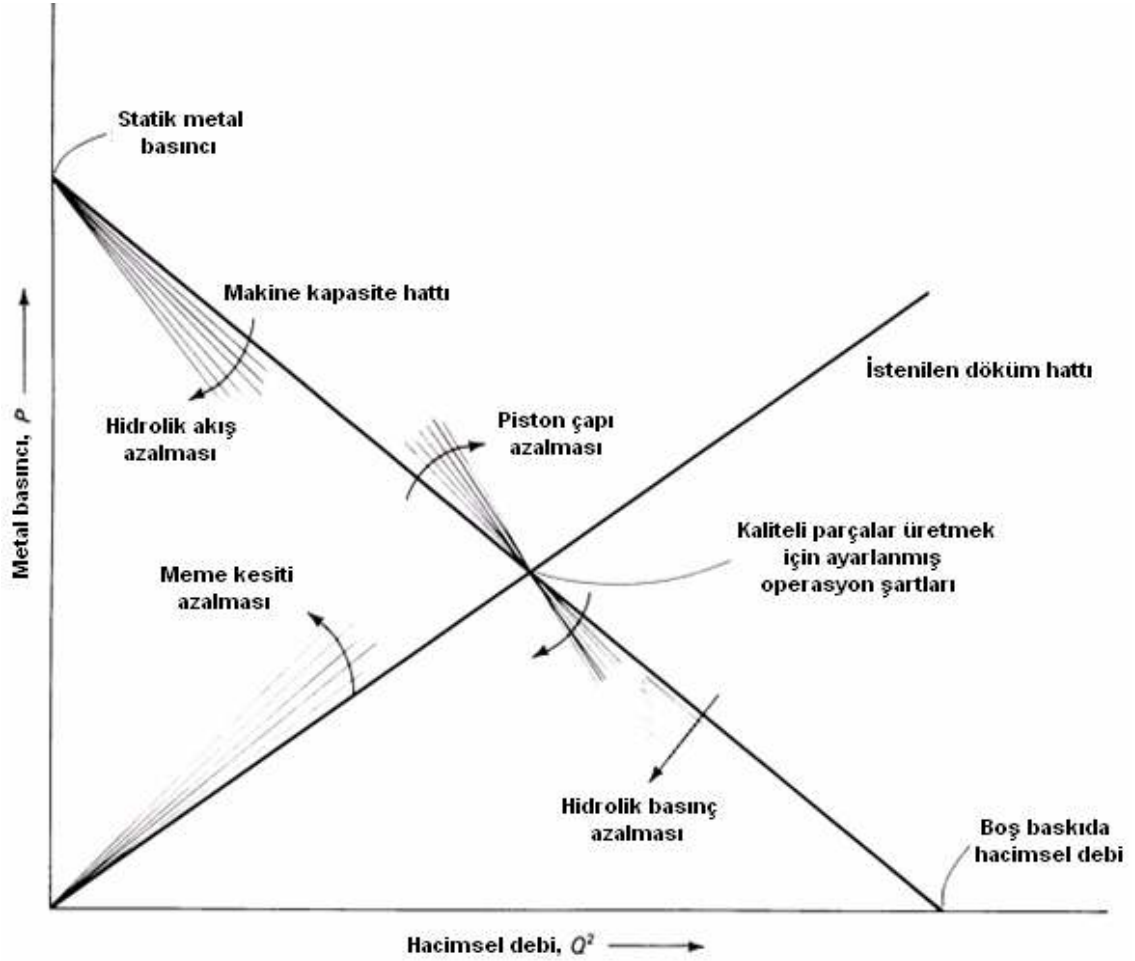
Enjeksiyon profilleri, kalıp dolum prosesi ile ilgili ayrıntılı çalışmalar yapılacağı zaman çok faydalı olmaktadır. Bununla birlikte, kalıbın laminar akışlı olacak şekilde dolması için gereken parametrelerin belirlenmesi, metale uygulanan basınç ve metalin hacimsel akış debisi ile yakından ilişkilidir. Bununla ilgili bir nomograf, Şekil 2.11' de verilmiştir.

Nomografte verilen birimler inç (inch) cinsinden olup, $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm} = 0,0254 \text{ m}$ dönüşümü yapılarak, grafiğin metrik sistemde rahatlıkla kullanımı mümkün olmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen akış debisi ve piston hızının ardından, uygun enjeksiyon basıncının seçilmesi gerekmektedir. Bunun için de hazırlanmış olan birçok grafik mevcuttur.



Şekil 2. 11 Farklı proses parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan nomograf [11]

Şekil 2.12' de metale uygulanan basıncın (P), debinin karesi (Q^2) ile değişimini gösteren bir grafik verilmiştir. $P-Q^2$ diyagramı, meme giriş alanı, hidrolik basınç ve piston çapı üzerinde yapılan ayarlamalar ile optimize edilerek, en uygun şartlarda dökümün yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 2. 12 Proses parametrelerini belirlemek için kullanılan metal basıncı-debi ($P-Q^2$) grafiği [11]

2.1.2.6 Kilitleme Kuvveti

Kilitleme mekanizması enjeksiyon sırasında enjeksiyon ünitesinden aktarılan metalin basıncına karşı kalıbın diğer yarısının sabit ve dengede kalmasına yarayan mekanizmadır. Bu mekanizmanın uyguladığı kuvvet enjeksiyon aşamasındaki metalin basıncından daha büyük olmalıdır.

Bu kuvvetin hesaplanmasında sütunların yerleşimi ve besleme ağzının yeri de göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir. İdeal bir sistemde kalıbın ve besleme ağzının sütunların merkezinde olması istenir fakat kalıbın rijitliği ve ebatları da göz önünde bulundurulduğunda bu her zaman mümkün olmaz. Bu nedenlerden dolayı

- Pota Fırınları (Crucible Furnaces)
- Dozajlı Fırınlar (Dosing Furnaces)
- Daldırma Fırınları (Immersion Furnaces)
- İndüksiyon Fırınları (Induction Furnaces)
- Uzun Alevli Fırınlar (Reverberatory Furnaces)
- Bacalı Fırınlar (Stack Furnaces)

2.2.1 Pota Fırınları

Pota fırınları küçük kapasiteli fırınlardır küçük ölçekli ergitme uygulamalarında ve yaygın olarak da bekletme fırını olarak kullanılmaktadırlar[18]. Genellikle ateşleme kısmı aşağıdadır[17]. Metal seramik potanın içine boşaltılır ve gaz ile ya da elektrikle ısıtma işlemi başlatılıp ergitme sağlanır. Şekil 2. 14 de gaz ateşlemeli pota tip fırın gösterilmiştir, bu fırın kapladığı alan gereksinimine bakıldığında metre kare başına yüksek hacimde bir ergitme kapasitesine sahiptir. Bu fırınlar beklide ergitme fırınları içerisinde en esnek olanlardır, çevrim sıklığından az etkilenir, hızlı çalışır ve ısı tutumu iyidir. Fakat doğal gaz fiyatlarının artmasından dolayı yüksek kapasiteli fırınlar ergitme sistemleri için pahalı bir hale gelmiştir[18].



Şekil 2. 14 Gaz ateşlemeli pota fırını

Elektrik dirençli pota fırınları temiz, sessiz ve çevre dostudur. Enerji kaynağının elektrik olmasından dolayı egzoz gazı üretmez ve çevre kirliliğine neden olmaz. Elektrik dirençli pota fırınları haftanın yedi günü yirmi dört saat çalışmaya müsaittir. Sürekli çalışması halinde daha ekonomik bir kullanım sağlamaktadır. Fakat bu fırınlar yüksek kapasiteli

ergitme işlemi için genellikle uygun görülmemektedir, ergitme işleminden ziyade bekletme fırını olarak kullanımı yaygındır[18].

2.2.2 Dozajlı Fırınlar

Dozajlı fırınlar metal iletim ağzı olan, kapalı bekletme fırınlarıdır. Bu fırınlar basınçlı dökümde ergimiş metali istenilen korumayla tutmak ve basınçlı döküm makinesine iletmek için kullanılırlar. Kullanımı oldukça avantajlıdır, çünkü kapalı bir sisteme sahiptir, ısı kaybı azdır ve ergimiş metalin oksijenle temasını engeller.

