T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTME PROSESİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZ ATMOSFERLERİNİN İNCELENMESİ

MELTEM DEMİRCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN SÖNMEZ

İSTANBUL, 2014

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTME PROSESİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZ ATMOSFERLERİNİN İNCELENMESİ

Meltem DEMİRCİ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği, Makine Malzemesi ve İmalat Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Arş. Gör. Dr. Ali Serdar VANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Tezleri Programı kapsamında "00961.STZ.2011-2" numaralı SANTEZ projesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün "2013-06-01-YL03" numaralı YÜLAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Öncelikle, üniversite hayatımız boyunca biz öğrencilerine yol gösteren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleriyle bizi yönlendiren tez danışmanım çok değerli Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ hocama; tez çalışmasının her aşamasında bana değerli fikir ve görüşleri ile destek veren, deney hazırlıkları aşamasında gerekli desteği veren ve her ihtiyaç duyduğumda değerli zamanını ayırarak çalışmalarıma yön veren ayrıca her türlü konuda bana yardımcı olan, yol gösteren tez eş danışmanım çok değerli Arş. Gör. Dr. Ali Serdar VANLI hocama; bilgi ve birikimlerinden faydalandığım ve kendime örnek olarak aldığım çok değerli Doç.Dr. Anıl AKDOĞAN hocama sonsuz minnet ve şükranlarımı sunuyorum.

Özellikle tezimin son aşamasında, tüm testlerin yapılması ve yorumlanması konusunda yardımlarını esirgemeyen ve tüm laboratuar imkânlarını kullanımımıza sunan Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na ve Asistanı Arş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e, Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER ve sevgili asistanlarına özellikle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerini hep yanımda hissettiğim YTÜ Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalındaki çok kıymetli hocalarıma ve sevgili mesai arkadaşlarıma da ayrıca çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük desteği veren sevgili anne ve babama, her zaman yanımda var olduğunu gösteren canım kardeşlerime ve benimle aynı süreçten geçen beni anlayıp bana destek veren sevgili arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2014

Meltem DEMİRCİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1 15

GİRİŞ 13

1.1 Literatür Özeti 13

1.2 Tezin Amacı 16

1.3 Hipotez 18

BÖLÜM 2 20

BASINÇLI DÖKÜM TEKNİĞİNE GİRİŞ 20

2.1 Basınçlı Döküm Tekniği 20

2.2 Basınçlı Döküm Yönteminin Avantajları 22

2.3 Basınçlı Döküm Yönteminin Dezavantajları 23

2.4 Basınçlı Döküm Tekniğindeki Yöntemler 24

2.4.1 Püskürtme Döküm 24

2.4.2 Pres Döküm 24

2.5 Basınçlı Döküm Makineleri 25

2.5.1 Sıcak Kamaralı Makineler 25
2.5.2 Soğuk Kamaralı Makineler 30
BÖLÜM 3 37
MAGNEZYUM METALİ VE BASINÇLI DÖKÜM MAGNEZYUM ALAŞIMLARI 37
3.1 Magnezyum Elementi 38
3.2 Magnezyum Alaşımları 39
3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standartları 41
3.4 Basınçlı Döküm Magnezyum Alaşımları 43
3.5 Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları 48
3.6 Magnezyum Alaşımlarının Katılaşma Davranışı 50
BÖLÜM 4 51
ERGİYİK MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KORUNMASI 51
4.1 Koruyucu Gaz Karışımları 55
4.1.1 SF_6'nın Uygulanması 56
4.1.2 SO_2'nin Koruyucu Gaz Olarak Kullanımı 63
4.1.3 Hidroflorokarbon gazlar HFC- 134a (CF_3CH_2F) 69
4.1.4 CO_2 70
4.1.5 COOLCOM (Cool Covering Metals)- Katı CO_2 71
4.1.6 NOVEC™ 612 Karışımı - Florlü Ketonlar 71
4.1.7 BF_3 Kullanan Magshield Sistemi 72
4.2 Alaşım Elementlerinin Etkisi 73
4.2.1 Berilyum 73
4.2.2 Diğer Alaşım Elementleri 74
4.3 Koruyucu Tozla Ergitme 74
4.4 Flor İçeren Gazlarla İçermeyen Gazların Karşılaştırılması 75
4.5 Argon ile Gaz Giderme 76
BÖLÜM 5 78
DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE KURULUMU 78
5.1 Deney Düzeneğinin Tanıtımı 78
5.2 Ergitmede Kullanılan Alaşım Malzemesi Özellikleri 80
5.3 Deneyde Kullanılan Ergitme Fırını ve Koruyucu Gazlar (SF_6-HFC134a) 80
5.4 Numune Alma Potası, Kapağı ve Pota Tutucu Çember 86
BÖLÜM 6 90

DENEYSEL ÇALIŞMA 90
6.1 Taguchi Metodu ile Deneysel Tasarım 90
6.2 Koruyucu Atmosfer Oluşumu için Gerekli Parametrelerin Seçimi 92
6.3 Deneysel Tasarım için Numune Film Eldesi 94
6.4 Taguchi Deneysel Analiz Sonuçları 101
6.4.1 $SF_6 + N_2$ için Koruyucu Film Kalınlığı Ölçümleri - Optik Mikroskop Görüntüleri 102
6.4.2 SF_6 Gazı için Optimum Koruyucu Atmosfer Şartlarının Belirlenmesi 112
6.4.3 HFC-134a + N_2 için Koruyucu Film Kalınlığı Ölçümleri - Optik Mikroskop Görüntüleri 113
6.4.4 HFC-134a için Optimum Koruyucu Atmosfer Şartlarının Belirlenmesi 123
6.5 Doğrulama Deneyi 124
BÖLÜM 7 125
DEĞERLENDİRME VE SONUÇ 125
7.1 Değerlendirme 125
7.2 Sonuç 128
KAYNAKLAR 130
ÖZGEÇMİŞ 133

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADR	Agreement the International Carriage of Dangerous Goods by Road
ASTM	American Society of Testing and Materials
CAS	Chemical Abstracts Service
EDS	Electron Dispersive Spectroscopy
EEC	European Commission Number
EPMA	Elektron Prob Micro-Analyzer
GPW	Global Warming Potensial
HB	Hardness Brinell
HSE STEL	Health & Safety Executive Short Term Exposure Limit
IMA	International Magnesium Association
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
MDF	Magnesium Dosing Furnace
RE	Nadir Toprak Elementleri
S/N	Sinyal/Gürültü Oranı
SANTEZ	Sanayi Tezleri Programı
SEM	Scanning Electron Microscopy
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskopu
TMS	The Minerals, Metals and Materials Society
XPS	X-Ray Fotoelektron Spektroskopisi
XRD	X-Ray Diffraction
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Basınçlı Dökümle Üretilen Ürünler [9] 20
Şekil 2. 2 Sıcak kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinası şematik gösterimi [13] 27
Şekil 2. 3 Basınçlı hava ile çalısan makinenin şematik resmi [11] 29
Şekil 2. 4 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi 30
Şekil 2. 5 Yatay soğuk kamara tipi makinanın çalışma prensibi [10] 33
Şekil 2. 6 Yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi [11] 34
Şekil 2. 7 Yatay kalıplı düşey soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinası [10] 35
Şekil 2. 8 Düşey soğuk kamaralı döküm mak. ve çalışma sırasının gösterilmesi [13] .. 35
Şekil 2. 9 Düşey kalıplı düşey soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinası [10] 36
Şekil 3. 1 Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar [14] 49
Şekil 4. 1 Koruyucu gaz karışımlarının basınçlı döküm prosesinde kullanımını 52
Şekil 4. 2 680°C'de 60 dakika %4 SO_2+%96 N_2 içinde tutulan bir film numunesinin makro yapısı[4] 66
Şekil 4. 3 N_2+%0.5 SO_2 atmosferinde farklı hava oranları ile oluşan koruyucu gaz numunelerinin makro yapısı: (a) %90, (b) %80, (c) %60, (d) %40, (e) %20, (f) %5 [4] 67
Şekil 4. 4 %1 SO_2'nin azot (sol) ve kuru hava (sağ) ile karışımı ile oluşturulan bir yüzey filminin görünümü [5] 68
Şekil 4. 5 Gaz Giderme Dönen Pervanesinin Şematik Resmi [23] 76
Şekil 5. 1 Entegre basınçlı döküm seri üretim hattı yerleşim planı [2] 79
Şekil 5. 2 Entegre seri üretim hattının şematik gösterimi [2] 79
Şekil 5. 3 MDF-200C magnezyum ergitme fırını teknik çizimi [2] 81
Şekil 5. 4 Deneyde Kullanılan Ergitme Fırını 82
Şekil 5. 5 SF_6+N_2 için PGM-3000 ünitesi fonksiyonel dizaynı [2] 83
Şekil 5. 6 Numune alma potası ve teknik çizimi 86
Şekil 5. 7 Numune potası tutucu çember ve teknik çizimi 87
Şekil 5. 8 Numune alma potası kapağı teknik çizimi 88
Şekil 5. 9 Kapalı hazne teknik çizimi 88
Şekil 6. 1 Pota içindeki ergiyiğin fırın içinde bekletilmesi ile film oluşumunun sağlanması 96
Şekil 6. 2 Numune alma potası, kapağının gösterimi 97
Şekil 6. 3 Numune 10 dakika kapalı haznede katılaştıktan sonra kapağın açılması 97
Şekil 6. 4 Paslanmaz çelik numune potası gösterimi 101
Şekil 6. 5 SF_6 1.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri .. 103
Şekil 6. 6 SF_6 2.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri .. 104

Şekil 6. 7 SF_6 3.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri.. 105
Şekil 6. 8 SF_6 4.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri.. 106
Şekil 6. 9 SF_6 5.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri.. 107
Şekil 6. 10 SF_6 6.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri . 108
Şekil 6. 11 SF_6 7.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri . 109
Şekil 6. 12 SF_6 8.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri . 110
Şekil 6. 13 SF_6 9.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri . 111
Şekil 6. 14 HFC-134a 1.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 114
Şekil 6. 15 HFC-134a 2.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 115
Şekil 6. 16 HFC-134a 3.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 116
Şekil 6. 17 HFC-134a 4.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 117
Şekil 6. 18 HFC-134a 5.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 118
Şekil 6. 19 HFC-134a 6.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 119
Şekil 6. 20 HFC-134a 7.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 120
Şekil 6. 21 HFC-134a 8.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 121
Şekil 6. 22 HFC-134a 9.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri 122

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları [15] 40
Çizelge 3. 2 ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü [10] 42
Çizelge 3. 3 Alaşım elementleri için kabul edilen gösterim [10] 42
Çizelge 3. 4 Magnezyum alaşımları için menevişleme gösterimleri [10] 43
Çizelge 3. 5 Basınçlı döküm Mg alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [10] 44
Çizelge 3. 6 Basınçlı döküm alaşımlarının genel özellikleri [10] 47
Çizelge 4. 1 Ergiyik magnezyumun 5 dakika için N_2 ve %1 SF_6 karışımının maruz kalması ile oluşan bileşimin yüzdesel dağılımı [7] 59
Çizelge 5. 1 Deneylerde kullanılacak olan AZ91A alaşımının kimyasal analizi [2]. 80
Çizelge 5. 2 AZ91A alaşımının karakteristik özellikleri [2]. 80
Çizelge 5. 3 MDF-200C ergitme fırınına ait önemli ölçüler [2] 81
Çizelge 5. 4 Magnezyum ergitme fırınına ait teknik bilgiler [2] 82
Çizelge 5. 5 Azot (N_2) gazına ait teknik bilgiler [2] 84
Çizelge 5. 6 Sülfür Hegza Florür (SF_6) gazına ait teknik bilgiler [2] 84
Çizelge 5. 6 Sülfür Hegza Florür (SF_6) gazına ait teknik bilgiler [2](devamı) 85
Çizelge 5. 7 1,1,1,2-tetrafloretan (HFC-134a) gazına ait teknik bilgiler [25] 85
Çizelge 5. 8 Argon gazı (Ar) teknik bilgiler [26] 89
Çizelge 6. 1 Taguchi L9 Deney Tasarımı 93
Çizelge 6. 2 Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri 94
Çizelge 6. 3 Kontrol Faktörleri ve Seviyelerinin L_9 Ortogonal Dizimine Yerleştirilmesi 95
Çizelge 6. 4 Kontrol Faktörleri ve L_9 Ortogonal Dizim 95
Çizelge 6. 5 L_9 dizime göre kontrol faktörlerinden elde edilen numuneler 98
Çizelge 6. 5 L_9 dizime göre kontrol faktörlerinden elde edilen numuneler (devamı) 99
Çizelge 6. 6 SF_6 gazındaki film kalınlığı ve S/N oranları 112
Çizelge 6. 7 S/N oranı için sonuç tablosu 112
Çizelge 6. 8 HFC-134a gazındaki film kalınlığı ve S/N oranları 123
Çizelge 6. 9 S/N oranı için sonuç tablosu 123

ÖZET

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTME PROSESİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZ ATMOSFERLERİNİN İNCELENMESİ

Meltem DEMİRCİ

Makine Mühendisliği İmal Usulleri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Eş Danışman: Arş. Gör. Dr. Ali Serdar VANLI

Uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilen magnezyum alaşımları, özellikle otomotiv, havacılık ve elektronik sektöründe hafifliği ve dayanımı dolayısıyla tercih edilmektedir. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü, magnezyum endüstrisi içinde en hızlı büyüyen ve global ölçekte en çok gelişen segment olmuştur. Basınçlı döküm, ergimiş magnezyumu tam ölçüde ve sorunsuz bir şekilde, mümkün olan en kısa çevrim süresinde, istenilen forma dönüştürme konusunda benzersiz bir yeteneğe sahiptir. Ancak ülkemizde basınçlı döküm yöntemiyle magnezyum alaşımlarından mamul üretimi yapan kurulu işletme sayısı yok denilebilecek kadar az sayıdadır. Bu konudaki bilgi ve tecrübe eksikliğinden dolayı sanayimiz, bu sektörden uzak durmakta ve dünyada yaygın olarak kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip olan bir metalin ürünlerinden ancak ithalat yolu ile yararlanabilmektedir.

Ergimiş magnezyum alaşımları, alüminyumdan farklı davranış göstermektedir. Ergiyik üzerinde oksijen geçirgen ince bir film oluşmakta ve oksitlenme giderek artmaktadır. Bu oluşum oksijenin içeriye girmesini ve oksit tabakası altında yanmanın oluşmasına sebep olmaktadır. Bu hızlı oksitlenme reaksiyonlarının kontrol altına alınması, güvenli ve verimli magnezyum üretimi için çok önemlidir.

Ergiyik magnezyum, koruyucu toz (flux) veya koruyucu gaz (fluxless) olmak üzere iki şekilde korunabilmektedir. Koruyucu tozlar kullanım sırasında korozif HCl ve $MgCl_2$

dumanı salınımına sebep olmaktadır. Bu duman flux kirliliği yaratarak dökümün korozyon direncini azaltmakta ve metal içerisinde bir çamur oluşturarak, eriyik kütle kaybına uğramaktadır. Dolayısıyla maliyet olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeplerden fırın içerisinde bir koruyucu gaz sisteminin kullanılması gerekmektedir.

Ergiyik magnezyum yüzeyini korumak için renksiz, kokusuz ve zehirsiz SF_6 gazı genelde tercih edilmektedir. SO_2 ve BF_3 gazları da aynı koruyucu özellikleri göstermelerine rağmen zehirli olduklarından kullanımları sakıncalı olmakla beraber, SF_6 ile kıyaslandıkları zaman daha korozif etki göstermektedirler. SF_6 gazı, CO_2, kuru hava, N_2 gibi gazlar ile karışım halinde kullanılmakta ve konsantrasyonlarında değişiklikler farklı etkiler yaratmaktadır. Mg alaşımlarına çok az miktarda berilyum ilavesi de alaşımın yanmasını engelleyici olarak etki etmektedir. Oksitlenme sıcaklığını ve magnezyumun yanma direncini artırmaktadır. SF_6 gazının kullanımı uzun yıllardır magnezyum endüstrisinde koruyucu gaz olarak tercih edilmektedir. Ancak bu gazın yüksek küresel ısınma potansiyeli sebebiyle, kendisinden 18 kat daha az küresel ısınma potansiyeline sahip bir hidroflorokarbon gaz olan HFC-134a, SF_6'ya alternatif olarak denenmektedir.

Bu tez çalışmasında, azot taşıyıcı gaz olarak kullanılarak, SF_6 ve HFC-134a'nın koruyucu gaz olarak denenmesi ile magnezyum ergiyiği üzerinde oluşan koruyucu film tabakası oluşumu incelenmiştir. Koruyucu film tabakası oluşumunda etkili olan parametreler, etkileyiş yönleriyle birlikte değerlendirilmiş olup, film kalınlığına olan etkileri belirlenmiştir. Koruyucu film tabakasını oluşturan değerleri daha ayrıntılı bir şekilde tespit edebilmek için Taguchi L9 ortogonal deneysel tasarım düzleminden yararlanılmıştır. Koruyucu gaz parametreleri olarak incelenen kontrol faktörler sırasıyla; ergiyik banyo sıcaklığı, koruyucu gaz derişim oranı, koruyucu gaza maruz kalma süresi (tutma süresi) ve koruyucu gaz debisidir. Optimum proses parametrelerinin belirlenmesinde; optik mikroskop ile elde edilen film kalınlığı ölçümleri yanıt faktörleri olarak değerlendirilmiş olup, Taguchi deney tasarımı, bu faktörlere ait S/N oranları için büyük olan değer en iyidir yaklaşımı dikkate alınarak analiz edilmiştir. Buna göre SF_6 gazı için film kalınlığının optimum olduğu seviyeler; 660°C ergiyik banyo sıcaklığında, 60 dakika bekleme süresinde, hacimce % 0.25 $SF_6 - N_2$ karışımıyla ve 600 l/h debisinde meydana gelmekte, HFC-134a gazı için bu değerler; 660°C ergiyik banyo sıcaklığında, 60 dakika bekleme süresinde, hacimce %0.30 HFC134a-N_2 karışımında ve 600 l/h debisinde olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ergiyik magnezyum üzerinde optimum koruyucu özelliğe sahip film tabakasını oluşturabilmek için gerekli olan koruyucu gaz cinsini, derişimini ve debisini saptayabilmek; ve bu film tabakasının oluşumunda ergimiş metal sıcaklığının ve koruyucu gaza maruz kalma süresinin etkilerini belirleyebilmektir. Bu yüksek lisans tezi ve projesi, magnezyum alaşımlarının dökümü konusunda çalışan araştırmacılara ve imalatçılara rehber niteliği taşıması yönüyle önem kazanırsa, amacına ulaşmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: AZ91 Mg Alaşımları, Basınçlı Döküm, Ergiyik Magnezyumun Korunması, Koruyucu Gaz Karışımları

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PROTECTIVE GAS ATMOSPHERES USED FOR MELTING PROCESS OF MAGNESIUM ALLOYS

Meltem DEMİRCİ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Co-Adviser: Res. Asist. Dr. Ali Serdar VANLI

Magnesium alloys have been used and preferred in many sectors, especially in automotive, aerospace and electronic industries with its appropriate characteristics like lightness and strength. High pressure die casting of magnesium alloys has been the fastest grown up and the most globally developed section in magnesium industry. High pressure die casting has a unique ability to transform the molten magnesium into an accurately dimensioned form in the shortest possible cycle time without any problem. However, there isn't any manufacturer engaged in pressure die casting of magnesium alloys products in Turkey. Due to the lack of experience and knowledge in this area, our industry is keeping away from this sector thus can not be benefited from this metal that is widely used around the world by importation.

Molten Mg alloys behave differently than molten Aluminium. A thin film which is porous, forms on the melt surface and oxidize increase. This formation allows oksijen entering inside and leads to ignition under the oxide layer. Control of these rapid oxidation reactions is very important for the safe and efficient production of magnesium.

Molten magnesium can be protected by protective sand (flux) or protective gas (fluxless). Usage of protective sands causes releasing of corrosive HCl and $MgCl_2$ smoke. This smoke reduces the corrosion resistance of casting and by creating slurry inside melt, leads to mass loss. Therefore, it affects cost of production adversely.

In order to protect magnesium melt, colourless and non-toxic SF_6 gas is preferred. Though SO_2 and BF_3 gases show the same protective behaviour, their usage is limited because of toxicity and they are more corrosive than SF_6 gas. SF_6 gas can be used as mixture with gases such as CO_2 or dry air and its various concentrations cause different effects. Addition of small amount of Be in the Mg alloys protect the alloy from burning. It increases oxide temperature and burning resistance of magnesium. During melting and casting of magnesium, HFC-134a is trying to use as a protective gas mixtures instead of SF_6 because SF_6 has a high global warming potantial. HFC-134a has a globol warming potansial 18 times lower than SF_6. Using nitrogen as a carrier gas, in the SF_6 and HFC-134a gas mixtures as a protective gas, we will try to understand protective properties of these gases.

The optimum protective gas parameters of the die casting magnesium alloys can be determined precisely by the experimental works. Molten magnesium is exposed to SF_6 and HFC-134a with nitrogen as carrier gas. The formation of protective film and thickness of the film on the molten magnesium was investigated. Taguchi Lg orthogonal experimental design was used when determining the protective film parameters. Control factors are respectively; molten Mg casting temperature, amount of gas in the protective gas mixture, exposure time and the protective gas mixture flow rate. Film thickness is chosen as the response factor. The film thickness was measured by the optical microscope and with these values S/N ratios were calculated by the MİNİTAB 16 program. “Larger is better” option was used for the calculation. In order to Taguchi analyse, optimum parametres for the formation of thickest protective film at the temparature of 660°C, with the 60 minutes exposure time, a volume of 0.25 % SF_6 gas mixture and 600 l/h flow rate. For HFC-134a these values do not change dramatically, optimum parametres for the formation of thickest protective film at the temparature of 660°C, with the 60 minutes exposure time, a volume of 0.30 % HFC-134a gas mixture and 600l/h flow rate.
The most important goal is to give the obtained information as knowledge to the literature and to the industry. This MSc thesis and the project will be reached its purposes only when it could guide to the researchers and the manufacturers working in the field of the die casting magnesium alloys.

Keywords: AZ91 Magnesium Alloys, High Pressure Die Casting, Protection of Molten Magnesium, Protective Gas Mixtures

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Magnezyum ve magnezyum alaşımları, yüksek dayanım ve düşük yoğunluk gibi mükemmel özellikleri dolayısıyla birçok alanda geniş olarak kullanılmaktadır. Ancak, ergimiş magnezyum ve alaşımları havada hızla oksitlenir ve magnezyum oksit filmi ergimiş metali ileri oksidasyondan korumaz. Oksidasyona eğiliminden ve metal olmayan yabancı maddeler ile kirletilmesinden dolayı, magnezyum alaşımlarının dökümü onları çevreleyen koruyucu gazların atmosferi altında veya reaktif gaz karışımları ile yapılır. Magnezyum ingotların ergimiş metal içine şarjı sırasında, ergimiş metaldeki sıcaklık düşüşü segregasyonlara neden olmaktadır. Bunu önlemek için, magnezyumun ergitilmesi ve bekletilmesi ayrı fırınlarda veya en azından aynı fırında farklı haznelerde yapılmalıdır. Ergitme ve bekletmenin farklı fırınlarda yapılması durumunda, ergiyik metalin ergitme fırınından bekletme fırınına transferi sırasında havayla teması önlenmelidir. Magnezyum alaşımlarının ergitilmesi sırasında herhangi bir koruyucu önlem alınmazsa, ergimiş magnezyum, etrafındaki havada bulunan oksijenle ekzotermik bir reaksiyona girer. Bu reaksiyon kontrol altında tutulamayacak kadar şiddetli olabilir. Bundan dolayı, alüminyum içeren magnezyum alaşımlarının 400˚C'nin üzerindeki sıcaklıklardan itibaren, henüz ergime başlamadan korunması gerekli olabilmektedir. Koruyucu gaz karışımlarında kullanılan gazlar; SF_6, SO_2, HFC-134a, Novec612, Ar, N_2, CO_2, BF_3 ile alaşım içine berilyum ilavesi de koruyucu etki göstermektedir.

Ergiyik magnezyumun yüzeyini korumak için renksiz, kokusuz ve zehirsiz SF_6 gazı genelde tercih edilmektedir. SO_2 ve BF_3 gazları da aynı koruyucu özellikleri göstermelerine rağmen zehirli olduklarından dolayı kullanımları sakıncalı olmakla beraber, SF_6 ile kıyaslandıkları zaman oldukça korozif etki göstermektedirler. Ancak SF_6 gazının yüksek küresel ısınma potansiyeli sebebiyle, bu küresel ısınma potansiyelinden 18 kat daha az etkiye sahip bir gaz olan HFC-134a gibi alternatif gaz karışımları denenmektedir. Koruyucu gazlar; CO_2, kuru hava, N_2 gibi taşıyıcı gazlar ile karışım halinde kullanılmakta ve konsantrasyonlarındaki değişiklikler farklı etkiler yaratmaktadır.

Metal ergime sıcaklığı, oksidasyon prosesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle 660°C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde, oksidasyon artmakta ve metal banyosunun yüzeyindeki koruyucu tabakanın kısmi bozunmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden metal banyosunun mümkün olan en düşük sıcaklıkta tutulmasını sağlamak ve aşırı ısıtmadan kaçınmak büyük önem taşımaktadır [1].

SF_6 gazı magnezyum yüzeyini "ıslatmaya" yardımcı olmaktadır. Bunun anlamı, SF_6 gazı MgO'in magnezyum yüzeyiyle yapışmasını sağlamakta ve oksijenin sıvı metale ulaşmasını engelleyen ince yoğun, yapışık ve devamlı bir koruyucu film tabakası oluşturmaktadır. Gaz karışımının ergiyiğe yeterli korumayı verebilmesi için yeterli miktarda SF_6 içermesi önemlidir. Ama bu miktar hem çevreyi korumak hem de gaz maliyetlerini azaltmak için minimum seviyede tutulmalıdır. Ergitme prosesinde kuru hava, N_2 veya CO_2 ile taşınan SF_6 gazının hacimsel derişiminin % 0,2 ile % 0,3 aralığında olması önerilir. Elde edilmesi zor olan ideal şartlar altında ise SF_6'nın hacimce minimum derişimi % 0,04 olarak önerilmektedir [2].

Ergiyik magnezyum ve SF_6 gazı arasında oluşan koruyucu film tabakasının oluşum mekanizması ve özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından yakından incelenmektedir. Cashion ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yüzey filminde yalnızca MgO ve MgF_2 kimyasal birleşimlerine rastlanmıştır. Yüzey filmindeki florin konsantrasyonunun koruyucu atmosferdeki SF_6 miktarının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Film kalınlığının ise bir mikrondan daha az olduğu ve ergiyiğin koruyucu gaza maruz kalma zamanının artması ile koruyucu film kalınlığının arttığı saptanmıştır. Ayrıca

film bileşiminin kalınlık içinde uniform olduğu gözlemlenmiştir [3,4,5]. Pettersen, alüminyum ve berilyum içeren alaşımlara göre saf magnezyumun yanmaktan daha zor korunduğunu belirtmektedir. Bunu alüminyumun magnezyumun buharlaşmasını düşürmesine ve berilyumun oksitlenmeyi engelleyici etkisine bağlamaktadır [6].

Fruehling Ve Hanawalt SF_6 içeren koruyucu gazların ergimiş magnezyumu korumasındaki etkilerini çalışmışlardır ve SF_6'nın koruma prosesi sırasında tüketildiğini bulmuşlar, SF_6'nın MgO yüzeyine emilimi ergiyiği gelecek oksidasyondan korumakta olduğunu sunmuşlardır. Cashion SF_6 içeren koruyucu atmosferde oluşan yüzey filminin MgO ve MgF_2 fazlarının karışımı olduğunu ve film kalınlığının 1 µm ve 2 µm arasında değiştiğini bildirmiştir. Pettersen ve arkadaşları F içeren koruyucu gazların, yüzey filmlerinin mikroyapı karakteristiklerini analiz etmişler ve SF_6 içeren karışım gazlarının magnezyum ergiyiğine uzun zamanlı maruz kalması, film kalınlığını artan MgF_2 konsantrasyonu ile arttırdığını bulmuşlardır. Aarstad MgF_2 içeren moleküllerin MgO film ve magnezyum esas kısmı arasında ara yüzde oluştuğunu ve moleküllerin toplam filmin %25-50'sini kapsayana kadar büyüyeceğini belirtmiştir [3,4].

Fruehling [1970], 690°C'de %0.05 SF_6'nın hava ile karışımının ergiyiği korumasına yeterli olacağını, 660°C'de bu değerin %0.02 olacağı bulunmuştur. Busk and Jackson da [1980], havadaki SF_6 miktarını düşürmek için bazı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre, %0.02 hacim yüzdesinde SF_6 ergimiş metali 650 °C'de korumak için yeterlidir, sıcaklık 705°C ve 815°C arasında iken SF_6'nın miktarı %0.04 ve %0.06 arasında olmaktadır. Erickson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [1998], SF_6'nın 650 ile 705 °C %0.04 miktarında olması önerilmiştir. Gjestland, Westengen and Plathe [1996], aynı sınırları vermiştir ve onlar Uluslararası Magnezyum derneği tarafından verilen değerleri uygulamışlardır [7].

Couling saf magnezyumun ve AZ91B alaşımının SF_6 içeren atmosferde korunmasını araştırmıştır. Couling saf magnezyumun yanmaktan alüminyum ve berilyum içeren alaşımlara göre daha zor korunduğunu belirtmiştir. Bunu alüminyumun magnezyumun buharlaşmasını düşürmesine ve berilyumun oksitlenmeyi engelleyici etkisine bağlamıştır [6].

Ricketts ve Cashion SF_6'nın küresel ısınma potansiyelinden 18 kat daha az bir etkiye sahip olan bir hidroflorokarbon gaz, 1,1,1,2-tetrafloroetan, HFC-134a'yı denemişlerdir, ancak yine de bu gaz CO_2'in küresel ısınma potansiyelinden 1500 kat daha kötü bir etkiye sahiptir. Oda sıcaklığında zehirli, yanıcı ve korozif değildir ancak magnezyumun ergime sıcaklığında bazı korozif olaylar görülebilmektedir. Fiyatı SF_6'nın üçte biri olup dünya çapında yaygın olarak bulunmaktadır. Oluşan film % 50'ye varan magnezyum florür içerebilmektedir. Ricketts ve Cashion deneylerinde taşıyıcı gaz olarak kuru hava, karbondioksit ve azot kullanmış olup, hepsinden de etkili sonuçlar alındığını belirtmişlerdir. HFC-134a'nın belirtilen taşıyıcı gazlar içindeki hacimsel derişimi % 0,3 ile % 0,7 arasında değiştirilerek kullanılmıştır. İlk olarak ergiyik 3 saat boyunca, kuru hava ile %0.7 HFC-134a karışımı ile korunmuş, koruyucu atmosfer kaldırıldıktan sonraki koruma zamanı ölçülmüştür, ardından ergiyik %100 kuru havaya maruz bırakılmıştır. 2 dakika sonra, yüzeyde oksidasyon belirtisi olmamış ve yüzey hala parlak olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deney kuru hava ile %0.7 SF_6 karıştırılması ile de yapılmıştır. Bu durumda, koruma yalnızca 15 saniye sürmüştür. Bu iki durumda da kullanılan alaşım AZ91D'dir. Saf magnezyum ve HFC-134a kullanıldığında, 5-10 saniye sonra ergiyiğin yanması başlamıştır [1,8].

1.2 Tezin Amacı

Magnezyum ve magnezyum alaşımları, yüksek dayanım ve düşük yoğunluk gibi mükemmel özellikleri dolayısıyla birçok alanda geniş olarak kullanılmaktadır. Ancak, ergimiş magnezyum ve alaşımları havada hızla oksitlenmekte ve magnezyum oksit filmi ergimiş metali ileri oksidasyondan korumamaktadır. Oksidasyona eğiliminden ve metal olmayan yabancı maddeler ile kirletilmesinden dolayı, magnezyum alaşımlarının dökümü onları çevreleyen koruyucu gazların atmosferi altında veya reaktif gaz karışımları ile yapılmaktadır. Magnezyum ingotların ergimiş metal içine şarjı sırasında, ergimiş metaldeki sıcaklık düşüşü segregasyonlara neden olmaktadır. Bunu önlemek için, magnezyumun ergitilmesi ve bekletilmesi ayrı fırınlarda veya en azından aynı fırında farklı haznelerde yapılmalıdır. Ergitme ve bekletmenin farklı fırınlarda yapılması durumunda, ergiyik metalin ergitme fırınından bekletme fırınına transferi sırasında

havayla teması önlenmelidir. Magnezyum alaşımlarının ergitilmesi sırasında herhangi bir koruyucu önlem alınmazsa, ergimiş magnezyum, etrafındaki havada bulunan oksijenle ekzotermik bir reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyon kontrol altında tutulamayacak kadar şiddetli olabilmektedir. Bundan dolayı, alüminyum içeren magnezyum alaşımlarının 400˚C'nin üzerindeki sıcaklıklardan itibaren, henüz ergime başlamadan korunması gerekli olabilmektedir. Koruyucu gaz karışımlarında kullanılan gazlar; SF_6, SO_2, HFC-134a, Novec612, Ar, N_2, CO_2, BF_3 ile alaşım içine berilyum ilavesi de koruyucu etki göstermektedir.

Bu yüksek lisans tezinin amacı, magnezyum alaşımları ergiyik haldeyken meydana gelen yanma ve oksitlenme problemlerine karşı en iyi oranlarda koruyucu gaz karışımı ile önlem alarak, döküm esnasında veya ergiyiğin bekletilmesi sırasında karşılaşılan bu sorunları önlemektir. Magnezyum döküm endüstrisi yıllardır ergiyik metal oksidasyonunu kısıtlamak için yöntemler aramaktadır. Azot gazı ile karıştırılarak oluşturulan SF_6 ve HFC-134a ile oluşturulan koruyucu gaz karışımları, döküm operasyonlarında ergiyik korumasında başarı ile kullanılabilmesi için bu koruyucu gazların debisini ve bileşimini saptayabilmek, ergimiş metalin sıcaklığının ve koruyucu gaza maruz kalma süresinin koruyucu filme olan etkisini belirlemek gerekmektedir. Bu sayede yapılan etkin koruma ile koruyucu toz (flux) ile yapılan korumada yaşanan problemlerin elimine edilmesi planlanmıştır. Fluxın kullanım amacı ergimiş metali korumak olsa da kullanım sırasında korozif HCl ve $MgCl_2$ dumanı salınımına sebep olmaktadır. Bu duman flux kirliliği yaratarak dökümün korozyon direncini azaltmakta ve metal içerisinde bir çamur oluşturarak, eriyiği kütle kaybına uğratmaktadır. Dolayısıyla maliyeti olumsuz etkilemektedir. Zehirleyici ve korozif olan SO_2 gazının olumsuz olabilecek etkileri dolayısıyla da bu gaz tercih edilmemiştir. Bahsedildiği gibi, SO_2 solunduğunda zehirlidir. Uzun vadeli etkileri akciğer hasarı ve mutajen olabilmektedir. SO_2 ayrıca korozif bir gazdır. Bu gazın kullanıldığı yerde ekipmanların korozyonu ve bina içindeki malzemelerin korozyonu sorun oluşturabilmektedir. İlaveten, SO_2 asit yağmurlarının oluşmasına da katkıda bulunmaktadır. SO_2 ve SF_6 gaz karışımlarının kullanıldığı potalarda önemli değişiklikler olmamaktadır. Kullanılan çelik potanın yüzeyi hafif şekilde zarar görmüştür. Fakat HFC-134a gaz karışımına maruz kalan pota ciddi şekilde zarara uğramaktadır. 2-3 mm kalınlığında olan oksit tabakalar

kabarmakta ve soyulmaktadır. Magnezyum banyosunun yüksek sıcaklıklarında, HF ve diğer ürünlere ayrışması HFC-134a'nın en büyük problemidir. HF operatör için tehlikeli olabilmekte ve ekipmanların korozyonunu hızlandırabilmektedir. Ancak yapılan deneylerde operatörün bulunduğu ortamda, potanın çevresinde HF miktarı 3 ppm olarak ölçülmüştür UK HSE STEL (Health & Safety Executive Short Term Exposure Limit) standartlarına göre bu değer düşük kalmaktadır. Ancak potanın içinde yüksek miktarda HF'ye (50 ppm) rastlanmaktadır. Pota tamamen izole edildiği için HF'nin operatöre zarar vermesi engellenmiş olmaktadır. Ayrıca havanın taşıyıcı gaz olarak kullanıldığı durumlarda HF oluşumu daha fazla görülmektedir.

SF_6 ve HFC-134a gazının koruyucu gaz ve azot gazının da taşıyıcı gaz olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmada, 18 adet film numunesi elde edilmiştir. İlk olarak SF_6 gazı kullanılmış olup, aynı deney parametreleri ile bu deney HFC-134a gazı için de karşılaştırma yapılabilmesi için denenmiştir. Hangi parametreleri deneyeceğimiz Taguchi L9 tablosundan yararlanarak saptanmıştır. Deney parametreleri olarak gazın debisi için 300-450-600 lt/h, ergiyik metal banyosu sıcaklığı için 640-660-680°C, koruyucu gaza maruz kalma süresi 5-30-60 dakika ve koruyucu gaz derişim oranları için de % 0.20 - % 0.25 ve % 0.30 koruyucu gaz miktarı, literatür taraması sonucunda ve tavsiye edilen değerlere göre seçilmiştir.

Dünyada magnezyum sektörünün her geçen gün daha da büyüyeceği bilinmektedir. Bu sektörde yurt dışına olan bağımlılığımızın, ilerleyen süreçte artarak devam edeceği aşikârdır. Magnezyumun dökümündeki en büyük sorunlardan olan ergitme problemini koruyucu gazlar kullanarak aşabilirsek, bu sayede magnezyumun basınçlı dökümünde ki bir sorun çözülmüş olabilir ve magnezyum parçalarının üretimi ülkemiz sanayisinde artabilir. Tezimin hedefi, okulumuz döküm laboratuvarı bünyesinde kurulan basınçlı döküm entegre seri üretim hattının sorunsuz bir şekilde işletilmesi esnasında kullanılacak koruyucu gaz atmosferlerini ve optimum karışım oranlarını belirleyebilmektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, koruyucu film oluşumunda etkili olan parametreler, etkileyiş yönleriyle birlikte incelenmiş olup, oluşan filmin kalınlığına olan etkileri belirlenmiştir. Koruyucu

film tabakasını oluşturan optimum değerleri daha ayrıntılı bir şeklide belirleyebilmek için Taguchi L9 ortogonal deneysel tasarım düzleminden yararlanılmıştır. Koruyucu gaz parametreleri olarak incelenen kontrol faktörleri sırasıyla; ergiyik banyo sıcaklığı, koruyucu gaz derişim oranı, koruyucu gaza maruz kalma süresi (tutma süresi) ve gaz akış debisidir. Optimum proses parametrelerinin belirlenmesinde; optik mikroskop ile elde edilen film kalınlığı ölçümleri yanıt faktörü olarak değerlendirilmiş olup, Taguchi deney tasarımı, bu faktörlere ait S/N oranları için büyük olan değer en iyidir yaklaşımı dikkate alınarak analiz edilmiştir. SF_6 gazı ve HFC-134a gazı için aynı deneyler tekrarlanmış olup, sonuçları karşılaştırabilmek için de iki ayrı Taguchi tablosu oluşturulmuştur.

BÖLÜM 2

BASINÇLI DÖKÜM TEKNİĞİNE GİRİŞ

Çelikten yapılmış kokil (sürekli) kalıplar içine sıvı metalin yüksek basınçla doldurulmasına Basınçlı Döküm denir. Kokil döküm yönteminde sıvı metal yerçekimi kuvveti yardımıyla kalıbı doldururken, bu yöntemin gelişmiş uygulaması olan basınçlı dökümde, sıvı metal basınçla kalıbı doldurarak çeşitli parçaların çok kolay ve seri bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır [9].

Basınçlı dökümle bisiklet parçaları, çatal bıçak takımları, saatler, klimalar, kül tablaları, el aletleri, motorlar, kilitler, makaralar, valfler, traktör parçaları, tren parçaları, elektrik aletleri, dürbünler, hava freni donanımı, savaş gereçleri, roket parçaları v.b. gibi yapımı özen gerektiren önemli parçalar üretilebilmektedir [9].