Bu fırınların dezavantajı ilk yatırım maliyetinin fazla oluşudur. Tamamen kapalı bir yapıya sahip olan ergimiş metali bekletme ünitesi ve bu üniteye bağlı olan, ergimiş metali basınçlı döküm makinesine aktaran, iletim ünitesi bu sistemi karmaşık ve pahalı bir hale getirmiştir[18].



Şekil 2. 15 Dozajlı fırın[19]

2.2.3 Daldırma Fırınları

Daldırma fırınları yaygın olarak çinko gibi düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin ergitilmesinde kullanılır. Isıtma işlemi yanma ile ya da ergimiş metal içine daldırılmış elektrik direnç tüpleriyle gerçekleştirilir. Isı ergimiş metale tüplerin çeperlerinden iletim yoluyla geçer. Daldırma fırınlarının avantajları, ergimiş metal yanma gazlarına maruz kalmaz ve ergimiş metale ısı transferi iyidir[18].



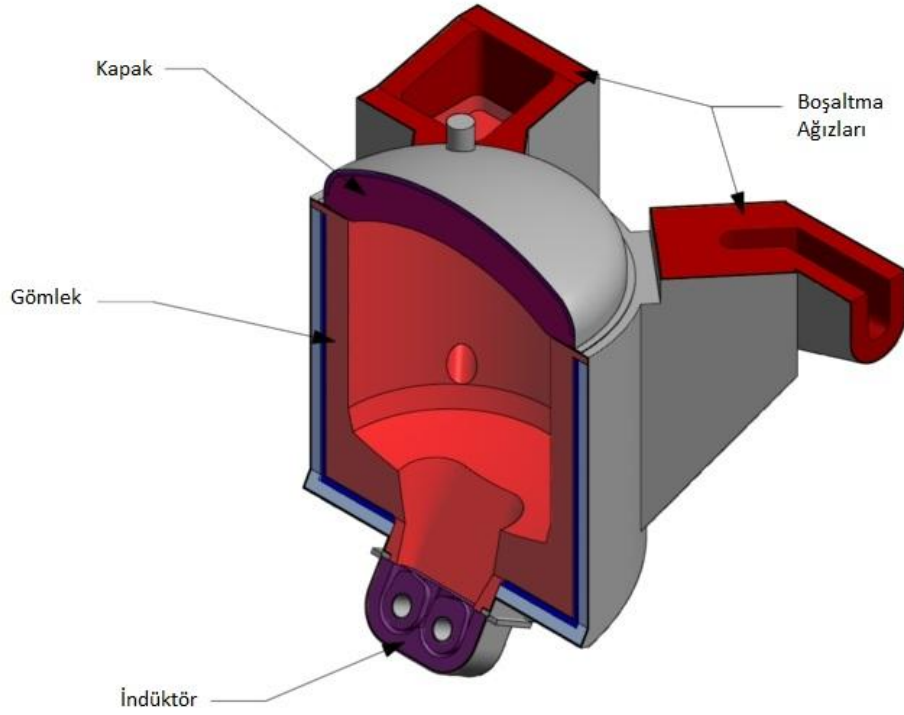
Şekil 2. 16 Elektrikli daldırma bekletme fırını[20]

Bu fırınlar ergitme ya da bekletme fırını olarak kullanılabilirler. Fakat dikkat edilmesi gereken husus ergitilen ya da fırında bekletilecek olan ergimiş metalin, ısıtıcı tüplere korozyon etkisinin az olmasıdır[17]. Daldırma fırınlarında kullanılan ısıtıcı tüpler genellikle yüksek ısıl iletkenliğe sahip metal malzemeden yapılırlar, ayrıca ergimiş metalin korozyon etkilerinden korunması için seramik ile kaplanırlar[18].

2.2.4 İndüksiyon Fırınları

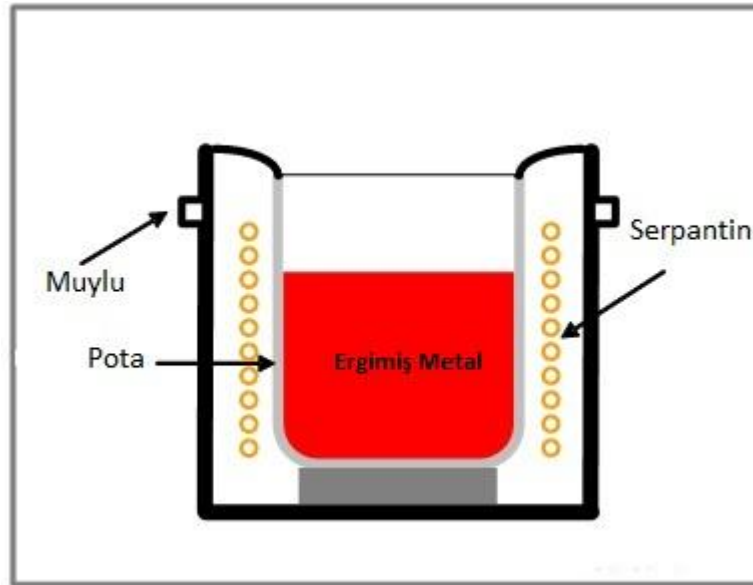
İndüksiyon fırınları basınçlı döküm alaşımlarının ergitilmesi için, bazen ergitme fırını olarak da kullanılırlar[18]. İndüksiyon fırınları genellikle iki kategoriye ayrılırlar, bunlar; kanal indüksiyon fırınları ve maçasız indüksiyon fırınlarıdır[17].

Kanal indüksiyon fırını yaygın olarak bekletme fırını olarak kullanılmaktadır[18]. Bazı uygulamalarda ergitme fırını olarak da kullanılabilirler. Kanal indüksiyon fırınları iki ana bölümden oluşur, bunlar; bekleme yatağı ve indüktör kutudur[17].



Şekil 2. 37 Kanal indüksiyon fırını şematik gösterimi[21]

Maçasız indüksiyon fırınları kanal indüksiyon fırınlarına kıyasla daha düşük verimliliğe sahiptir fakat kapladığı döşeme alanına göre daha fazla ergitme kapasitesine sahiptir. Genellikle ergitme fırını olarak kullanılmaktadırlar[18].



Şekil 2. 18 Maçasız indüksiyon fırını[22]

İndüksiyon fırınları %50 ila %70 arasında ergitme verimliliğine sahip fırınlardır. Bu fırınlar ayrıca düşük emisyonu sahiptir ve metal oksidasyonu azdır. İndüksiyon fırınıyla elde edilen alaşımlar çok üniform bir yapıya sahip olurlar.

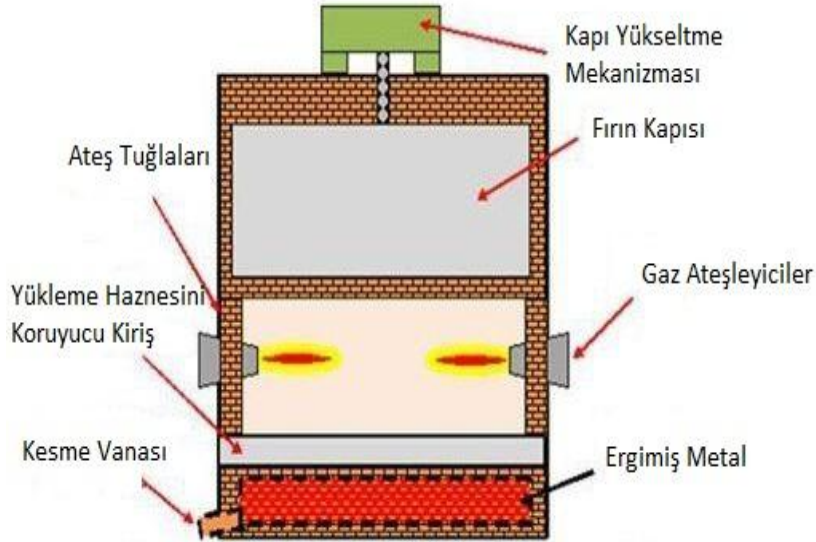
Bu fırınların dezavantajı ise yüksek yatırım ve çalışma maliyetidir[18].