Şekil 2. 1 Basınçlı Dökümle Üretilen Ürünler [9]

2.1 Basınçlı Döküm Tekniği

En eski metal döküm metotlarından biri ergimiş metalin yer çekimi etkisi altında kum kalıplar içine dökülmesidir. Bu metot çeşitli değişikliklerle günümüz kum dökümhanelerinde hala kullanılmaktadır. Bir süre sonra daha keskin profil ve pürüzsüz yüzey gerektiren kuyumculuk sanatı, alçı ve seramik kalıp yöntemlerini geliştirmiştir. Bu metotlar kum kalıba dökümden daha yüksek kaliteli yüzeyler vermekle beraber, kum dökümlerde olduğu gibi parçanın çıkarılması için kalıbın bozulması olumsuzluğundan kurtulamamıştır [10].

Çok sayıda parça dökmeye uygun, uzun ömürlü kalıp araştırmaları ihtiyaçtan doğan tabii bir gelişme olmuştur. Ortaçağ dökümcüleri tabak, bardak, sürahi ve diğer mutfak eşyalarını demir kalıplarda dökmeyi başarmışlardı. Bunu 1800'lerin oyuncak kurşun askerlerinin dökümü izlemiştir. Bunlar birbirine menteşeli, açılabilen kalıplarda yer çekimi etkisi ile dökülmüşlerdir. Aynı yıllarda içi boş şekillerin dökümü için yeni bir yöntem geliştirilmiş, bu metotla sıvı metal demir kalıba döküldükten sonra sıvı halde kalan içi kısım boşaltılarak istenilen şekiller elde edilmiştir. Bu gelişmeler yer çekimine dayanmak yerine ergimiş metali basınç altında kalıba dökerek daha kısa zamanda iyi görünüş ve kaliteli döküm üretme çabalarına ışık tutmuştur [10].

1849'da Sturges, 1852'de Barr, 1856'da Helize, 1877'de Dusanbury ve diğerleri tarafından geliştirilen el tipi döküm makinalarının patentleri alınmıştır. Bunu Ottmar Mergenthaler'in Linotip makineyi geliştirmesi takip etmiştir. Bu makinede, ergimiş metal içine daldırılmış silindir içine dolan sıvı metal, bir piston yardımıyla kalıp içine basılmaktaydı. 20. yüzyılın başlarında ise ilk basınçlı döküm makinesi patenti, H.H. Doehler tarafından alınmıştır. Bu makine, Mergenthaler'in Linotip makinesinin çalışma prensibine dayanmaktaydı [10].

Linotip makinesi ile başlayan basınçlı döküm çalışmalarından yararlanılarak, ilk endüstriyel uygulama, kurşun ve kalay alaşımlarının motor yataklarına basılması ile başlamıştır. Bundan kısa bir süre sonra bu uygulama, metal parça üretiminde önemli bir faktör haline gelerek daha iyi mekanik özelliklere sahip alaşımların dökümlerine adapte edilmiştir [10].

Çinko alaşımları, kalay-kurşun alaşımlarına yakın ergime sıcaklığına sahip olduğu için ikinci olarak denenen alaşım ailesi olmuştur. 1915'te Doehler Pres Döküm Şirketi, ilk defa ticari alüminyum alaşımı parçaları meydana getirmiştir. Birinci Dünya Savaşında alüminyum alaşımlarından gaz maskesi, makineli tüfek, dürbün gibi sistemlerin parçaları üretilmiştir. Bugün alüminyum alaşımlarının basınçlı dökümü, metal işleme tekniklerinin en önemli yöntemlerinden biridir. Ticari metallerin içinde en önemli olanlardan biri de magnezyumdur. Magnezyumun alüminyumla olan alaşımları üzerindeki gelişmeler oldukça kayda değerdir. Bu metalin basınçlı döküm işlemleri, metalürjik gelişmelerin artmasını sağlamıştır. Hiç şüphe yoktur ki mühendislik

uygulamalarında magnezyum ve alaşımları çok geniş bir uygulama sahası bulmuştur [10].

Basınçlı döküm; ergimiş metale yüksek hız kazandırılarak, metalsel kalıba hızlı bir şekilde dolmasını sağlayan, hidrolik enerji kaynağına dayalı bir sistem olarak karakterize edilebilir. Kısaca, sıvı metalin basınç etkisi altında metalsel kalıba doldurulması esasına dayanan döküm yöntemidir. Metalsel kalıp; enjeksiyon sırasında oluşan gerilimi soğurur, ergimiş metalin sahip olduğu ısıyı dağıtır ve de şekillendirilmiş parçanın uzaklaştırılmasına yardımcı olarak bir sonraki çevrim için hazırlık yapılmasını sağlar. Hidrolik enerji sistemi, ergimiş metalin pozisyonunu, hızını ve ivmelenmesini kontrol ederek, akış ve güç fonksiyonlarını optimize eder ve bu sistem sayesinde, ergimiş metal kalıp boşluğunu kusursuz bir şekilde doldurur ve katılaşma gerçekleşir. Basınçlı dökümde kalıp iki yarımdan oluşmaktadır ve iki kalıp yarımı kapatılıp kilitlendikten sonra sıvı metal bir basma haznesine aktarılır. Bu hazne soğuk olabileceği gibi metal sıcaklığına ısıtılmış da olabilmektedir. Haznedeki sıvı metal bir piston veya basınçlı hava vasıtasıyla kalıba doldurulur. Kalıp içerisindeki hava (gaz), dolum esnasında kalıp yüzeylerindeki havalandırma deliklerinden atılır. Kalıp gravürü (boşluğu) tamamen dolduktan sonra parça soğuyuncaya kadar basınç uygulanır. Sonra kalıp açılır ve döküm parçası alınır. Kalıp açık durumda iken içi temizlenir, yağlanır ve önceki işlemler tekrar edilir. Basınçlı döküm, ağırlıkları birkaç gram ile 25 kg arasından değişen, nihai üretim şekline yakın parçaların, tam otomatik, yüksek verimli ve yüksek kapasiteli üretimine yönelik çok iyi yapılandırılmış bir döküm metodudur. Günümüzde demir dışı metallerden yapılmış parçalara olan talebin artışına paralel olarak basınçlı döküm makinaları gelişerek; hidrolik olarak çalışan, otomatik, elektronik kontrol sistemine sahip makinalar yapılmaktadır [10].

2.2 Basınçlı Döküm Yönteminin Avantajları

Günümüzde önemli bir teknolojik üretim yöntemi olan basınçlı döküm yönteminin avantajlarını şu şekilde sıraya biliriz [11];

- Metal kalıba kıyasla çok daha karmaşık şekilli parçaların dökümü mümkündür.

- Kalıplar basınç altında doldurulduğundan, diğer döküm yöntemlerine kıyasla, daha ince cidarlı, "uzunluk/kalınlık" oranı daha yüksek ve boyutsal hassasiyeti daha fazla olan parçalar üretilebilir.
- Özellikle birden fazla boşluk ihtiva eden kalıplar kullanıldığında üretim hızı diğer yöntemlerden çok daha fazladır.
- Dökülen parça boyutlarında bir değişim olmaksızın aynı kalıptan binlerce parça üretilebilir.
- Daha ince kesitlerin dökülebilmesi, metal maliyetini azaltıcı bir husus olmaktadır.
- Basınçlı döküm ürünleri genellikle çok az bir yüzey bitirme işlemi gerektirirler.
- Bazı alaşımlar (örneğin Al esaslılar) basınçlı döküm yöntemi ile üretildiklerinde, diğer döküm yöntemlerine nazaran çok daha yüksek mekanik özellikler gösterirler.
- Dökülebilir parça ağırlıkları çok geniş bir aralığa sahiptir.

2.3 Basınçlı Döküm Yönteminin Dezavantajları

Günümüzde önemli bir teknolojik üretim yöntemi olan basınçlı döküm yönteminin dezavantajlarını şu şekilde sıraya biliriz [11];

- Dökülebilir parça boyutları tezgah boyutlarına ve özeliklerine göre kısıtlı olmaktadır. Döküm ağırlığı ender olarak 23 kg'ı aşar ve genellikle 4-5 kg. civarındadır.
- Kalıp tasarımında dökülecek parçanın dolayısıyla yolluklarının ve hava kaçış yollarının yapımı ve yerinin seçimi büyük önem taşır; zira bu faktörlere bağlı olarak kalıp içerisine hava sıkışması söz konusu olabilir ve hapis olan havada gaz boşluklarına neden olabilir.
- Tezgah ilk yatırımları çok yüksektir, komple bir basınçlı döküm makinesi (ana pres, yardımcı cihazlar ve kalıplar) oldukça pahalıdır. Bu nedenle yöntemin

ekonomik bir değer ifade edebilmesi ancak çok sayıda parça üretimi ile mümkündür.

- Birkaç istisna dışında, ergime sıcaklıkları bakır esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarından daha yüksek olan alaşımlar basınçlı döküm yöntemiyle üretilemezler.

2.4 Basınçlı Döküm Tekniğindeki Yöntemler

Basınçlı döküm tekniğinde, sistemlerdeki farklı özelliklerin birbirine tercih edilmesinden kaynaklanan bir çesitlilik söz konusu olmaktadır. Bu özellikler ergimiş metalin akışı, kalıp boşluğundaki gazların uzaklaştırılması, ergimiş metalle hidrolik sistem arasında oluşan reaksiyon, enjeksiyon sırasında oluşan ısı kaybı olarak sıralanabilir. Bununla birlikte, mekanik dizayn, ısıl kontrol ve hareket sistemlerine bakıldığında ise, farklı yöntemler ortak özelliklere sahiptir. Basınçlı döküm yöntemleri, yukarıda belirtilenlerin ışığında *püskürtme döküm* ve *pres döküm* olarak iki ana kısımda incelenmektedir [12].

2.4.1 Püskürtme Döküm

Ergime dereceleri düşük kurşun (Pb), kalay (Sn) ve çinko (Zn) esaslı alaşımların, ergime sıcaklıklarının oldukça üzerindeki bir sıcaklıkta, yüksek bir basınçla kalıp içine püskürtülerek kalıbın doldurulması yöntemidir. Sıvı metal hava basıncıyla veya bir piston-silindir düzeneği yardımıyla memeden kalıp boşluğuna püskürtülür. Sıcak kamaralı döküm makineleriyle gerçekleştirilen bu yöntem ile daha hızlı üretim yapılmaktadır [12].

2.4.2 Pres Döküm

Ergime sıcaklıkları yüksek olan alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve bakır (Cu) alaşımlarının ergitme fırınından alınarak döküm makinasının haznesine doldurulup, bir piston vasıtasıyla kalıp boşluğunun doldurulması, kalıp boşluğuna basılması yöntemidir. Bu yöntemdeki döküm sıcaklıkları püskürtme döküm yöntemine göre oldukça düşük değerlerdedir. Likidüs eğrisi civarında bir sıcaklıkta işlem gerçekleştirilmektedir. Soğuk kamaralı makineler ile gerçekleştirilen bu yöntem ile püskürtme yöntemine kıyasla üretim hızı daha düşük olmaktadır [12].

2.5 Basınçlı Döküm Makineleri

Basınçlı döküm makinesinin fonksiyonu, kalıbın iki parçasının tam ekseninde ve sağlam olarak tutmak, yeterli miktarda ergimiş metali kalıba basınç altında göndermek ve kalıbın iki parçasını açıp kapatarak dökülmüş parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlamaktadır [11].

Basınçlı döküm makinaları başlıca üç ana kısımdan meydana gelir;

1. Gövde; hareketli kısımları ve kalıbı taşıyan, onları en uygun pozisyonda tutarak her birinin fonksiyonunu yerine getirmesini sağlayan kısımdır.
2. Hareketli kısım; kalıbı açma ve kapama mekanizmasıdır. Bütün modern makinalarda bu açma kapama işlemi hidrolik olarak yapılmaktadır.
3. Enjeksiyon (makinanın ön kısmı); ergimiş metali yüksek hız ve basınç altında kalıp boşluğuna gönderir.

Basınçlı döküm makinaları, metal basma (enjeksiyon) sistemlerine göre **sıcak kamaralı** (hot chamber) ve **soğuk kamaralı** (cold chamber) olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde sıcak kamara tipi makinalar; yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde ise soğuk kamaralı makinalar kullanılır. Her iki tip makinanın da gövdeleri (arka kısımları) birbirine benzemekle beraber, ön kısımları yani enjeksiyon sistemleri birbirinden farklıdır [10]

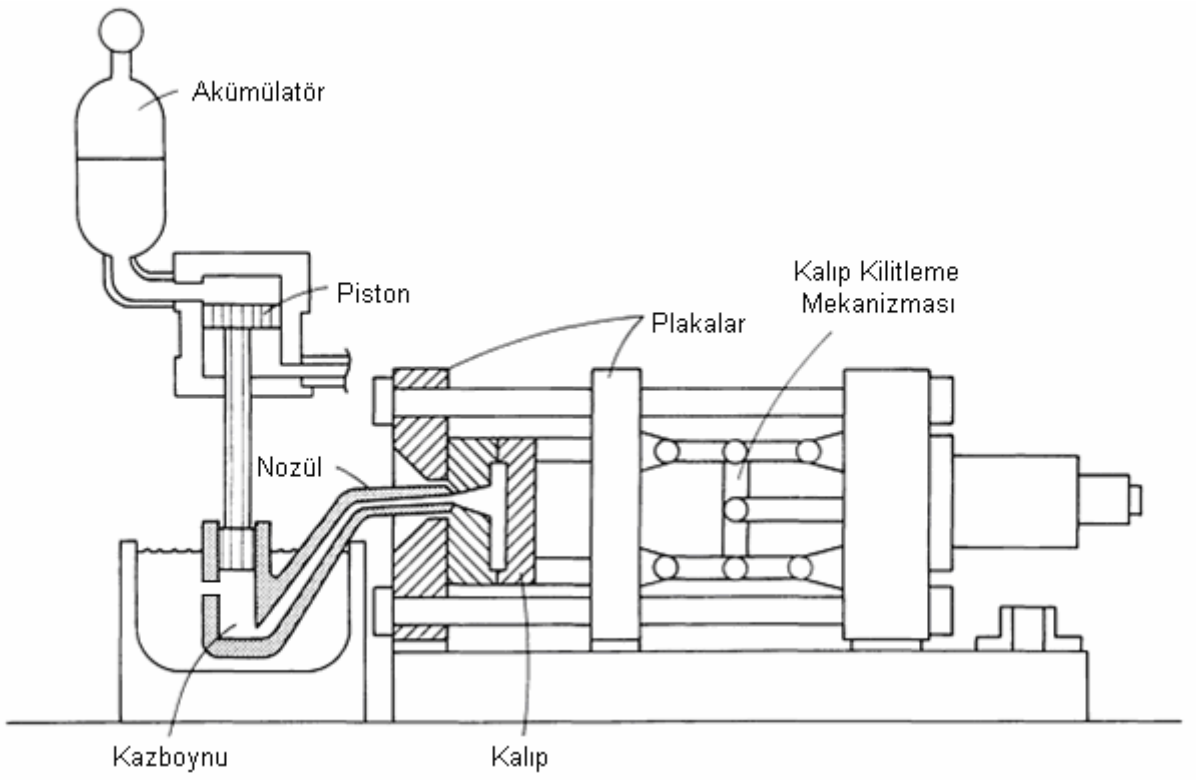
Ergimiş metalin akısı, kalıp boşluğundan havanın çıkarılması, enjeksiyon sırasındaki ısı kaybı ve hidrolik sistem ile ergitilmiş metal arasındaki etkileşim bu sistemleri birbirinden ayırmaktadır. Sistemlerin farklı özellikleri olmasına karsın, bu kalıp dökme metotlarının benzer mekanik tasarımı, termal kontrolü ve çalışma sistemleri bulunmaktadır. Basınçlı döküm makinesi seçimi dökülecek malzemenin özeliklerine ve yapısına göre yapılmaktadır [11].

2.5.1 Sıcak Kamaralı Makineler

Şekil 2.1'de gösterilmekte olan sıcak kamara tipi (dalma silindirli) makineler ergime sıcaklığı 327°C olan kurşun, 420°C olan çinko, 232 °C olan kalay gibi ergime sıcaklıkları

düşük olan malzemelerin dökümünde kullanılmaktadır. Son yıllarda magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde de sıcak kamaralı makinalar kullanılmaktadır [10, 11].

Sıcak kamara tipi basınçlı döküm makinelerinde metal, presin arka tarafında bulunan pik döküm potalar içinde elektrik rezistansları veya gaz, sıvı yakıt brülörleri kullanılarak ergitilir. Kaz boynu ergimiş metalin pota içinden metal kalıp içine basınçlı olarak sokulmasının sağlar. Kaz boynunun bir kısmı ergimiş metal içindedir. H.H. Doehler tarafından bulunan bu yöntemin kullanımı düşük sıcaklıkta ergiyen metaller için devam etmektedir (şekil 2.1). Sıcak kamara prosesinde metal pompası, sıvı metalin içine batırılmıştır ve metal ile aynı sıcaklıktadır. Bu tip makinalarda enjeksiyon işlemi genellikle ergimiş metalin içine daldırılmış silindir-piston (kazboynu) düzeneği ile sağlanır. Bu yöntemle çok küçük ve hassas, hepsi aynı özelliğe sahip parçalar seri halde dökülebilmektedir. Sıcak kamaralı döküm yöntemi ile üretim sonucunda ±0,05 mm hassasiyet elde edilmektedir. Üretim sırasında 10–80 atmosfer basınçla çalışıldığından üretilmiş parçaların üzerinden ikinci bir suretle talaş kaldırılmasına gerek duyulmamaktadır. Sıvı metal ve sistem ekipmanları arasındaki uzun süreli yakın etkileşim üretim prosesinde birçok problem meydana getirebilir. Ergitilmiş metal ile sistem bileşenleri arasındaki kapsamlı etkileşimden sistem bileşenleri şiddetle etkilendiklerinden dolayı, erime noktaları daha yüksek olan maddeler için bu metodun dezavantajları bulunmaktadır. Sıcak kamaralı makinalarda enjeksiyon aşamasında, özellikle hava ile basmada, metale önemli miktarda hava kaçması söz konusu olabilmektedir. [10,11,13]



Şekil 2. 2 Sıcak kamara tipi pistonlu basınçlı döküm makinası şematik gösterimi [13]

Bu makinalarda 20 gr'dan 22 kg'a kadar çeşitli büyüklükteki parçaların üretimi mümkündür. Sıcak kamaralı makinalar, enjeksiyon sistemlerinde piston veya hava basıncı kullanılmasına göre ikiye ayrılmaktadır [10]. Sıcak kamaralı döküm yönteminde kullanılan makineler çalısma sistemlerine göre pistonlu ve havalı makineler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar [11].

2.5.1.1 Pistonlu Makineler

Ticari alanda başarılı ilk basınçlı döküm makinalarından biri H.H. Doehler tarafından 1905 yılında patentlenmiş ve basınçlı döküm tekniğinin ilk yıllarında çok kullanılmıştır. Bu makina elle çalıştırılan pistonlu bir makinadır. Makinanın çalıştırılması için üç veya dört kişi gerekliydi. İki kişi yatay durumdaki kalıbı düşey duruma getirip kalıbı kilitleme görevini yerine getiriyordu. Dökülecek parçanın büyüklüğüne göre bir veya iki kişi ise enjeksiyon pistonuna bağlı manivelayı hareket ettirerek, ergimiş metalin kalıp boşluğuna basılmasını sağlıyordu. Ancak üç veya dört kişinin bir makinada çalışması gereksiz görülerek azaltılması çalışmalarına gidilmiştir. İlk gelişme metali enjekte edenlerin kaldırılarak yerine basınçlı hava kullanılması olmuştur. İkinci gelişme, metal

enjeksiyon ekseni ile kalıp bağlama eksenlerinin birleştirilerek, kalıpların 90° döndürülmesini önlemekle sağlanmıştır. Günümüzde kullanılan pistonlu makinalar, ilkel makinalardan çok farklı değildir (Şekil 2.1). Temel değişiklik pnömatik kuvvet yerine hidrolik kuvvetin kullanılması şeklinde olmuştur. Bunun yanında zamanlama aparatları, selenoidler, otomatik kontrollü valfler, röleler, limit şalterleri gibi yeniliklerle işçilik büyük oranda azaltılarak otomatikleşme sağlanmıştır [10].

Pistonlu makinelerde, fırın içerisine pik bir pota yerleştirilmektedir. Bu potaya monte edilen silindir ergimiş alaşımın içine gömülerek silindir içindeki piston bir levye ve eksantrik mekanizma ile yatay yönde çalıştırılmaktadır. Ergimiş metal bir delikten geçerek yer çekimi etkisiyle silindirin dolumunu gerçekleştirmektedir. Çalıştırma levyesi çekildiğinde piston kolu pim çevresinde dönerek pistonu silindir içinde hareket ettirmekte, pistonun ileri hareketi önce silindirde metal giriş deliğini kapatmakta, sonra da silindirdeki metali kalıba basmaktadır. Bu sistem ile yaklaşık olarak 20 kg/cm²'yi aşan basınçlara erişmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca sıvı metal en kısa sürede ve en az ısı kaybı ile enjekte edilebilmektedir [11].

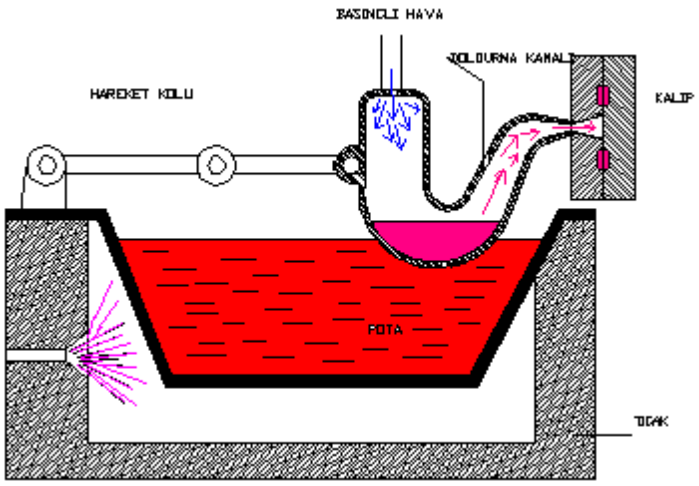
2.5.1.2 Havalı Makineler

Alüminyum gibi ergime sıcaklığı yüksek alaşımların dökümü, dalgıç piston tipi makinalarda yapılamamaktadır. Çünkü ergimiş metalin yüksek sıcaklığı, pik veya çelik piston-silindir düzeneğine zarar vererek sistemi çalışmaz hale getirir. Bunun üzerine 1915 yılında dalma hücreli havalı makinalar geliştirilmiştir. Hava ile basmada, enjeksiyon aşamasında metale önemli miktarda hava kaçması söz konusu olabilmektedir. Ancak enjeksiyon hızının kontrolü ile bu durum azaltılmaya çalışılmaktadır. Havalı makinalar alüminyum alaşımlarının dökümünde halen kullanılmaktadır. Fakat bu kullanım, soğuk kamaralı makinaların geliştirilmesiyle oldukça azalmış durumdadır [10].

Hareket kolunun yardımı ile hareket koluna bağlı bulunan kaz boynunun sıvı metal içerisine daldırılması sağlanmaktadır. Sıvı metal içerisine daldırılan kaz boynu içerisine doldurma kanalından ergitilmiş metal dolmakta daha sonra hareket kolu yardımıyla kaz boynu sıvı metali kalıba basacak şekilde kilitlenmektedir sonra sıvı metal, kaz boynundan kalıba yüksek basınçlı bir hava ile doldurulmaktadır. Bu tip makinelerde

kalıba sıvı metalin doldurma işlemi yaklaşık 35 kg/cm² basıncındaki hava ile gerçekleşmektedir. Burada depo içindeki sıvı metal ergime noktasının oldukça üstünde bir sıcaklıkta tutulmaktadır [11].

Şekil 2.2'de basınçlı hava ile çalışan döküm makinelerinde metal enjeksiyon sistemi için tipik bir örnek verilmektedir. Bu makine görünüş itibari ile kaz boynunu andırdığı için kaz boynu tipide denilmektedir. Hareket kolunun yardımıyla, hareket koluna bağlı bulunan kaz boynunun sıvı metal içerisine daldırılması sağlanarak, sıvı metal içerisine daldırılan kaz boynu içerisine doldurma kanalından ergitilmiş metalin dolması sağlanmaktadır. Bununla birlikte hareket kolu yardımıyla kaz boynu sıvı metali kalıba basacak şekilde kilitlenir sonra sıvı metal, kaz boynundan kalıba yüksek basınçlı bir hava ile doldurulmaktadır. Burada depo içindeki sıvı metal ergime noktasının oldukça üstünde bir sıcaklıkta tutulmaktadır [11].

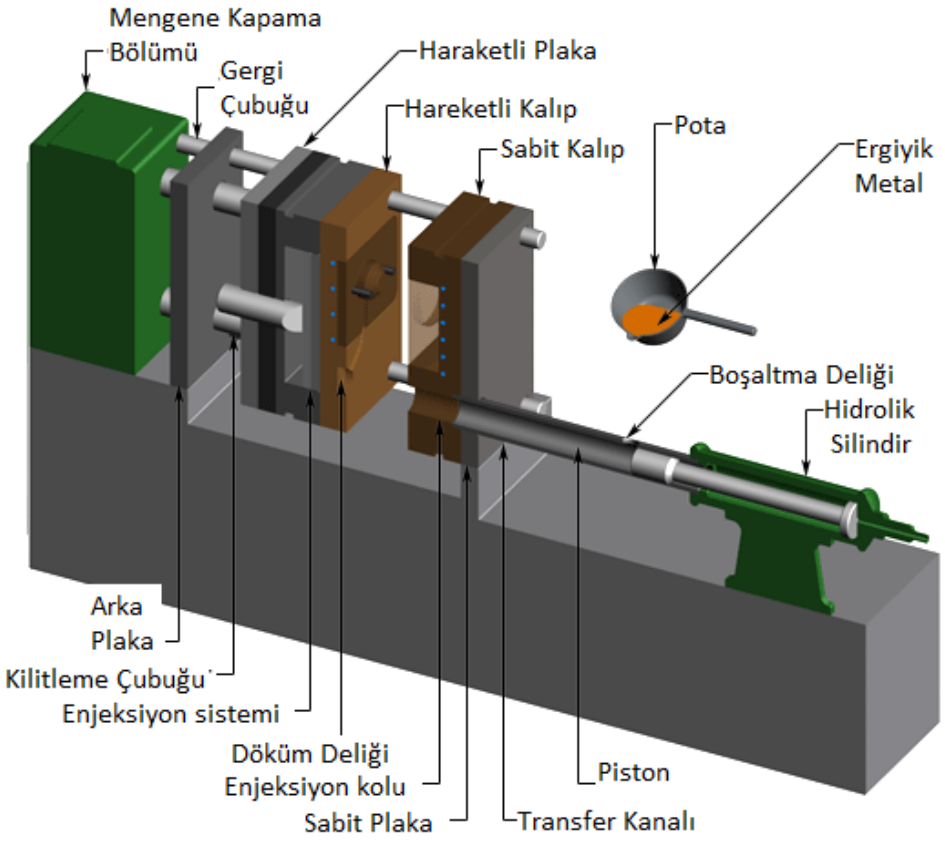


Şekil 2. 3 Basınçlı hava ile çalısan makinenin şematik resmi [11]

Sıcak kamaralı havalı ve pistonlu makinalarda; kazboynu ve hazne gri dökme demir, küresel grafitli dökme demir veya çelikten imal edilmektedir. Gömlek malzemesi ise genelikle H13 takım çeliği veya yüksek hız çeliği, nitrürlemeye uygun alaşımlı çelik veya paslanmaz çeliktendir. Nozül (meme) malzemesi olarak H13 takım çeliği veya paslanmaz çelik, pistonlu makinaların pistonu için de alaşımlı dökme demir kullanılmaktadır [10].

2.5.2 Soğuk Kamaralı Makineler

Sıcak kamaralı makinaların, ergime derecesi yüksek alaşımların dökümünde yetersiz kalması, soğuk kamaralı makinaların geliştirilmesi sürecini başlatmıştır. Soğuk kamaralı makinelerde ergime sıcaklığı 665 °C olan alüminyum, 649 °C olan magnezyum, 1083 °C olan bakır gibi ergime sıcaklıkları yüksek olan malzemelerin basınçlı dökümünde kullanılmaktadır. Soğuk kamaralı makinalarda, ergitilmiş metalin bulunduğu pota makinadan ayrıdır. Bu tip makinelerde, metal pompası, soğuk kamara ya da kovan fırın dışındadır ve içine konulan metale göre daha soğuktur. Soğuk kamara tipi döküm makinelerinde basınç odasına ergimiş metal operatör veya robot tarafından sokulur.



Şekil 2. 4 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi

Yolluk sistemi sıcak kamaradan farklı olan soğuk kamara kalıbına metal, pistonun metali önünde sürükleyip sıkıştırması sonucu girer. Ergimiş metal kalıp içine hidrolik çalışan bir pistonla basılır. Kalıbın ergimiş metalin gireceği tarafı potaya yakın olan sabit plakaya, itici tertibatı bulunan kısmı presin hareketli plaka tarafına bağlanır. Sıcak

kamarada her çevrimden sonra ergimiş metali kalıba basınçlı sokan hidrolik silindir kaz boynu içinde çalışan pistonu yukarı çeker. Kaz boynunun pota içinde kalan kısmında silindir cidarında, pistonun üst noktada bulunduğu konumdan 5 cm kadar altta kaz boynu büyüklüğüne bağlı değişen metal giriş deliği bulunur. Piston üst noktada iken delikten silindir içine ergimiş metal dolar. Dolma işleminden hemen sonra piston çalışarak doldurma deliğini kapatır ve ergimiş metali yaklaşık 200 MPa (N/mm^2) basınç altında kalıba enjekte eder. Normal çalışmada kamaraya bir döküme yetecek miktardan fazla metal koyulur. Kalıp içindeki katılaşmanın olması ile piston yukarı konuma alınır. Kaz boynunun içinde kalan metalin ergiyik kısmı silindire geri akar. Bu duruma yardımcı olmak için presler arkaya doğru 5° yatık imal edilirler. Soğuk kamarada metalin tamamı katı faza geçtiğinde piston metalin giriş deliğinde kalan metali kalıptan dışarıya atar. Döküm sonunda kalıbın açılmasını sağlayan hareketli plakayı makaslar geri konuma alırlar. Bu esnada basılan parça kalıbın itici tarafında kalır. İticiler devreye girerek kalıp yüzeyinden parçanın ayrılıp düşmesini sağlarlar [10,11,13].

Yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımların silindir ve pistonla uzun süre temas halinde olduğu sıcak kamaralı makinalarda, hem alaşımın karakteri değişir hem de pistonla silindirin kullanım ömrü azalır. Soğuk kamaralı makinada ergimiş metal piston ve silindirle çok kısa süre temas halinde olduğu için bu sorunlar ortadan kalkmaktadır. Bu presin en büyük avantajı, ergitilmiş olan metalin silindir-piston ünitesini etkilememesidir. Çünkü metal ayrı bir fırın içerisinde ergitilerek kalıp içerisine basılmaktadır. Bu işlemde ergitilmiş metal ve hidrolik piston devir süresi boyunca ayrıdır. Metot bağımsız olarak değerlendirilerek, yarı doldurulmuş yolluk içine dökülmekte ve kalıbın içine aktarılmaktadır. Bu işlem birkaç milisaniye sürmekte ve hidrolik pistonun ergitilmiş metale temas süresi mümkün olduğu kadar kısalmaktadır. Bu, alüminyum ve bakır gibi erime noktaları daha yüksek metallerin basınçlı dökümle üretilmesine olanak sağlamaktadır. Dökme işlemine yüksek hız ilavesi dökümün şekline ve boyutuna bağlı olarak her boşluk için dakikada yaklaşık olarak 1'e 100 bölümde bir yüksek seviyede bir üretim getirmektedir. Döküm işleminin yinelenebilirliği, tutarlılığı, yüzey özellikleri ve görünümü iyi bununla birlikte dayanıklılığı orta düzeyde olmaktadır. Soğuk kamaralı döküm, yüksek bir üretim hacmi kazandığında iyi kar getiren bir proses halini almaktadır. Üretilen parçanın birim maliyeti yüksek değerlerdedir. İstenilen ürün

için kalıbın üretilmesi pahalı ve uzun süreli bir iştir, bununla birlikte kaliteli döküm üretmek için döküm makinesinin kurulumu zaman gerektirebilmektedir [10,11].

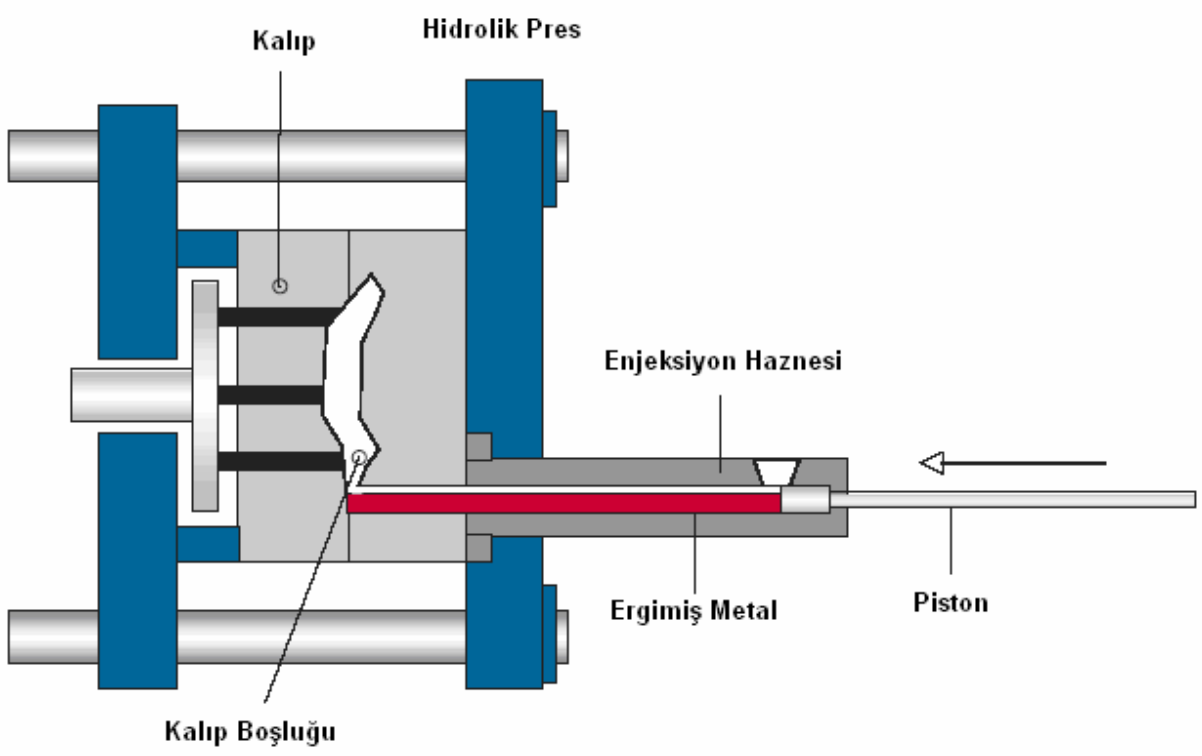
Soğuk kamaralı makinelerin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ergimiş metali beslemek için ek donatıma ihtiyaç vardır.
- Sıcak kamaralı makinelere göre imalat hızı düşüktür.
- Aşırı ısı kaybından meydana gelebilecek döküm hataları oluşabilir [13].

Soğuk kamara tipi makinalar da, pistonun yerleşim pozisyonuna göre yatay ve düşey tip olarak ikiye ayrılmaktadır [10].

2.5.2.1 Yatay Soğuk Kamara Tipi Makineler

Yatay konumlu soğuk kamaralı makinelerde enjeksiyon sistemini oluşturan silindir, piston ünitesi yatay düzleme paralel olarak yerleştirilmektedir. Bu tip basınçlı döküm makinalarında metal basma haznesi ısıtılmaz. Silindir-piston ünitesi ısıtılmayan bu makinelerde ergimiş metalin enjeksiyon sistemine olan sıcaklık etkisinden korumak amacıyla silindir ve piston içerisine soğutucu kanallar açılmıştır. Kalıplama işleminin ardından, açılan kanallar sayesinde silindir-piston ünitesi soğutularak özelliğinin bozulmaması sağlanmaktadır. Hazne yalnızca sıvı metalin etkisiyle ısınır. Şekil 2.3'de yatay soğuk kamara tipi makinanın çalışma şekli verilmiştir. Hareketli kalıp yarısı kapatılıp kalıp kilitlendikten sonra, silindir içindeki piston geri çekilmek suretiyle besleme deliği açılır ve buradan sıvı metal kamaraya boşaltılır. Piston ileri itilerek önce sıvı metal girişi kapanır ve sonra da sıvı metal kalıp boşluğuna basılır. Katılaşma tamamlandıktan sonra piston geri çekilir ve kalıp açılır. Dökülen parça hareketli kalıp yarısında kalır. Buradan ejektör (itici) pimler ile çıkarılır ve piston tekrar ilk durumuna getirilerek işlemler tekrarlanır [10,11].

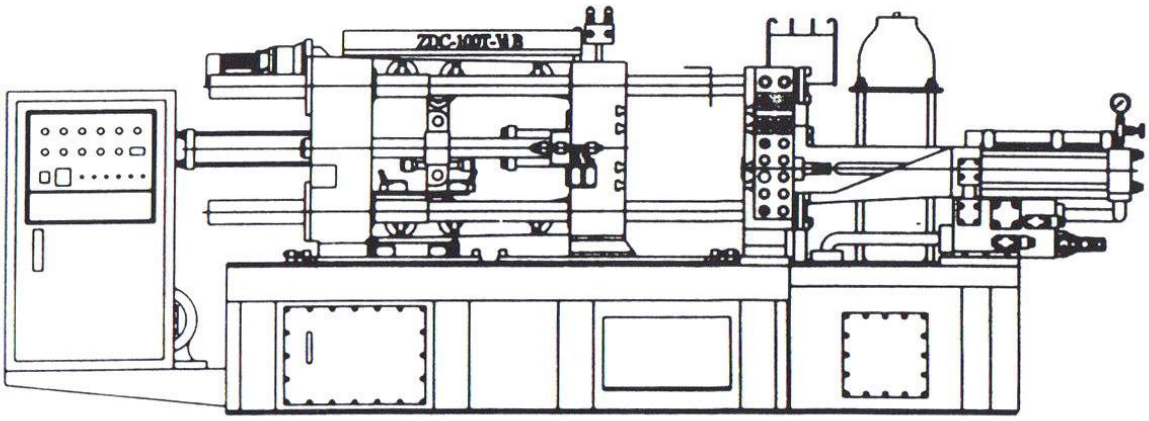


Şekil 2. 5 Yatay soğuk kamara tipi makinanın çalışma prensibi [10]

Yatay soğuk kamaralı makinalar, basınçlı dökümle üretimi gerçekleştirilebilen tüm alaşımlar için kullanılabilmekle beraber genellikle alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları için tercih edilir. Döküm işleminde, basma sistemi ergimiş metal dışında olduğundan alaşıma demir bulaşmaz. Bu yöntemde 30-210 MPa aralığında basınçlar uygulanabilmektedir [10].

Makine çalıştırıldığında piston hareket ettirilmeden önce sıvı metalin kamaraya beslenmesi için gerekli zaman ayarlanmalıdır. Genellikle sıvı metalin doldurma işi tamamlanana kadar piston yavaş hareket ettirilir. Metal dolumu gerçekleştikten sonra piston hızlanır ve ergimiş metali kalıp boşluğuna enjekte eder. Optimum piston hızı alaşıma, parça büyüklüğüne ve kalıp dizaynına bağlı olarak 45-270 m/dak değerleri arasındadır. Piston malzemesi olarak berilyum-bakır alaşımı veya alaşımlı çelikler kullanılır. Kamara için ise H13 takım çeliği veya nitrürasyon çelikleri tercih edilir [10].

Preste ergimiş metalin silindir içerisine aktarılışında uygulanacak ilave ve besleme sisteminin yerleşiminin zor olması, kalıplama zamanının fazlalığı, ısı kaybını önlemek için metalin ergime sıcaklığından fazla ısıtılması gibi zararlı yönleri bulunmaktadır [11].