2.2.5 Uzun Alevli Fırınlar

Uzun alevli fırınlar yaygın olarak alüminyumun ergitilmesinde kullanılırlar. Bu fırınlarda ateşe dayanıklı ateşleyici veya çatı kısmına ya da kenarlara yerleştirilmiş olan elektrikli çubuklarla ısıtma işlemini gerçekleştirir. Ergimiş metal bekletme fırınına aktarılmadan önce istenilen sıcaklığa kadar fırın içerisinde bekletilir.

Gaz alevlemeli fırınlar sağlamış oldukları büyük ergimiş metal depolama olanağından dolayı, genellikle büyük miktarda döküm yapan endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır.

Bu fırınlar şarj malzemesinin ergitmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulup tutulmamasına göre iki ana sınıfa ayrılırlar[16]. Ergimiş metal bu fırınlardan alınarak daha küçük fırınlar yardımıyla basınçlı döküm makinelerine aktarılır[17].



Şekil 2. 19 Gaz ateşlemeli alevli fırın[23]

2.2.6 Bacalı Fırınlar

Bacalı fırınlar son yıllarda yüksek enerji verimliliği sayesinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu fırınlarda, baca gazı sayesinde şarj malzemesine ön ısıtma yapılır. Şarj malzemesi aşağı doğru inerek ergitme bölgesine ulaşır ve burada bulunan ısıtıcılar sayesinde ergime işlemi gerçekleştirilir ve sonrasında ergimiş metal bekleme alanına doğru akar.

Bacalı fırınların dezavantajı genellikle bacalarının uzun oluşudur. Fakat düşük kapasiteler için kullanılmak üzere daha kısa bacalı olan fırınlarda imal edilmeye başlanmıştır[18].

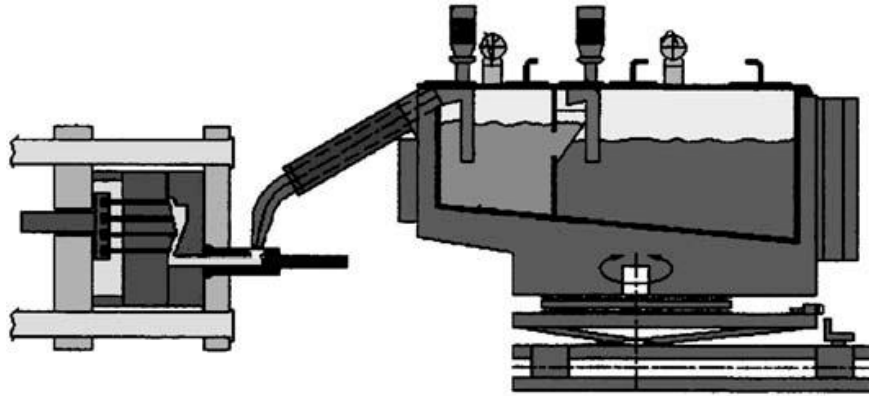
2.3 Transfer Sistemi

Magnezyumun basınçlı dökümünde ergitme ve bekletme işlemleri koruyucu toz kullanılmadan gerçekleştirilir.

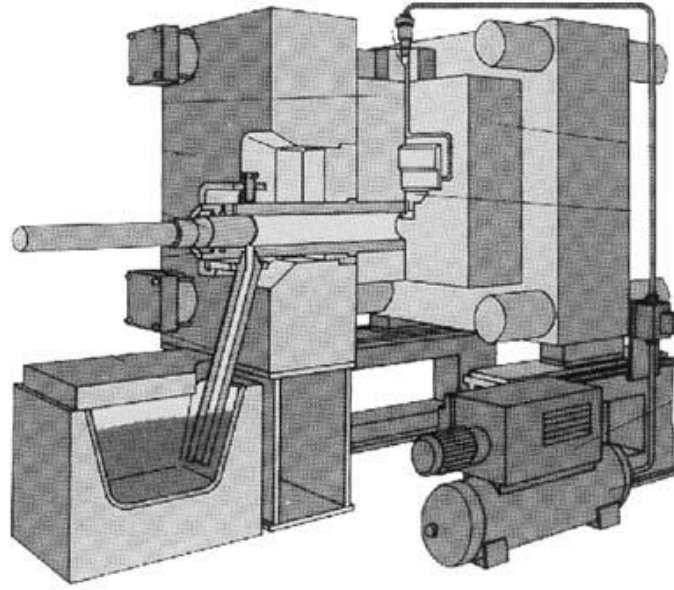
Magnezyum ingotlarının ergimiş metale şarjı sırasındaki sıcaklık düşüşünün neden olduğu segregasyonları önlemek için ergitme ve bekletme işlemi genellikle farklı fırınlarda yapılır ya da aynı fırın içerisinde farklı bölümlerde yapılır. Ergimiş malzeme ergitme fırınından bekletme fırınına transfer olurken havayla teması engellenmelidir. Buna ilaveten, ergimiş metalin transferinde kullanılan robotlar yerine, gaz basıncı veya pompa gücüyle çalışan kapalı bekletme cihazlarının kullanımı daha popüler olmaktadır.(Şekil 2.20) Bu sisteme literatürde dozajlı fırın denmektedir [5].

Dozajlı fırın pota fırınlarıyla karşılaştırıldığında yaklaşık 900 kg ergimiş metal için pota fırının %20 si kadar enerji ile çalışır. Aynı zamanda işlem maliyeti bekletme fırınlarının üç de biri kadardır. Dozajlı fırınlar Avrupa'da çok yaygın hale gelmiştir ve sağladığı avantajlar sayesinde bekletme fırınlarının ve potaların yerine kullanılmaya başlamıştır [18].

Ergimiş magnezyum alaşımının enjeksiyon haznesine transferi için kullanılan diğer bir gelişmiş yöntem ise VACURAL-prosestir (Şekil 2.21). Bu yöntemde ergimiş metal vakum etkisiyle enjeksiyon bölmesine emilmekte ve sonra basma işlemi gerçekleştirilmektedir. [5].



Şekil 2. 20 Dozajlı fırın[5]



Şekil 2. 21 Vacural proses[5]

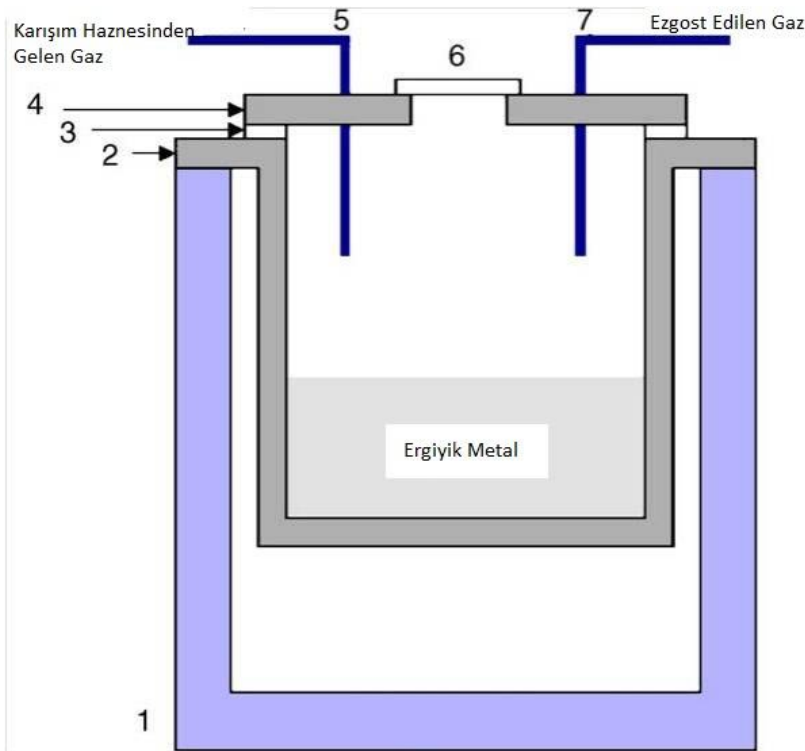
2.4 Koruyucu Atmosfer Sistemi

Magnezyum alaşımları yapı metalleri arasında en düşük yoğunluğa sahip olan malzemelerdir, otomotiv, iletişim, elektronik malzemeler, uzay endüstrisi ve diğer endüstrilerde üstün özelliklerinden ötürü tercih edilmeye başlamıştır. Fakat magnezyum çok aktif bir elementtir ve oksijenle reaksiyona girme yeteneği çok yüksektir. Bu nedenden dolayı magnezyum alaşımlarının ergitme ve döküm işlemleri boyunca oksijenli ortamdan korunması gerekmektedir. Bu koruma işlemlerinden bazıları; koruyucu toz kullanımı, koruyucu gaz atmosferi ve alaşımlamadır[24].