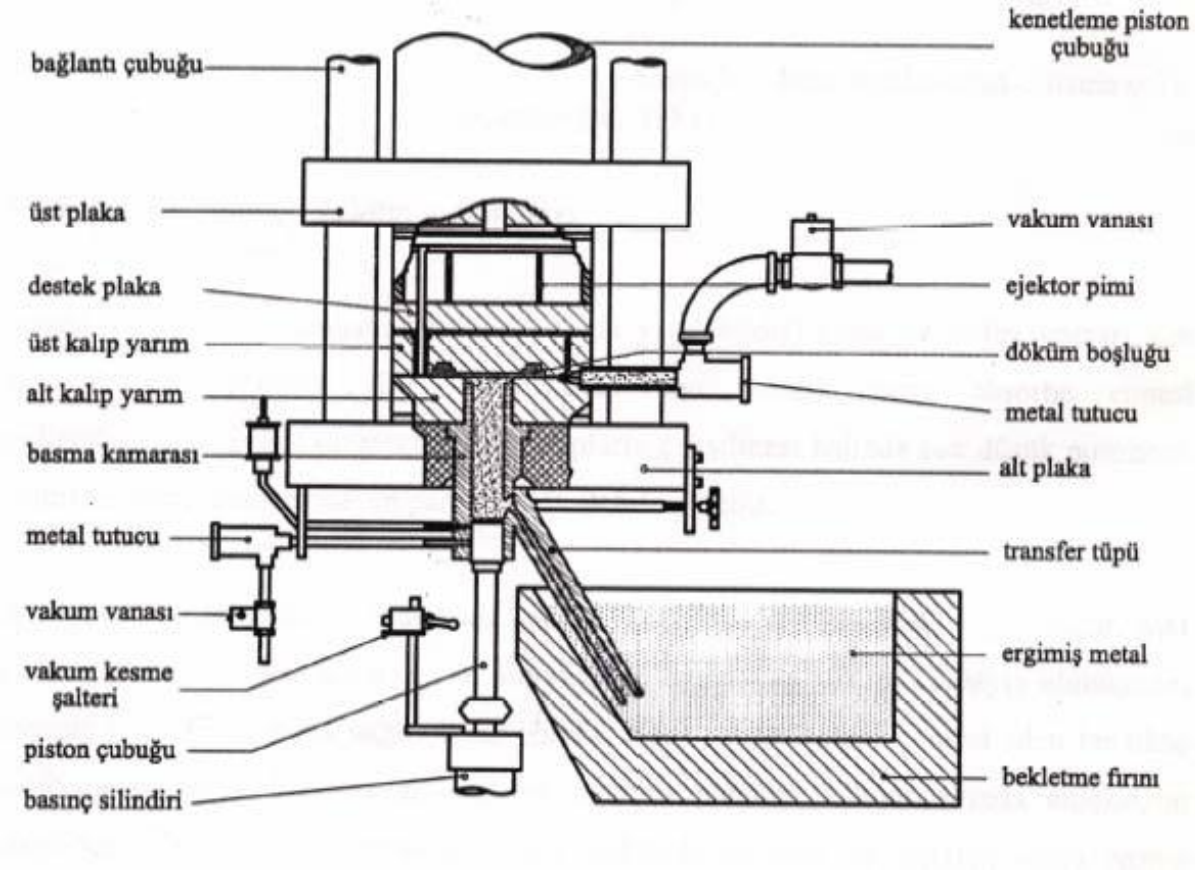


Şekil 2. 6 Yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi [11]

2.5.2.2 Düşey Soğuk Kamara Tipi Makineler

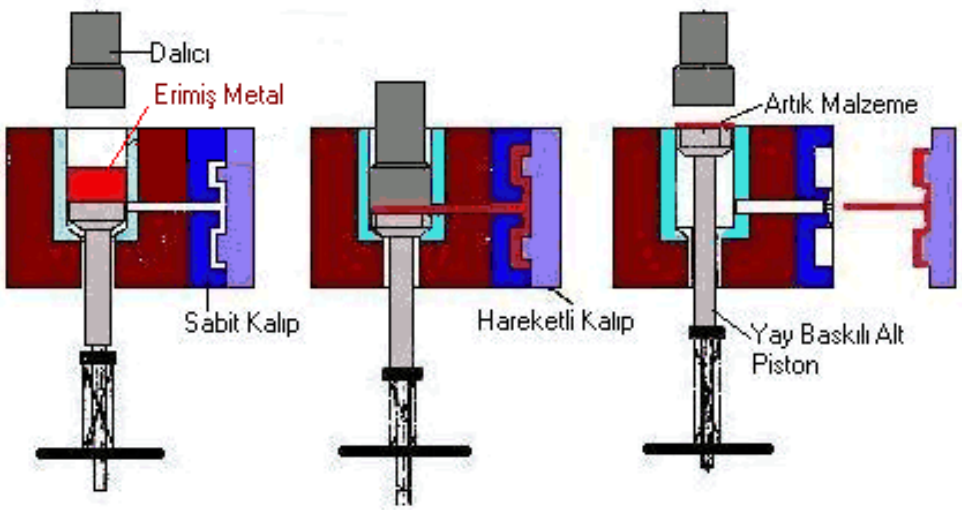
Bu makinalar da kalıbın yerleşimine göre düşey kalıplı veya yatay kalıplı olmak üzere ikiye ayrılır. Yatay kalıplı makinada ergimiş metal alt kalıptan beslenir. Hava kalıp gravüründen boşaltılıp, ergimiş metal bekletme fırınından vakumla basma haznesine alınır. Kalıp kilitleme ve basma basınçları bir akümülatör vasıtası ile kontrol edilir (Şekil 2.5) [10].

Düşey kalıplı sistemde alttaki piston, ergimiş metal kamaraya dolarken kalıp giriş deliğini kapatacak konumdadır. Metal beslemesi yapıldıktan sonra üst piston aşağı doğru hareket ettirilerek ergimiş metal iki piston arasında sıkıştırılır. Daha sonra alt piston, üst piston basıncının etkisiyle aşağı doğru hareket ederek kalıp giriş deliğini açar. Ergimiş metal bu girişten hızla kalıp boşluğuna basılır ve dökümün tamamlanması için belli bir süre basınç uygulanır. Katılaşma sonrasında üst ve alt piston yukarıya doğru hareket ettirilerek metal artığı dışarı atılır. En sonunda hareketli kalıp yarımı açılarak parça alınır (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7). Bu makinalar çift pistonla çalıştıkları için sık bakım gerektirirler. Ancak buna karşılık, kamaranın düşey olmasından dolayı türbülans oluşumu minimumdur ve dökülen parçada boşluk görülmesi ihtimali oldukça azdır [10].

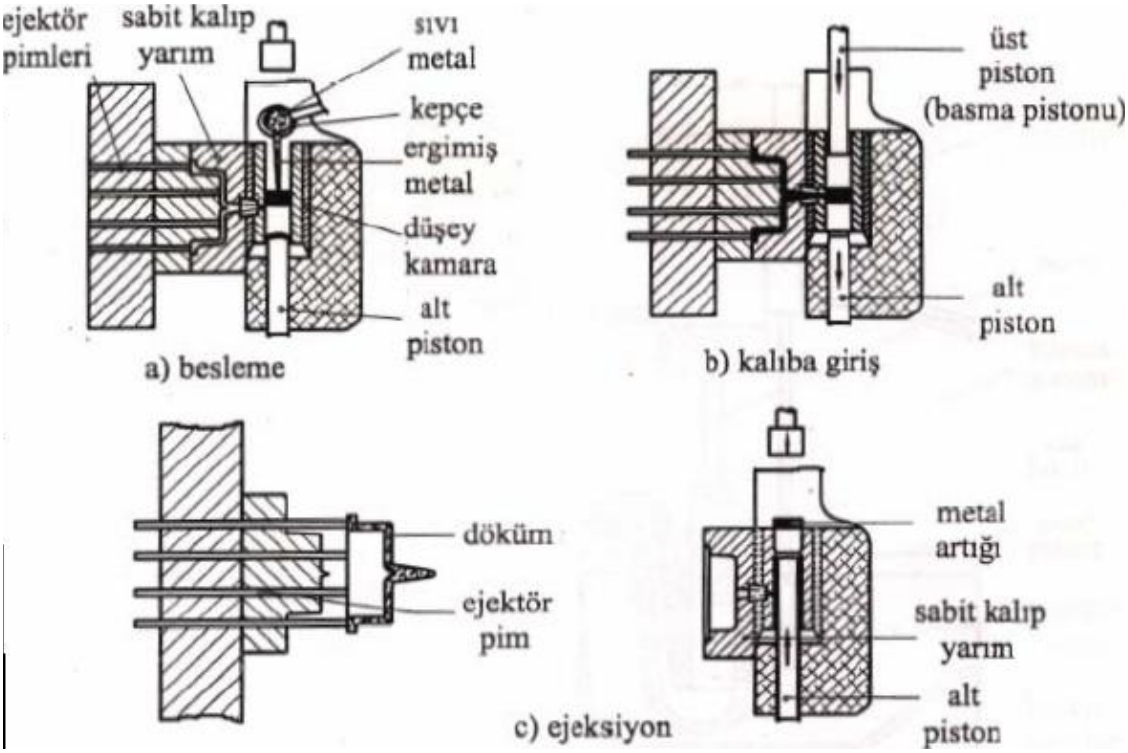


Şekil 2. 7 Yatay kalıplı düşey soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinası [10]

Genellikle yatay tip makinada üretilemeyen yüksek yoğunluklu parçaların üretiminde ve merkezden besleme yapılmasının gerektiği hallerde düşey makinalarla çalışılır. Örneğin merkez kısmının et kalınlığı fazla ve kenarlara doğru et kalınlıkları azalan tekerlek gibi parçaların dökümünde düşey makinalar tercih edilir [10].



Şekil 2. 8 Düşey soğuk kamaralı döküm makinesi ve çalışma sırasının gösterilmesi [13]



Şekil 2. 9 Düşey kalıplı düşey soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinası [10]

Günümüzde en çok kullanılan iki tip; yatay soğuk kamaralı ve pistonlu sıcak kamaralı makinelerin, arka kısımları (gövdeleri) ve kalıp açma kapama sistemleri birbirinin aynıdır. Tek fark ön kısımdaki enjeksiyon (metal basma) sistemlerindedir. Dikkatli bir konstrüksiyonla bir makinanın gövdesi aynen kullanılmak üzere enjeksiyon sistemleri değiştirilebilir makinalar yapmak mümkün olmaktadır [10].

BÖLÜM 3

MAGNEZYUM METALİ VE BASINÇLI DÖKÜM MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların kullanım alanlarının genişliği buralardaki fiziki ve kimyasal şartlara uyum sağlayabilecek alaşımların geliştirilmesini sağlamıştır. Bunun sonucu olarak ortaya çok değişik tipte alaşım çıkmıştır. Bununla birlikte bir kullanım alanı için son derece uygun olan bir alaşım başka bir iste uygunluk sağlamayabilir. Örnek olarak, insanların sürekli temas halinde bulunduğu kapı kolu gibi bir parçada estetik, buna bağlı olarak da kaplanabilme özelliği ön planda iken kuvvet iletiminde kullanılan bir dişlide esas problem malzemenin dayanımıdır [13].

Basınçlı Dökümde Kullanılabilen Alaşımların Temel Özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Katılaşma olayının belirli bir sıcaklıkta oluşması gerekir. Bu nedenle ötektik alaşımlar ve saf madenler basınçlı döküme elverişli değildirler.
- Ergitme potasındaki hiçbir kristal ayrışımı olmamalıdır.
- Keskin ve ince hatların iyi dökülebilmesi için alaşımın yeterli bir akıcılığı olmalıdır.
- Hızlı soğumaya rağmen çöküntü ve iç boşluklar meydana gelmemelidir.
- Kalıp içerisindeki engellere rağmen çatlama ve iç gerginlikler oluşmamalıdır.

Yukarıdaki özellikleri göz önünde bulundurularak basınçlı döküm için uygun olan çinko, kurşun, kalay, alüminyum, magnezyum ve bakır esaslı alaşım arasında en uygun olanını seçmesi gerekmektedir [13].

3.1 Magnezyum Elementi

Element ilk olarak Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir. Yerkabuğunun %2,7'sinde ve okyanusların %0,13'ünde bulunması sebebiyle Mg elementi yer kabuğunda yaygın olarak bulunan, periyodik tabloda IIA grubunda yer alan toprak alkali elementtir. Mg'un fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir [14].

Simgesi: Mg

Atom numarası: 12

Atom ağırlığı: 24.312 g/mol

İyon değerliği: +2

Kaynama noktası: 1107 °C

Ergime noktası: 650 °C

Yoğunluğu: 1.74 g/cm3

Elektron düzeni: 3s2

Kristal yapısı: hekzagonal

Kovalent yarıçapı: 1.36 °A

Atom yarıçapı: 1.60 °A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)

İyon yarıçapı: 0.65 °A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)

Atom hacmi: 14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)

Birinci iyonlaşma enerjisi: 176 kcal/mol

Özgül ısısı: 0.25 cal/g °C

Isı iletkenliği: 0.38 cal/cm2, s.cm.°C (oda sıcaklığında)

Elektrik iletkenliği: 0.224 mikroohm -1 (0° ile 20 °C arasında)

Ergime ısısı: 2.14 kcal/atomgram

Kaynama ısısı: 32.517 kcal/atomgram

Asit-Baz özelliği: baz

Magnezyum alüminyumdan %36, demirden %78 daha hafif olmasından dolayı modern teknoloji olan uzay, uçak ve otomotiv parçalarının üretiminde önemli bir malzemedir. Tüm yapı malzemeleri arasında en yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptir.

Çeşitli ham maddelerden magnezyum metali üretilebilmektedir. Metalik magnezyum elementi şu anda dünyada kullanılabilir en düşük yoğunluğa sahip metaldir. Ekonomik olarak kazanılabilir magnezyum minerali 11 ülkede 38 önemli yatakta 380 milyon ton olarak çıkarılmaktadır. Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak deniz suyu, mineral kayaçlar ve asbesttir. Dünya'daki en büyük magnezyum yatakları ise şu şekilde dağılmıştır:

Kuzey Amerika: ABD, Kanada

Güney Amerika: Brezilya

Avrupa: Norveç, Avusturya, Çekoslovakya, Yunanistan, Türkiye, Rusya,

Asya: Çin, Hindistan, K.Kore

Okyanusya: Avustralya

Hegzagonal sıkı paket yapıya sahip magnezyum, diğer kristal yapılar ile karşılaştırıldığında daha az kayma sistemine sahiptir. Bu nedenle özellikle düşük sıcaklıklarda magnezyumu deforme edebilmek son derece kısıtlıdır.

Saf metalik magnezyum çoğu teknolojik uygulama için istenilen özellikleri sağlayamamaktadır. Magnezyumun alaşımlandırılması mukavemet, süneklilik, korozyon direnci, sürünme direnci gibi özellikleri elde etmek için gerçekleştirilir [15].

3.2 Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımları, 160-300 N/mm^2 çekme dayanımı, 80-190 N/mm^2 (%0,2) akma dayanımı ve %2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlardır. Geleneksel magnezyum alaşımları, bu asrın ilk on yılında geliştirilmeye başlanmış ve 1930'lu yılların sonunda bir zirveye ulaşmıştır. İkinci zirve ise 1950'lerde görülmektedir. Son 40 yılda daha ziyade alüminyum ve çelik üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Ancak günümüzde, plastiklerin yerine magnezyum alaşımlarının kullanılması, bu malzemeyi yeniden gündeme getirmiştir [10].

Diğer birçok metal gibi magnezyum metali de saf olarak çok nadir kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile üretilen magnezyumun hemen tüm özelliklerinin iyileştirilmesi için çeşitli alaşım elementleri ilavesi ile alaşımlama yapılmaktadır. Bu nedenle uzun yıllar önce başlayan ve halen devam eden araştırmalar sonucunda bazı magnezyum alaşımları geliştirilmiştir. Bu alaşım sistemlerinden en yaygın olarak kullanılanı Mg Al ikili sistemidir. Alüminyum ilavesinin temel nedeni mukavemeti iyileştirmek, korozyon ve sürünme direncini geliştirmek ve dökülebilirliği arttırmak olarak özetlenebilir. Bu kullanılan alaşımlardan en yaygın olanı AZ91 alaşımı olmuştur. Nitekim ilk çalışmalar otomobiller içerisindeki aksamlar (kontrol paneli, direksiyon simidi gibi) üzerine olmuştur ve Volkswagen marka arabaların Beetle modeli buna örnek olarak verilebilir.

Magnezyum alaşımları mükemmel işlenebilirliği ile düşük ağırlıklı malzemeler için istenen boşluğu doldurmasına rağmen hala alüminyum ve plastikler ile yarışamamaktadır. Ana faktörü düşük ve sabit maliyetlerde dünya pazarına sunulamaması ve tatmin edici mekanik özelliklerin sağlanamaması oluşturmaktadır. Bu nedenle halen araştırmacılar magnezyum alaşımları üzerinde çalışmaları sürdürmektedir [15].

Magnezyum alaşımlarının avantajları ve kullanım sınırlamaları çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1 Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları [15]

Avantajları	Dezavantajları
• Bütün metalik malzemelerin arasında en düşük yoğunluğa sahip • Yüksek spesifik mukavemet • Basınçlı döküm için iyi dökülebilirlik ve kullanım • Yüksek kesme hızında kolay işlenebilirlik • İnert gaz altında iyi kaynaklanabilirlik • Geliştirilmiş korozyon direnci • Plastikler ile karşılaştırıldığında iyi mekanik özellik, daha iyi elektrik ve termal iletkenlik, geri dönüşüm	• Birkaç alaşıma sahip olması • Oda sıcaklığında düşük süneklilik ve tokluğa sahip olması • Yüksek sıcaklıkta limitli özellikler, sürünme direnci gibi • Yüksek kimyasal reaksiyon • Yüksek döküm çekilmesi • Yüksek üretim maliyetleri

Magnezyum alaşımlarının geliştirilmesinde, Al, Be, Ca, Li, Mn, Si, Sr, Ag, Th, Zn, Zr ve RE elementleri katılarak mikro alaşımlandırma denenmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen yeni magnezyum alaşımlarında nadir toprak metalleri kullanılmaktadır [15].

3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standartları

Genel olarak magnezyum alaşımları döküm ve yoğruk (dövük) alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Döküm alaşımlar kendi aralarında basınçlı, kum ve kalıcı kalıba döküm alaşımları olarak ayrılırken; yoğruk alaşımlarda sac, levha, ekstrüzyon ve dövme alaşımlar olarak alt bölümlere ayrılmaktadır [10].

Alaşımların ve ısıl işlemlerin gösterim standartları 1948 yılında belirlenmiş olup, Çizelge 3.2'de açıklanmıştır. Her bir alaşım dört adet tanımlama bölümünden oluşmaktadır. Birinci bölüm alaşımın ana alaşım elementlerini tanımlar. Çizelge 3.3'de alaşım elementlerinin harfler ile tanımlanması görülmektedir. İkinci bölüm, her bir ana alaşım elementinin yüzde ağırlıkça değerlerini vermektedir. Üçüncü bölüm, alaşımın kendi içinde tanımlamasıdır. Genelde malzemenin saflık derecesini temsil etmektedir (A harfi 1. bileşim, B harfi 2. bileşim, C harfi 3. bileşim, D harfi yüksek safiyet ve E harfi yüksek korozyon direncini tanımlar). Dördüncü bölüm ise alaşıma uygulanmış ısıl işlemi göstermektedir [15].

Sistemin çalışması ile ilgili bir örnek vermek için **AZ91E-T6** alaşımını ele alabiliriz. Gösterimdeki ilk kısım, **AZ**, alüminyum ve çinkonun iki ana alaşım elementi olduğu anlamına gelir. Gösterimdeki ikinci kısım, **91**, alüminyum ve çinkonun alaşım içindeki yuvarlatılmış yüzdelerini verir (sırasıyla %9 ve %1). Üçüncü kısım, **E**, %9 Al ve %1 Zn içeren standartlaştırılmış alaşımlar içinde, beşinci alaşım olduğunu ve yüksek korozyon direnci gösterdiğini belirtir. Dördüncü bölüm, **T6** ise, alaşımın çözelti ısıl işlemi gördüğünü ve yapay yaşlandırıldığını ifade eder (Çizelge 3.3, 3.4) [10].

Başka bir örnek olarak **AJ62D-T6** alaşımını inceleyebiliriz. Tanımlamadaki ilk kısım, **AJ**, alüminyum ve stronsiyumun iki ana alaşım elementi olduğunu gösterir. Tanımlamadaki ikinci kısım, **62**, alüminyumun (%6) ve stronsiyum (%2) alaşım elementlerinin ağırlıkça yüzdelerini verir. Üçüncü kısım, **D**, üretilen alaşımın yüksek saflık derecesinde olduğunu

tanımlar ve son kısım ise malzemeye uygulanmış olan ısıl işlemi, yani çözelti ısıl işlemine tabi tutulmuş ve yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş olduğunu belirtir [15].

Çizelge 3. 2 ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü [10]

Birinci Kısım	**İkinci Kısım**	**Üçüncü Kısım**	**Dördüncü Kısım**
İki temel alaşım elementlerini belirtir.	İki ana alaşım elementlerinin miktarını belirtir.	Temel alaşım elementi miktarları aynı olan alaşımlar arasındaki farkı belirtir.	Menevişleme koşullarını belirtir.
Azalan yüzde miktarlarına göre düzenlenmiş iki ana alaşım elementini ifade eden, iki harten meydana gelir (eğer miktarlar eşitse alfabatik olarak sıralanır).	İki ana alaşım elementinin yuvarlatılmış yüzdelerini gösteren iki rakamdan meydana gelir ve birinci kısımdaki gösterim sırasına göre düzenlenir.	ASTM standardına göre belirlenmiş bir alfabetik harften oluşur (I ve O hariç) **A**: Birinci Bileşim **B**: İkinci Bileşim **C**: Üçüncü Bileşim **D**: Yüksek Saflıkta (HP) **E**: Yüksek Korozyon Direnci	Bir harfi izleyen bir numaradan meydana gelir (üçüncü kısımdan tire işaretiyle ayrılmıştır).

Çizelge 3. 3 Alaşım elementleri için kabul edilen gösterim [10]

Harf	**Alaşım Elementi**	**Harf**	**Alaşım Elementi**	**Harf**	**Alaşım Elementi**
A	Alüminyum (Al)	K	Zirkonyum (Zr)	S	Silisyum (Si)
C	Bakur (Cu)	L	Lityum (Li)	T	Kalay (Sn)
E	Nadir Topraklar (RE)	M	Mangan (Mn)	W	İtriyum (Y)
F	Demir (Fe)	N	Nikel (Ni)	Z	Çinko (Zn)
H	Toryum (Th)	Q	Gümüş (Ag)		

Çizelge 3. 4 Magnezyum alaşımları için menevişleme gösterimleri [10]

Genel Bölümler	
F	Üretildiği gibi
O	Tavlanmış ve yeniden kristallenmiş (sadece yoğruk ürünler için)
H	Gerinme sertleştirmesi yapılmış
T	F, O veya H den başka kararlı menevişler için ısıl işlem görmüş
W	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış (kararsız menevişleme)
Gerinme Sertleştirmesi (H) Altbölümleri	
H1	Sadece gerinme sertleştirilmesi uygulanmış
H2	Gerinme sertleştirilmesi uygulanmış ve kısmi tavlanmış
H3	Gerinme sertleştirilmesi uygulanmış ve kararlaştırılmış
Isıl İşlem (T) Altbölümleri	
T1	Soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
T2	Tavlanmış (sadece döküm ürünler için)
T3	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış ve soğuk işlenmiş
T4	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış
T5	Soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısıl işlemi görmüş ve kararlaştırılmış
T8	Çözelti ısıl işlemi görmüş, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısıl işlemi görmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	Soğutulmuş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş

3.4 Basınçlı Döküm Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımlarının üretiminde kullanılan, en yaygın üretim yöntemi basınçlı dökümdür. Yöntem yüksek bir üretim kapasitesine sahip olduğundan, oldukça benimsenmiştir. Parçaların hızlı soğuması ince taneli yapı oluşmasını sağlarken, gazların kaçmasını zorlaştırdığından dolayı poroziteye (gözenekliliğe) sebep olabilmektedir. Porozite ise parçaları, ısıl işlem ve kaynak edilebilirlik açısından uygunsuz hale getirmektedir. Basınçlı döküm, düşük viskoziteye sahip alaşımların kullanıldığı, ince cidarlı parçaların üretimi için ideal bir yöntemdir. Tipik olarak kullanılan basınçlı döküm alaşımları, Çizelge 3.5'de mekanik özellikleriyle birlikte verilmiştir. En yaygın alaşım sistemleri, magnezyum-alüminyum esaslı olanlardır. Çizelge 3.5'de listelenen basınçlı döküm alaşımlarının tümü, alüminyumu ana alaşım elementi olarak içermektedir [10].

Çizelge 3. 5 Basınçlı döküm Mg alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [10]

	Al	**Mn**	**Zn**	**Diğer**	**Akma Dayanımı**	**Çekme Dayanımı**	**Uzama**	**Sertlik**
					(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	HB
AE42	4.0	0.1	…	2.5 RE	145	230	11	60
AM20	2.1	0.1	…	…	90	210	20	45
AM50	4.9	0.26	…	…	125	230	15	60
AM60	6.0	0.13	…	…	130	240	13	65
AS21	2.2	0.1	…	1.0 Si	120	220	13	55
AS41	4.2	0.2	…	1.0 Si	140	240	15	60
AZ91	9.0	0.13	0.7	…	160	250	7	70

Alüminyum içeriğinin düşük olduğu durumlarda dayanım, katı çözelti sertleştirmesi ile sağlanmaktadır. Daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında ise dayanım, $Mg_{17}Al_{12}$ oluşumuyla elde edilmektedir. $Mg_{17}Al_{12}$ içeriğinin artması, sünekliği azaltmaktadır. İşin doğrusu, ağırlıkça %6 alüminyum içeren Mg-Al sistemi, porozite önlenebildiği sürece, en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği alaşım mekanizmasıdır. Bu alaşımlara çökelti sertleştirmesi ve yaşlandırma uygulanabilmektedir.

Basınçlı döküm alaşımları için her zaman bir uzlaşma sağlanmalıdır: alüminyum içeriğinin azaltılması döküm kabiliyetini azaltacak ve sadece çok basit şekilli kalıplar doldurulabilecektir. Alüminyum miktarının artması ise döküm kabiliyetini ve dayanımı arttıracak fakat sünekliği azaltacaktır. $Mg_{17}Al_{12}$ ara bileşiği (intermetallic), tane sınırlarında süreksiz bir formda oluşur. $Mg_{17}Al_{12}$ yaklaşık 460°C'de ergir ve 110-120°C'de tane sınırlarının kayma düzlemlerine ilave olarak, birbiri üzerinde kaymalarına olanak sağlayacak şekilde yumuşamaya başlar.

AZ91 alaşımı, dayanım özelliklerini arttıran alüminyum ve çinko elementlerini içerir. Çinko ilavesi, mikroporozite eğilimini azaltır. AZ91D, en çok kullanılan basınçlı döküm magnezyum alaşımıdır. AZ91D, iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasının yanında, mükemmel döküm kabiliyetine ve tuzlu su korozyon direncine sahiptir. Yüksek

saflıktaki AZ91D alaşımının yüksek korozyon direnci, üç tane önemli kirleticinin (Fe, Ni, Cu), kalıntı seviyelerinin kontrol altında tutulmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek saflıktaki AZ91D alaşımı, basınçlı döküm uygulamalarında, daha az saf olan AZ91B alaşımının yerine geçmiştir. AZ91B alaşımı, hurda ve ikincil metallerden kolayca üretilebildiği için halen kullanılmaktadır. Daha ucuz olan bu alternatif, korozyon direncinin çok önemli olmadığı uygulamalarda, örneğin boyanmış parçaların nonkorozif (paslandırmayan) ortamlarda kullanılmasında tercih edilmektedir. Basınçlı döküm ürünler döküldüğü gibi kullanılabilirler [10].

Alaşımın özelliklerini ve mikro yapılarını geliştirmek için değişik alaşımlamalar uygulanmaktadır. Mg-Al alaşımlarının sürünme direncini arttırmak için yapılan diğer denemeler, kalsiyum ilavesini içermektedir. Fakat kalsiyum ilavesi, sürünmedeki iyileşme ile birlikte sıcak yırtılma eğilimine sebep olmaktadır. Ca'un oksidasyonu azalttığı, sızıntı emniyetini artırdığı, sıcak uygulamalara (130 - 150 °C) olan yeteneği arttırdığı fakat % 0.2 den fazla olduğu zaman, alaşımı kırılganlaştırdığı ve sıcak yırtılma eğilimini artırdığı gözlenmiştir. Yorulma dayanımı, sürünme direnci ve gerilim direnci çok iyidir. Bununla birlikte AZ91 için en iyi sürünme direnci oda sıcaklığında gerçekleştiği rapor edilmiştir [14].

Çizelge 3.5 de ayrıca, bütün alaşımların mangan içerdiği de görülmektedir. Mangan korozyon direncini arttırmasının yanı sıra, daha iyi süneklik ve kırılma tokluğu değerleri sağlar. İstenilen özellikleri elde etmek için; AM20, AM50 ve AM60'dan oluşan bir alaşım serisi mevcuttur. Özelliklerin iyileşmesi, $Mg_{17}Al_{12}$ ara bileşiğinin daha homojen dağılması ile elde edilir. Örneğin tane sınırlarındaki ara bileşik miktarı azaltılır [10].

AZ91D alaşımının sağladığından daha fazla süneklik gerektiren uygulamalarda, yüksek saflıktaki AM60B basınçlı döküm alaşımı kullanılır. AM60B alaşımı, AZ91D alaşımına kıyasla daha iyi uzamaya ve tokluğa sahiptir. AM60B'nin çekme ve akma dayanımı, alüminyum içeriğinin oldukça azalmasına rağmen, AZ91D'ye oldukça yakındır. AM60B alaşımı; otomobil tekerleklerinin basınçlı dökümünde, bazı okçuluk ve spor ekipmanlarının üretiminde kullanılmaktadır. AZ91D alaşımı gibi, AM60B alaşımı da mükemmel tuzlu su korozyon direncine sahiptir [10].

AM60 (Mg-6Al-Mn) alaşımı Mg-Al sisteminde en yaygın kullanılan alaşımdır. Mg-Al alaşım sistemine üçüncü alaşım elementi olarak manganez ilavesi, Fe-Mn çökelti bileşeni vasıtası ile magnezyum eriyiğindeki demir içeriğini kontrol etmekte kullanılmaktadır. Bu nedenle manganez ilavesinin birincil nedeni demir kontrolü ile korozyon direnci geliştirmektir. Ergitme esnasında bu partiküllerin bir kısmı potanın altında çökelir, geri kalanı da katılaşma esnasında döküm içerisinde kalmaktadır [15].

AS serisi AS21 ve AS41 alaşımları, tane sınırlarında ince yapılı olarak oluşan ve sürünme dayanımını artıran Mg_2Si ara bileşiğine güvenmektedir. Bu bileşik aynı zamanda, $Mg_{17}Al_{12}$ miktarını düşürme konusunda da etkilidir. Mg_2Si ayrıca bazı alüminyum alaşımlarını sertleştirmek için de kullanılmaktadır. Mg_2Si ara bileşiğini elde edebilmek için, parça kesitinin izin verdiği oranda hızlı soğutma yapılması gerekmektedir. AS21'in sürünme direnci, AS41'e kıyasla daha iyidir fakat buna karşılık akıcılığı daha kötü ve dökümü daha zor olmaktadır [10].

Basınçlı döküm alaşımı AS41A'nın 175°C sıcaklığa kadar olan sürünme dayanımı, AZ91D ve AM60B alaşımlarına kıyasla oldukça üstündür. Aynı zamanda iyi uzama, akma ve çekme dayanımı özelliklerine sahiptir. AS41A alaşımları, hava soğutmalı otomobil motoru karterlerinde kullanılmaktadır. AS41A'nın mükemmel tuzlu su korozyon direnci özelliği sergileyen versiyonu AS41XB adıyla tanınmaktadır. AS21 alaşımı ise AS41A alaşımından daha iyi sürünme dayanımına sahiptir. Ama buna karşılık, oda sıcaklığında çekme ve akma dayanımı daha düşük ve dökümü biraz daha zor olmaktadır [10].

Çok yakın zamanda yapılan iyileştirme çalışmaları, nadir toprak metallerinin ilavesi ile AE42 gibi alaşımların elde edilmesini sağlamıştır. Nadir toprak elementleri içeren alaşımlar sadece basınçlı döküm yöntemine uygundur. Diğer döküm yöntemlerinde daha yavaş soğuma gerçekleşeceğinden, kaba taneli Al_2RE bileşikleri oluşacaktır. RE (nadir topraklar) genellikle mişmetal formunda ilave edilirler. Magnezyum da mişmetal içindeki bir veya birkaç nadir toprak elementi ile bileşik oluşturur ve böylece sürünme özellikleri iyileştirilmektedir [10].

1930'larda RE'nin Mg alaşımlarının özellikleri üzerinde yararlı etkileri olduğu keşfedilmiştir. RE'nin %1'den fazla eklenmesiyle, Mg-Al esaslı alaşımların sürünme dirençlerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Artan Al içeriği ile birlikte dökülebilirliğin

yükselmesine rağmen, RE'nin sürünme dirençlerindeki etkisi, bir dereceye kadar Al ilavesini sınırlı kılmaktadır. RE miktarı AZ91 ve AM60'a % 0,1'e kadar sıcak yırtılmayı artırmakta ve mikro sertliği geliştirmektedir. RE miktarı arttıkça sıcak yırtılma eğilimi azalmaktadır [14].

Zirkonyum, magnezyum için çok etkili bir tane inceltici olup, alüminyum ve mangan içermeyen tüm alaşımlarda kullanılabilmektedir. Zirkonyumun çok iyi bir tane inceltici olmasının sebebi, magnezyumla hemen hemen aynı kristal yapısına ve kafes parametrelerine sahip olmasıdır.

Basınçlı döküm alaşımlarının hiçbirisi zirkonyum içermemektedir. Çünkü zirkonyum, basınçlı döküm alaşımlarının hepsinde bulunan alüminyum ve mangan ile zararlı bileşikler oluşturmaktadır.

Özetle, basınçlı döküm için, ticari olarak kullanılan dört adet magnezyum alaşım sistemi vardır: magnezyum-alüminyum-çinko-mangan (**AZ**) serisi, magnezyum-alüminyum-mangan (**AM**) serisi, magnezyum-alüminyum-silisyum-mangan (**AS**) serisi ve yeni geliştirilen magnezyum-alüminyum-nadir toprak-mangan (**AE**) serisi. Bu alaşımlardan bazılarının genel özelikleri Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3. 6 Basınçlı döküm alaşımlarının genel özellikleri [10]

Alaşım	**Genel Özellikleri**
AZ91D	En çok kullanılan basınçlı döküm alaşımıdır. Oda sıcaklığında iyi dayanım, iyi döküm kabiliyeti, iyi atmosferik stabilite ve mükemmel tuzlu su korozyon direnci özelliklerine sahiptir.
AM60B	İyi uzama ve tokluk, mükemmel tuzlu su korozyon direnci, iyi akma ve çekme dayanımı özelliklerine sahiptir.
AS21X1	Basınçlı döküm alaşımları içinde en iyi sürünme direncine sahip alaşımdır (AE alaşımıyla beraber). Oda sıcaklığındaki özellikleri iyi ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanışlıdır.
AS41XB	175°C'ye kadar iyi sürünme direncine sahiptir. Oda sıcaklığındaki özellikleri iyi, tuzlu su korozyon direnci mükemmeldir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için uygundur.

3.5 Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

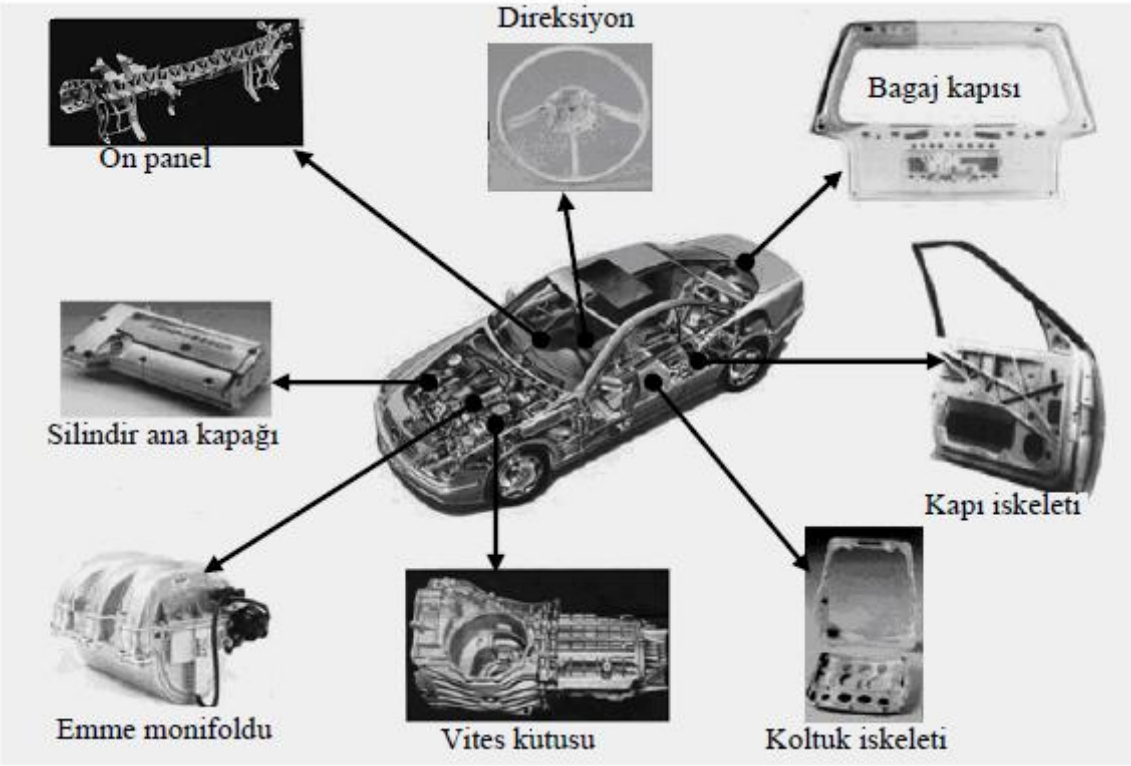
Magnezyum alaşımları yapısal (structural) ve yapısal olmayan (nonstructural) çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar; otomotiv sektörünü, endüstriyel makine sektörünü (tekstil ve matbaa), el aletlerini, ticari sektörü (bavul, bilgisayar kasası, merdiven) ve uçak-uzay (aerospace) sanayi ekipmanlarını kapsamaktadır. Magnezyum aynı zamanda yapısal olmayan uygulamalarda da hizmet vermektedir. Magnezyumun yapısal olmayan diğer bir uygulaması da organik kimyadaki Grignard Reaksiyonudur (Halojenoalkanların metal hidrürlerle indirgenmeleri). Saf magnezyum ve %30'a kadar alüminyum içeren alaşımları, ince taneli toz formunda piroteknik uygulamalarında da kullanılmaktadır. Magnezyumun elektromotor serideki relatif pozisyonu, diğer metallerin korozyondan korunmasında, magnezyumun katodik koruyucu olarak kullanılmasına olanak sağlar. Bununla beraber kuru ve şarjlı pillerin yapımında da elektromotor seri özelliğinden faydalanılır.

Gri dökme demir dökümhaneleri, magnezyum ve magnezyum içeren alaşımları dökümden hemen önce potaya katarlar. Magnezyum, grafit parçacıklarını küreselleştirerek; dökme demirin tokluğunu ve sünekliğini arttırır. Ayrıca magnezyum, dağlamaya hızlı fakat kontrollü tepki vermesinden dolayı, fotoğraf banyolama sektöründe de kullanılmaktadır [10].

Özellikle otomotivde hafif metalik malzemelere yöneliş sadece günümüzün otomobilleri ile ilgili değildir. Güneş enerjisi, elektrik veya hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışacağı öngörülen geleceğin otomobillerinde hafiflik bugünküne kıyasla çok daha önemli bir gereksinimdir. Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılması planlanan yakıt tüketimi 3 litre/100 km gibi zorlu bir hedeftir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalma gerekmektedir.

Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımları, çoğunlukla otomobil parçalarının dökümü için kullanılmaktadır. Diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında; AZ91 Mg alaşımı daha iyi döküm, daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir. Son yıllarda, magnezyumun otomobil parçalarında kullanılması hızla artmıştır. Otomobillerde kullanılan birçok parça, basınçlı döküm ile magnezyumdan imal edilmiştir.

1930'lardan 1965'lere kadar, yalnızca ticari olarak kullanılan alaşımlar Mg-Al-Zn-Mn esaslıdır. Parçaların çoğunluğu AZ91 alaşımından üretilmiştir. Bu alaşım, gerilme kuvvetini biraz düşürmesine rağmen, yüksek yumuşaklık ve darbe etki direncini sağlamıştır [14].



Şekil 3.1 Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar [14]

Mg-Al-Mn esaslı alaşımlar (AM50, AM60) iyi uzama ve darbe dayanımlarına sahiptirler. AS41, AS21 (Mg-Al-Si-Mn) ve AE42 (Mg-Al-Re) alaşımları artan sıklıkla, Mg-Al-Mn ve Mg-Al-Zn-Mn alaşımlarından daha yüksek sürünme dayanımıyla karakterize edilen aktarma parçaları imalı için kullanılmaktadır.

AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanılmaktadır. Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılır. AE42 alaşımları 200 °C'nin üzerindeki servis koşullarında, transmisyon elemanı ve motorlarda kullanılır. Süper hafif Mg-Li esaslı alaşımlar bilgisayar elemanı olarak plastik ve diğer benzer malzemelerin yerine kullanılabilmektedir [14].

3.6 Magnezyum Alaşımlarının Katılaşma Davranışı

Magnezyum-alüminyum alaşımlarının mikro yapısı, birincil tanelerin ve ötektik yapının her ikisininde çekirdeklenmesine ve büyüme karakteristiğine bağlı olacaktır. Bu nedenle katılaşma esnasında alaşım elementleri, tane incelticiler ve soğuma hızı döküm alaşımının mikro yapı ve özellikleri üzerinde etkili olacaktır.

Çekirdeklenme, tane incelticiler kullanılarak kontrol edilebilir. Magnezyum döküm alaşımlarındaki tane incelticiler alüminyum alaşımlarındaki gibi iyi bir şekilde anlaşılmamıştır. Mg-Al sistemi için güçlü bir tane inceltici mevcut değildir. Zirkonyum bazı magnezyum alaşımları için başarılı bir tane incelticidir. Buna karşın alüminyum ve zirkonyum magnezyum alaşımlarında bir arada bulunmaz çünkü kolayca kararlı Al-Zr intermetaliği oluşturabilirler. Bunun yanında çoğu Mg-Al alaşımları yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir ve bu yöntem çok yüksek soğuma hızlarına sahiptir ki bu durum çekirdeklenme için önemli bir itici gücü oluşturur. Bu, çekirdeklenme artışına neden olur ve bu nedenle birincil tanelerin sayısı artar. Böylece tane inceltici ihtiyacı azalır. Mg-Zn ve Mg-RE(nadir element) sistemlerine ait alaşımlara Zr ilavesi yapıldığı zaman çok sayıda ince tanelerin oluştuğu görülmüştür.

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, Stronsiyum(Sr) alaşım elementinin Mg-Al sistemlerinde tane inceltici etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Lee ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Sr ve Al ilavesinin magnezyum alaşımının tane boyutuna etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, Al içeriğinin ağırlıkça %5'e kadar artışı ile tane boyutunun azaldığı görülmüştür. Daha fazla ilave tane boyutunu etkilememiştir. Ayrıca Lee ve arkadaşları ağırlıkça %3 ve %9 Al içeren Mg-Al sistemine Sr ilavesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Ağırlıkça %3 Al içeren alaşıma %0.01-0.1 Sr ilavesi son derece güçlü tane inceltici etkiye neden olurken, ağırlıkça %9 Al içeren alaşımda ise daha az tane inceltici etki görülmüştür.

Bir diğer benzer çalışmada Yichuan ve arkadaşları tarafından yapılmış ve diğer çalışmalar ile paralel sonuçlar elde edilmiştir [15].

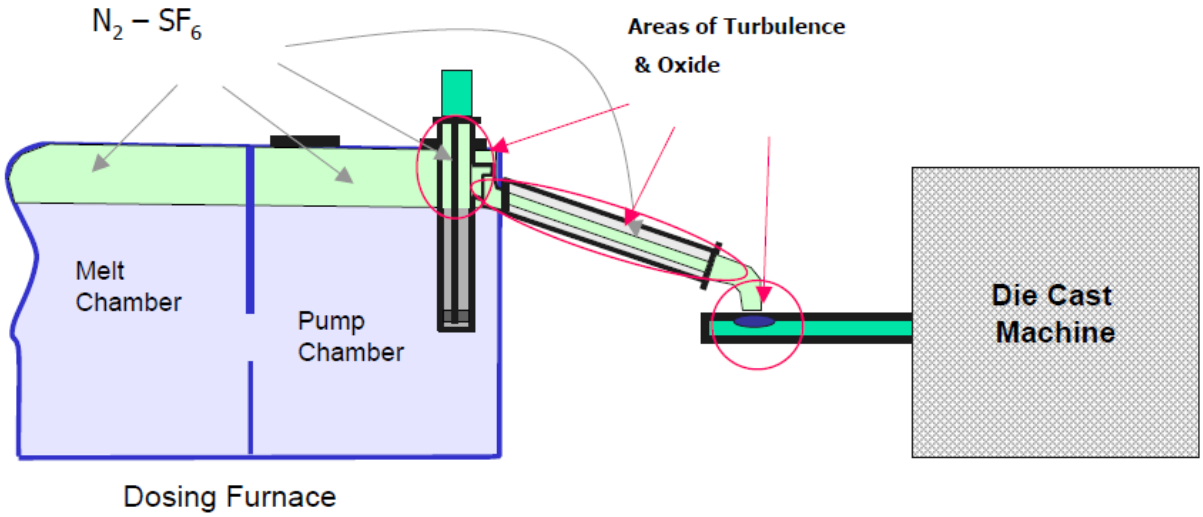
BÖLÜM 4

ERGİYİK MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KORUNMASI

Ergimiş magnezyumun hava ile temasa bırakıldığında, hızla oksitleneceği bilinen bir gerçektir. Hatta atmosferdeki çok az bir oksijenle bile oksitlenebilir. 700°C'de, oksijenin 5.10^{-54} veya daha yüksek bir kısmi basıncında magnezyumun oksidasyonu görülür. Bu yüzden, termodinamik olarak, magnezyumun oksidasyonundan kaçınmak mümkün olamamaktadır. 450°C'nin altında, magnezyum hala katıyken, metalin oksidasyonu bir problem değildir. Metalin üstünde oluşan oksit tabakası koruyucudur ve oksitlenme hızı zaman bağlı olarak yaklaşık parabolik artış gösterir. Ancak, yüksek sıcaklıklarda (475°C'den sonra) bu film tabakası gözenekli olur ve artık koruyucu değildir. Oksitlenme hızı zamana bağlı olarak doğrusal olmaktadır. Metalin hepsi tükenene kadar oksitlenme olur. Magnezyumun tutuşma sıcaklığının üstünde (bu sıcaklık 623°C'dir), magnezyum havada kontrolsüz bir şekilde yanacaktır. Bu durum için bugün en yaygın çözüm, magnezyum ergiyiğinin bir koruyucu gaz ile kaplanmasıdır. SF_6 ve SO_2 magnezyum ergiyiğinin korunmasında bu görevi yerine getirmektedir. Ancak, bu gazların kullanımı ile ilgili bazı problemler mevcuttur. SF_6 gazı dünyanın küresel ısınmasına sebep olacak, güçlü bir sera etkisi potansiyeline sahiptir. SO_2 gazı ise zehirlidir ve tesis içinde, çevresi için koroziftir [7].

Magnezyum döküm endüstrisi yıllardır ergiyik metal oksidasyonunu kısıtlamak için yöntemler aramaktadır. Magnezyumun yüzeyinde koruyucu tabaka oluşturan gazlar zaten yirminci yüzyılın başlarında bulunmuştur. Ergiyik magnezyumun koruması için florin içeren gaz halindeki atmosfer uygulanması 1930 yılında ortaya çıkmıştır. 1934 yılının patenti (Reimers) SF_6, BF_2 ve SO_2 gazları ile ilgilidir. 60'lı yılların sonları ve 70'li yılların başlarında yapılan yoğun araştırmalar, magnezyum ergiyiğinin korunması için

florin içeren gazların endüstride uygulanmasının temeline katkıda bulunmuştur. Flux olmadan ama SF_6 uygulaması ile yapılan ergitme denemeleri 1977 yılında yapılmıştır ve SF_6 gazı, daha önce kullanılan zehirleyici SO_2 gazının yerine geçerek, koruyucu gaz uygulamalarında kullanılmasında büyük gelişmeler olmuştur [1].



Şekil 4. 1 Koruyucu gaz karışımlarının basınçlı döküm prosesinde kullanıldığı kısımların şematik gösterimi

Geçen on yılda, SF_6 içeren koruyucu gaz karışımı ile korumanın magnezyum ergitmesinde kullanılması endüstriye girmiştir ama SF_6 gazı, sera gazı için yüksek potansiyele sahiptir ve CO_2 ile karşılaştırırsak 23 900 gibi yüksek bir küresel ısınma potansiyeli (GPW) değeri ve 3200 yıllık uzun bir atmosferik ömrü vardır [3-4]. Bunun anlamı atmosferde 1 kg SF_6 bulunması 24 ton CO_2'nin oluşturduğu sera etkisine eş bir değer sağlamaktadır. Bu gazın koruyucu gaz karışımındaki genel kullanımının karşılığı 1 ton magnezyum dökümünde 24 ton CO_2 salınıma eşdeğerdir[12]. Bu yüzden, magnezyum endüstrisi SF_6 gazı yerini alabilecek yeni bir gaz arayışındadır. FRUEHLING ve HANAWALT SF_6 içeren koruyucu gazların ergimiş magnezyumu korumasındaki etkilerini çalışmışlardır ve SF_6'nın koruma prosesi sırasında tüketildiğini bulmuşlar, SF_6'nın MgO yüzeyine emilimi ergiyiği gelecek oksidasyondan korumakta olduğunu sunmuşlardır. CASHION SF_6 içeren koruyucu atmosferde oluşan yüzey filminin MgO ve MgF_2 fazlarının karışımı olduğunu ve film kalınlığının 1 µm ve 2 µm arasında değiştiğini bildirmiştir. Pettersen ve arkadaşları F içeren koruyucu gazların, yüzey filmlerinin

mikroyapı karakteristiklerini XRD, EPMA ve TEM kullanarak analiz etmişler ve SF_6 içeren karışım gazlarının magnezyum ergiyiğine uzun zamanlı maruz kalması, film kalınlığını artan MgF_2 konsantrasyonu ile arttırdığını bulmuşlardır. Aarstad MgF_2 içeren moleküllerin MgO film ve magnezyum esas kısmı arasında ara yüzde oluştuğunu ve moleküllerin toplam filmin %25-50'sini kapsayana kadar büyüyeceğini belirtmiştir [3-4].

Magnezyum oksit filminin, ergiyik magnezyumu daha sonraki oksidasyondan korumayacağı bilinmektedir bunun sebebi Pilling-Bedworth oranı yani magnezyum oksidin mol hacminin ve magnezyumun eşdeğer miktardaki mol hacminin uyumsuzluğudur. Magnezyum oksit filminin Pilling-Bedworth oranı 0.73 olduğu için, magnezyum iyonu gözenekli oksit filminin içinden difüzyonla, numunelerin yüzeyinde oksijenle reaksiyona gidebilir. Pilling-Bedworth oranı 1.29 olan bazı MgF_2 içeren moleküller filmde oluştuğunda, bu film yoğunlaşır ve ergiyik yüzeyini etkili bir şekilde koruyabilir [3-4].

Metalin oksidi ve metalin kendisi arasındaki hacim oranı olan Pilling-Bedworth oranı bir oksit filminin koruyucu olup olmayacağını belirlemede kullanılabilir. Eğer oksit/metal hacim oranı birden azsa, oksit tüm metal yüzeyini kaplayamayacak ve oksit film bu yüzden koruyucu olmayacaktır, reaksiyon durmayacaktır. Diğer yandan, eğer hacim oranı birden yüksek olursa, film yüzeyi kaplayacak ve koruyucu olacaktır. Ancak oran birden daha fazla ise, film içinde gerilme büyüyecek ve film kırılabilecektir. Bu oran sınırlı bir geçerlilik sağlamaktadır. Yüzey özellikleri esas metal kısmından farklıdır. Hem de, yüzeyde bazı atomların yeniden düzenlenmesinin olabileceği hesaba katılmaz. Bu yüzden, Pilling Bedworth oranı basit bir atomik yapısı olan metaller için örneğin alkali ve alkali toprak metalleri için geçerli, karışık atomik yapısı olan metaller için örneğin Ti, Nb ve Ta geçerli değildir [7].

Koruyucu olarak bilinen tüm gazlar (SF_6, SO_2 ve CO_2), uygun Pilling-Bedworth oranına sahiptir, magnezyuma teması ile sırasıyla MgF_2, MgS ve $MgSO_4$ veya $MgCO_3$ oluşturacakları varsayılır [7].

İlk olarak, magnezyum ve havadaki oksijenin reaksiyonu ile numunenin yüzeyindeki film yalnızca MgO yapısı içerir. Ancak, sistemdeki termodinamik bakış açışı ile MgF_2 MgO'dan daha kararlı bir faz olduğundan, magnezyum iyonları MgF_2 oluşturmak için

devamlı florünle reaksiyona girebilir ve filmdeki MgF_2'nin konsantrasyonu, tutma süresi ile artar. Florin atomları yüzey filminden içeriye, oksit film ve esas metal arayüzeyine MgF_2 parçacıkları oluşturmak için ta ki difüzyon parçacıklar tarafından durdurulana kadar, difüze olabilir. Bu sırada, magnezyum iyonlarının film yüzeyine difüzyonu önlenir [3].

Metal ergime sıcaklığı, oksidasyon prosesinde önemli bir rol oynar. Özellikle 660 ºC'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde, oksidasyon artar ve metal banyosunun yüzeydeki koruyucu tabakanın kısmi bozunmasına sebep olur. Bu yüzden metal banyosunun mümkün olan en düşük sıcaklıkta tutulmasını sağlamak ve aşırı ısıtmadan kaçınmak önemlidir [1].

Magnezyumun yüksek buhar basıncı metal buharlaşırken, ergiyik üzerinde bir koruyucu film oluşmamışsa problem olmaktadır. Bu yüzden, magnezyumun oksidasyonundan bir durağan atmosfer kullanarak kaçınmak mümkün değildir. Gulbransen [1945], ergiyiği buharlaştırmadan koruyan filmin hem de metalin oksidasyonunu engellediğini bulmuştur [7].

Oksit filmi ince olduğunda, yüzey boyunca kuvvetlerin yalnızca iki yönden etki ettiği ve filmin buradaki gerilme kuvvetine dayanabilecek güçte olduğu sunulmuştur. Kuvvetler üç boyutta etki ettiğinde problemler başlar [7].

Ergiyik magnezyum, koruyucu tozla (flux) veya koruyucu gazla (fluxless) olmak üzere iki şekilde korunabilmektedir. Ancak sıvı metalin koruyucu tozla korunması, korozyon direncini düşüren bazı kalıntıların parça içinde kalmasına neden olduğundan, son zamanlarda basınçlı döküm prosesi için yapılan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Koruyucu tozlar kullanım sırasında korozif HCl ve $MgCl_2$ dumanı salınımına sebep olur. Bu duman flux kirliliği dökümün korozyon direncini azaltır ve metal içerisinde bir çamur oluşturarak, eriyiği kütle kaybına uğratır. Dolayısıyla maliyeti olumsuz etkiler. Bu sebeplerden fırın içerisinde bir koruyucu gaz sisteminin kullanılması gereklidir.

Koruyucu toz olarak $MgCl_2$, KCl, NaCl, $CaCl_2$, $BaCl_2$ tuzlarından oluşan bir karışım kullanılırdı. Daha sonraki gelişmelerle BaF_2, MgF_2, CaF_2 ve MgO gibi katkılarda bu karışıma eklenmiş ve korozyon direncini düşüren etkiler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır [10].

4.1 Koruyucu Gaz Karışımları

Bir metalin, katı veya sıvı, çevresi ile reaksiyona girip bu şekilde bir koruyucu tabaka oluşturulması önemlidir. Alüminyum üzerindeki alüminyum oksit buna bir örnektir. Ergimiş magnezyum üzerindeki koruyucu tabaka buharlaşmayı da önlemelidir. SF_6, SO_2, HFC-134a, Novec612, Ar, N_2, CO_2, BF_3 ile alaşım içine berilyum ilavesi koruyucu etki göstermektedir ve koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır.

Argon bazı kokil kalıba döküm yöntemlerinde, koruyucu atmosferlerde kuru havanın yerine kullanılabilen bir taşıyıcı gazdır. Basınçlı kalıp yöntemlerinde bu soy gaz kullanılmamalıdır. Kokil kalıpla döküm yönteminde kullanılabilmesinin sebebi basınçlı döküme göre ergitme, tutma ve dökme proseslerinin daha açık bir şekilde yapılmasıdır. Sıvı magnezyumun yüksek buhar basıncı, kapalı ortamlarda magnezyumca zengin bir atmosfer oluşumuna sebep olur ve argon denendiğinde, ekipmanların iç yüzeyinde çok ince bir katı magnezyum tabakası oluşumuna sebep olur. Bu ince tabakanın da havayla temas eden kısımlarında patlayıcı reaksiyon meydana gelebilir. SF_6 ise ergiyik magnezyumun buhar basıncını ve ekipmanların iç yüzeyinde ince katı magnezyum filminin oluşum eğilimini düşürmektedir. Bu eğilim karışıma az miktar oksijen ilavesi ile de bir miktar daha düşürülmektedir, ekipmana gönderilen oksijen buharlaşan magnezyumun oksitlenmesine sebep olur ve bu iç yüzeyinde ince katı magnezyum filminin oluşumunu engeller.

SF_6 konsantrasyonunun %0.5'den yüksek olmasından kaçınmalıyız çünkü bu konsantrasyon özellikle yüksek sıcaklıklarda potanın aşınmasına sebep olabilir. Hem de SF_6 konsantrasyonundaki az bir miktar artış potada sert reaksiyonların (patlamanın) sebebi olabilir. Bu yüzden gaz karışımının dikkatli kontrolü zorunludur ve karışım hatalarını saptayan bir alarm kullanılmalıdır. Kaplanmış potalarda yalnız SF_6 kullanılmamalıdır.

Fırın içindeki veya SF_6'yla oluşturulan karışımdaki yüksek nem korumanın verimliliğinin düşürecektir. Bu yüzden öncelikle hava, H_2O'nun hacimce yüzde 0.1'inden daha az olacak şekilde kurutulmalıdır.

%0.5'den %2'ye kadar kuru hava içinde SO_2 kullanımı da koruyucu atmosferler için bir alternatiftir [24].

4.1.1 SF_6'nın Uygulanması

SF_6, 1970'in başlarından beri ergiyik magnezyum için koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır.

SF_6 ergiyiği korumak için kullanıldığında daima diğer gazlarla, genellikle hava, azot veya CO_2 ile karıştırılır. Gaz karışımının ergiyiğe yeterli korumayı verebilmesi için yeterli miktarda SF_6 içermesi önemlidir ama bu miktar hem çevreyi korumak hem de gaz maliyetlerini azaltmak için minimumda tutulmalıdır. Bir dökümcü için hava, N_2 veya CO_2 içinde SF_6 yoğunluğunun hacim olarak %0.2 ile %0.3 aralığında olması önerilir. Elde edilmesi zor olan ideal şartlar altında, SF_6'nın hacimce minimum oranı %0.04 olarak önerilmiştir. İşlem görmüş ergiyik magnezyumun hacminin düşük olması nedeniyle döküm işlemlerinde kullanılan SF_6'nın toplam hacmi, birincil ergitme işlemlerinde kullanılandan çok daha düşüktür.

SF_6'nın ergiyik magnezyumu nasıl koruduğuna dair çeşitli mekanizmalar sunulmuştur. SF_6 gazı ince, yoğun ve devamlı olan bir MgO filminin oluşumuna katkıda bulunur. Bu film hiçbir oksijenin geçişine izin vermez ve bu yüzden oksidasyonla ilgili problem engellenir. SF_6 gazı magnezyum yüzeyini "ıslatmaya" yardımcı olur. Bunun anlamı, SF_6 gazı MgO'in magnezyum yüzeyiyle yapışmasını sağlar ve oksijenin sıvı metale ulaşmasını engelleyen bir yapışık, koruyucu film tabakası oluşturur. Ergiyik magnezyum ve SF_6 arasındaki bu filmin araştırılması amacıyla çeşitli araştırmacılar çalışmalarda bulunmuştur.

Ergiyik magnezyumda oluşan başlangıç filminin kazınmasıyla, Cashion [1998], taze magnezyumu istenilen atmosfere maruz bırakmıştır. Ergitmenin yapıldığı fırın deney başlarken uygun atmosfer şartlarına sahip olması deneyin koşuludur. Numune deney bittiğinde soğuk bir bölgeye alınır. X-Ray fotoelektron spektroskopisi (XPS), numuneleri analiz etmek için kullanmış ve oluşan filmde MgO ve MgF_2'ye rastlanmıştır, sülfür tespit edilmemiştir.

Walzak ve arkadaşları [2001], ergiyik magnezyum ve SF_6 arasındaki başlangıç reaksiyon ürünlerini çalışmak için farklı bir yöntem kullanmıştır. Kuru hava içinde %1 SF_6, ergiyik magnezyum içine kabarcıklar yapması için gönderilmiş, bunu metal içeren potanın hızla soğutulması izlemiştir. Metal ve gaz kabarcıkları arasında oluşan ara yüzün döküm ve

nakliye sırasında ergiyik magnezyumu koruması için kullanılan SF_6 gazı ile oluşturulan koruyucu filmin aynı film olduğunu varsaymışlardır. Numuneyi SEM/EDX ve Lazer Raman Spektroskopi ile inceleyebilmek için numune gaz kabarcıklarıyla temas ederken kesilmiştir. Yüzeyden içeriye boşluklar oluşmuştur ve magnezyum, oksijen ve florin bulunmuştur. Yüzeylerde küçük magnezyum oksit parçacıkları ile kaplı florin içeren bir magnezyum oksit tabakası görülmüştür. Ayrıca florinle bağlantılı olmayan sülfür de bulunmuştur [7].

Pettersen ve arkadaşları [2002], SF_6 atmosferi altında oluşan filmleri Xray difraksiyonu, elektron prob mikroanaliz (EPMA) ve transmisyon elektron mikroskopu (TEM) kullanarak incelemişlerdir. 5 dakika koruyucu atmosfere maruz kalarak oluşan film yaklaşık 100 nm kalınlığında ve yoğun gözükmüştür. TEM sonuçlarına göre yalnızca MgO fazı bulunmuştur ama mikroskop analizine göre magnezyum ve oksijene ilave olarak ayrıca önemli bir miktar florin de filmde görülmüştür [7].

Fruehling [1970], 690°C'de %0.05 SF_6'nın hava ile karışımının ergiyiği korumasına yeterli olacağını, 660°C'de bu değerin %0.02 olacağı bulunmuştur. Busk and Jackson da [1980], havadaki SF_6 miktarını düşürmek için bazı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre, %0.02 hacim yüzdesinde SF_6 ergimiş metali 650 °C'de korumak için yeterlidir, sıcaklık 705°C ve 815°C arasında iken SF_6'nın miktarı %0.04 ve %0.06 arasında olmaktadır. Erickson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [1998], SF_6'nın 650 ile 705 °C %0.04 miktarında olması önerilmiştir. Gjestland, Westengen and Plathe [1996], aynı sınırları vermiştir ve onlar Uluslararası Magnezyum derneği tarafından verilen değerleri uygulamışlardır. Farklı çalışmalarda verilen minumum SF_6 miktarı laboratuvar deneylerinden elde edilen bilgilerdir, uygulamada ihtiyaç olan miktar muhtamelen yüksek olacaktır. Bir ergitme tesisi veya bir döküm işlemi, laboratuvardaki gibi veya kontrol edilen koşullardaki gibi ideal olmayacaktır [7].

S.P. Cashion, N.J. Ricketts, P.C. Hayes [2002], tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, kontrol altındaki laboratuvar koşullarında ergiyik magnezyum üzerinde reaksiyon film numuneleri oluşturulmuştur. Havada %0.1, %0.3 ve %1 SF_6 içeren koruyucu atmosfere 1, 10 ve 100 dakika maruz bırakılarak oluşan film incelenmiştir. Filmde yalnızca MgO ve MgF_2 kimyasal birleşimlerine rastlanmıştır. Sülfür ve sülfür içeren

bileşime rastlanmamıştır. Yüzey filmindeki florin konsantrasyonunun koruyucu atmosferdeki SF_6 miktarının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Yüzey filminde kimyasal türlerin segregasyonu bulunmamıştır ve film kalınlığı parabolik bir hız ile artmaktadır. Tipik film kalınlığının bir mikrondan daha az olduğu tespit edilmiştir [8].

Cashion SF_6 içeren atmosferlerde oluşan yüzey filmlerinin MgO ve MgF_2'den oluştuğunu ve film kalınlıklarının 1 µm and 2 µm arasında değiştiğini bulmuştur. SF_6'nın yoğunluğu %0.1den %1'e artmasıyla florür miktarının arttığını ve film kalınlığının da temas zamanın artması ile arttığını belirtmiştir. İyon demeti fışkırtmasını kullanarak, 1 dakika ve 1 saat hava ve %0.3 SF_6'ya maruz kalmasıyla film kalınlığının sırasıyla 80'den 500 nm'ye arttığını bulmuştur. Ayrıca filmin bileşimi kalınlık içinde uniform olduğunu belirmiştir. Cashion SF_6'nın SF_4, F ve SO_2F_2'ye ayrışacağını ve bu türlerin koruyucu MgO/MgF_2 filmi oluşturmasında aktif görev yapacaklarını belirtmiştir. Daha sonra Cashion, SF_6 içeren atmosferlerin, MgO parçacıkları ve ergiyik magnezyum arasında ıslanmayı geliştirdiğini, MgO ve MgF_2 parçacıklarının daha yoğun oluşmasına izin verdiğini, kapiler kuvvetlerin etkisi altında esnek yüzey filmi oluşturduğunu sunmuştur. Bu sonuçlar bir ölçüde Pettersen ve arkadaşları tarafından da onaylanmıştır [6, 20, 21].

Aarstad ve arkadaşları SF_6 ile korunan magnezyumun yüzeyini araştırmışlardır. Tutma süresi 5 dakika ile birkaç saat aralığındayken, film kalınlığının 0,3'ten 3 µm'ye arttığını bulmuşlardır. Ayrıca film kalınlığının tutma sıcaklığının artması ile de arttığı belirtilmiştir. MgF_2 içeren geniş parçacıklar oksit filmi ve ergiyik magnezyum arasındaki ara yüzde oluşur. Bu lekeler toplam yüzey alanının %25-50'sini kaplayana dek büyür [22].

Couling saf magnezyumun ve AZ91B alaşımının SF_6 içeren atmosferde korunmasını araştırmıştır. SF_6'nın koruma işlemi sırasında tüketildiğini bulmuştur ve bu SF_6'nın MgO yüzeylerine emilimine veya MgF_2 oluşturan bir reaksiyona sebep olmaktadır. Couling saf magnezyumun yanmaktan alüminyum ve berilyum içeren alaşımlara göre daha zor korunduğunu belirtmiştir. Bunu alüminyumun magnezyumun buharlaşmasını düşürmesine ve berilyumun oksitlenmeyi engelleyici etkisine bağlamıştır [6].

4.1.1.1 SF_6 ve N_2 Karışımı İle Elde Edilen Sonuçlar

Taşıyıcı gaz olarak SF_6 gazına ilave edilen azot gazının da karışımı koruduğu bilinmektedir. Bu karışımda azot ve magnezyum arasındaki reaksiyonun yavaş olması beklenir. Eğer magnezyum nitrür oluşumu olursa bu gaz fazında gerçekleşir ve magnezyum nitrür yüzeyde değildir. Bu sebeple magnezyum nitrür tabakası koruyucu değildir. Fırın içindeki kirlenme metalin buharlaştığını gösterir, siyah fırın yüzeyi kabul edilemez. Pettersen ve arkadaşları [2002] magnezyumun oksitlenmesinin engellenmesi için magnezyum oksit filminin oluşması gerektiğini belirtmiştir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi MgO oluşabilmesi için elde az miktarda oksijen mevcuttur bu oksijen sızıntıdan gelen ve tahliye sırasında ortamda kalan oksijendir. Termodinamik hesaplamalara göre azot taşıyıcı gaz olarak kullanıldığında yalnızca magnezyum florür ve sülfür oluşmalıdır ve yüzeyde büyük miktarda florin bulunmalıdır. Yeterli gaz mevcut olduğunda, sülfitten daha fazla florürün oluşması beklenmektedir. Bu durum MgF_2 oluşturan fırın içine doğru yeterli gaz akışının olduğunu gösterebilir. Diğer gaz karışımları ile yapılan deneylerdeki numunelere kıyasla, daha fazla sülfür bulunmaktadır. Bu sülfür daha sonra sülfid olarak bulunabilir [7].

Çizelge 4. 1 Ergiyik magnezyumun 5 dakika için N_2 ve %1 SF_6 karışımının maruz kalması ile oluşan bileşimin yüzdesel dağılımı [7]

	C	S	O	F	N	Mg
5 minutes	0.7 ± 0.1	5.9 ± 1.3	13 ± 1	46 ± 4	0.7 ± 0.7	33 ± 2

Bu karışım ile fırın kirlenmektedir. Beyaz bir toz etrafı kaplar ve numune yaklaşık 1 mm olan kalın bir katmanla kaplanır. En üst yüzey katmanı siyah ve diğer katmanlar beyazdır. Çizelge 4.1'de görebildiğimiz gibi yapılan deneylerde azot çok az bir miktar tespit edilmiş ama önemli bir miktar florin, yüzeyde bulunmuştur. Yüksek miktarda bulunan oksijen ise şaşırtıcı olduğu vurgulanmıştır çünkü fırın atmosferinde çok az bir miktar oksijen olması gerekirdi. Yapılan çalışmadaki bileşim oranları MgF_2'nin MgO'dan daha fazla olduğunu göstermiştir. Fırın açıldığı zaman Mg_3N_2 oluşması ve MgO'ya dönüşmesi muhtemeldir. Mg_3N_2 buharlaşan magnezyum ve azot arasındaki reaksiyonla gaz fazında oluşmaktadır [7].

4.1.1.2 SF_6 ve Kuru Hava İle Elde Edilen Sonuçlar

Fruehling [1970] 690 °C'de %0.05 SF_6'nın hava ile karışımı ergiyiği korumak için yeterli olacağını belirtmiştir. 660°C'de bu değerin %0.02 olacağı belirtmiştir. Busk and Jackson da [1980] havadaki SF_6 miktarını düşürmek için bazı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre, %0.02 hacim yüzdesinde SF_6 ergimiş metali 650 °C'de korumak için yeterlidir, sıcaklık 705°C ve 815°C arasında iken SF_6'nın miktarı %0.04 ve %0.06 arasında olmaktadır. Erickson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [1998], SF_6'nın 650 ile 705 °C %0.04 miktarında olması önerilmiştir. Gjestland, Westengen and Plathe [1996], aynı sınırları belirtmiş ve Uluslararası Magnezyum derneği tarafından verilen değerleri uygulamışlardır [7].

S.P. Cashion, N.J. Ricketts, P.C. Hayes [2002], tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, kontrol altındaki laboratuvar koşullarında ergiyik magnezyum üzerinde oluşan film numuneleri oluşturulmuştur. Havada %0.1, %0.3 ve %1 SF_6 içeren koruyucu atmosfer ve 1, 10 ve 100 dakika zamanlarında oluşan film incelenmiştir. Filmde yalnızca MgO ve MgF_2 kimyasal birleşimlerine rastlanmıştır. Sülfür ve sülfür içeren bileşime rastlanmamıştır. Yüzey filmindeki florin konsantrasyonunun koruyucu atmosferdeki SF_6 miktarının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Yüzey filminde kimyasal türlerin segregasyonu mevcut değildir ve film kalınlığı bir parabolik eğriyi takip ederek, zaman ile artmaktadır. Tipik film kalınlığının bir mikrondan daha az olduğu tespit edilmiştir [8].

Cashion SF_6 içeren atmosferlerde oluşan yüzey filmlerinin MgO ve MgF_2'den oluştuğunu ve film kalınlıklarının 1 µm and 2 µm arasında değiştiğini bulmuştur. SF_6'nın yoğunluğu %0.1den %1'e arttırılmasıyla, florür miktarının da arttığını ve film kalınlığının da tutma zamanın artması ile arttığını belirtmiştir. İyon demeti fışkırtmasını kullanarak, 1 dakika ve 1 saat hava ve %0.3 SF_6'ya maruz kalmasıyla film kalınlığının sırasıyla 80'den 500 nm'ye çıktığını belirtmiştir. Ayrıca film bileşiminin kalınlık içinde uniform olduğunu belirmiştir. Cashion SF_6'nın SF_4, F ve SO_2F_2'ye ayrışacağını ve bu türlerin koruyucu MgO/MgF_2 filmi oluşturmasında aktif görev yapacaklarını sunmuştur. Daha sonra Cashion SF_6 içeren atmosferlerin, MgO parçacıkları ve ergiyik magnezyum arasında ıslanmaya katkıda bulunduğunu, MgO ve MgF_2 parçacıklarının daha yoğun oluşmasına izin verdiğini, kapiler kuvvetlerin etkisi altında esnek yüzey filmi

oluşturduğunu belirtmiştir. Bu sonuçlar bir ölçüde Pettersen ve arkadaşları tarafından da onaylanmıştır [6, 20, 21].

Genellikle %0.1, %0.3 ve %1 SF_6 içeren hava/SF_6 koruyucu gaz karışımı altında oluşan reaksiyon filmi analiz edilmiştir. Çoğunlukla %0,3 SF_6 konsantrasyonu ticari uygulamalarda kullanılan miktardır. Koruyucu gaz temas süresi 1, 10 ve 100 dakika olarak incelenmiştir. Koruyucu gaz içindeki belirli bir miktar SF_6 için 1'den 100 dakikaya maruz kalma süresi arttıkça film içindeki oksijen, magnezyum ve florin konsantrasyonu değişimi üzerine önemli bir etkisi yoktur.

Havada %0.3 SF_6 içeren koruyucu bir atmosfer altında oluşturulan film numunelerinde başlangıç oksidasyonun düzensiz olması nedeniyle, oda sıcaklığında bile, magnezyumun yüzeyinde ince, yapışkan ve uniform bir MgO tabakası oluşacaktır. Daha kalıcı bir tabaka oluşturmak için, oksidin kalınlaşması ve tüm numune yüzeyini kaplaması gerekmektedir [8].

Katı fazların (MgO MgF_2) bir sıvı matrikse (ergiyik magnezyum) bağlanmasından oluşan bir yüzey tabakasının konsepti hava/SF_6 koruyucu gaza maruz kalmış ergiyik magnezyum üzerinde oluşan bir koruyucu film tarafından sunulan esneklikle uyumludur. Eğer ergiyik yüzeyi olduğu gibi bırakılmayıp dokunulursa, dürtülürse, tamamen katı bu yüzey tabakası kırılmaya maruz kalacaktır, buharlaşmanın ve magnezyumun oksidasyonunun artmasına izin verecektir. Eğer ergiyiğin karıştırılması veya esas metalin karıştırılması ile koruyucu tabaka çatlarsa, bu koruyucu filmin kendini sürekli olarak tamir ettiği bilinmektedir [17].

Aarstad ve arkadaşları SF_6 ile korunan magnezyumun yüzeyini çeşitli teknikler deneyerek çalışmışlardır. Tutma süresi 5 dakikadan birkaç saat aralığında arttıkça, film kalınlığının 0.3 ten 3 µm'ye arttığını bulmuşlardır. Ayrıca film kalınlığının tutma sıcaklığının artması ile de arttığı belirtilmiştir. MgF_2 içeren geniş lekeler oksit filmi ve ergiyik magnezyum arasındaki arayüzde oluşur. Bu lekeler toplam yüzey alanının %25-50'sini kaplayana dek büyür [22].

4.1.1.3 SF_6, Kuru Hava ve CO_2 ile Elde Edilen Sonuçlar

Couling ve arkadaşları SF_6 içeren atmosferlerin saf magnezyum ve AZ91B alaşımının ergitilmesindeki koruyucu etkilerini çalışmışlardır. CO_2 ilavesinin SF_6'nın koruyucu etkisini geliştirdiğini bulmuşlardır. Deneylerinde SF_6'nın tüketildiğini belirtmişler ve iki olası mekanizma önermişlerdir. Bu mekanizmalar; SF_6 bileşimlerinin, MgO yüzey filmine absorbsiyonu ve/veya ergiyiğin MgF_2 oluşturmasındaki gazın direk reaksiyonudur [18].

Bazı araştırmacılar SF_6 gazını, hem hava hem de CO_2 ile karıştırılmasını avantajlı bulmuşlardır. Couling ve Leontis [1980] hava/CO_2/SF_6 karışımının, yalnızca hava ve SF_6 içeren karışımın ergiyik korumasında kullanımında daha avantajlı olabileceğini belirtmiştir. Bu karışım; hava, %30-70 CO_2 ve %0.15-0.4 SF_6 'dan oluşmaktadır. Farklı bir makalede Couling[1979] de havanın ve CO_2'nin aynı oranını önermiştir. Øymo ve arkadaşları [1992] %20 CO_2, %0.2 SF_6 ve kuru havadan oluşan gaz karışımını tercih etmiştir. Argo ve Lefebvre [2003] çalışmalarında özel bir alaşım olan AJ52 kullanmalarına rağmen, taşıyıcı gaza CO_2 ilavesinin avantajlı olduğunu belirtmiştir [7].

İdeal CO_2 ve SF_6 konsantrasyonları ergime sıcaklıklarına bağlıdır ama genellikle CO_2 için % 30-70 ve SF_6 için %0.15-0.4 aralığında olmaktadır. En iyi koruma, metal üstüne hiçbir cüruf kalıntısı olmadığında sağlanmaktadır. CO_2 bir basınçlı tanktan, koruyucu atmosferin içine ölçülerek gönderilir (akış metrelerinin içinden); alternatif olarak, kuru buzun CO_2 kaynağı olarak kullanılması da uygundur. Ergimiş magnezyumun varlığında hafif bir ölçüde CO_2 ve SF_6 ayrışır ve sonuç olarak CO ve HF bileşimi koruyucu atmosferde saptanır. Metal korunmasında hava/SF_6 veya hava/CO_2/SF_6 kullananlar çalışma alanını havalandırmalıdır ve bu bozunmadan oluşan zehirli gazlar sık sık gözlemlenmelidir [19].

Hava/CO_2/SF_6 içeren gaz karışımlarını kullandığımız zaman yalnızca hava ve SF_6 kullandığımız gaz karışımlarına göre çok bariz bir avantajını görmek zordur. CO_2 ilavesinin ergiyik korumasını geliştirdiği söylenmektedir ancak kullanılan SF_6 miktarı da yükselmektedir. Bu yüzden %0,04 SF_6 ve hava karışımı ile zaten yeterli koruma elde edebiliyorsak, neden CO_2 ilave edip, SF_6 miktarını daha da arttıralım ki? [7]

4.1.2 SO_2'nin Koruyucu Gaz Olarak Kullanımı

Ergiyiğin korumasını sağlayacak hava içinde olması gereken SO_2 konsantrasyonu literatürde değişiklik gösterir. Hanawalt [1972], aynı korumayı vermesi için havada SO_2 yoğunluğunun SF_6 yoğunluğuna göre dört veya beş kat daha fazla olması gerektiğini makalesinde belirtmiştir. Eğer %0.04 yoğunluğunda bir SF_6 ergimiş metali korumak için kullanılıyorsa, bunun anlamı %0.2 SO_2 aynı ergiyiği koruyacak demektir. Diğer yandan, Busk and Jackson [1980] %1-2 SO_2 gerektiğini söylüyor. Bu Hanawalt tarafından verilen değerden 10 kat daha yüksek bir katsayıdır. Cashion [1998] bu konuda Loose'nin çalışmasına [1946] atıfta bulunur. Onun çalışmasına göre %0.5 SO_2, magnezyumu oksidasyondan koruyacaktır. Aleksandrova ve Roshchina [1977] havadaki yaklaşık %1 SO_2'nin 700 °C civarında sıcaklıklarda koruyucu bir film tabakası oluşturmasına yeterli bir miktar olduğunu belirtmiştir [7].