Koruyucu toz altında yapılan uygulamalarda parça içinde kalan bazı toz kalıntılarının korozyon direncini düşürdüğü ortaya çıkmıştır, bu nedenledir ki koruyucu toz altında magnezyumun dökümü yöntemi günümüzde uygulamada yaygın bir şekilde yer bulamamaktadır. Günümüzde magnezyum alaşımlarının dökümü esnasında, ergimiş metali atmosferin etkilerinden korumak ve olası reaksiyonları önlemek için çeşitli koruyucu gazlar kullanılmaktadır[5]. Bunlardan en yaygın kullanılanları;

- SF_6
- Hydrofluorocarbon ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$, HFC-134a)
- SO_2
- Argon
- CO_2
- N_2 ve bu gazların belirli oranda birbiriyle karışmasından oluşan koruyucu gaz karışımlarıdır.

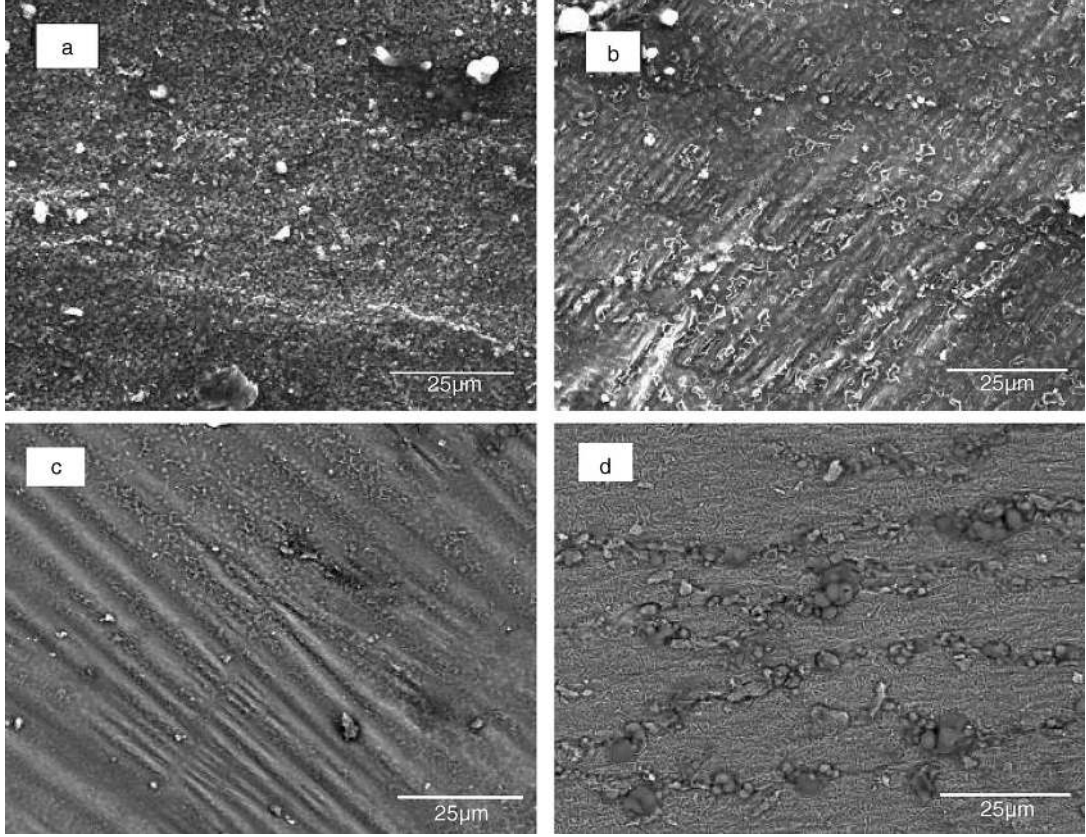
Bu gazlardan Sülfür hekzaflorüd (SF_6) magnezyum endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan koruyucu gazlardan birisidir, sülfür hekzaflorüd ile elde edilen koruyucu gaz karışımı magnezyumun oksidasyonunu etkili bir şekilde önlemektedir. Çünkü sülfür hekzaflorüd non-toksik, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Fakat Sülfür hekzaflorüdün çok yüksek potansiyelde greenhouse gazına sahip olması, yaklaşık olarak 23.900 kez karbondioksitten daha kötü oluşu ve atmosferdeki ömrünün çok uzun oluşu (yaklaşık 3200 yıl) nedeniyle bu gazın doğal çevreyi olumsuz etkilemesi, ayrıca Kyoto Protokolünce yasaklanması kullanımını azaltmıştır. Küresel ısınmanın etkileri ve dünyadan bu etkileri azaltmaya karşı alınan önlemler çerçevesinde bu gazın kullanımının önüne geçilmeye çalışılmaktadır ve birçok ülke Kyoto Protokolleri çerçevesinde bu gazın kullanımını yasaklamıştır[5]. Bununla birlikte magnezyum endüstrisi bu gaza alternatif olabilecek yeni koruyucu gazlar bulmak için çalışmalara başlamıştır. Bunlardan en yaygın olanları; HFC-134a, SO_2 , N_2 ve Argon gazları ve bu gazların karışımlarıdır.



Şekil 2. 22 Ergiyik koruma sistemi parçaları (1) fırın, (2) tuğla, (3) seramik elyafı, (4) çelik kapak, (5) gaz besleme tüpü, (6) pencere, ve (7) gaz çıkış tüpü[25].