G. Pettersen'ın yaptığı bir çalışmaya göre, 700°C'de 3-5 dakikalığına %1 SO_2'ye maruz kalan üç numune filminin kalınlığı 60, 120 ve 350 nmdir ve araştırılan numunenin farklı kısımlarında önemli kalınlık değişimi olmamıştır. Filmlerin en dıştaki kısmı diğer kısımlarından daha yoğun olduğu görülmüştür [6].

M. Holtzer, A. Bobrowski (2008)'ın çalışmasına göre, karıştırılmamış ergiyikte SO_2'nin konsantrasyonu %0.7'dir ve hava akışının içindeki debisi 5 ile 10 dm^3/dak'dır. Ergitme fırınları veya basınçlı makinelerde ölçüm fırınları gibi kapalı fırınlarda (hava geçiren) saf SO_2 uygulanır. Çevresinden fırına giren az miktarda hava korumanın gelişmesi için gereklidir. Azotun taşıyıcı gaz olarak kullanılması önerilir çünkü bu bir asal gazdır. Böyle bir durumda, koruyucu karışım %1-2 SO_2 içerir [1].

Aleksandrova ve Roshchina [1977] magnezyum ve kükürt dioksit arasında aşağıdaki reaksiyonun oluştuğunu belirtmiştir [7];

$3\ Mg + SO_2 = 2\ MgO + MgS$

$MgS + SO_2 = MgSO_4 + S_2$

İlk adımda, magnezyum sülfit oluşur. Bu sülfit SO_2 ile magnezyum sülfat veren bir reaksiyona girer. Buradaki reaksiyonlar 600°C'de gözlemlenmiştir. 700°C'de ana

ürünler magnezyum oksit ve kükürttür. Daha yüksek sıcaklıklarda, 750°C'de, magnezyum oksit ve magnezyum sülfit oluşur.

Kubaschewski ve Hopkins'in [1953] SO_2'nin neden magnezyumu oksidasyondan koruduğuna dair kısa bir açıklaması vardır. Metal yüzeyinde sülfatlar ($MgSO_4$) oluşur ve bu sülfatlar metale göre yüksek bir özgül hacme sahiptirler (Pilling-Bedworth oranı). Bunun anlamı, sülfatlar metal yüzeyini tamamen kaplayabilir ve bu yüzden oksidasyonu engeller [7].

Xian-Fei Wang ve Shou-Mei Xiong çalışmasında, magnezyum oksidin şekil yapısının, kimyasının ve kalınlığının; zamana, koruyucu gazdaki SO_2 konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlı olduğunu belirtmiştir. Oksit filminin kalınlığı zamanla ve SO_2 konsantrasyonunun artması ile artar. Kısa zamanda veya düşük SO_2 konsatrasyonlarında oluşan koruyucu tabaka en fazla MgO içerir ve düzgün bir şekil yapısı vardır. Tersine, uzun zamanda veya yüksek SO_2 konsantrasyonlarında oksitlenme ile oluşan koruyucu tabaka üç katmanlı ağ şekil yapısından oluşur, bunlar $MgSO_4$'ten oluşan en dış tabaka, MgO ve $MgSO_4$'ten oluşan orta tabaka ve MgO ile MgS'ten oluşan bir iç tabakadır. %0.5 SO_2 koruyucu gaz içinde 730°C sıcaklıkta oluşan koruyucu tabakanın kalınlığı 700 ve 800°C'de oluşan tabakadan daha geniştir. Yukarıda bahsedildiği gibi 730°C'de oluşan koruyucu tabaka, üç katmandan oluşmuştur. Oysa 700 ve 800°C'de oluşan tabaka düşük S konsantrasyonlarında iki katmandan oluşmaktadır bunlar MgO ve $MgSO_4$'ten oluşan bir dış tabaka ve MgO ve MgS karışımından veya yanlızca MgO'den oluşan bir iç tabakadır. 700 ve 800°C'de oluşan koruyucu tabaka bir ağ yapısına sahipken 730°C'de oluşan koruyucu tabakanın yüzeyi düzgün, pürüzsüzdür [20].

680 °C'de farklı zamanlarda %0.5 SO_2 altında tutulan numunelerin yüzey görünüşleri WANG Xian-fei ve XIONG Shou-mei (2010) tarafından araştırılmıştır. 10 dakika maruz kalma ile ilk koruyucu film oluşur ve tüm yüzey filmleri bir ağ yapısındadır, tutma süresi yükseldikçe sınır alanı, iç alanlardan daha püskürük olur. Ayrıca 3 dakika sürede oluşturulan filmler yalnızca magnezyum ve oksijen içerir. Oksijen ve kükürt içerikleri tutuş süresinin artışı ile artar, oysa magnezyumun içeriği tutuş süresinin artması ile azalmaktadır. Bu yüzden, numune yüzeylerinde ilk olarak MgO'in ince bir tabakası ve

ardından tutuş süresi arttıkça MgS oluşur. Tutma süresi 90 dakikaya ulaştığında, oksijen içeriği magnezyum içeriğini aşar ve magnezyum içeriği MgO ve MgS ile oksijen ve kükürt içeriğini dengeleyemez. MgS termodinamikte kararlı değildir ve $MgSO_4$ şeklinde kısmen oksitlenme gösterebilir.

Koruyucu filmin oluşum prosesi aşağıdaki gibi sonuçlanır; ilk aşamada, atmosferdeki oksijen ve magnezyum arasında birincil reaksion ile numunelerin yüzeyinin üzerinde yanlızca MgO içeren film oluşumu. MgO filmi gözenekli iken ve yoğun değilken, SO_2 ve O_2 molekülleri filmdeki makro ve mikro deliklerden geçebilir ve magnezyum ile MgS oluşturan reaksiyona girebilir. MgO ve MgS bileşiklerinin katmanları oluştuğunda, magnezyum iyonlarının dışarıya difüzyonu filmin büyümesini kontrol eder. MgS içindeki magnezyum iyonlarının difüzyon hızı MgO içindekinden daha hızlıdır, film içindeki değişik MgS içerikleri ile farklı alanların büyüme hızı değişiktir, sonuçta, film bir ağ yapısı şeklinde oluşmuştur [4].

SF_6 tüketimini kısıtlayan çok sayıda olasılık vardır; ancak, bu gazın toptan ortadan kaldırılması bazı durumlar sebebiyle mümkün gözükmüyor. Mesela fırın tamirlerinde SF_6 kullanılması gereklidir çünkü SO_2 çalışanlarının sağlığı için büyük bir tehlike oluşturur. Bunun dışında, SO_2 nihai magnezyum yangın söndürme işlemi için kullanılamaz [1].

SO_2 solunduğunda zehirlidir. Uzun vadeli etkileri akciğer hasarı ve mutajen olabilir. SO_2 ayrıca korozif bir gazdır. Bu gazın kullanıldığı yerde ekipmanların korozyonu ve bina içindeki malzemelerin korozyonu sorununu oluşabilir. İlaveten, SO_2 asit yağmurlarının oluşmasına da katkıda bulunur [7].

4.1.2.1 SO_2+N_2'nin Koruyucu Etkisi

Argo ve Lefebvre [2003] taşıyıcı gaz olarak azot gazının hava yerine SO_2 ile karışımını test etmiştir. Bu testte AJ52 kullanılmıştır (%5 alüminyum ve %2 stronsiyum içerir). Azot içinde %1 ve %2 SO_2 ile yapılan gaz karışımları standart hava/SF_6 karışımlarına göre daha iyi koruma sağlamışlardır [7].

WANG Xian-fei ve XIONG Shou-mei (2010) 680 °C'de 60 dakika, azot atmosferine %4 SO_2 (Hacim konsantrasyonunda) ilavesi ile oluşan yüzey filminin makro yapısını

incelemişlerdir. Numune tamamen korunmamış yüzeyde bazı siyah karnabahar gibi oksitler oluşmuştur. Çalışmalarında, numunenin tüm yüzeyine göre korunan alanın oranı genişledikçe, daha iyi koruyucu etki yapmaktadır. Ergime sıcaklığı yükseldikçe koruyucu etki azalmaktadır ve karnabahar gibi oksitler ilk olarak 680 °C'de gözükmektedir (şekil 4.2). Ergime sıcaklığı 700 °C'ye ulaştığında, numune tamamen korunamaz ve numunenin yüzeyi siyah oksitle tamamen kaplanmıştır. Bu sırada, yalıtılmış fırının iç yüzeyinde bol miktarda beyaz uçucu maddeler vardır. Bunun sebebi magnezyumun buhar basıncının büyük ölçüde artması ve magnezyumun ergime sıcaklığı yükseldikçe buharlaşmaya daha fazla yatkın olmasıdır. Bu yüzden, koruyucu gazların numunelerin yüzeyini koruması daha zor olur. Araştırmalara göre, 680 °C'de numuneler tamamen korunamaz ve SO_2 içeriği koruyucu etkisini kısmen iyileştirebilir [4].



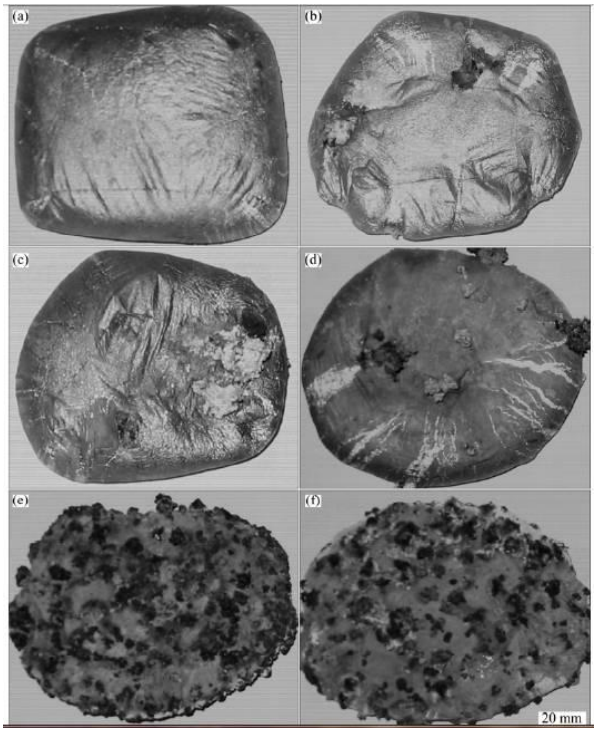
Şekil 4.2 680°C'de 60 dakika %4 SO_2+%96 N_2 içinde tutulan bir film numunesinin makro yapısı[4]

4.1.2.2 SO_2 + Kuru Hava'nın Sonuçlara Etkisi

WANG Xian-fei ve XIONG Shou-mei (2010) koruyucu gaz içine hava ilavesinin ergiyik magnezyum alaşımını koruyucu etkisi incelemiştir.

Şekil 4.3'te 680 °C'de 10 dakika %0.5 SO_2 ve N_2 karışım atmosferinin %5, %20, %40, %60, %80 ve %90 hava ile karıştırılması ile oluşan filmin makro yapısını göstermektedir.

Hava içeriği %5 ve %20 iken numunelerin korunamadığı, oysa %40, %60 ve %80 hava koruyucu gaza eklendiğinde yüzeyde oluşan karnıbahar şeklinde oksit tabakası ile numunelerin korunabildiği belirtilmiştir. Koruyucu gazdaki hava içeriği %90'a çıktığında, numune yüzeyi karnıbahar şeklindeki oksit filmi oluşmadan tamamen korunmaktadır. Bu yüzden, ergimiş magnezyum alaşımlarının korunmasında, SO_2 içeren koruyucu gazların içinde yeterli bir miktar olması gerektiği sonucu çıkarılmaktadır [4].



Şekil 4. 3 N_2+%0.5 SO_2 atmosferinde farklı hava oranları ile oluşan koruyucu gaz numunelerinin makro yapısı: (a) %90, (b) %80, (c) %60, (d) %40, (e) %20, (f) %5 [4]

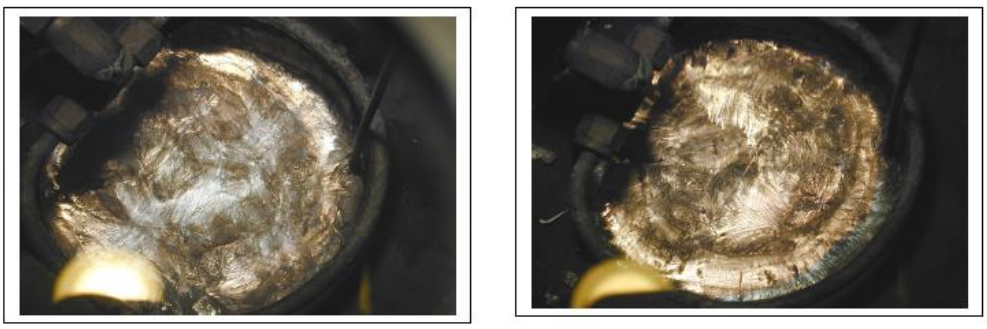
D. Argo ve M. Lefebvre (2003) %0.5, %1 ve %2 SO_2 ile kuru hava karışımının ve %1 ve %2 SO_2 ile kuru azot karışımının koruyucu davranışını araştırmışlardır. CO_2 gaz karışımlarında olduğu gibi, bu gaz karışımları hava/SF_6 koruyucu gaz karışımlarından çok daha fazla etkilidir. SO_2'nin kuru hava ile ve azotla karışımının iki yoğunluğu da (%1 ve %2) AJ52 ergiyik korunmasında mükemmel bir etki göstermiştir.

Deney sonuçlarına göre, %2 SO_2 ile kuru hava karışımı %2 SO_2 ile azot karışımına göre biraz daha kısa zamanda reaksiyon (O_2'nin varlığında) göstermiştir. Azot ile sağlanan koruyucu yüzeyin rengi gri-mavi iken kuru havanın koruyucu yüzeyi siyah lekelerle birlikte, gri-sarı renktedir. Külçe ilaveli testlerde hem %2 SO_2 ile kuru hava için hem de

%2 SO_2 ile azot karışımı için yüksek yeterlilikte koruma sağlamıştır. Külçenin ilavesi sırasında küçük baloncuk dışında hiçbir şey gözlenmemiştir.

%1 SO_2 içeren kuru hava ve azot karışımları aynı yeterlilikte, hatta %2 SO_2 içeren karışımlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. %1 SO_2 ile kuru hava karışımı 18 tv/h ile en az debiyi gerektirmiştir. Nem miktarının değişiminin etkisi (önceki testler için nem miktarı kaydedilmemişti) veya %2 SO_2 testlerine kıyasla, ergiyikte Sr miktarındaki hafif değişimin etkisi olabilir.

%1 SO_2'nin hava içindeki yoğunluğunda, en iyi kalitede koruyucu yüzey, debi 60 tv/h olduğu zaman oluşmaktadır; cüruf birikintisi olmayan bu yüzey ince, esnek ve biraz sarımsı kahverengi bir şekildedir. Azotun taşıyıcı gaz olarak kullanıldığı karışımlar da güzel sonuçlar vermiştir. %1 SO_2 ve azot kullanılarak oluşturulan koruyucu yüzey tabakası bir kaç kahverengi lekelerle birlikte gri-mavi renklerindedir. %1 SO_2 karışımı ile oluşturulan tipik yüzey filminin görünümü şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 %1 SO_2'nin azot (sol) ve kuru hava (sağ) ile karışımı ile oluşturulan bir yüzey filminin görünümü [5]

%1 ve %2 SO_2 miktarları çok iyi koruma sağladığı için, %0.5 SO_2'nin kuru hava ve azot ile karıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar da çalışmalarında incelenmiştir. Sonuçlar %1 ve %2 SO_2 içeren karışımlar kadar iyi değildir. AJ52'yi ergitmek için eğer fırın kapısının açılması gerekirse, kuru hava veya azot ile karışan SO_2'nin yoğunluğunun %1'e yükseltilmesi ve debinin 60 ile 48 tv/h'e ayarlanması gerektiği belirtilmiştir.

Genel olarak, SO_2 içeren koruyucu gazların, koruma ve maliyet açısından iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. CO_2 gazlarında olduğu gibi, metalin ergitilmesi sırasında düşük debide çalışılabilir. Fırın kapısını açıp kapanması gereken uygulamalarda, kapı açıkken en iyi sonuçlar yüksek debi kullanılarak elde edilir [5].

4.1.3 Hidroflorokarbon gazlar HFC- 134a (CF_3CH_2F)

Genellikle *R134a, Freon 134a, HFC-134a* ya da *tetrafloretan* olarak adlandırılır. Ricketts ve Cashion [2001] SF_6'nın küresel ısınma potansiyelinden 18 kat daha az bir hidroflorokarbon gaz, 1,1,1,2-tetrafloroetan, HFC-134a'ı denemişlerdir, ancak yine de bu gaz CO_2'in küresel ısınma potansiyelinden 1500 kat daha kötüdür. Oda sıcaklığında zehirli ve yanıcı değildir. Ayrıca, yine oda sıcaklığında korozif değildir ancak magnezyumun ergime sıcaklığında bazı korozyon olayları görülebilir. Fiyatı SF_6'nın üçte biri olup dünya çapında yaygın olarak bulunmaktadır. Oluşan film %50'ye varan magnezyum florür içerebilir. Ricketts ve Cashion deneylerinde taşıyıcı gaz olarak kuru hava, karbondioksit ve azot kullanmışlardır ve bunların hepsi de etkili olmuştur. HFC-134a'nın belirtilen taşıyıcı gazlar içindeki miktarı %0.3 ile %0.7 arasında belirlemişlerdir. İlk olarak ergiyik 3 saat boyunca, kuru hava ile %0.7 HFC-134a karışımı ile korunmuş, koruyucu atmosfer kaldırıldıktan sonraki koruma zamanı ölçülmüştür, ardından ergiyik %100 kuru havaya maruz bırakılmıştır. 2 dakika sonra, yüzeyde oksidasyon belirtisi olmamış ve yüzey hala parlak olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deney kuru hava ile %0.7 SF_6 karıştırılması ile de yapılmıştır. Bu durumda, koruma yalnızca 15 saniye sürmüştür. Bu iki durumda da kullanılan alaşım AZ91D'dir. Saf magnezyum ve HFC-134a kullanıldığında, 5-10 saniye sonra ergiyiğin yanması başlamıştır [1].

HFC-134a üretim ölçeğinde iyi sonuçlar göstermiştir. Ancak, bu gaz büyük olasılıkla birkaç yıl içinde Avrupa'da yasak olacaktır, bu yüzden dökümcüler için bu yöntem uzun zamanlı bir alternatif değildir [7].

HFC-134a'nın en önemli dezavantajı, magnezyum banyosunun yüksek sıcaklıklarında HF'ye ve diğer ürünlere ayrışmasıdır. HF operatörler için tehlikeli olabilir ve ekipmanların korozyonunu hızlandırır [1].

SF_6 yerine HFC-134a'nın kullanıldığı deneylerde cüruf oluşumunun artmasına, duman oluşumuna veya ergiyik yüzeyinin yanmasına rastlanılmamıştır. Potaların, pompaların ve fırının çevresinde korozyon oluşumu SF_6 kullanımı ile oluşan duruma benzerdir. Yapılan deneylerde operatörün bulunduğu ortamda, potanın çevresinde HF miktarı 3 ppm olarak ölçülmüştür. UK HSE STEL (Health & Safety Executive Short Term Exposure Limit) standartlarına göre bu değer düşük kalmaktadır. Ancak potanın içinde yüksek

miktarda HF'ye (50 ppm) rastlanmaktadır. Pota tamamen izole edildiği için HF'nin operatöre zarar vermesi engellenmiş olur. Ayrıca havanın taşıyıcı gaz olarak kullanıldığı durumlarda HF oluşumu daha fazla olmaktadır [24].

4.1.4 CO_2

Fruehling [1970] saf CO_2 atmosferinin ergiyik magnezyumu çok iyi koruyabileceğini belirtmiştir. CO_2 atmosferlerini SF_6 veya SO_2 gaz karışımlarının atmosferleriyle karşılaştırarak, saf CO_2'in ergiyiğin korunmasında en iyi sonucu verdiğini bulmuştur. Reaksiyon filmi düzgün ve mataliktir. 10 dakika sonra 660 °C'de CO_2 gazı hava ile yer değiştirmiştir. Filmin dağılımı 6 dakika sonra görülmüştür. Fruehling, Delavault'un ergiyik magnezyum kuru CO ve CO_2 atmosferi içinde yavaşça oksitlenir diye belirttiği makalesine atıfta bulunmuştur. Ayrıca Fruehling, McIntosh ve Baley'in çalışmasından da alıntı yapmıştır. Bu çalışmada McIntosh ve Baley, ergiyik 700 °C'de sürekli gönderilen bir CO_2 gazı ile korunduğunda magnezyumun alevlenmesinin meydana gelmediğini gözlemlemiştir. Aleksandrova ve Roshchina [1977] karbondioksitin magnezyum ile etkileşimini aşağıdaki eşitlikleri sunarak açıklamıştır [7]:

$2\ Mg + CO_2 = 2\ MgO + C$

Bu denklem bir katı karbonun (kurum) oluşacağını göstermektedir. Magnezyumun oksidasyonu CO_2 içinde havadan çok daha yavaş devam etse de, Aleksandrova ve Roshchina [1977] CO_2 atmosferinin ergiyik magnezyumu oksidasyondan korumayacağını iddaa etmişlerdir. Bach ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise [2003], gaz CO_2'in yerine karbondioksit karının (buz) kullanımını önermişlerdir. Bu yöntemin avantajı reaksiyon sonunda karbonmonoksit ve kurumun oluşmamasıdır.

CO_2 ile ilgili sonuçlar çok tutarlı değildir. CO_2'nin koruyucu atmosfer olduğu çalışmalar yetersizdir ve endüstrinin bu gazı üretimde kullanmaya başlamadan önce, laboratuvardan elde edilmiş sonuçlara ihtiyacı vardır. Eğer CO_2'nin koruyucu özelliği yeterli ise, uygulamadaki bazı problemler çözülmelidir. Bahsedildiği gibi, yüzeyde kurum oluşabilir. Bu dökümde istenilmeyen bir siyah yüzey verecektir. Saf CO_2 atmosferini elde etmek için sistemin nasıl kapatılacağına ait problemler de vardır. Döküm sistemini kapatmak operatörler için sorun çıkaracaktır [7].

4.1.5 COOLCOM (Cool Covering Metals)- Katı CO_2

Bu yöntem Linde Gaz Firması ile üniversiteler ve sanayi arasındaki işbirliği sayesinde geliştirilmiştir. Katı CO_2 (kuru buz) ile magnezyum ergiyiğinin korunması Kyoto Protokolü şartlarını en iyi şekilde yerine getiren, çevreyle dost bir yöntemdir. Florin ve sülfür içeren gazların başvurulmasında bir alternatif teşkil eder. Gaz CO_2'in yüksek basınçta bir fırın odasına, özel geliştirilmiş nozüller içinden gönderilmesiyle, şiddetli genleşme ve katı CO_2'in oluşumu gerçekleşir. Bu katı CO_2 sıvı metal yüzeyiyle temas eder ve ergime sıcaklığının düşmesine sebep olur. (Katı CO_2'in sıcaklığı -78 ºC ve süblimleşme sıcaklığı 573 kJ/kg'a eşittir). Bu yüzden, ergime sıcaklığı (ergiyik banyosunun üst yüzeyine yakın) 680-720 ºC'den 550-600 ºC'ye düşer.

Bu magnezyumun buharlaşmaya yatkınlığını büyük ölçüde kısıtlar. Ayrıca, katı CO_2'nin süblimasyonunun bir sonucu olarak, gazlarda, oksijeni ergiyiğin üstüne taşıyacak olan bir genleşme meydana gelir (1 kg kuru buz 540 dm^3 CO_2 gazı oluşturur) [1].

Katı CO_2 uygulamasında Mg ergiyiğinin korunma mekanizması 3 etkiye dayandırılmaktadır [1];

- Yarı kararlı bir faz oluşumu: $MgO \cdot CO_2$ (MgO üstünden CO_2'in absorbsiyonu sonucunda) Bu reaksiyona göre;

  $$CO_{2(gaz)} + MgO \rightarrow MgO \cdot CO_2 \text{ (ads)}$$

  Bu faz özellikle düşük sıcaklıklarda (<600 ºC), Mg ergiyiği için iyi bir koruma sağlar.
- Ergiyik üzerindeki Mg buhar basıncının düşürülmesi; bir tarafta koruyucu katmanın kararlılığını geliştirir ve diğer tarafta daha az metal kayıbı ile ergitmeyi sağlar.
- Gaz CO_2 sayesinde, havanın metal ergiyiğinden uzaklaştırılması.

4.1.6 NOVEC™ 612 Karışımı - Florlü Ketonlar

3M firması kolayca buharlaşarak koruyucu gaz oluşturan bir florlü keton sıvısı geliştirmiştir. Bu ketonun ticari adı Novec 612'dir. Bu akışkan/gaz ürününün en büyük avantajı küresel ısınma potansiyelinin 1'e eşit olmasıdır. Atmosferik ömrü yaklaşık olarak 5 gün ve ozon tüketme potansiyeli 0'dır. Novec 612 ile yapılan hazırlık deneyleri

ergiyik magnezyumun etkili bir şekilde korunabileceğini göstermektedir ancak termal bozunma ürünleri, üzerinde durulması gereken bir problemdir. HF gibi toksit gazlar veya perflorokarbon gibi sera gazları oluşabilir [7].

Bu gaz, Perflorürketan ($C_3F_7C(O)C_2F_5$) içeren sıvı-gaz karışımıdır. Bu gaz, kuru hava içinde CO_2 ve azotun taşıyıcı gaz olması ile kullanılır. Novec'in koruyucu gaz olarak magnezyumun ergitilmesinde kullanılması, 2000 yılının sonlarında başlamıştır. Sıvı Novec™612, yoğun bir gaz buharına dönüşür, daha sonra taşıyıcı gaz tarafından bu yoğun gaz buharı seyreltilir. SF_6'da ki gibi aynı ekipmanlar koruyucu karışımın hazırlanmasında kullanılabilir. Karışım, CO_2 içine %0.2 ile %1 arasında Novec, %10 kuru havanın ilave edilmesi ile oluşturulur. Kuru havanın ilavesi %50'ye ulaşabilir. %100 kuru havanın taşıyıcı gaz olarak kullanımı ise önerilmez. Azot içine kuru havanın %5 ile %20 ilavesi de taşıyıcı gaz olarak kullanılabilir. C_3F_8 ve C_2F_6 bileşimleri ile CO, HF gazları proses sırasında oluşabilir [1].

4.1.7 BF_3 Kullanan Magshield Sistemi

Magnezyum ergiyiğinin korunmasında Magshield sistemi HATCH şirketi tarafından geliştirilmiş ve LUNT imalat firmasında denenmiştir [1].

BF_3'ün magnezyum ergiyiğini koruduğu bilinmektedir ancak sıkıştırılmış gazların depolanması ile ilgili problemler mevcuttur ve bu gaz oldukça pahalıdır. Revankar ve arkadaşları [2000], küresel ısınma potansiyeli olmayan BF_3 ile ergiyik magnezyumun korunmasında bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu yeni yöntem Magshield sistem diye isimlendirilir ve KBF_4'ün termal analizi vasıtası ile BF_3 üretir [7].

Bu sistemde, katı flora boritlerin fırın içinde ayrışması sonucu, BF_3 (koruyucu gaz olarak) oluşturulur. Reaksiyonlar aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir [1];

$KBF_4 \rightarrow BF_3(gaz)+KF$ veya

$NaBF_4 \rightarrow BF_3(gaz)+NaF$

Magshield yönteminde sadece gerekli olduğunda, gerekli miktarda BF_3 üretilir ve bunlar seyreltik formdadır. Özel bir sistem, katı flora boritlerin özel hazırlanmış karışımını fırına yollar. Ortaya çıkan BF_3 bir taşıyıcı gaz buharı içinde (çoğunlukla

havada) taşınır ve yeterli debi ve yoğunlukta ölçülerek kullanılır. Floraboritler, koruyucu gaz ve nötr camsı florür oluşturacak şekilde ayrışır, bu nötr camsı florürler (balçık) daha sonra katı veya sıvı fazda ortadan kaldırılır. BF_3'ün oluşumu yaklaşık olarak 350°C'de başlar ve ayrışma hızı sıcaklığın yükselmesi ile artar [1].

BF_3 sera etkisine sahip bir gaz değildir. BF_3'ün üretim maliyetleri SF_6'nınkinden çok daha düşüktür. Atık miktarı SF_6'dakinden daha az olabilir. Ancak BF_3 çok zehirli bir bileşiktir. Havadaki BF_3 için önerilen sınır 1 ppm'dir ama Revankar ve arkadaşları çalışma alanında 0.2 ppmi aşan yoğunluklara rastlamamışlardır [1-7]

Bu sistem BF_3'ün kaçışını engelleyecek şekilde kaplanmıştır. Kuru hava içindeki BF_3 miktarı hacimce %0.2'den %1'e kadar değişir ama %0.5'ten az olan yoğunluklarda yüzeyin renginde değişiklikler oluşur. Gazın gönderimi kesildikten sonra 40 dakika boyunca korumanın devam ettiği belirtilmiştir. SF_6 ile karşılaştırırsak, SF_6 için bu süre 30 dakikadır[7].

4.2 Alaşım Elementlerinin Etkisi

4.2.1 Berilyum

Houska [1988] çalışmasında berilyumun, magnezyum ve alüminyuma ilavesinin avantajlarını tartışmıştır. Berilyumoksit filmi magnezyum ergiyiğinin üzerinde oluştuğu için berilyum magnezyumun oksidasyona uğramasını engellemiştir. Berilyumun oksijene affinitesi magnezyumdan daha fazla olduğu için bu film oluşur. % 0.001 Be, magnezyumun tutuşma sıcaklığını 200 °C kadar arttıracaktır. Bunun anlamı döküm sıcaklıklarında ergiyik magnezyumun tutuşmadan idare edilebilmesi ve ergiyiğin yanmaya başlamamasıdır. Spiegelberg, Ali ve Dunstone [1992], magnezyumun oksidasyonu üzerinde berilyumun pozitif bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. BeO için Pilling-Bedworth oranının 1.68'dir. Hem de, berilyum ergiyiği demiri ve diğer yabancı maddeleri çökelterek, saflaştıracaktır. Zeng ve arkadaşları [2001], ergiyik bir Mg-9Al-0.5Zn-0.3Be alaşımında oluşan oksit filmini incelemişlerdir. Onlara göre, bu oksit filmi iki tabakadan oluşmuştur; temel olarak MgO'dan oluşan dış katman ve BeO ve MgO karışımını içeren iç katman. Bu iç katmanın magnezyum iyonlarının, Mg2+, difüzyonuna bir bariyer gibi davrandığı söylenir. Bu alaşımın oksidasyona karşı güçlü bir direnci

vardır ve ekstra bir koruma olmadan atmosfer içinde ergitilebilir. Bu yöntemin bariz bir dezavantajı da mevcuttur. Belirtildiği gibi, berilyum oksit oluşacaktır ancak bu oksit tozlarının solunması zehirlidir. Pohanish ve Greene'in çalışmasına göre [1996], berilyum oksit tozlarına maruz kalmak, lenf düğümleri, karaciğer, böbrekler ve akciğerde hastalığa neden olur. Spiegelberg ve arkadaşları [1992], fırın atmosferi içindeki BeO-toz konsantrasyonunun belirli bir eşiğin altında olduğu sürece bir problem olmayacağını belirtmişlerdir. Pohanish ve Greene'e göre [1996] bu eşik değeri 0.002 mg/m^3'tür [7].

4.2.2 Diğer Alaşım Elementleri

Kalsiyum ve Zirkonyumun magnezyumun tutuşma sıcaklığını arttırdığı bilinmektedir ve bu yüzden ergimiş magnezyumun tutuşmasını engellemesi olasıdır. Sakamoto ve arkadaşlarına göre [1997], kalsiyum ilavesi ergiyiğin yüzeyinde CaO filmi oluşturur. Bu katman havanın magnezyumla etkileşimini engeller, oksidasyonu durdurur ve ayrıca magnezyumun fazlaca buharlaşmasını da engeller. Muhtemelen kalsiyum oksit filmi, MgO'in kalsiyum ile reaksiyona girip azalması dolayısıyla oluşmaktadır. Termodinamiksel verilere göre bu sonuç mantıklıdır çünkü CaO, MgO'dan daha kararlıdır. CaO'in Pilling-Bedworth oranı 0.64'tür. Yüzey katmanının MgO ve CaO'in karışımından oluştuğu düşünülmektedir ve Pilling-Bedworth oranının hesaplaması zordur. Chang ve arkadaşlarına göre, 810°C'den daha yüksek sıcaklıklarda bile tutuşma kütlece %1.3 Ca ve %1.4 Zr'un eş zamanlı ilavesi ile tamamen engellenebilir [7].

4.3 Koruyucu Tozla Ergitme

Ergiyik magnezyum, koruyucu tozla (flux) veya koruyucu gazla (fluxless) olmak üzere iki şekilde korunabilmektedir. Ancak sıvı metalin koruyucu tozla korunması, korozyon direncini düşüren bazı kalıntıların parça içinde kalmasına neden olduğundan, son zamanlarda basınçlı döküm prosesi için yapılan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Koruyucu toz olarak $MgCl_2$, KCl, NaCl, $CaCl_2$, $BaCl_2$ tuzlarından oluşan bir karışım kullanılırdı. Daha sonraki gelişmelerle BaF_2, MgF_2, CaF_2 ve MgO gibi katkılar da bu karışıma eklenmiş ve korozyon direncini düşüren etkiler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır [10].

SF_6 koruyucu gaz olarak kullanılmadan önce, magnezyum endüstrisi oksitlenmeyi durdurmak için koruyucu tozları (flux) kullanmaktaydı. Toz olarak eklenen bir flux, metal yüzeyine yayılır ve burada erir. Bu metal tabakasının üstünde sıvı, koruyucu bir tabaka oluşturur.

Fruehling ve Hanawalt [1969] bu yöntemin üç dezavantajından bahsetmiştir. Fluxun kendisinin oksitlenmesi ve kalın sert bir tabaka oluşturması fluxların ilk problemidir çünkü bu tabaka kırılabilir ve ergiyik, atmosferle temas edebilir. Bir diğeri, döküm ile elde ettiğimiz parçanın kalitesi düşebilir çünkü flux kalıntıları döküm parçalarının içine geçebilir. Üçüncü problem de, flux dumanı ve flux tozlarıyla alakalıdır çünkü bunlar fırın içinde korozyona sebep olabilirler.

Emley [1966], ideal bir fluxun gerekliliklerini belirtmiştir. Metal ergimeye başladığı zamanda, flux sıvı halde olsun ve ergimiş metali koruyabilsin diye, ideal fluxun erime sıcaklığı magnezyum alaşımının katılaşma sıcaklığının altında olmalıdır. Flux magnezyumu ıslatmalıdır ve tüm yüzeye yayılabilmesi için bu fluxun akıcılığı yeterince fazla olmalıdır. Magnezyum alaşımları için, katılaşma sıcaklığı 420°C'den düşük olabilir. $MgCl_2$, KCl ve NaCl tuzlarından oluşan bir karışımın 400°C altında erime noktası vardır. Bu yüzden ergiyiği koruyabilmektedir. Ayrıca ideal bir fluxun, fırının dibine batmaması için yoğunluğu magnezyumun yoğunluğundan düşük olmalıdır [7].

4.4 Flor İçeren Gazlarla İçermeyen Gazların Karşılaştırılması

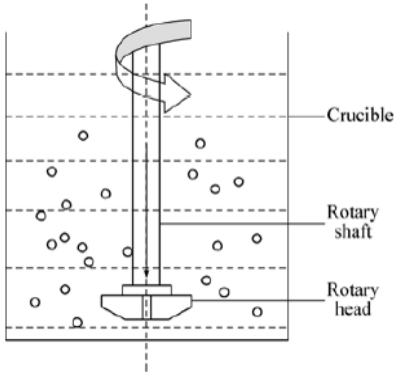
Won Ha ve Young-Jig Kim çalışmalarında, HFC-134a/hava ve SO_2/hava koruyucu gaz karışımlarının çevreye etkisi ve ergiyiğin korunması özelliklerini araştırmışlar ve SF_6/hava koruyucu gaz karışımının özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Flor içeren gazlarda (HFC-134a ve SF_6 gibi) oluşan yüzey filmi flor içermeyen gazlarda (SO_2 gibi) oluşan filme göre daha iyi ergiyik koruma özellikleri göstermektedir. SO_2 yalnızca koruyucu atmosfer için kabul edilebilir ergiyik koruma özellikleri göstermiştir. Flor içeren gazlar termal ayrışma ürünü olarak flor oluştururlar ve flor daha fazla buharlaşmayı ve magnezyumun oksidasyonunun engelleyen magnezyum florür oluşturur. HFC-134a'nın magnezyumun ergiyik haldeki sıcaklığında ve HFC-134a/hava koruyucu gazında oluşan yüzey filminde, kısmen düşük termal kararlılığı dolayısıyla HFC-134a ile flor SF_6'ya göre daha kolay elde edilir. HFC-134a ile oluşan yüzey filmi, SF_6 koruyucu gaz karışımında

oluşandan daha fazla magnezyum florür içerir. HFC-134a için seyreltici gaz olarak hava kullanılması halinde, oldukça korozif olan hidrojen florür bir termal ayrışma ürünü olarak oluşabilir ve magnezyum ergitme cihazları için çeşitli korozyon sorunları oluşturabilir. Azot veya karbondioksit gibi uygun seyreltici gazlar taşıyıcı gaz olarak HFC-134a'nın kullanımı için kullanılabilir [16].

Ha ve Kim çalışmalarında, SF_6, HFC-134a ve SO_2 gazları ile havanın koruyucu gaz karışımı olarak ergiyik korumasındaki özelliklerini farklı magnezyum alaşımları için araştırmışlardır. Bu sonuçlar HFC-134a ve SF_6'nın SO_2'den daha iyi koruma özellikleri sağladığını göstermiştir. HFC-134a SF_6'dan daha kolayca florin sağlamaktadır bunun sebebi HFC-134a'nın magnezyumun ergime sıcaklığında nispeten düşük termal kararlılığıdır. HFC-134a/hava koruyucu gaz karışımı içinde oluşan yüzey filmi SF_6/hava koruyucu gaz karışımı içinde oluşan yüzey filmine göre daha fazla magnezyum florür içerir. Bu da magnezyum alaşımları için daha mükemmel ergiyik koruması sağlayabilmesi demektir [6].

4.5 Argon ile Gaz Giderme

Magnezyum ergiyiği SF_6 ve N_2 gaz karışımı ile oksidasyondan korunurken, ergitme sırasında çelikten yapılmış dönen bir pervane ergiyiğin içine yerleştirilir ve bu pervane içinden argon asal gazı enjekte edilir. Bu gaz kabarcık yöntemi şekil 4.5'te gözükmektedir.



Şekil 4. 5 Gaz Giderme Dönen Pervanesinin Şematik Resmi [23]

Pervane kafasındaki delik boyutu 0.2 mm ve dönme hızı 120 rpm. Gaz pervane sayesinde ince kabarcıklı bulutlar şeklinde dağılmıştır ve kabarcıklar ergiyiğin yüzeyine

ulaşması sırasında oksitlerle birleşmiştir. Sonunda bu oksitler ergiyik yüzeyine ulaşır ve ondan sonra bu oksitlerin köpüğü alınmıştır. Püskürtme aralığı 20 ile 60 dakika arasında değişmekte, debisi 0-2 litre/dakika ve metal sıcaklığı ise 700 ile 760 °C'dir. Arıtmadan sonra, ergiyik kalıplara dökülmektedir.

Gaz kabarcık yöntemi genellikle alüminyum içindeki hidrojen ve kalıntıları ortadan kaldırmak için kullanılır. Magnezyum alaşımlarının gaz giderme işlemi ile bazı kalıntıları ergiyikten kaldıramayabiliriz çünkü magnezyum çok hafif bir metaldir ve ergiyik içindeki kalıntıların yoğunluğu magnezyum alaşımlarının yoğunluğundan daha yüksekse, ağır olan kalıntılar potanın dibinde toplanacaktır. Ancak yüzen parçacıklar bu yöntemle uzaklaştırılabilir. Bu yüzen parçacıklar gaz katmanı ile kaplanarak ergiyiğin üstüne alınması sağlanır. Su buharı ve çözülmüş hidrojen bu gaz katmanının oluşmasında rol oynar. Parçacıklar gazı magnezyum ergiyiğine tercih edeceklerdir, bu parçacıklar gaz tarafından ıslatılırlar ve bu sayede gaz giderme işlemi ile yüzebilirler. Yalnızca asal gaz bu işlemde görev alabilir çünkü klor veya florin ihtiva eden reaktif gazlar tuz oluşturabilir. Ergiyiğe gaz enjekte edilince, çökeltiler atalet, durdurma, yerçekimi ve difüzyon gibi birçok etken sebebiyle kabarcıklarla temas halinde olurlar. Eğer bu çökeltiler ergiyik metal değil de kabarcıklar tarafından ıslatılırsa, bu çökeltilerin kabarcık-ergiyik ara yüzünde tutulu kalması sağlanmakta ve cüruf olarak alınmaktadır.

Bu gaz yüksek gaz debisinin yanında kalıntıları ergiyik yüzeyine itmek için gerekli büyük bir kuvvete sahiptir. Bu sayede ergiyikteki kalıntıları azaltmakta ve alaşımın mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Eğer gaz debisi düşük olursa, çok yavaş olan çökelme hızı sebebiyle kalıntıların miktarı artacaktır, döküm parçasının mekanik özellikleri düşecektir.

Hidrojenin ergiyikten uzaklaştırılması çok önemlidir çünkü ergiyik metal içine hidrojen absorbsiyonu çok kolay olmaktadır. Asal gaz püskürtmesi gaz gidermeyi kolaylaştıran genel bir tekniktir. Gaz kabarcık yöntemi ile hidrojen içeriği azalmakta, mikro porozite ve mikro büzülmeler de azalmaktadır. Argonun yüksek debilerde fışkırtılması metalik olmayan kalıntıları ortadan kaldırabilir ve alaşımın mekanik özelliklerini iyileştirir [23].

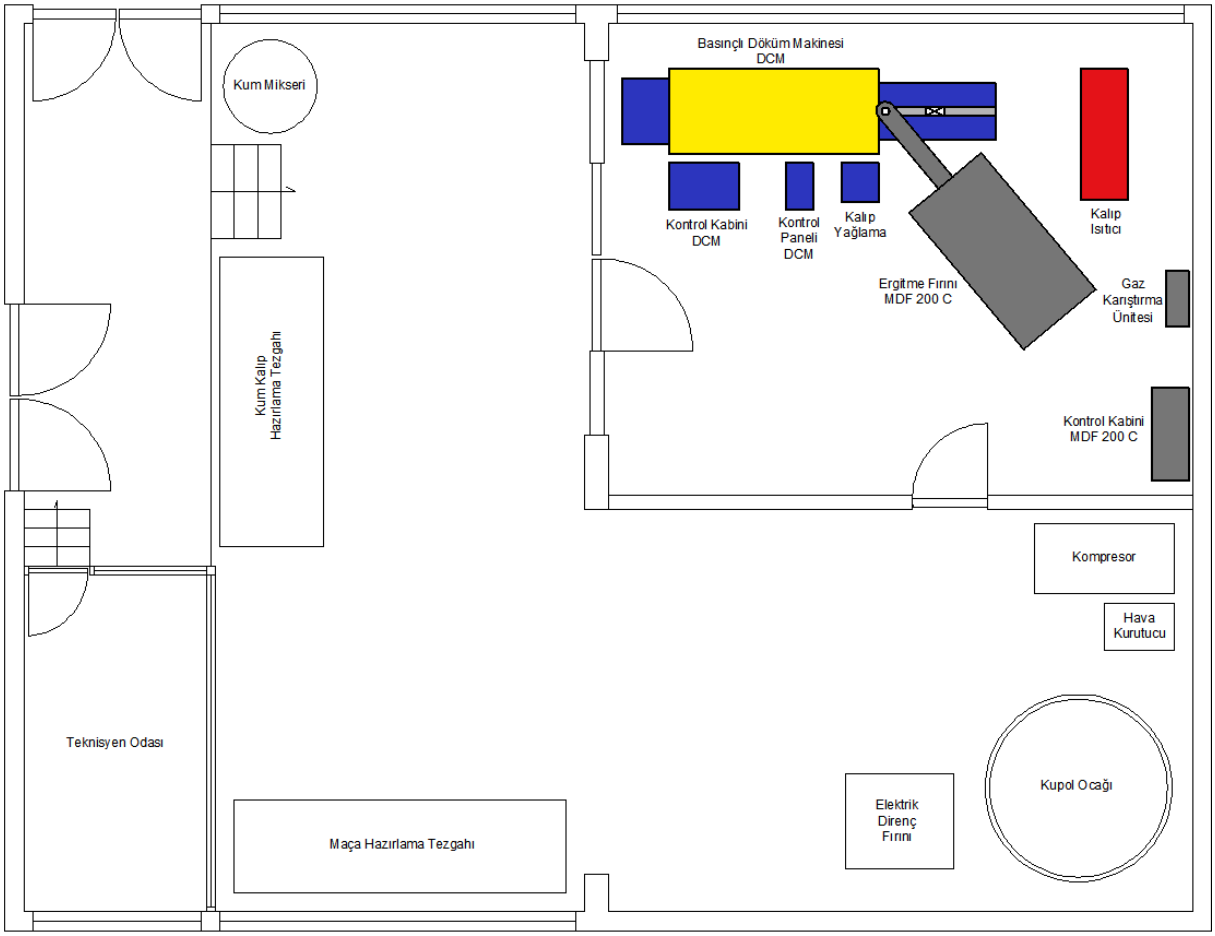
BÖLÜM 5

DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE KURULUMU

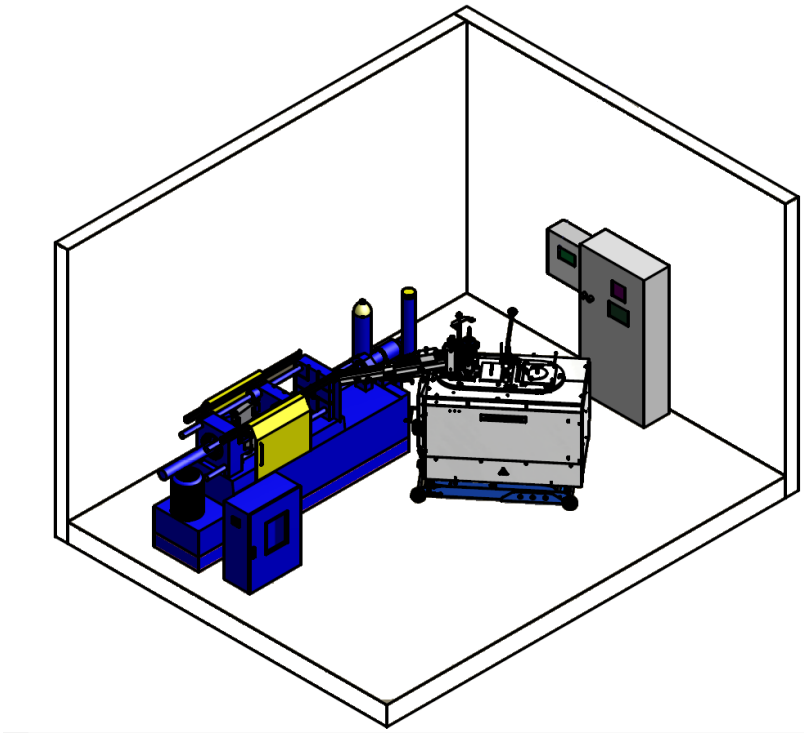
5.1 Deney Düzeneğinin Tanıtımı

Basınçlı dökümle imal edilecek magnezyum alaşımlı numunelerin üretimi için kullanılması gereken entegre seri üretim hattı çok sayıda komponentin yoğun çalışmalar sonrasında bir araya getirilmesi ile kurulmuştur. Bu bileşenleri; basınçlı döküm makinesi ve kalıbı, kalıp ve piston yağlama sistemi, kalıp ısıtıcı, soğutma kulesi, basınçlı kuru hava kompresörü, ergitme fırını ve transfer sistemi, gaz karıştırma ünitesi ile yüksek kapasiteli bir havalandırma sistemi oluşturmaktadır. Tüm bileşenlerin bir araya getirilmesi ile oluşan ve Ülkemizde bu kapasitede ve yetkinlikte kurulmuş ilk üretim hattı olma özelliğine sahip entegre seri üretim hattının ayrıntılı yerleşim planı Şekil 5.1'de görülmektedir. Şekil 5.2'deki şematik çizimde görülen entegre basınçlı döküm seri üretim hattı, Üniversitemiz Basınçlı Döküm Laboratuarında hizmet vermeye başlamıştır. Basınçlı döküm prosesinin sağlıklı bir ortamda gerçekleştirebilmesi için, dökümhaneye 15.000 m^3/h emiş gücüne sahip alt ve üst havalandırma sistemiyle sürekli taze hava sirkülasyonu sağlanmıştır. Diğer koruyucu ve önleyici güvenlik ekipmanları ile D sınıfı yangın tüpleri, imalat süreci boyunca ilgili standartlarda belirtildiği şekilde gerekli yerlerde hazır bir vaziyette bulundurulmuştur [2].

Bu tezdeki amacımızın, ergiyik magnezyum alaşımını en iyi bir şekilde koruyacak yüzey filmini elde edebileceğimiz koruyucu gazın oranlarını, debisini ve bileşimini saptayabilmek olduğundan, deneylerde kullanacağım ekipmanları; ergitme fırını, gaz karıştırma ünitesi, ısıl işlem fırını ile yüksek kapasiteli havalandırma sistemi oluşturmaktadır.



Şekil 5. 1 Entegre basınçlı döküm seri üretim hattı yerleşim planı [2]



Şekil 5. 2 Entegre seri üretim hattının şematik gösterimi [2]

5.2 Ergitmede Kullanılan Alaşım Malzemesi Özellikleri

Deneyler AZ91A basınçlı döküm magnezyum alaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AZ91 serisi alaşımlar, magnezyum döküm endüstrisinde en çok tercih edilen basınçlı döküm magnezyum alaşımlarıdır. Oda sıcaklığında iyi dayanım, iyi döküm kabiliyeti, iyi atmosferik stabilite ve mükemmel tuzlu su korozyon direnci özelliklerine sahiptir. İyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasının yanında, mükemmel döküm kabiliyeti sergilemektedirler. Deneysel numunelerin üretimi aşamasında kullanılan ve DOĞUŞ Döküm Malzemeleri Kimya Mümessillik İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. firması tarafından ithal edilen ticari saflıktaki AZ91A ingotlara ait kimyasal analiz bilgileri Çizelge 5.1'de verilmiştir. AZ91A alaşımının standartlarda belirtilen karakteristik özellikleri ise Çizelge 5.2'de görülmektedir [2].

Çizelge 5. 1 Deneylerde kullanılacak olan AZ91A alaşımının kimyasal analizi [2].

Element	**Mg**	**Al**	**Zn**	**Mn**	**Fe**	**Cu**	**Ni**	**Cr**	**Ti**	**V**	**W**	**Si**
%	89,830	9,077	0,682	0,180	0,226	0,002	0,004	0,009	0,033	0,018	0,009	0,014
±	0,303	0,297	0,013	0,014	0,006	0,001	0,002	0,003	0,008	0,005	0,003	0,009

Çizelge 5. 2 AZ91A alaşımının karakteristik özellikleri [2].

Alaşım	**Bileşim %**			**Çekme Dayanımı**	**Akma Dayanımı**	**Uzama 50 mm**	**Sertlik**	**Yoğunluk**	**Ergime Sıcaklığı**
	Al	Mn	Zn	MPa	MPa	HB	0,033	g/cm^3	°C
AZ91A	9,0	0,2	0,7	230	150	7	63	1,81	595

5.3 Deneyde Kullanılan Ergitme Fırını ve Koruyucu Gazlar (SF_6-HFC134a)

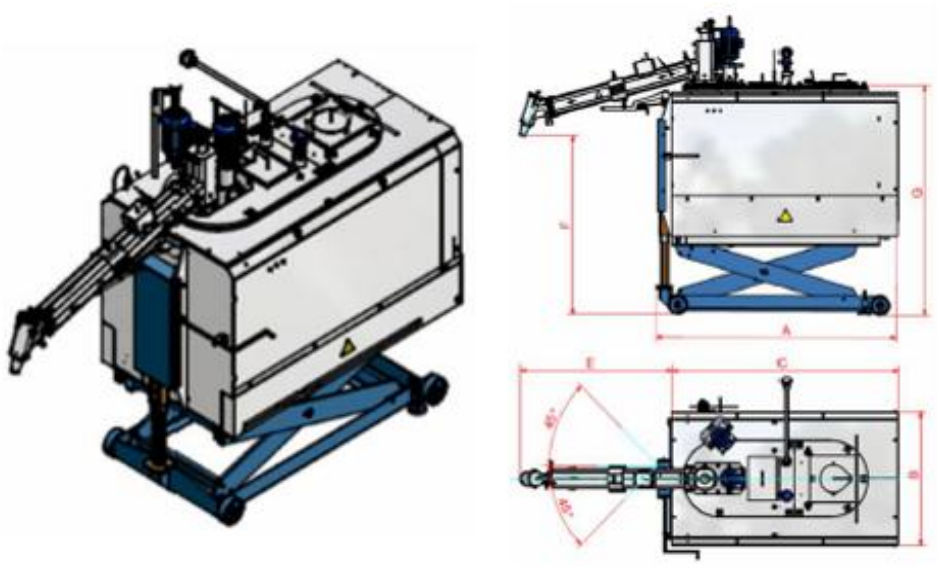
Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde, ergitme ve bekletme, koruyucu gaz kullanılarak gerçekleştirilen proseslerdir. Magnezyum ingotların ergimiş metal içine şarjı sırasında, ergimiş metaldeki sıcaklık düşüşü segregasyonlara neden olabilmektedir. Bunu önlemek için, magnezyumun ergitilmesi ve bekletilmesi ayrı fırınlarda yapılmalı veya ingotlar fırına şarj edilmeden önce bir ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Ergitme ve bekletmenin aynı fırında yapılması, son zamanlarda daha çok

tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında ergitme ve bekletmenin aynı fırında yapıldığı, ergimiş metal transferinde de özel bir ergiyik pompasının kullanıldığı MELTEC Industrieofenbau GmbH firmasına ait MDF-200C model magnezyum ergitme fırını tercih edilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Ergitme fırınıyla birlikte PGM-3000 serisi gaz karıştırma ünitesi de sisteme entegre edilmiştir. Ergitme fırınına ait önemli ölçüler Çizelge 5.3'de görülmektedir. Magnezyum ergitme fırınına ait önemli teknik bilgiler ise Çizelge 5.4'de verilmiştir [2].

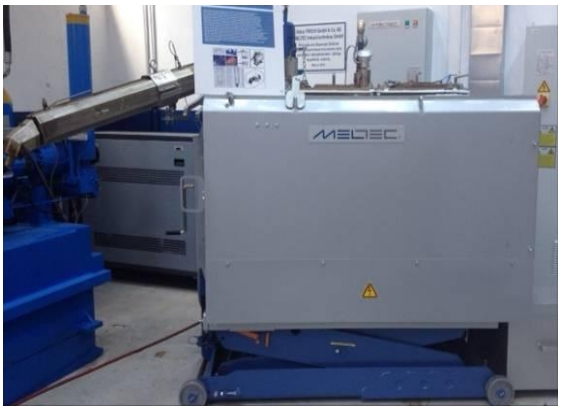
Deneysel çalışma sırasında döküm yapılmasına gerek olmadığından, ergimiş metalin fırından basınçlı döküm makinesine transferinde kullanılan pompa dozajlamalı transfer sistemine ihtiyaç duyulmamıştır. Döküm prosesi esnasında dozajlama kanalının da koruyucu gaz ile korunması gerekmektedir.

Çizelge 5. 3 MDF-200C ergitme fırınına ait önemli ölçüler [2]

	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
MDF-200C	1858	1003	1745	-	1023	1050	1440



Şekil 5.3 MDF-200C magnezyum ergitme fırını teknik çizimi [2]



Şekil 5. 4 Deneyde Kullanılan Ergitme Fırını

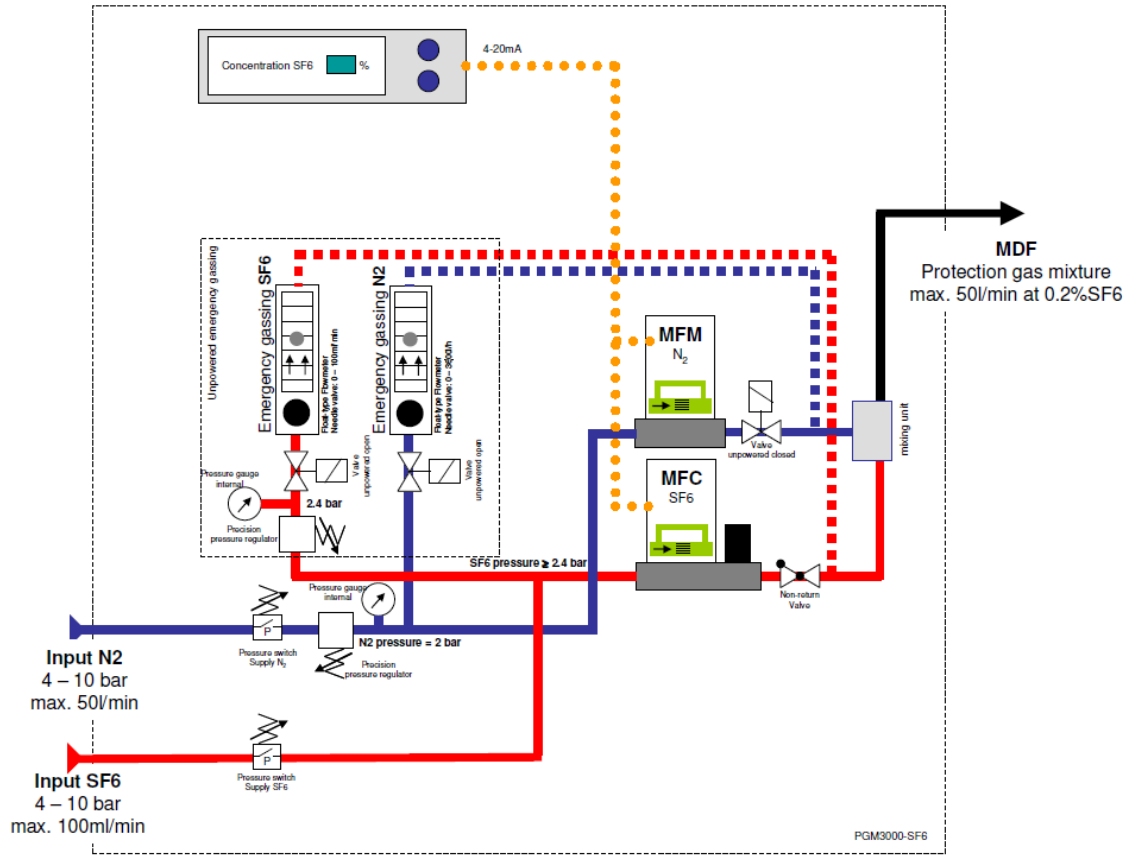
Çizelge 5. 4 Magnezyum ergitme fırınına ait teknik bilgiler [2]

Model	**MDF-200C**
Ergitme Kapasitesi	Max. 200 kg Mg/h
Pota Kapasitesi	Max. 560 kg Mg
İngot Şarj Ağırlığı	Max. 8 kg Mg
Toplam Güç	76,5 kW
Banyo Sıcaklığı	Max. 685 °C
Fırın Boş Ağırlığı	2,020 kg
Fırının Dolu Ağırlığı	2,580 kg

Magnezyum alaşımlarının ergitilmesi sırasında herhangi bir koruyucu önlem alınmazsa, ergimiş magnezyumun, havada bulunan oksijenle ekzotermik bir reaksiyona gireceğinden ve ötektik faz olan $Mg_{17}Al_{12}$, 430°C'de oksidasyona uğramaya başlayacağından bahsetmiştik, bu sebepten alüminyum içeren basınçlı döküm magnezyum alaşımlarının 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklardan itibaren, henüz ergime başlamadan korunması gerekmektedir. Bu koruyucu atmosferi belirli oranlarda oluşturup sisteme belirli miktarda gönderebilmek için, ergitme sistemine entegre edilmiş olan PGM-3000 gaz karıştırma ünitesi deneysel çalışmamızda büyük önem taşımaktadır. Sistem koruyucu gaz olarak SF_6, HFC-134a taşıyıcı gaz olarak da N_2 kullanacak şekilde tasarlanmıştır.

Taşıyıcı gaz (N_2) içindeki koruyucu gaz (SF_6) oranı hacimsel olarak % 0,1 ile % 0,5 arasında değiştirilebilmekte ve ±% 0,01 hassasiyetle gaz karıştırma işlemi

gerçekleştirilmektedir. Maksimum gaz akış debisi hacimce % 0,2 SF_6 karışımı için 3000 l/h, hacimce % 0,4 SF_6 oranı için ise 1500 l/h olarak belirtilmiştir. Sistem gereksinimi olarak, SF_6 gazının sisteme giriş basıncının 4-8 bar, N_2 gazının ise 4-10 bar arasında olacak şekilde ayarlanması istenmektedir. Koruyucu gaz olarak SF_6 yerine HFC-134a kullanıldığı zaman ise sistem gereksinimi olarak, HFC-134a gazının sisteme giriş basıncının 2.5-5 bar, N_2 gazının ise yine 4-10 bar arasında olacak şekilde ayarlanması istenmektedir. N_2 gazının minimum 4. kalite yani %99,99 saflıkta kullanılması, sistemin sağlıklı çalışması için önemli bir gereksinimdir [2].



Şekil 5. 6 SF_6+N_2 için PGM-3000 ünitesi fonksiyonel dizaynı [2]

Koruyucu gaz karıştırma ünitesi karışım haline getirilen SF_6-N_2, HFC-134a-N_2 gazını ergitme fırınına ve dozajlama kanalına ayrı bölgelerden dozajlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu fonksiyonel tasarım Şekil 5.5'de şematik olarak gösterilmiştir. Koruyucu gaz karıştırma ünitesinde ihtiyaç duyulan SF_6 ve N_2 gazları, HABAŞ Sınaî ve Tıbbi Gazlar İstihsal Endüstrisi A.Ş. firmasından, HFC-134a gazı ise Birmak Soğutma San. ve Tic. A.Ş. temin edilmiştir. Kullanılan gazlar ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 5.5, 5.6 ve 5.7'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.5 Azot (N_2) gazına ait teknik bilgiler [2]

Ürün Adı	**Azot (N_2)**
CAS Numarası	7227-37-9
EEC Numarası	231-783-9
ADR Etiketi	Sınıf 2 (Parlayıcı ve Toksit Olmayan Gaz)
Fiziksel Hali / Renk / Koku	Gaz / Renksiz / Kokusuz
Safiyeti	%99,995 hacimce
Molekül Ağırlığı	28,01 g/mol
Kaynama Noktası	-195,80 °C
Ergime Noktası	-209,86 °C
Kritik Sıcaklık	-147,00 °C
Gazın Özgül Ağırlığı	0,97 (Hava=1)
Gazın Yoğunluğu	1,170 kg/m^3 (15°C, 1bar)
Çözünürlük (H_2O)	20 g/ml
Diğer Bilgiler	Zehirsizdir / Havadan Biraz Hafiftir

Çizelge 5. 6 Sülfür Hegza Florür (SF_6) gazına ait teknik bilgiler [2]

Ürün Adı	**Sülfür Hegza Florür (SF_6)**
CAS Numarası	2551-62-4
EEC Numarası	219-854-2
ADR Etiketi	Sınıf 2 (Parlayıcı ve Toksit Olmayan Gaz)
Fiziksel Hali / Renk / Koku	Gaz / Renksiz / Kokusuz
Safiyeti	%99,9 hacimce
Molekül Ağırlığı	146 g/mol
Süblimleşme Noktası	-64 °C (1 atm)
Ergime Noktası	-50,8 °C (2,23 atm)
Kritik Sıcaklık / Kritik Basınç	45,5 °C / 37,59 bar
Buhar Basıncı	21 bar (20 °C)

Çizelge 5. 6 Sülfür Hegza Florür (SF_6) gazına ait teknik bilgiler [2] (devamı)

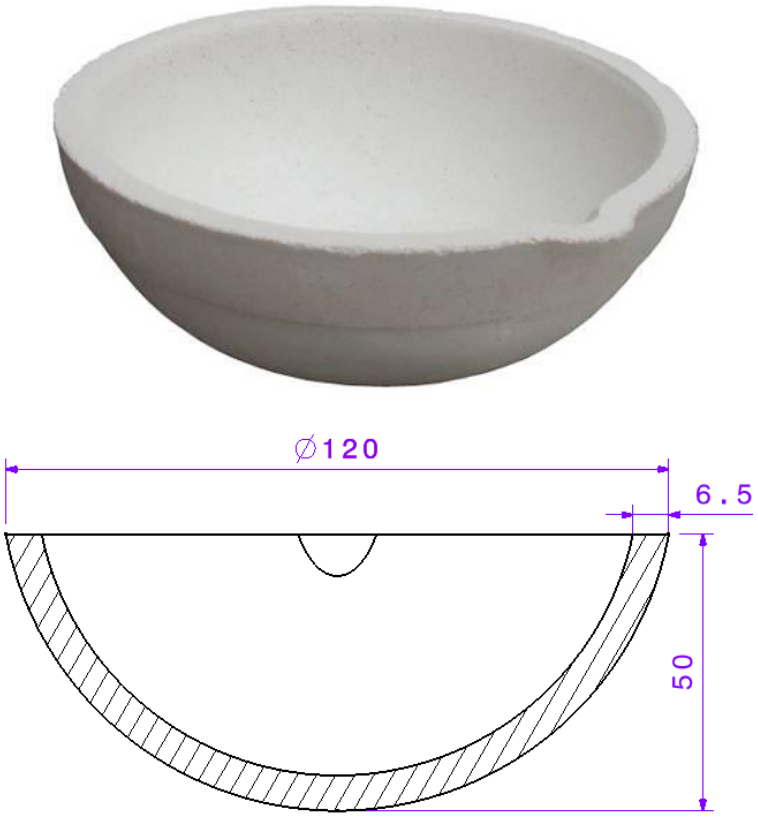
Ürün Adı	**Sülfür Hegza Florür (SF_6)**
Gazın Özgül Ağırlığı	5,1 (Hava=1)
Likit Yoğunluğu	1,59 kg/l (0°C, 12,65 bar)
Gazın Yoğunluğu	6, 07 kg/m^3 (20°C, 1bar)
Çözünürlük (H_2O)	34 g/ml
Diğer Bilgiler	Zehirsizdir / Havadan Oldukça Ağırdır

Çizelge 5.7 1,1,1,2-tetrafloretan (HFC-134a) gazına ait teknik bilgiler [25]

Ürün Adı	**1,1,1,2-tetrafloretan (HFC-134a)**
CAS Numarası	811-97-2
EEC Numarası	212-377-0
ADR Etiketi	Sınıf 2 (Yanıcı Olmayan ve Toksit Olmayan Gaz)
Fiziksel Hali / Renk / Koku	Sıvılaştırılmış Gaz / Renksiz / Eter gibi
Safiyeti	%99,5 hacimce
Molekül Ağırlığı	102 g/mol
Erime ve Donma Noktası	-108 °C
Kaynama Noktası / Kaynama Aralığı	-26 °C / 1,013 hPa
Buhar Basıncı	574 kPa (20 °C)
Buhar Yoğunluğu	4,32 (20 °C)
Bağıl Yoğunluk	4,24 (20 °C)
Çözünürlük (H_2O)	1 g/l (25 °C)
Tutuşma Sıcaklığı	>743 °C
Diğer Bilgiler	Zehirsizdir / Havadan Oldukça Ağırdır

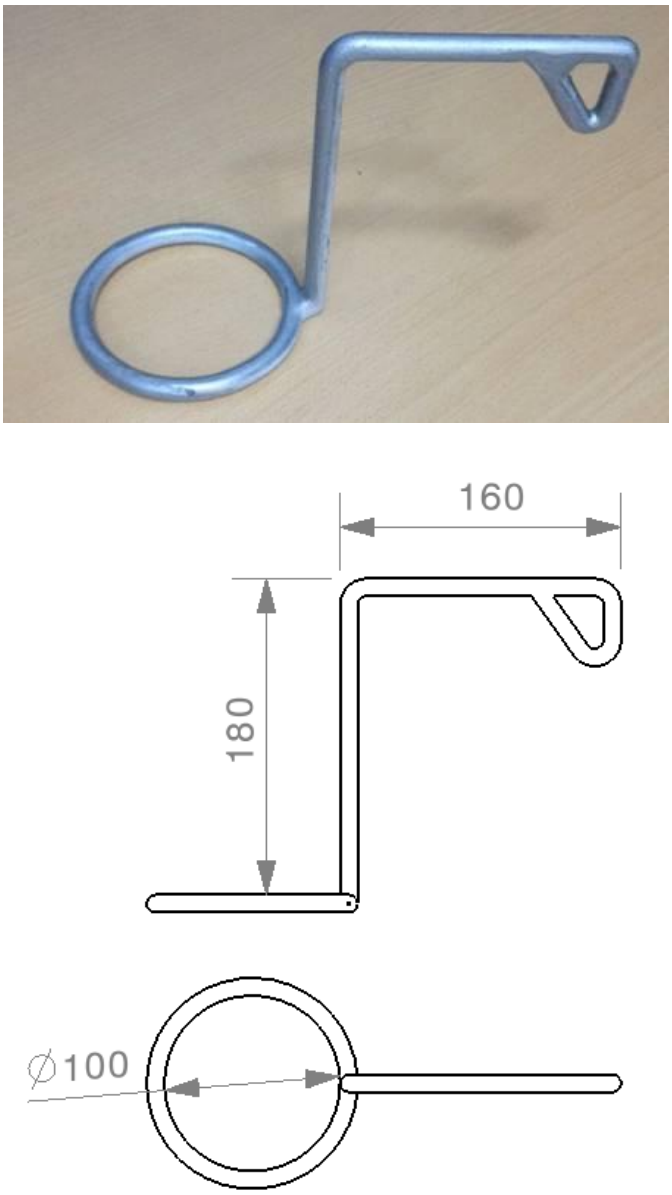
5.4 Numune Alma Potası, Kapağı ve Pota Tutucu Çember

Deneysel çalışmada, koruyucu gazların ergiyik üzerinde oluşturduğu film tabakasının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için fırın içinden film numuneleri almak gerekmektedir. Şekil 5.7'da gösterilen ve teknik ölçüleri verilen seramik potalar bu işlem için kullanılmıştır. Potalar fırından numune almadan önce elektrikli direnç fırınında 30 dakika 700°C'de ön tavlama işleminden geçirilmiştir.



Şekil 5. 7 Numune alma potası ve teknik çizimi

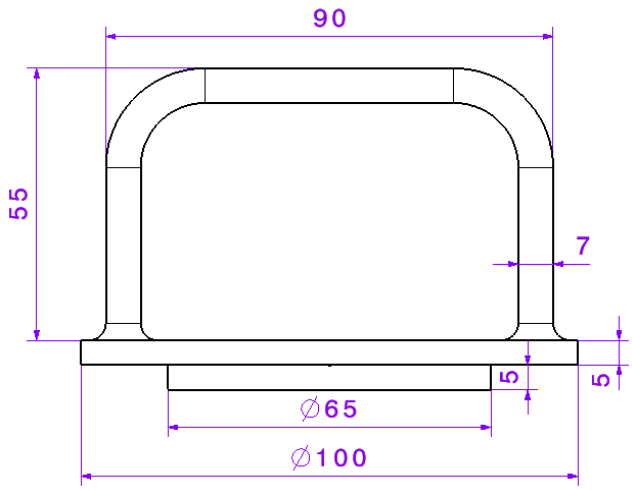
Potalar sayesinde farklı koruyucu gaz derişimlerinde, debilerinde ve farklı sürelerde oluşan film numuneleri örnekleri alınmıştır. Farklı atmosferlerde oluşan koruyucu film numunelerini alabilmek için potalar içindeki magnezyum ergiyiği ile birlikte fırın içinde belirlenen sürelerde koruyucu gaz atmosferine maruz kalmıştır. Potalar şekil 5.8'de ölçüleri gösterilen bir çember içine oturtularak fırın içindeki atmosferde istenilen zamanlarda beklemektedir.



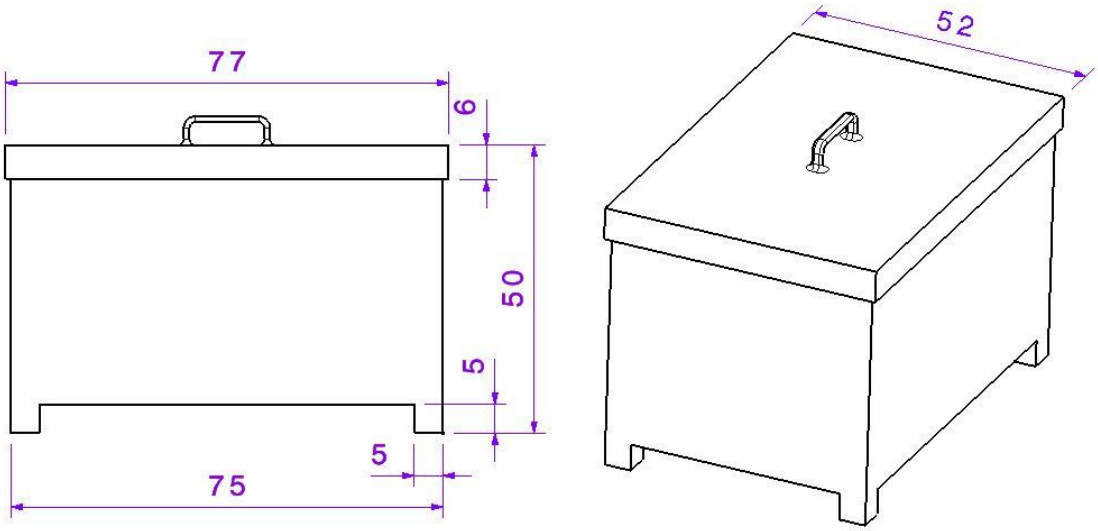
Şekil 5. 8 Numune potası tutucu çember ve teknik çizimi

Numune potaları fırından çıkarılırken paslanmaz çelikten imal edilmiş kapak ile ağızları kapatılmış, hava ile ergimiş magnezyumun teması engellenmiştir. Böylece soğumaya bıraktığımız numune potasındaki ergimiş magnezyum direk olarak havayla temas halinde olmamış ve yanma gerçekleşmeden soğuma işlemi gerçekleştirilebilmiştir. Kullanılan kapağın teknik çizimi şekil 5.9'de gösterilmiştir. Fırından çıkarılan numune potaları, altına kum serilen kapalı haznede (şekil 5.10), yüksek saflıktaki argon gazı ile soğutulması sağlanmıştır (argon gazına ait teknik bilgiler çizelge 5.8'de verilmiştir) ve numune potasından katılaşmış film numunesi alınmıştır.





Şekil 5. 9 Numune alma potası kapağı teknik çizimi



Şekil 5. 10 Kapalı hazne teknik çizimi

Çizelge 5. 8 Argon gazı (Ar) teknik bilgiler [26]

Ürün Adı	**Argon (Ar)**
CAS Numarası	7440-37-1
EEC Numarası	231-147-0
ADR Etiketi	Sınıf 2 (Parlayıcı ve Toksit Olmayan Gaz)
Fiziksel Hali / Renk / Koku	Gaz / Renksiz / Kokusuz
Safiyeti	%99,999 hacimce
Molekül Ağırlığı	39,95 g/mol
Kaynama Noktası	-185,90 °C
Ergime Noktası	-189,2 °C
Kritik Sıcaklık	-122 °C
Gazın Özgül Ağırlığı	1,38 (Hava=1)
Gazın Yoğunluğu	1,669 kg/m^3 (15°C, 1bar)
Çözünürlük (H_2O)	69 mg/l
Diğer Bilgiler	Zehirsizdir / Havadan 1,38 kat daha ağırdır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Taguchi Metodu ile Deneysel Tasarım

Koruyucu gaz atmosferi şartlarının daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak, harcanan gazı ve kullanım süresini azaltmak için Taguchi tekniği alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir.

Deneysel Tasarım 1920'lerde İngiliz istatistikçi Ronald Fisher tarafından tarım alanında yapılan araştırmalar esnasında bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, sonraki yıllarda Amerika'da, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yoğun biçimde kullanılmış ancak uygulamalar tarım sektörü ile sınırlı kalmıştır [27]. 1970'li yıllara kadar deneysel tasarımın temel prensipleri batıda pek fazla bilinmez iken Japonya'da oldukça yoğun kullanım alanına sahip bulunmaktaydı. Japon mühendisler bu kavramlara çok fazla ilgi göstermiştir ve sonunda da deney tasarımı metotları Amerika'da olduğundan çok daha güçlü bir mühendislik enstrümanı haline gelmiştir. 1980'lerin başında yönteme yeni bir yaklaşım getiren Japon bilim adamı Genichi Taguchi çevre koşullarından etkilenmeyecek, düşük varyasyona sahip, sağlam ürün ve proses tasarımı için kendi ismi ile anılacak metodu geliştirmiştir [28].

Taguchi metodunun, belirgin esaslarından biri, kesirli deney tasarımın, Matematikçi Jacques Hadamard'ın icat ettiği Ortogonal Dizimler ile yapılmasına dayanmaktadır. Uygun ortogonal dizimin öngördüğü şekilde yapılan deneyler, varyans analizi ya da faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metotları ile değerlendirilip yorumlanmaktadır.

Optimum parametreler belirlenmekte ve yapılacak doğrulama deneyleri ile uygunluğu ispatlanmaktadır [29].

Sistem tasarımında; temel fonksiyonel bir prototip tasarım üretmek için bilimsel veri tabanı oluşturulur. Sistem tasarımını parametre tasarımı takip etmektedir. Bu tasarımın amacı; kalite karakteristiklerini geliştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve optimal proses parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Taguchi tekniğinin kullanım sebebi, çıktı değerlerinin hedefte ve minimum varyansla sağlanmasıdır. Bu amaçla sistem tasarımında ortaya konulan tasarımın uygulanarak, etki eden faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi işlemine parametre tasarımı denmektedir [30].

Parametre tasarımı özetle;

1. Kalite karakteristiklerinin (yanıt faktörleri, örneğin; film kalınlığı) ve tasarım parametrelerinin (kontrol faktörlerinin, örneğin; ergiyik sıcaklığı, tutma süresi, gaz derişimi, gaz debi miktarı vb.) belirlenmesi,
2. Kontrol faktörlerin ve etkileşimlerinin seviyelerinin belirlenmesi,
3. Uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizinin belirlenmesi ve bu ortogonal diziye parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirmesi,
4. Ortogonal diziye yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,
5. Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarının hesaplaması ve sonuçların analiz edilmesi,
6. Optimal kontrol faktörlerin seçilmesi,
7. Doğrulama testlerinin yapılması, şeklinde basamaklandırılabilir. Daha sonraki adımda ise, belirlenen kontrol faktörlerin uygun seviyeleri belirlenir. Sonraki aşama, uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizi belirlemek ve bu ortogonal diziye faktörlerin uygun seviyelerini yerleştirmektir [30].

Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımlarına “ortogonal dizi” ismini vermiştir. Ortogonal diziler Taguchi tarafından aşağıdaki gibi kodlanmıştır.

$LX(Y^Z)$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır.

X: tasarımdaki deney sayısı,

Y: Deneydeki seviye sayısı,

Z: Deneyde kullanılabilecek max. faktör sayısı.

Bu kodlamanın pratikte (Y^Z) kısmı pek kullanılmamaktadır [30].

En çok kullanılan Ortogonal Dizimler düzeylerine göre şöyledir [29];

- 2 düzeyli: L4, L8, L12, L16, L32, L64
- 3 düzeyli: L9, L18, L27
- 4 düzeyli: L16 ve L32 (Yeniden düzenlenmiş)

Ortogonal dizimler kullanılarak hangi denemede hangi faktörün hangi düzeyinin kullanılacağının belirlenmesi Taguchi metodunun özünü oluşturur. Taguchi uzun çalışmalar sonrasında standart deneme planları belirlemiş ve bunların Hadamard'ın ortogonal dizimleri ile özdeş olduğunu görmüştür. Bu dizimler baz alınarak yapılacak denemeler ile tam faktöryel bir denemenin sonuçlarının aynı olacağı iddiasında bulunmuş ve haklılığını yaptığı pek çok uygulama ile göstermiştir [29].