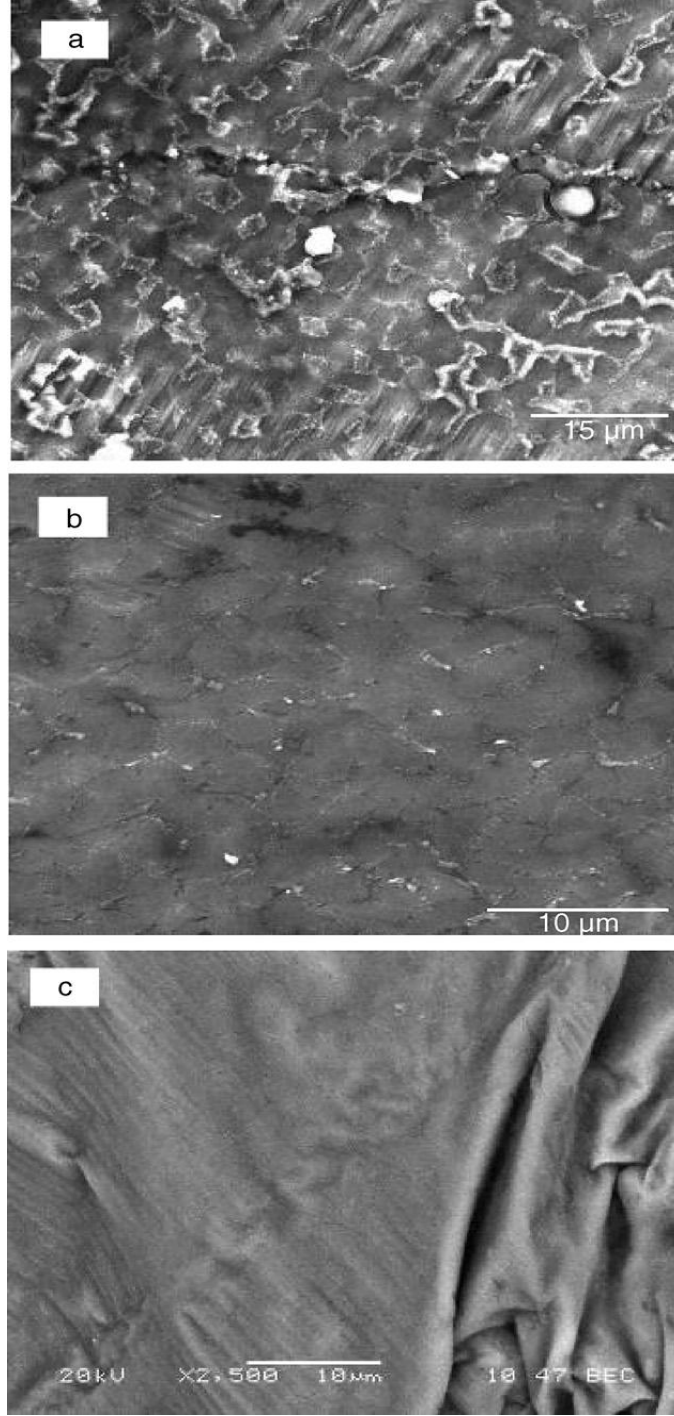
HFC-134a koruyucu gazının küresel ısınma potansiyeli SF_6 ile kıyaslandığında 18 kez daha düşüktür. Yapılan araştırmalar sonucunda HFC-134a koruyucu gazı atmosferi altında yapılan işlemlerde yeterli korumanın sağladığı hatta bu gazın bazı kendine has özelliklerinin Sülfür hekzaflorün koruyucu gaz atmosferinden daha da iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat magnezyumun yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakanın karışımı, şekli ve yapısı yeterince net değildir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, koruyucu gazının derişimi arttırıldığında magnezyumun yüzeyinde oluşan koruyucu film tabaka incelmekte ve sürekli bir tabaka haline gelmektedir. Buna karşın uygulama süresi arttırılırsa bu tabaka daha da kalınlaşmaktadır. Aşağıdaki şekillerde bu gazın derişim ve işlem süresinin magnezyum üzerinde oluşan film tabakası formuna etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2. 23 SEM mikroskobu görüntüleri 700 C' de 10 dakika süre için (a)0.25%, (b)0.5%, (c)0.75% and (d)1.25% HFC-134a koruyucu gaz atmosferi altındaki koruyucu yüzey film profilleri [26]

Şekil 2. 23 de açıkça görüldüğü gibi 0. 5% HFC-134a den az derişime sahip koruyucu gaz atmosferinde düzgün bir film tabakası oluşmamakta ve yeterli koruma yapılamamaktadır. HFC-134a derişimi 0.5% in altında kaldığı durumlarda MgO oluşumu gözlenmiştir. Fakat diğer taraftan 0. 5% den fazla HFC-134a içeren koruyucu gaz atmosferinde yapılan çalışmalarda MgO oluşumu olmamıştır ve daha düzgün, ince bir koruyucu film tabakası elde edilmiştir[26].



Şekil 2. 24 SEM mikroskobu görüntüleri, 0.5% HFC-134a içeren koruyucu gaz atmosferinde (a) 10, (b) 30, (c) 60 dakika uygulama süresi için koruyucu yüzey film tabakası profilleri [26]

Şekil 2.24 gösteriyor ki 10 dakika işlem süresinden daha kısa zamanlarda film tabakanın şekli gözenekli ve pürüzlü yani düzgün olmayan bir hale geliyor fakat süre uzadıkça film tabakası yüzeyi daha düz bir hal alıyor. 60 dakikayı geçen uygulama sürelerinde ise üniform ve sağlam bir yapı elde ediliyor[26].

Bu çalışmalar gösteriyor ki, koruyucu gaz atmosferi olarak Hydrofluorocarbon gaz karışımının kullanılması durumunda, MgO oluşumunu azaltmak ve MgF₂ oluşumunu

artırmak için ya HFC-134a derişimi artırılmalı ya da işlem süresi uzun tutulmalıdır. Ancak bu şekilde düzgün bir koruyucu film tabakası elde edilebilir ve magnezyumun dış atmosfer ile reaksiyona girmesi engellenebilir.

Diğer alternatif koruyucu gaz olan SO_2 koruyucu gazı havadan yaklaşık olarak 2,3 kez daha ağır bir gazdır fakat diğer koruyucu gazlar arasında en hafif olan koruyucu gazdır. Yapılan çalışmalar sonucu SO_2 koruyucu gazının ergimiş magnezyum üzerinde, koruyucu bir atmosferde, kabul edilebilir bir etkisi olduğu söylenebilir fakat bu etki uzun süreli bir etki değildir. Ergimiş magnezyumun yüzeyinde SO_2 koruyucu gaz karışımının oluşturduğu koruyucu film tabaka yalnızca kısa bir süre için formunu ve koruyucu etkisini koruyabilmektedir, daha sonra bu tabakada ayrışmalar meydana gelmektedir ve tabakanın ergimiş magnezyumun tüm yüzeyini koruma özelliği kaybolmaktadır[25].

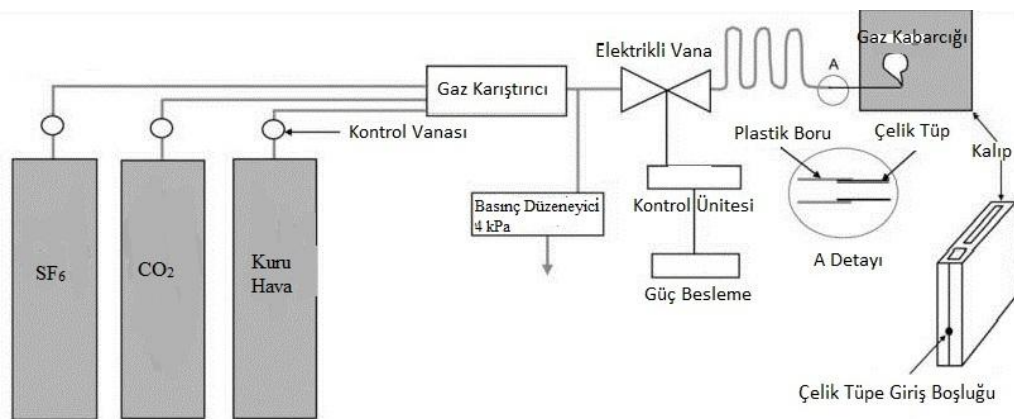
Ayrıca SO_2 gazı uzun süreli bir temas sonucunda ciğerlere zarar vermekte ve mutasyona neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, SO_2 gazı korozyif bir gazdır, koruyucu gaz olarak kullanıldığı uygulamalar sonucunda imal edilen parçalarda korozyon oluşumuna neden olabilir. SO_2 gazının diğer bir özelliği ise asit yağmurlarına neden olmasıdır[24].

Tüm bu olumsuzluklar göz önünde bulundurulduğunda, SO_2 gazı uygulamalarda tek başına çok fazla kullanım alanı bulamamaktadır.