6.2 Koruyucu Atmosfer Oluşumu için Gerekli Parametrelerin Seçimi

Prosesi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça, ihtiyaç duyulan deney sayısında da çok hızlı bir artış meydana gelmektedir. Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm önermiştir. Bu sayede deneysel çalışma öncesinde yapılacak ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle, ihtiyaç duyulacak deney sayısını önemli şekilde azaltmak mümkün olmaktadır [2].

Bu çalışmada amacımız, AZ91 alaşımının ergiyiğinin korunmasındaki yanıt faktörlerinin optimal seviyelerini belirleyerek, yanma ve oksitlenme problemlerine karşı en iyi korumayı sağlayan koruyucu atmosfer şartları ile önlem alarak, döküm esnasında veya

ergiyiğin bekletilmesi sırasında karşılaşılan bu sorunları önlemektir. Bu çalışmada, kontrol faktörü olarak; **ergiyik metalin sıcaklığı**, **koruyucu gaza maruz kalma süresi**, **koruyucu gazların karışım oranları** ve **gaz akış debisi** dikkate alınmıştır. Yanıt faktörü olarak koruyucu filmin kalınlığı ölçülmüştür. Bu faktörler için 3 seviye belirlenmiştir. Bu deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak 9 deneyli Taguchi L9 ortogonal dizim seçilmiştir.

Çizelge 6. 1 Taguchi L9 Deney Tasarımı

Deney	**Kontrol Faktörleri**			
	A	**B**	**C**	**D**
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

İmalat aşamasında kullanılacak olan AZ91 alaşımının, solidüs sıcaklığının 470°C ve likidüs sıcaklığının da 595°C olduğu ilgili standartlarda belirtilmektedir. Seri üretim hattında kullanılan ergitme fırınının üreticisi MELTEC firması AZ91 alaşımı için 660°C banyo sıcaklığını tavsiye etmektedir. Bizim için belirleyici sıcaklık değeri likidüs sıcaklığı yani 595°C olduğundan, literatür taraması ve üretici firma tavsiyeleri de dikkate alındığında, AZ91 alaşımı için sırasıyla 640 - 660 - 680°C döküm sıcaklıklarının, daha doğrusu fırın içi banyo sıcaklıklarının deneylerde kullanılacak sıcaklık faktörü olarak seçilmesine karar verilmiştir.

Film oluşumunu gözlemleyebilmek ve oluşan filmin zaman içindeki kimyasal yapısının değişimini inceleyebilmek adına ergiyik metal banyosunun koruyucu gaz atmosferi ile temas etme süresi olarak, literatür taraması da göz önüne alınarak; 5, 30 ve 60 dakika seçilmiştir.

Koruyucu atmosfer şartlarını sağlamak için SF_6 ve HFC-134a gazı koruyucu gaz olarak, N_2 gazı da taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. SF_6 ve HFC-134a gazı için fırın üreticisi MELTEC tarafından hacimce % 0,25 karışım oranı tavsiye edilmektedir. Ayrıca sisteme gönderilecek olan koruyucu gaz karışımı için; ergitme fırınına 300 - 800 l/h hacimsel debi değerlerinin tavsiye edildiği bilinmektedir. Üretici firmanın tavsiyesi ve literatürden elde edilen veriler ışığında deneyler hacimsel olarak % 0,20 - 0,25 - 0,30 konsantrasyonlarına sahip SF_6-N_2 gaz karışımları 300-450-600 l/h debi değeri ile yapılmış olup, bu deneyler aynı oranlarda HFC134a-N_2 gazı için de tekrarlanmıştır [2].

6.3 Deneysel Tasarım için Numune Film Eldesi

Ortogonal Dizim seçildikten ve kolonlarına faktör ve etkileşimlerin ataması yapıldıktan sonra deneylerin fiilen gerçekleştirilmesine başlanmıştır.

Çizelge 6.2'de L9 ortogonal dizim için Taguchi deney tasarımında kullanılacak kontrol faktörleri ve bu faktörlere ait seviyeler verilmiştir.

Çizelge 6. 2 Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri

Faktörler	Ergiyik Metalin Sıcaklığı (°C)	Koruyucu Gaza Maruz Kalma Süresi (dk)	Koruyucu Gazların Karışım Oranları (%)	Gaz Akış Debisi (lt/saat)
1. Seviye	640	5	0.20	300
2.Seviye	660	30	0.25	450
3.Seviye	680	60	0.30	600

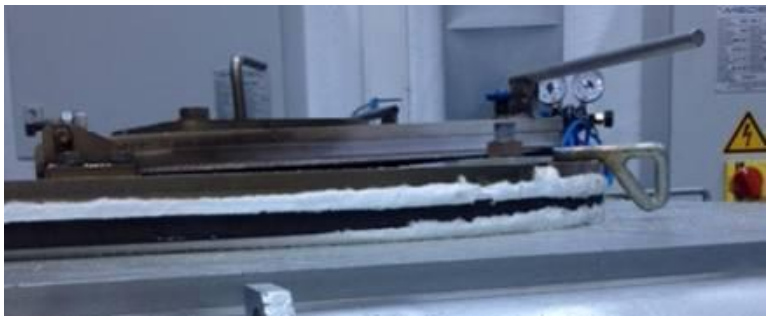
Çizelge 6. 3 Kontrol Faktörleri ve Seviyelerinin L_9 Ortogonal Dizimine Yerleştirilmesi

Deney No	Değişkenler	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Derişim (%)	Debisi (lt/saat)
1	A1B1C1D1	1	1	1	1
2	A1B2C2D2	1	2	2	2
3	A1B3C3D3	1	3	3	3
4	A2B1C2D3	2	1	2	3
5	A2B2C3D1	2	2	3	1
6	A2B3C1D2	2	3	1	2
7	A3B1C3D2	3	1	3	2
8	A3B2C1D3	3	2	1	3
9	A3B3C2D1	3	3	2	1

Çizelge 6. 4 Kontrol Faktörleri ve L_9 Ortogonal Dizim

Deney No	Değişkenler	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Derişim (%)	Debisi (lt/saat)
1	A1B1C1D1	640	5	0.20	300
2	A1B2C2D2	640	30	0.25	450
3	A1B3C3D3	640	60	0.30	600
4	A2B1C2D3	660	5	0.25	600
5	A2B2C3D1	660	30	0.30	300
6	A2B3C1D2	660	60	0.20	450
7	A3B1C3D2	680	5	0.30	450
8	A3B2C1D3	680	30	0.20	600
9	A3B3C2D1	680	60	0.25	300

SF_6 gazı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada, 5 bar azot gazının, 8 bar ise SF_6 gazının, HFC-134a gazı ile gerçekleştirilen çalışmada ise 6 bar azot gazının, 3 bar ise HFC-134a gazının karıştırma ünitesi sistemine giriş basıncı olarak ayarlanması gerçekleştirilmiştir. Bu gazlar karıştırma ünitesinde çıkış basıncı olarak azot gazı 2 bar değerine HFC-134a ve SF_6 gazı ise 2.4 bar değerine düşürülmektedir. Potalar, fırından numune almadan önce elektrikli direnç fırınında 700°C'de 30 dakika ön tavlamaya tabi tutulmuştur. Ön tavlama yapılan potalar, koruyucu gaz debisi ve derişimi taguchi tablomuzdaki her bir deney satırına göre ayarlanmış koruyucu gaz atmosferi şartlarındaki fırın içinde bulunan ergiyik magnezyumla bir miktar doldurulup, çember içine oturtularak (şekil 6.1) fırın içindeki koruyucu atmosferde belirlenilen sürelerde bekletilmiştir. Fırındaki toplam ergiyik magnezyum miktarı 250 kg'dır. Potalar ergiyik magnezyumla doldurulmadan önce fırın içindeki ergiyik magnezyumun yüzeyinde oluşan cüruf temizlenmiştir. Ayrıca, fırın içindeki debi ve derişim değişimlerinin dengelenmesi için her deney için en az 30 dakika fırındaki gaz konsantrasyonunun dengelenmesi için beklenmiştir.



Şekil 6. 1 Pota içindeki ergiyiğin fırın içinde bekletilmesi ile film oluşumunun sağlanması

Belirlenen süre boyunca fırın içinde bekletilen pota içindeki ergimiş magnezyumun üstünde oluşan film, fırından alınırken kapağı kapatılmış (şekil 6.2) ve altına kum serilen kapalı haznede 5 dakika boyunca 5 bar basıncındaki argon gazı püskürtülerek soğutulmuş, 5 dakika da kapalı haznede gaz püskürtmeksizin soğumaya bırakılıp, katılaşması sağlanmıştır. Ardından numune potasındaki kapak açılmış, potadan ayrılan film numunesinin oda sıcaklığına gelmesi beklenilmiştir (şekil 6.3). Çizelge 6.5 elde edilen film numunelerini göstermektedir.

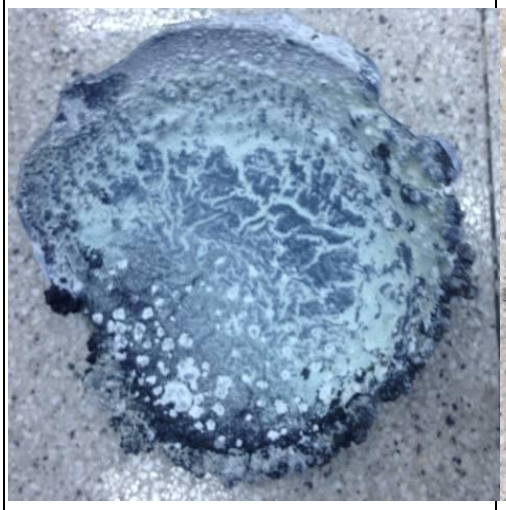
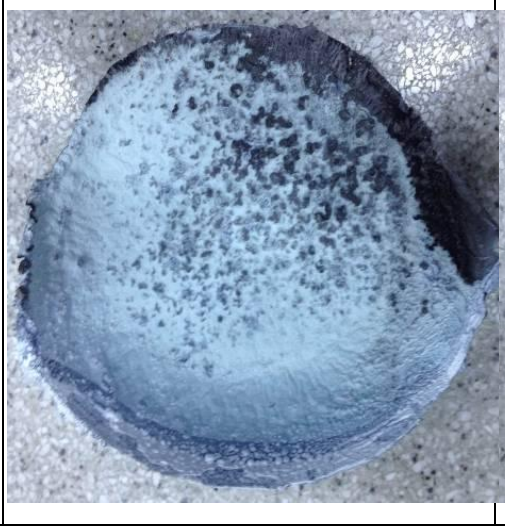
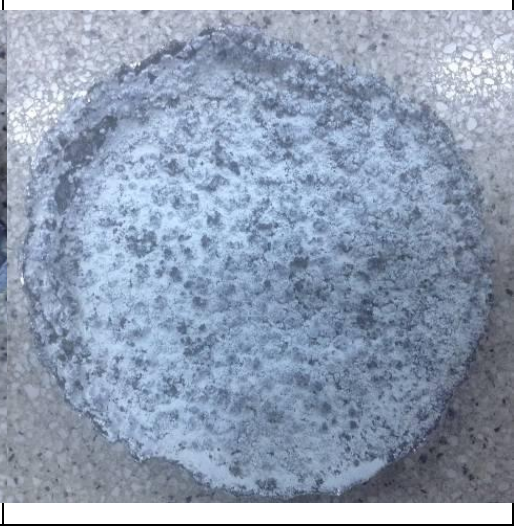


Şekil 6. 2 Numune alma potası, kapağının gösterimi

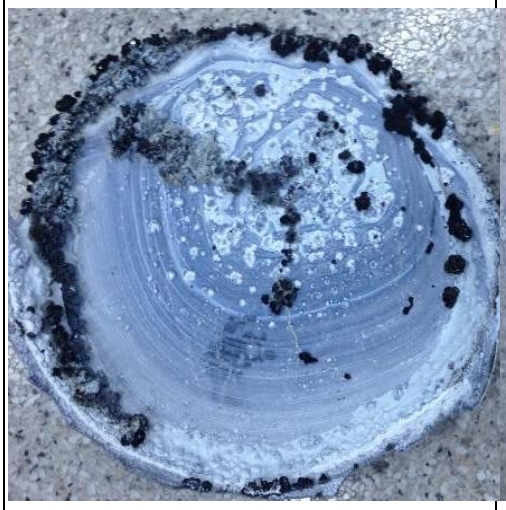
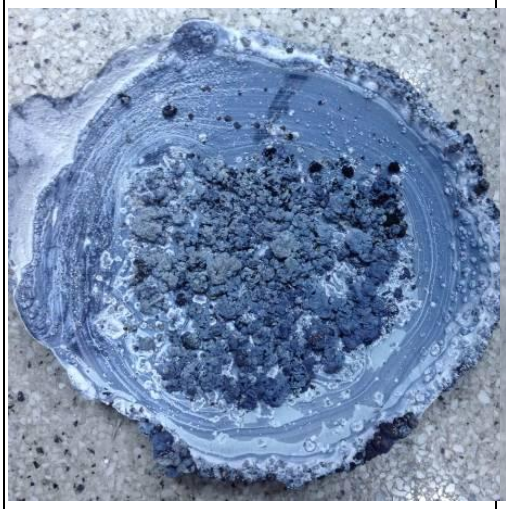
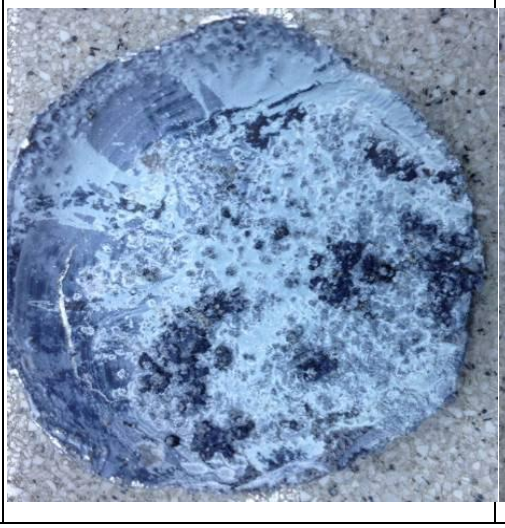
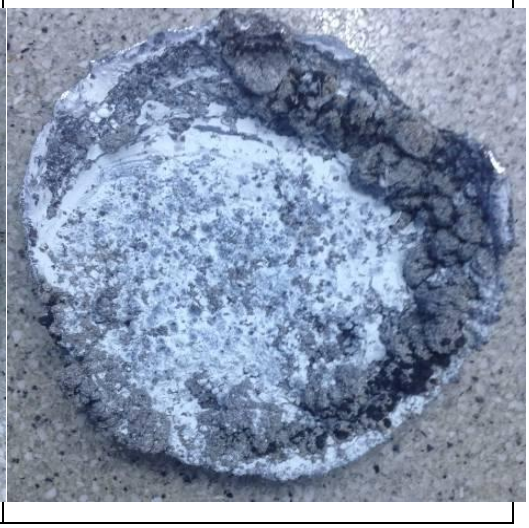


Şekil 6. 3 Film numunesi 10 dakika kapalı haznede katılaştıktan sonra kapağın açılması

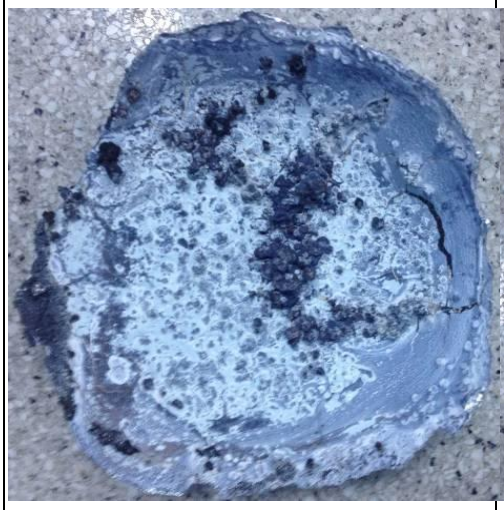
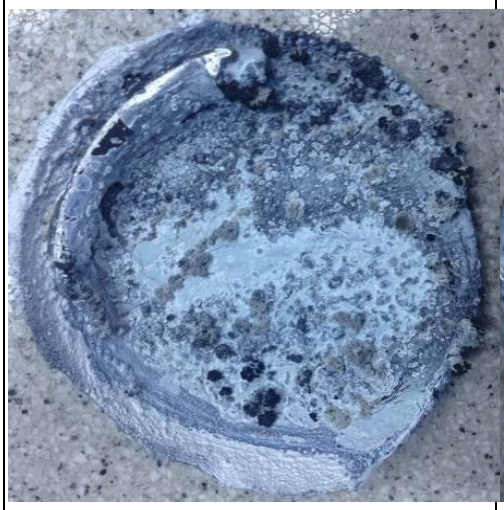
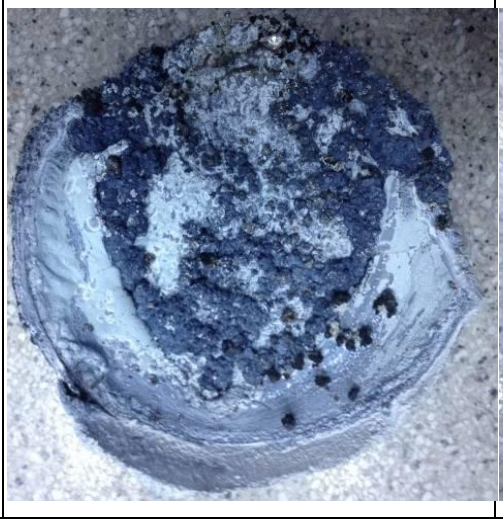
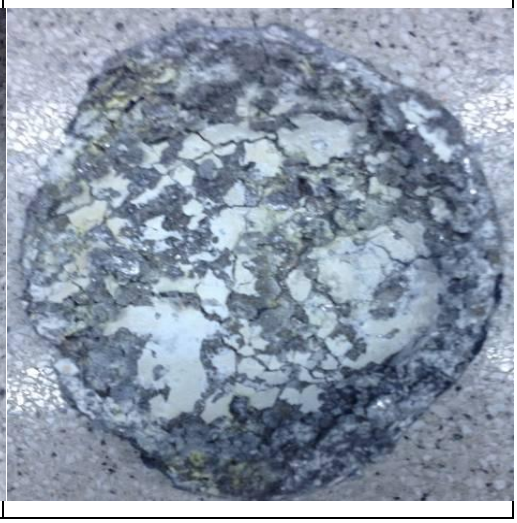
Çizelge 6. 5 L_9 dizime göre kontrol faktörlerinden elde edilen numuneler

Numune No	Değişkenler	SF_6	HFC-134a
1	A1B1C1D1		
2	A1B2C2D2		
3	A1B3C3D3		

Çizelge 6. 5 L_9 dizime göre kontrol faktörlerinden elde edilen numuneler (devamı)

Numune No	Değişkenler	SF_6	HFC-134a
4	A2B1C2D3		
5	A2B2C3D1		
6	A2B3C1D2		

Çizelge 6. 5 L_9 dizime göre kontrol faktörlerinden elde edilen numuneler (devamı)

Numune No	Değişkenler	SF_6	HFC-134a
7	A3B1C3D2		
8	A3B2C1D3		
9	A3B3C2D1		

İlk başta paslanmaz çelik potalar (Şekil 6.4) aracılığı ile numune filminin alınması planlanmıştı. Ancak paslanmaz çelik numune potasında katılaşan film numunesini, kalıp ayırıcı sprey uygulanmasına rağmen, potadan ayırmada yaşadığımız sıkıntılardan dolayı seramik potaya geçilmesi düşünülmüştür. Seramik potalardan film numunesi katılaştıktan sonra rahatça kalıptan çıkmaktadır yalnız seramik potalar çatlama riskinden dolayı tek kullanımlık olmaktadır.



Şekil 6. 4 Paslanmaz çelik numune potası gösterimi

6.4 Taguchi Deneysel Analiz Sonuçları

Deneysel çalışmaların yapılması parametre tasarımın dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşamada ise, deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir [30].

Taguchi deney tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan yöntem, ölçülmek istenilen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranı şeklinde açıklanabilir. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen unsurların payını temsil etmektedir. S/N oranının hesaplanmasında deneyler sonucunda ulaşılması hedeflenen kalite değerinin özelliği de oldukça önemlidir [2].

Toplam S/N çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır: *Daha küçük daha iyidir, daha büyük daha iyidir ve nominal daha iyidir* şeklindedir [29].

Bu tez çalışmamda, en iyi korumayı sağlayan, iyi bir koruyucu film elde edilmesi hedeflendiğinden, koruyucu gaz atmosferinin belirlenmesindeki deneylerin analizinde "**büyük değer en iyi**" yaklaşımına göre hesaplanan yanıt faktörüne ait S/N oranları kullanılmıştır.

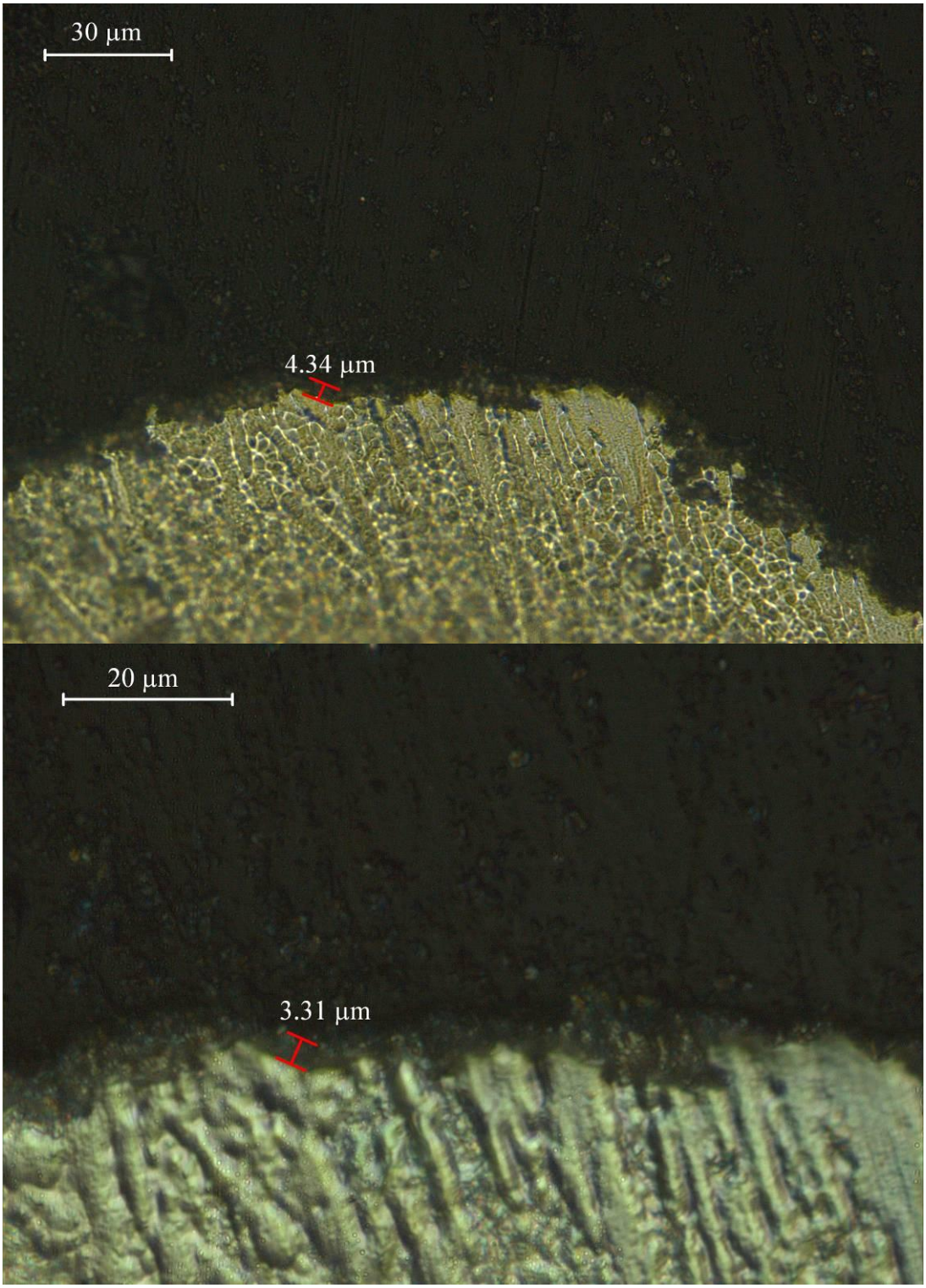
Hangi S/N oranı değerlendirmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak karşımıza çıkan değerlerde, daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade etmektedir. Böylece deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olanlar, optimum koruyucu atmosfer şartlarını vermektedir [2].

6.4.1 $SF_6 + N_2$ için Koruyucu Film Kalınlığı Ölçümleri - Optik Mikroskop Görüntüleri

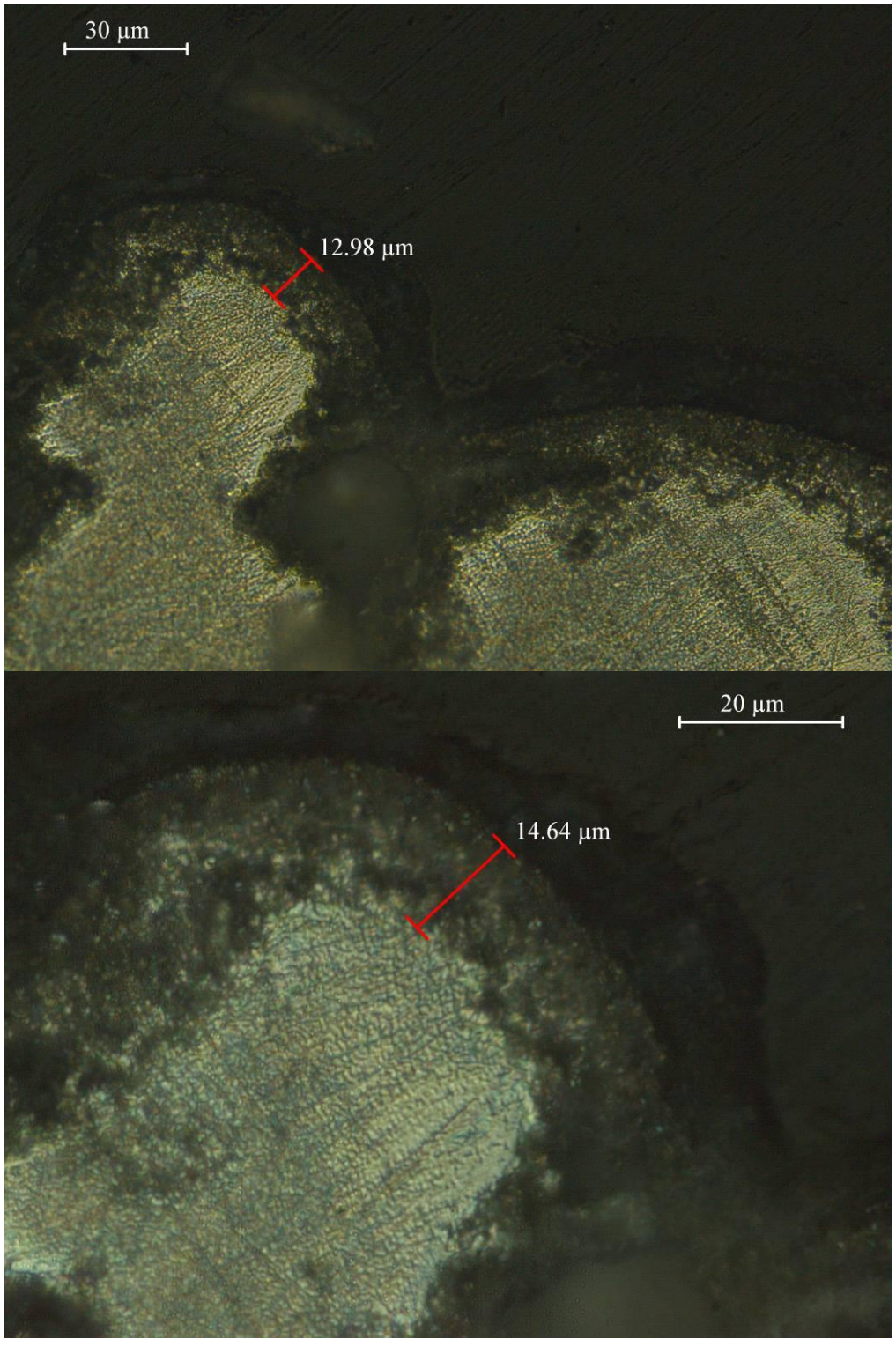
Numuneler, film kalınlığının sağlıklı bir şekilde optik mikroskopla görüntülenebilmesi için sulu kesme ile istenilen ölçülerde kesilmiş; sonrasında epoksi reçine ve sertleştirici kullanılarak soğuk bakalite alınmış; ardından uygun metalografik yüzey hazırlama yöntemleriyle parlatılmış ve dağlanmıştır. Metalografik yüzey hazırlama esnasında sırasıyla 240 - 320 - 400 - 600 - 800 - 1000 'lik tane boyutuna sahip silisyum karbür zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Zımparalama işleminin ardından kaba parlatma için 600'lük alümina pasta ve ince parlatma için de sırasıyla 6 - 3 - 1 µm tane boyutuna sahip elmas pastalar kullanılmıştır. Parlatılan numuneler distile su ile yıkanıp etanol ile temizlendikten sonra kurutma makinesi ile kurutulmuş ve son olarak da film oluşumunu ve filmin kalınlığını rahat bir şekilde görüntüleyebilmek için % 2,5'lik Nital ile 15 s süreyle dağlanmıştır [31],[32].

Film kalınlığı ölçümleri İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ait laboratuarlarda gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri LEICA CTR6000 ışık mikroskobu kullanılarak 800X ve 1600X büyütmeler kullanılarak elde edilmiştir.

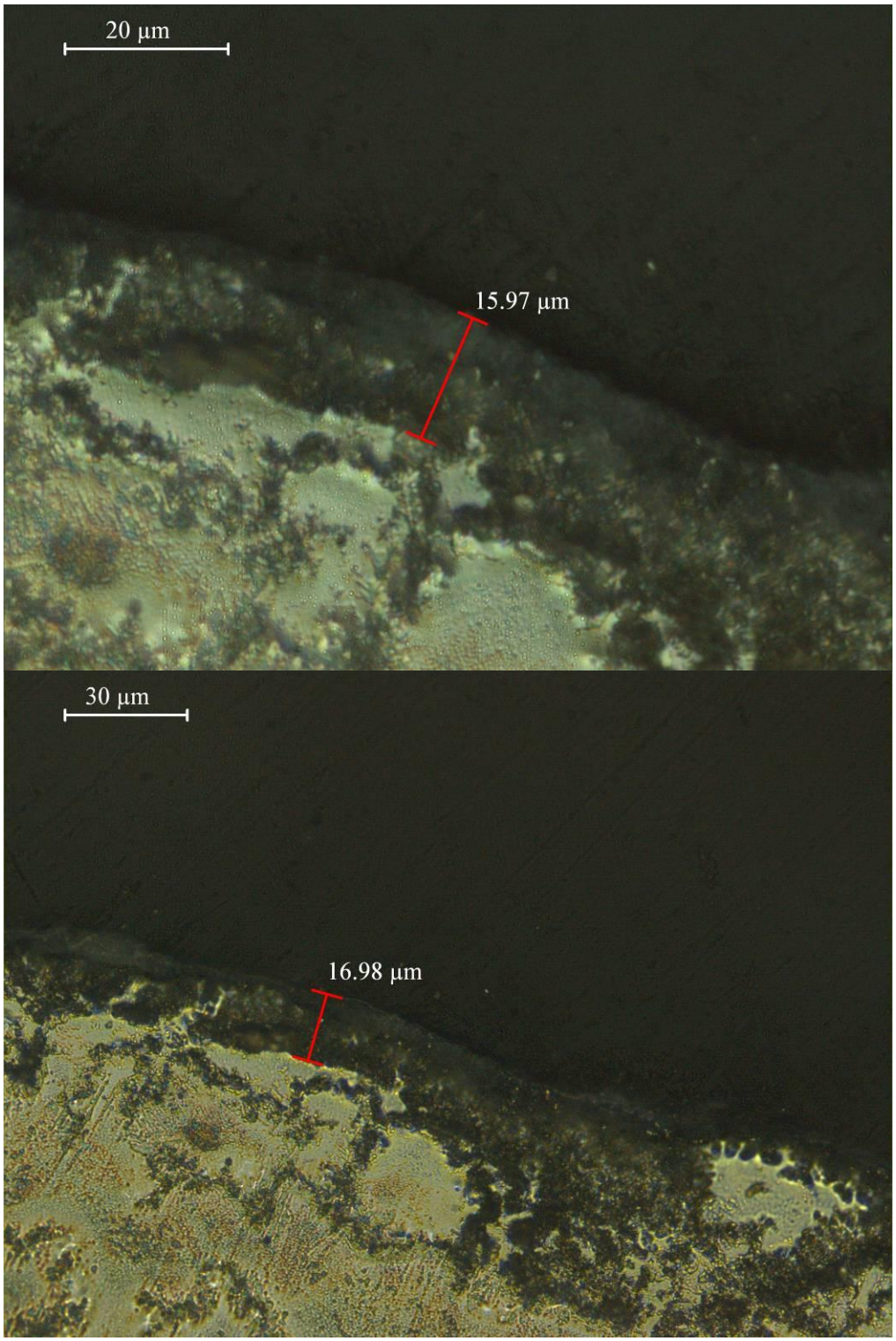
SF_6 gazı ile elde edilen numunelerden alınan optik mikroskop görüntüleri aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Tüm optik mikroskop görüntüleri yukarıdan aşağıya sırasıyla 800X - 1600X büyütmeler kullanılarak elde edilmiştir.



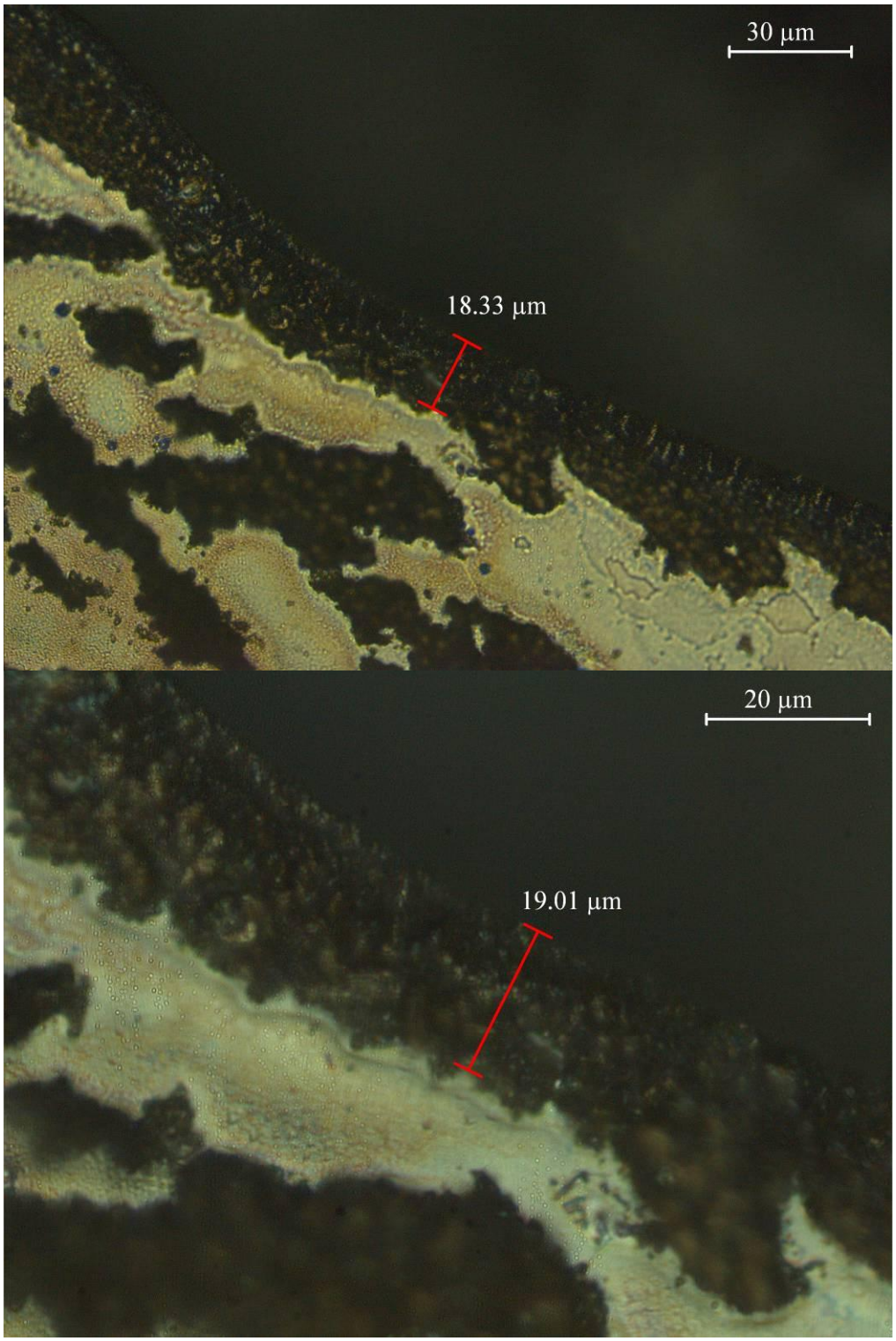
Şekil 6. 5 SF_6 1.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



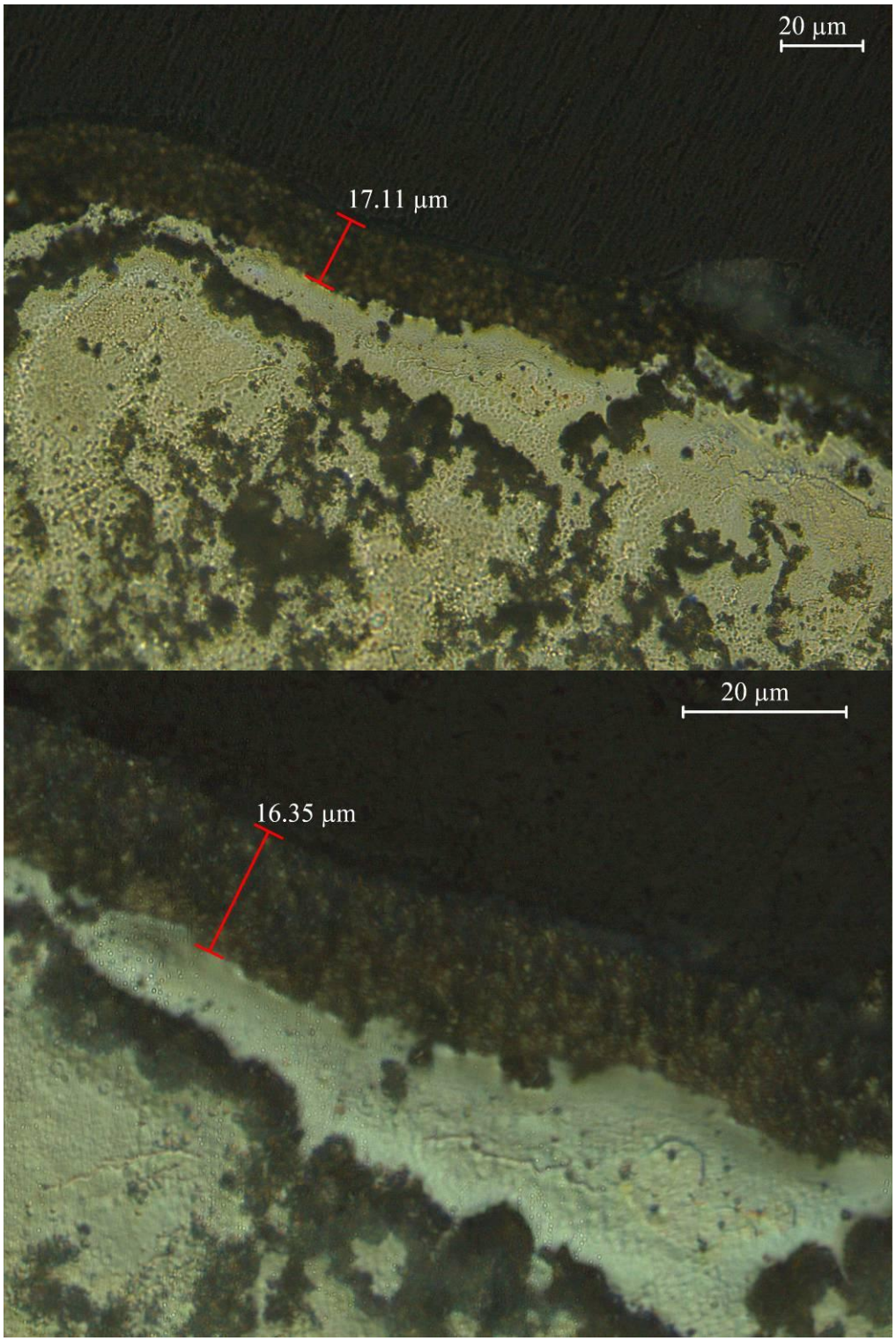
Şekil 6. 6 SF_6 2.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