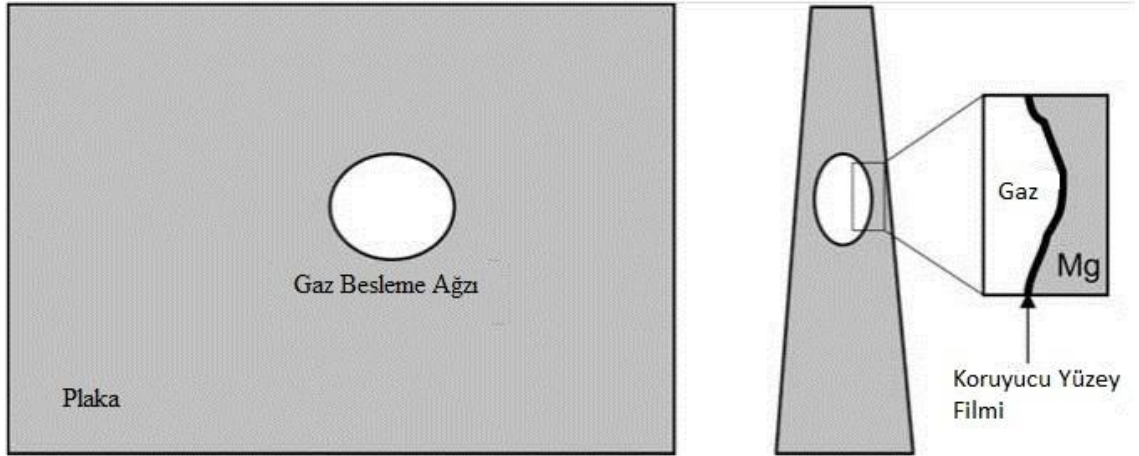
N_2 gazı ise tek başına kullanılmamakta genellikle gaz karışımlarında kullanılmaktadır. (%1 SO_2 + N_2 gibi)

Argon koruyucu gazı altında yapılan deneysel çalışmalarda üniform bir koruyucu tabaka elde edilmesine rağmen kısmen de olsa MgO_2 oluşumu gözlenmiştir. Bu nedenle argon koruyucu gaz karışımının ergimiş magnezyum için iyi bir koruyucu gaz olduğu söylenemez[27].

Bu tez çalışmasında esas olarak Hava, CO_2 ve SF_6 gazlarından belirli oranda karışımından oluşan koruyucu atmosfer üzerinde durulmuştur. Çalışmanın devamında bu gazlardan ve neden bu karışımın tercih edildiğinden bahsedilecektir.

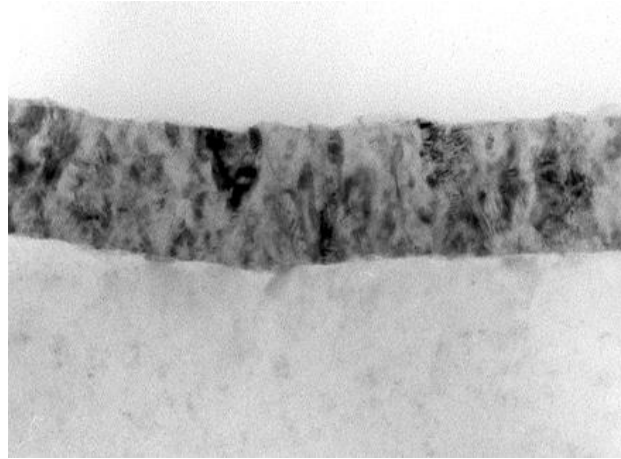


Şekil 2. 25 Koruyucu gaz karışım düzeneği şeması

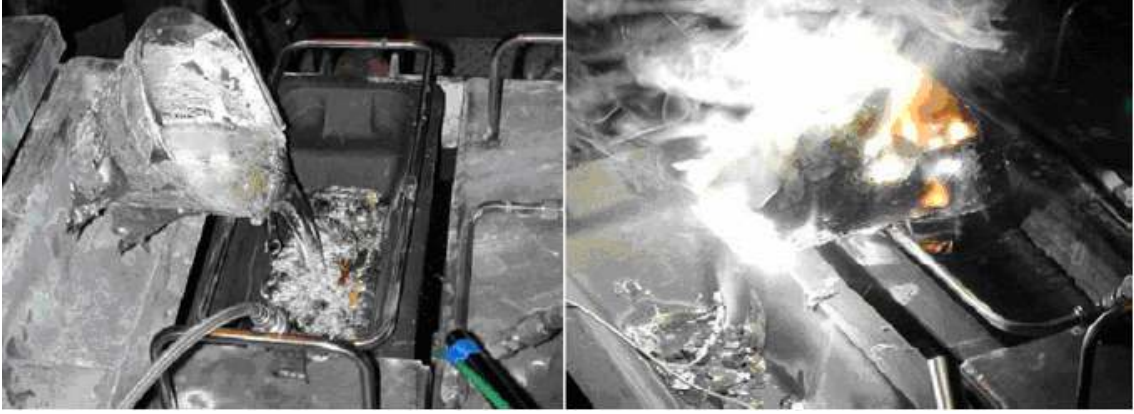


Şekil 2. 26 Gaz besleme ağzını ve koruyucu film tabakasını gösteren şematik gösterim ve kesiti[27].

SF_6 koruyucu gaz olarak 1970'lerin başında kullanılmaya başlanmıştır. O zamanlarda greenhouse etkisi bir problem olarak bilinmemektedir[9]. O zamanlardan beri SF_6 gazı en yaygın kullanılan ve en etkili koruyucu gaz olarak bilinmektedir. Bu gazın koruyucu atmosfer olarak kullanılmasının başlıca nedeni, ergimiş metal yüzeyinde oluşturduğu ince ve üniform koruyucu yüzeydir. Bu sayede ergiyük metal ile oksijenin temasını kesebilmekte ve yeterli korumayı sağlamaktadır.

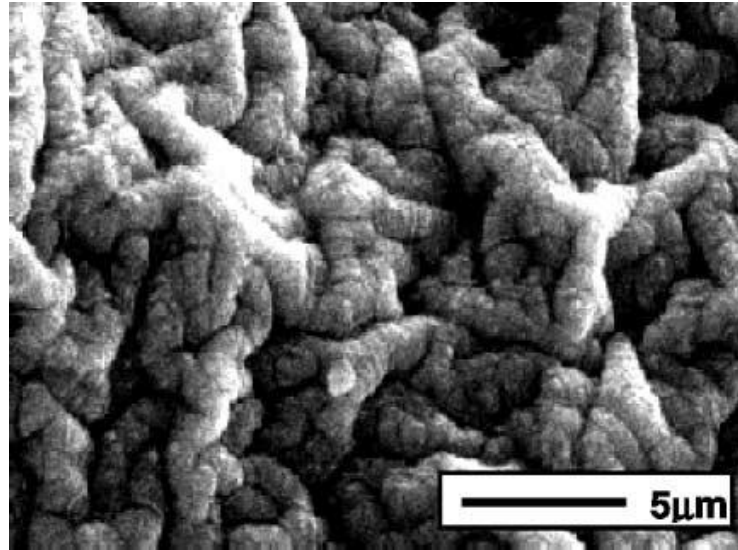


Şekil 2. 27 700°C de %1 SF_6 içeren kuru hava ile korunan magnezyumun 5 dakika sonraki mikroskopik görünümü



Şekil 2. 28 Ergimiş magnezyumun koruyucu SF_6 atmosferinde (solda) ve korumasız atmosferde (sağda) davranışı[11]

Şekil 2. 28' den de anlaşılacağı gibi koruyucu SF_6 atmosferinden yoksun ergimiş metal atmosfer ile reaksiyona giriyor ve ekzotermik tepkime meydana geliyor. Buna karşın koruyucu SF_6 gazı, ergimiş metalin üzerinde ince, tutarlı ve dengeli bir koruyucu film tabaka oluşturarak atmosfer ile ergimiş metalin temasını kesiliyor ve ekzotermik tepkimenin oluşumu engelleniyor.



Şekil 2. 29 Koruyucu SF_6 atmosferinde 700 C' de dökümü gerçekleştirilmiş magnezyumun yüzeyinin mikroskopik yapısı[28]

SF_6 , ergimiş metallerin koruyucu atmosferi olarak kullanılırken genellikle hava, ya da hava ve CO_2 ile karıştırılarak kullanılır. Gaz karışımının ne kadar SF_6 içerdiği, ergimiş metal için ideal koruyucu ortamı oluşturmak için çok önemlidir. Fakat SF_6 derişimi minimumda tutulmalıdır, bu sayede hem çevreye verilen zarar azaltılmış olur hem de gaz karışımının fiyatı. Fruehling [1970] %0.05 SF_6 içeren Hava+ SF_6 karışımının 690 °C de ergiyik metal üzerinde yeterli koruma sağladığını bulmuştur. 660 °C ise bu değerin %0.02 olması gerektiğini belirlemiştir. Busk ve Jackson [1980] de aynı çalışmayı

yapmıştır. Çalışma sonucuna göre, %0.02'lik SF₆ derişimi içeren hava 650 °C de yeterli korumayı sağlamaktayken, sıcaklık 705 °C ile 815 °C arasında bir değere ulaştığında SF₆ derişimi %0.04 ve 0.06 arasında olmalıdır. Erickson [1998] yayınlamış olduğu makalede %0.04 lük SF₆ derişimi içeren koruyucu atmosferi 650 ve 705 °C arasında tavsiye etmiştir. Gjestland, Westengen ve Plathe[1996] tamamen aynı değerleri önermiş ve bu öneriler Uluslararası Magnezyum Derneğince (IMA) yayınlanmıştır.

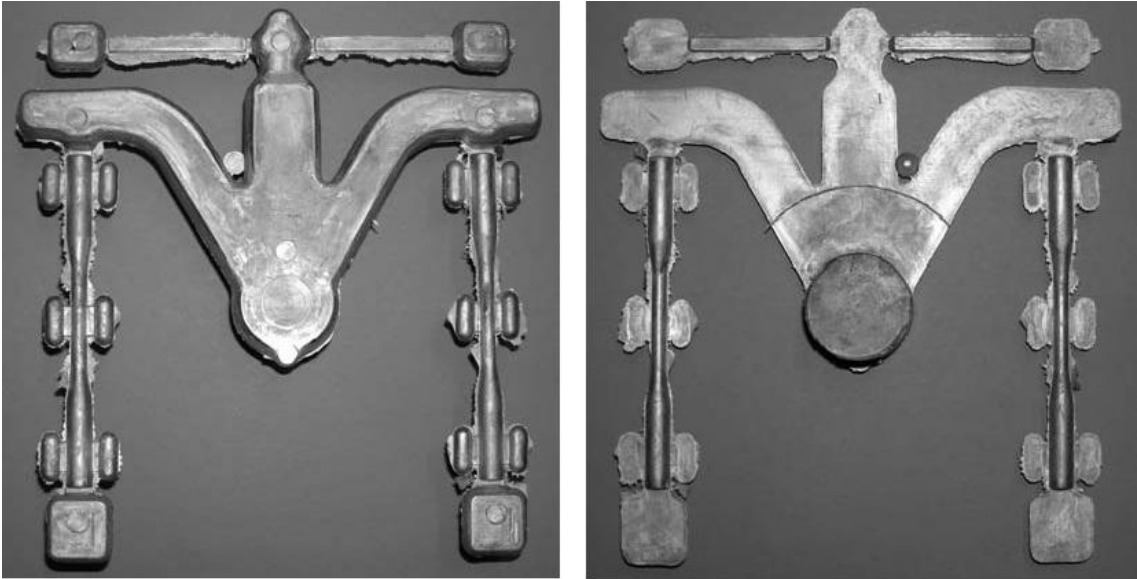
Çizelge 2. 5 IMA- Ergiyik magnezyumun korunması için farklı gaz karışımları[11]

Ergitme Sıcaklığı	Tavsiye Edilen Koruyucu Gaz	Operasyon Şartları		Koruma
[°C]	[hacimsel %]	Ergitmede Sirkülasyon	Eritken Katışkıları	
650–705	Hava + 0,04%SF ₆	Hayır	Hayır	Mükemmel
650–705	Hava + 0,2%SF ₆	Evet	Hayır	Mükemmel
650–705	75%hava + 25%CO ₂ + 0,2%SF ₆	Evet	Evet	Mükemmel
705–760	50%hava + 50%CO ₂ + 0,3%SF ₆	Evet	Hayır	Mükemmel

BÖLÜM 3

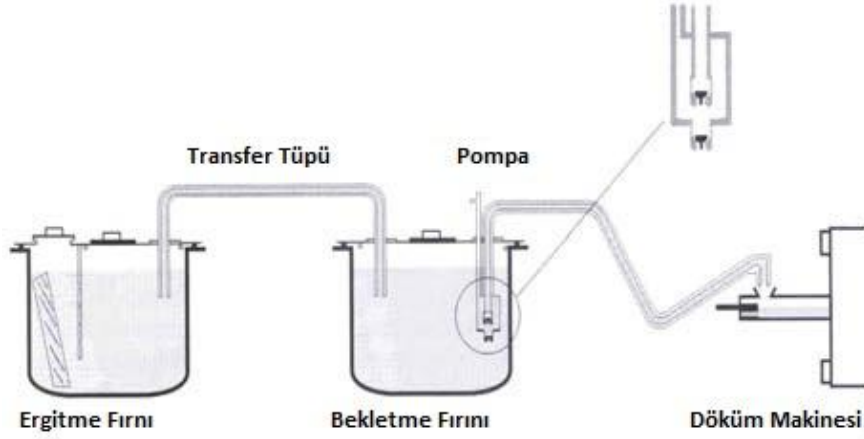
DEĞERLENDİRMELER

Deneysel çalışmalarda imalatı yapılması düşünülen parça çekme numunesidir, bu parçanın bir benzeri Şekil 3. 1' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 İki gravürlü kalıp ile imal edilmiş çekme deneyi numuneleri[29]

Bu parçaların imalatı için gerekli olan işlem aşamaları Şekil 3. 2' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 İşlem aşamalarının şematik gösterimi[15]

Bu aşamalardan ilki olan ergitme işlemi için, ergitme fırını seçilirken, ergimiş metalin kalitesi ve miktarı, ayrıca ilk yatırım maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır. Düşük kapasiteli, temiz, sessiz ve çevre dostu olduğu için pota tipi direnç fırını tercih edilmelidir. Dört gravürlü kalıpta dökümün de deneneceği düşünülürse, bir çevrim için gereken ergimiş metal ağırlığı yaklaşık 0,35 kg dır, günde 100 kez döküm işlemi gerçekleştirileceği ve deneysel çalışmaların 5 gün tekrar edeceğini varsayarsak minimum 175 kg pota kapasiteli bir fırın seçmemiz uygun olur.

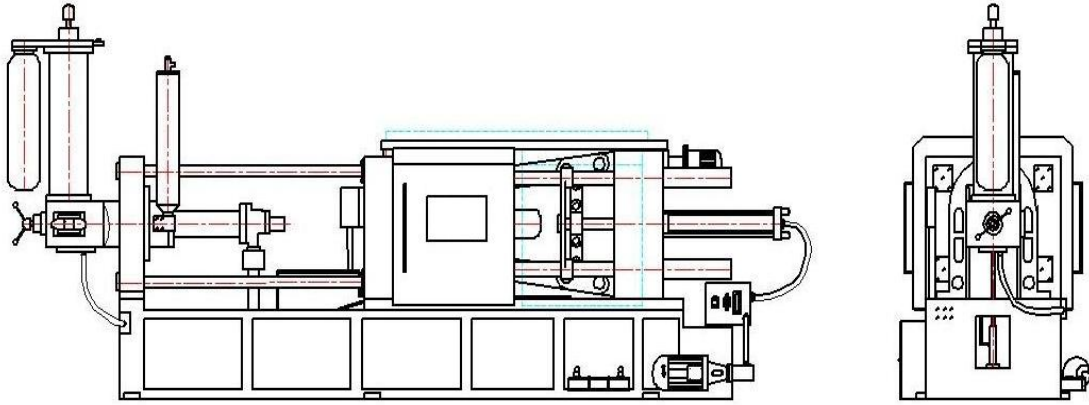
Alüminyum içeren magnezyum alaşımlarının ergitme prosesinde, 400°C den itibaren koruyucu atmosfer kullanılması ve ergitme gerçekleştikten sonra da gaz giderme işleminin uygulanması gerekmektedir. Koruyucu atmosfer olarak CO_2+SF_6 +Kuru Hava karışımı uygun görülmüş, ayrıca N_2+SF_6 ve saf argon koruyucu atmosferlerinin de alternatif olarak denenmesine karar verilmiştir.

Düşük kapasiteli imalatlar için vakumlu transfer sistemi yüksek maliyetli olmaktadır, bu nedenle transfer sistemi olarak yatırım maliyeti daha düşük olan pompa dozajlamalı sistem tercih edilmelidir. Transfer sistemi tasarlanırken, ergimiş metali muhafaza etmek için ilaveten bir bekletme potası tasarlanmalı ve ergimiş metal pompa yardımıyla basınçlı döküm makinesine aktarılmalıdır veya aynı fırın içerisinde ergitme ve bekletme ayrı bölmelerde yapılmalıdır.

Transfer prosesinin ardından döküm prosesi gelmektedir. Basınçlı döküm işlemi için tasarım esasları incelenen makine 1 MN (100 ton) kilitleme kuvvetine sahip, yatay enjeksiyonlu soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesidir (Şekil 3.3). İmalatı yapılması

düşünülen makinenin kilitleme kuvveti, dökümü yapılacak maksimum parça ağırlığı (0,5 kg) ve gerekli enjeksiyon basıncı (minimum 35MPa) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Döküm işleminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için minimum 35 MPa lık enjeksiyon ve 40 MPa lık sıkıştırma basıncı uygulayabilen enjeksiyon sistemi kullanılması gerekli görülmüştür. Piston hızları; birinci fazda maksimum 0.5 m/s, ikinci fazda ise maksimum 10 m/s, meme giriş hızı ise 30 m/s ve 50 m/s aralığında düşünülmüştür.



Şekil 3. 3 Tasarımı yapılan basınçlı döküm makinesinin bir benzeri.

Döküm kalitesini etkileyen diğer bir parametre ise kalıp sıcaklığıdır, kalıp sıcaklığının 250 ± 14 °C aralığında olması tavsiye edilmektedir, kalıp yağlama işlemi ise el ile püskürtme yöntemiyle yapılacaktır. Döküm sıcaklığı ise alaşımın cinsine göre değişim gösteren bir parametredir. Deneysel çalışmalarda dökülmesi düşünülen AZ91 alaşımının ergime noktasının 600 °C olmasına rağmen, döküm sıcaklığı 630-690 °C arasında değişmektedir. Genellikle magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde döküm sıcaklığı eşitlik (3. 1)' den de görüleceği gibi ergime sıcaklığından 30 ila 90 °C arasında fazla alınmaktadır.

$$t_{dök} = t_{erg} + \Delta t \quad (\Delta t = 30-90 \text{ °C}) \quad (3.1)$$

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile imalatı esnasında ergitme, transfer ve döküm işlemleri için tüm parametreler dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, hesaplanan işlem parametreleri sadece yol gösterici değerlerdir, uygun değerler bu hesapların da yardımıyla, tecrübe ile elde edilebilecek olanlardır.

Teorik olarak yaptığım bu çalışmada, tasarım esasları incelenen makine için, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Dökülebilecek maksimum parça ağırlığı 0.5 kg dır.
2. Enjeksiyon basıncı minimum 35 MPa, sıkıştırma basıncı ise minimum 40 MPa olmalıdır.
3. Piston hızları birinci fazda maksimum 0.5 m/s, ikinci fazda ise 10 m/s olmalıdır.
4. Piston stroğu 250 mm dir.
5. Kilitleme kuvveti 1MN (100 Ton) dur.

Bu çalışmada tasarım esasları incelenen ve Yıldız Teknik Üniversitesi Döküm Laboratuarında kullanılmak üzere imal edilen, 1 MN (100 Ton) kilitleme kuvvetine sahip soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesiyle, deneysel çalışmalar yapılması ve uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ASM Specialty Handbook (1999), Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Handbook Committee, United States of America.
- [2] Smith, W.F., (2001), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [3] ASM Handbook Volume 2 (1996), Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International Handbook Committee, United States of America.
- [4] Sönmez, H. (2007), Basınçlı Döküm Ders Notları (yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [5] Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L. (2006), Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications), Springer, Berlin.
- [6] Brungs, D. (1997), "Light Weight Design with Light Metal Castings (Technical Report)", Materials & Design, 18: 285-291.
- [7] Doehler, H.H., (1974), Basınçlı Döküm, Erkek Teknik Yüksek Okulu Matbaası, Ankara.
- [8] Vinarcik, E.J. (2003), High Integrity Die Casting Processes, John Wiley & Sons, New York.
- [9] Department of Trade and Industry (2004), Magnesium Alloys and Processing Technologies for Light Weight Transport Applications, Global Watch Mission Report, United Kingdom.
- [10] ASM Handbook Volume 15 (1998), Casting, ASM International Handbook Committee, United States of America.
- [11] VANLI, A. S. (2007), Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde İşlem Faktörlerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [12] Kaufmann, H. ve Uggowitzer, P. J. (2007), Metallurgy and Procssing of High-Integrity Light Metal Pressure Casting, Shiele&Schön, Berlin.
- [13] Bill Andresen (2009), Die Casting Engineering, Marcel Decker Press, New York

- [14] Upton, B. (1982), Pressure Die Casting Part I (Metals, Machines, Furnaces), Pergamon Press, Oxford.
- [15] Henry Hu, (2006), Magnesium in Metallurgy Casting, Engineering Materials Program Department of Mechanical, Automotive & Materials Engineering University of Windsor
- [16] Guerra, M.A.P (1997), Die Casting Design. A Parametric Approach, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Master Thesis, Ontario
- [17] Upton, B. (1982), Pressure Die Casting Part II (Metals, Machines, Furnaces), Pergamon Press, Oxford.
- [18] Butler W.A (2006), Melting and Holding Furnaces for Die Casting, Die Castin Engineer 28-40.
- [19] Chongqing SinoST Company Limited Web Sitesi, <http://www.sinost.com.cn/en/ProductView.asp?ID=71&SortID=132>, 20 Haziran 2012
- [20] Nutec Engineers Web Sitesi, <http://www.furnaces-india.com/aluminium-melting-cum-holding-furnace.htm>, 20 Haziran 2012
- [21] Allied Mineral Products Web Sitesi, <http://www.alliedmineral.com/applications/channel-induction-furnaces.html>, 20 Haziran 2012
- [22] Substances&Technologies Web Sitesi, http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=melting_furnaces, 20 Haziran 2012
- [23] Bright Hub Web Sitesi, <http://www.brighthub.com/engineering/mechanical/articles/68163.aspx>, 20 Haziran 2012
- [24] Liu vd. (2009), "Oxidation behaviour of molten magnesium and AZ91D magnesium alloy in 1,1,1,2-tetrafluoroethane/air atmospheres", Corrosion Science 51:129-134.
- [25] Ha, W.ve Kim Y.J (2006), "Effects of cover gases on melt protection of Mg alloys", Journal of Alloys and Compounds 422: 208–213.
- [26] Chen vd. (2007), "Characterization of the protective surface films formed on molten magnesium in air/HFC-134a atmospheres", Materials Characterization 58: 51–58.
- [27] Mirak vd. (2010), "Characterisation of fresh surface oxidation films formed on pure molten magnesium in different atmospheres", Corrosion Science 52:1992-2000

- [28] Cashion vd. (2002), "The mechanism of protection of molten magnesium by cover gas mixtures containing sulphur hexafluoride", *Journal of Light Metals* 2 : 43–47.
- [29] K.N. Braszczyńska-Malik, I. Zawadzki, W. Walczak, J. Braszczyński (2008), "Mechanical properties of high-pressure die-casting AZ91 magnesium alloy" *Archives of Foundry Engineering*, 8: 15-18.
- [30] Mordike, B.L. ve Ebert, T. (2001), "Magnesium Properties — applications — potential", *Materials Science and Engineering*, A302: 37-45 .
- [31] Genick, B.M. (2009), *Fundamentals of Die Casting Design*, Fourth Edition, Minneapolis.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Seyit KAPLAN
Doğum Tarihi ve Yeri	:1983, Merzifon
Yabancı Dili	:İngilizce, Almanca
E-posta	:seyitkaplan@snmuhendislik.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Merzifon Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	SN Mekanik Proje Ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti.	Müdür
2012	Prota Bilgisayar A.Ş	Yazılım Ürünleri Yöneticisi
2009	Grafcad Bilgisayar Ltd. Şti.	Ürün Sorumlusu