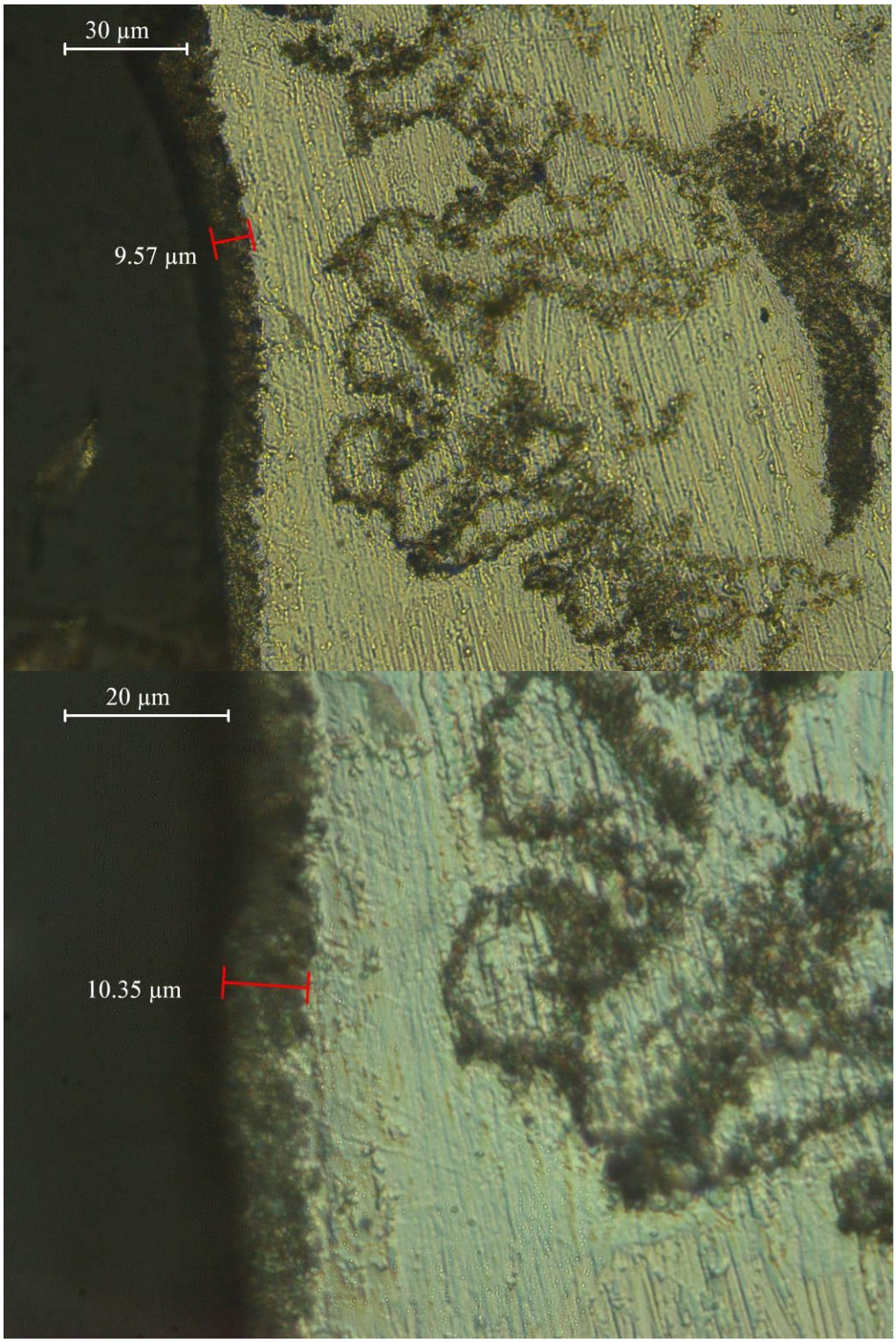
Şekil 6. 7 SF_6 3.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



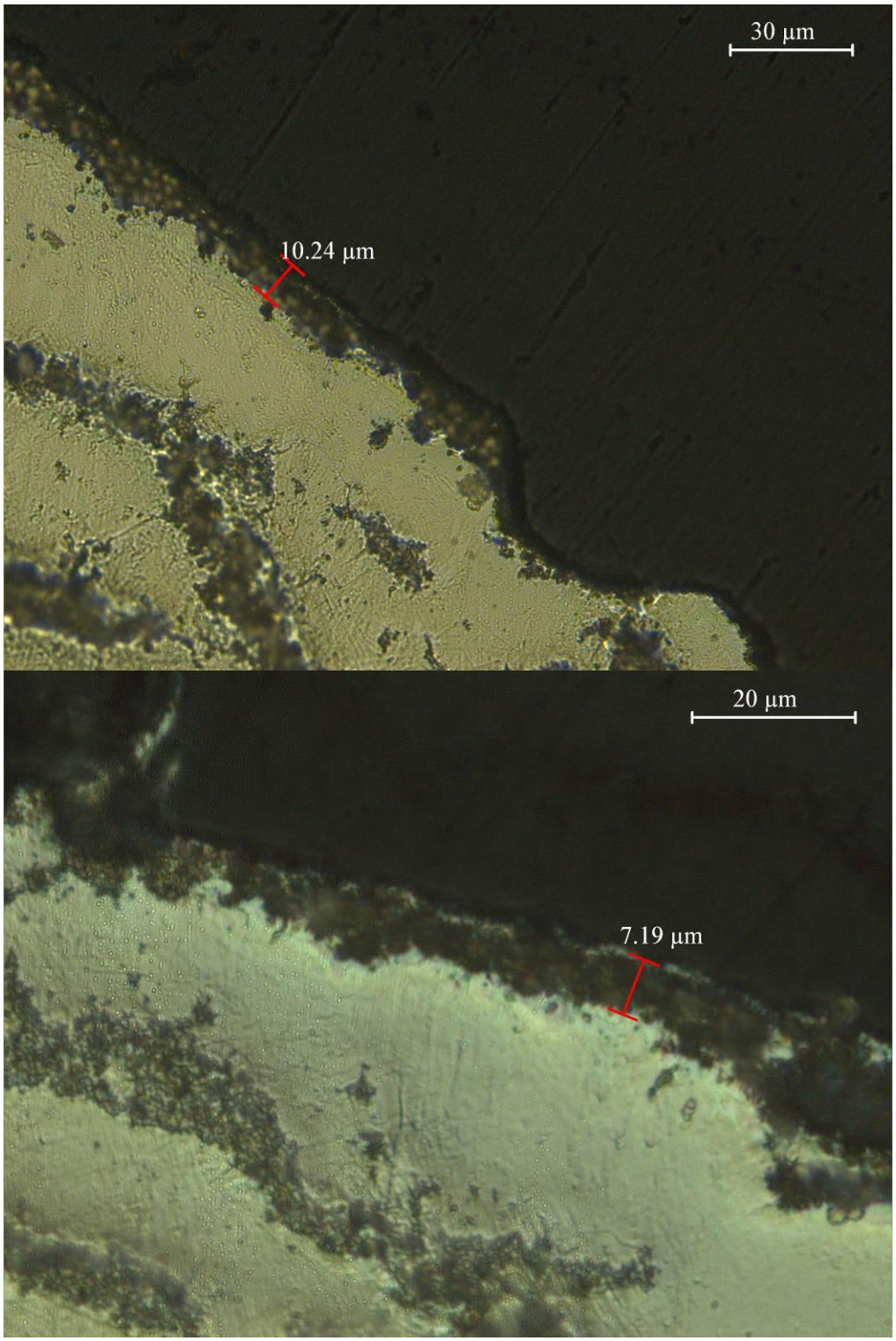
Şekil 6. 8 SF_6 4.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



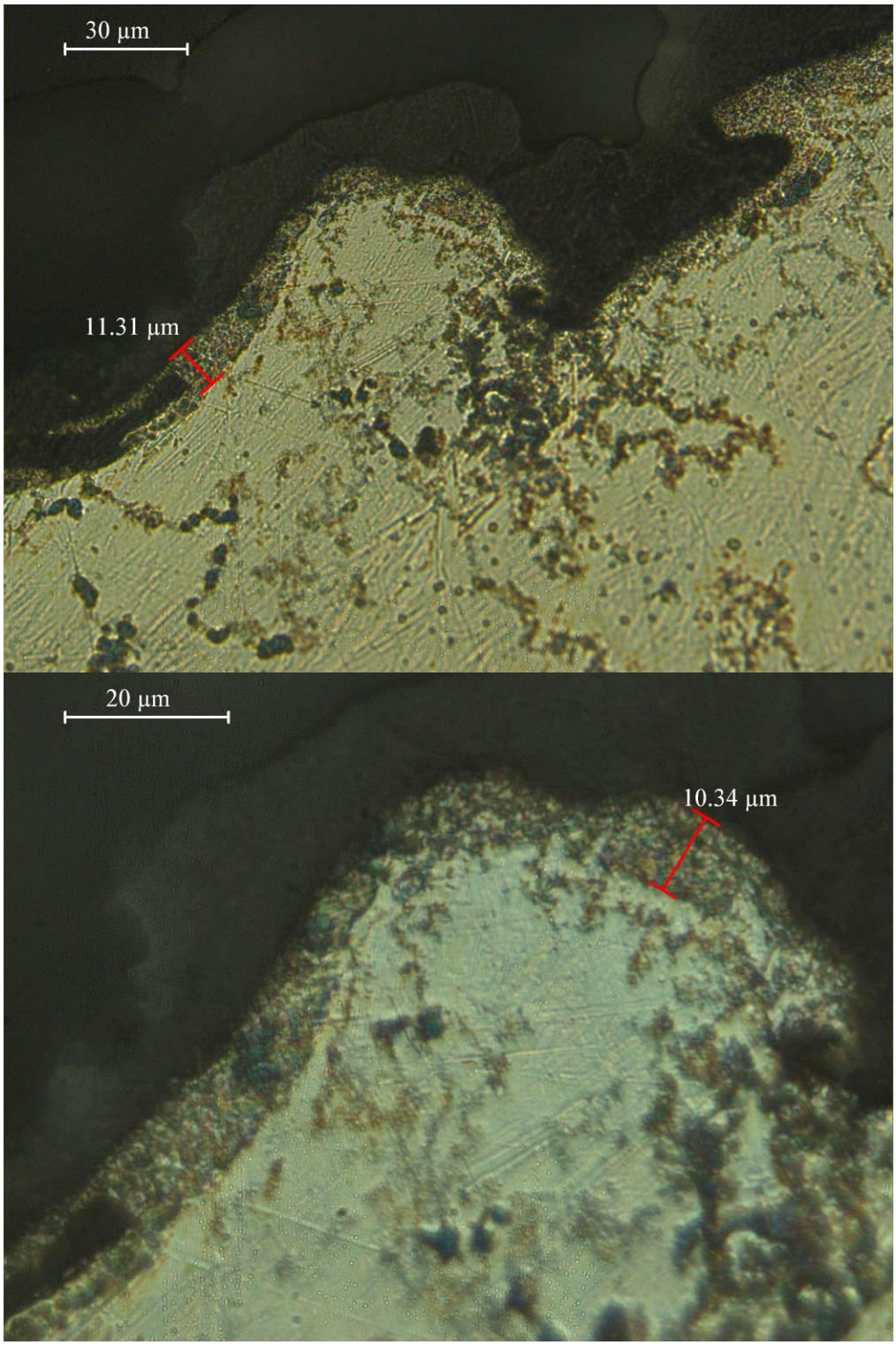
Şekil 6. 9 SF_6 5.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



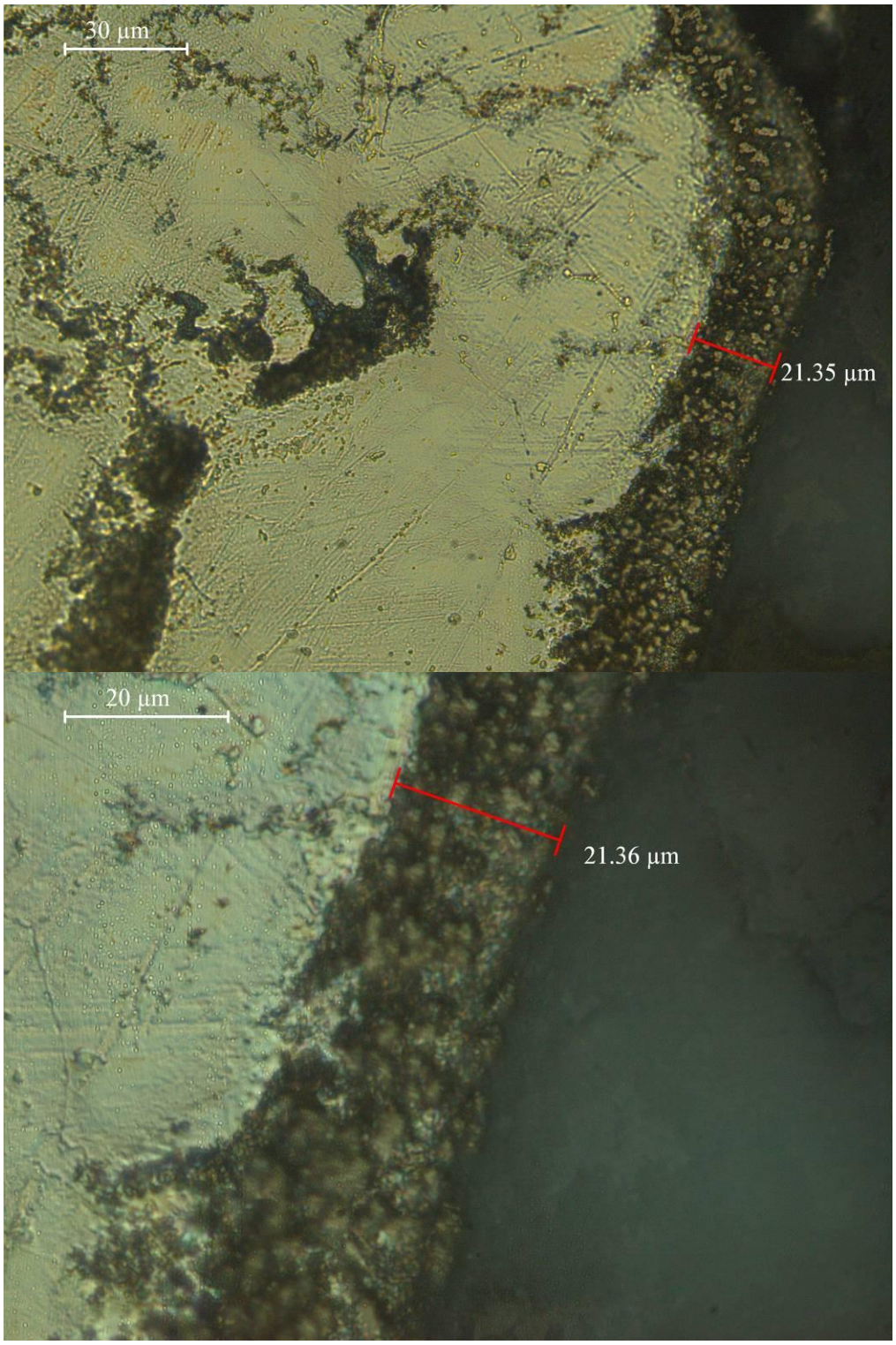
Şekil 6. 10 SF_6 6.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 11 SF_6 7.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 12 SF_6 8.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 13 SF_6 9.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri

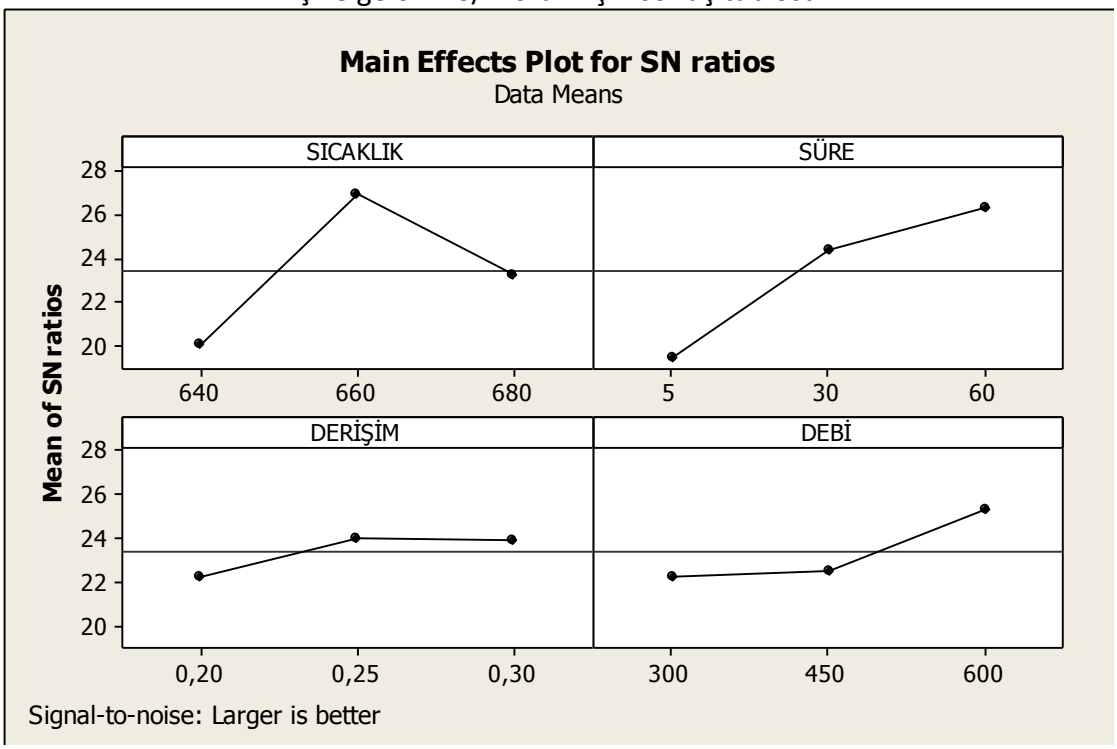
6.4.2 SF_6 Gazı için Optimum Koruyucu Atmosfer Şartlarının Belirlenmesi

Çizelge 6.6'da her deney için optik mikroskop ile ölçülen film kalınlığı değeri üzerinden "en büyük - en iyi" denklemi yardımıyla hesaplanan "MİNİTAB 16" programı ile hesaplanan S/N (sinyal/gürültü) oranları verilmiştir.

Çizelge 6. 6 SF_6 gazındaki film kalınlığı ve S/N oranları

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	SICAKLIK	SÜRE	DERİŞİM	DEBİ	KALINLIK	MEAN11
1	640	5	0,20	300	4,91	4,9125
2	640	30	0,25	450	10,91	10,9075
3	640	60	0,30	600	18,95	18,9500
4	660	5	0,25	600	18,98	18,9750
5	660	30	0,30	300	23,39	23,3875
6	660	60	0,20	450	24,61	24,6075
7	680	5	0,30	450	8,91	8,9125
8	680	30	0,20	600	17,92	17,9225
9	680	60	0,25	300	19,33	19,3275

Çizelge 6. 7 S/N oranı için sonuç tablosu



Çizelge 6.7'de SF_6 gazı için yanıt faktörünün S/N oranları görülmektedir. En büyük en iyidir yaklaşımıyla yapılan optimizasyona göre, film kalınlığının en büyük olduğu seviyeler; 660°C ergiyik banyo sıcaklığında, 60 dakika bekleme süresinde, % 0.25 SF_6 gazının azot ile karışım oranında ve 600 lt/h debisinde gönderilmesi ile gerçekleşmektedir.

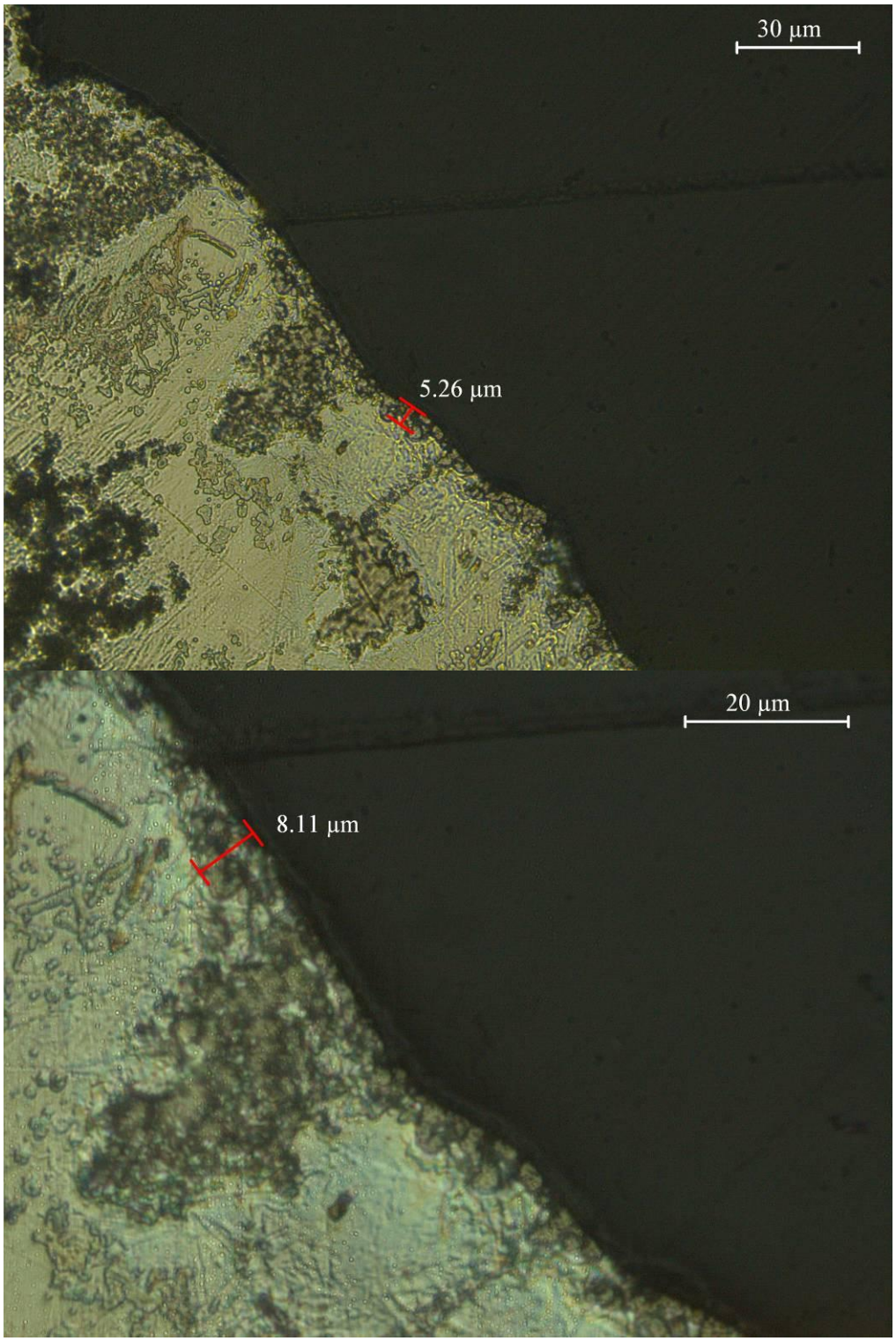
Level	SICAKLIK	SÜRE	DERİŞİM	DEBİ
1	20,04	19,46	22,24	22,31
2	26,92	24,40	24,01	22,53
3	23,26	26,37	23,98	25,39
Delta	6,88	6,90	1,78	3,08
Rank	2	1	4	3

Bu optimizasyona göre en etkili faktörün süre, en az etkili faktörün de derişim olduğu gözükmektedir. Sırasıyla süre, sıcaklık, debi ve derişim oranları film kalınlığının oluşumuna etki etmektedir.

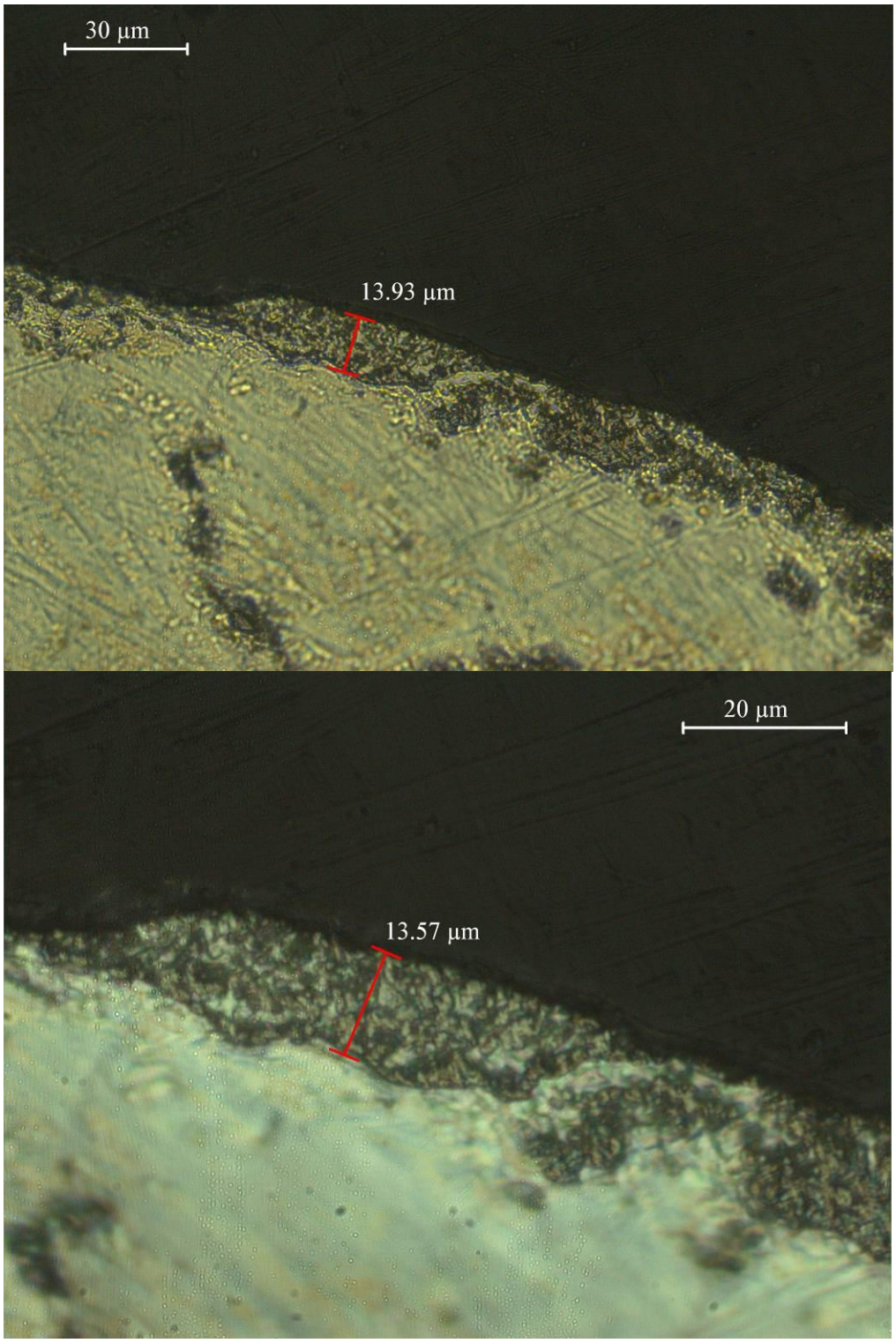
Taguchi optimizasyon yöntemi ile film kalınlığı için yapılan tahmini model, sıcaklık, debi, süre değerlerinde optimal değerlere ulaşılabileceğini ortaya koymuştur. Optimal koşullar, daha önce yapılan mevcut deney şartları arasında bulunmamaktadır.

6.4.3 HFC-134a + N_2 için Koruyucu Film Kalınlığı Ölçümleri - Optik Mikroskop Görüntüleri

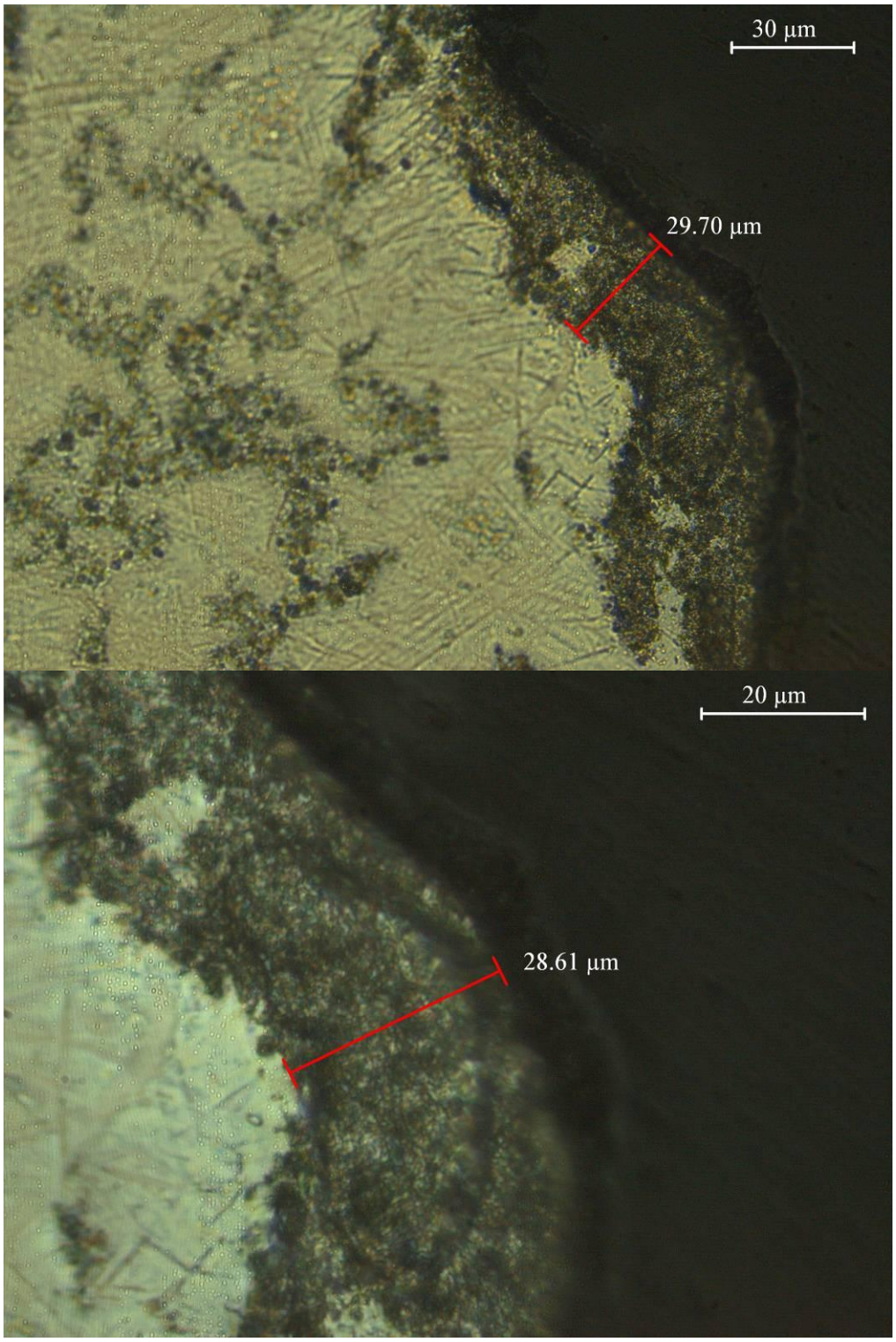
Yapılan işlemler, kullanılan techizat, numunelerin hazırlanması ve ölçümler SF_6 ile yapılan çalışmanın aynısı olup bu gaz ile elde edilen numunelerden alınan optik mikroskop görüntüleri aşağıda sunulmuştur. Tüm optik mikroskop görüntüleri yukarıdan aşağıya sırasıyla 800X - 1600X büyütmeler kullanılarak elde edilmiştir.



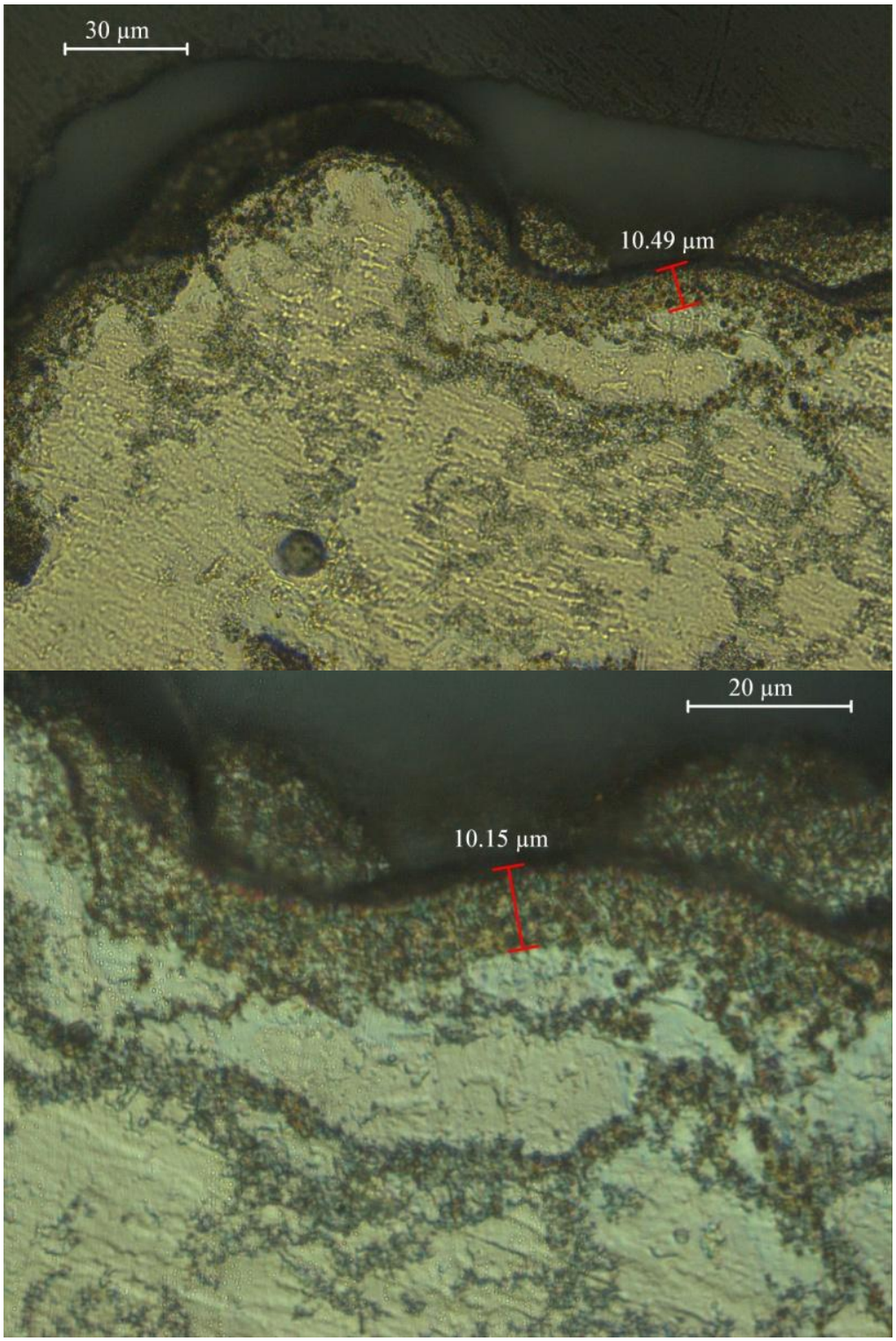
Şekil 6. 14 HFC-134a 1.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



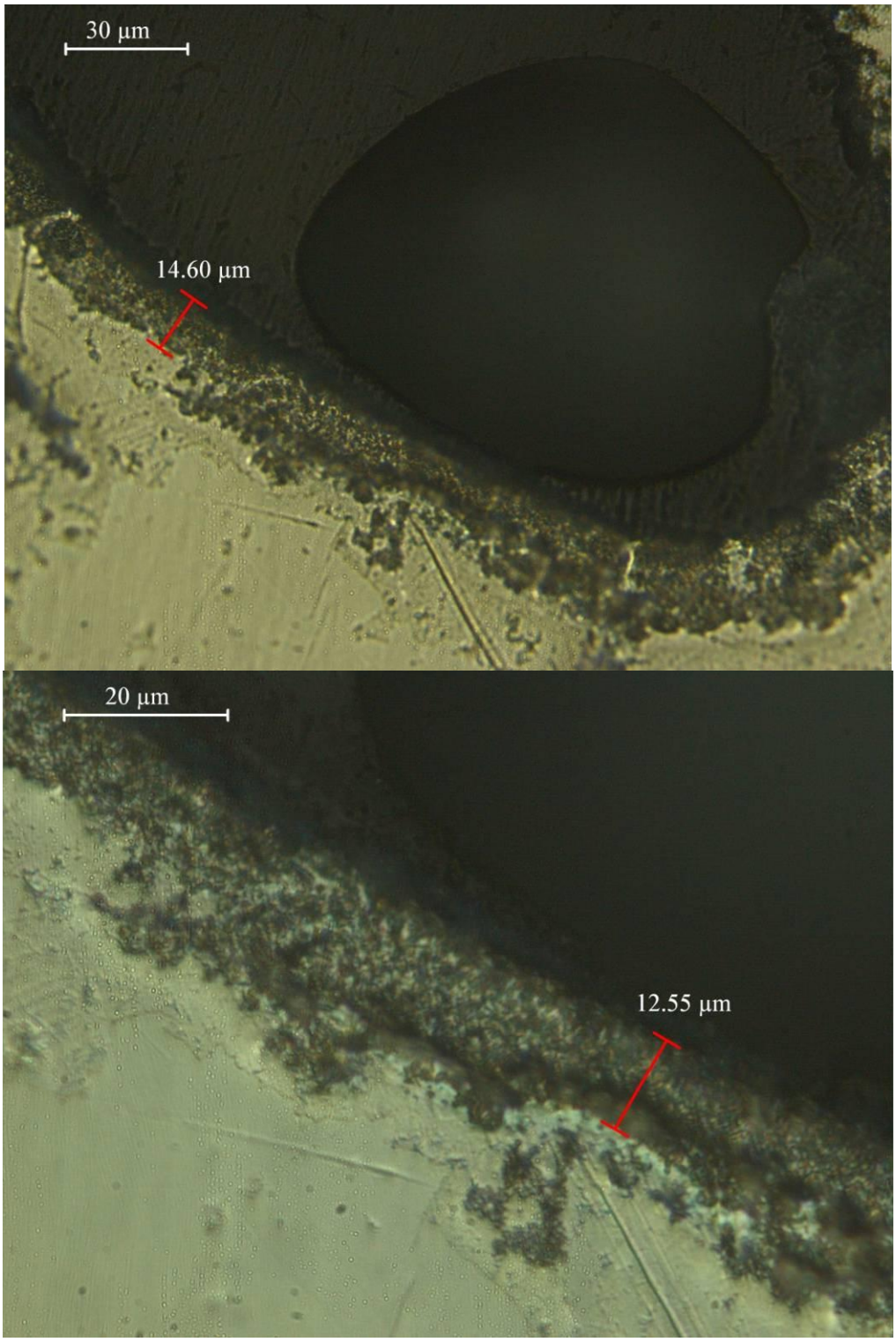
Şekil 6. 15 HFC-134a 2.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



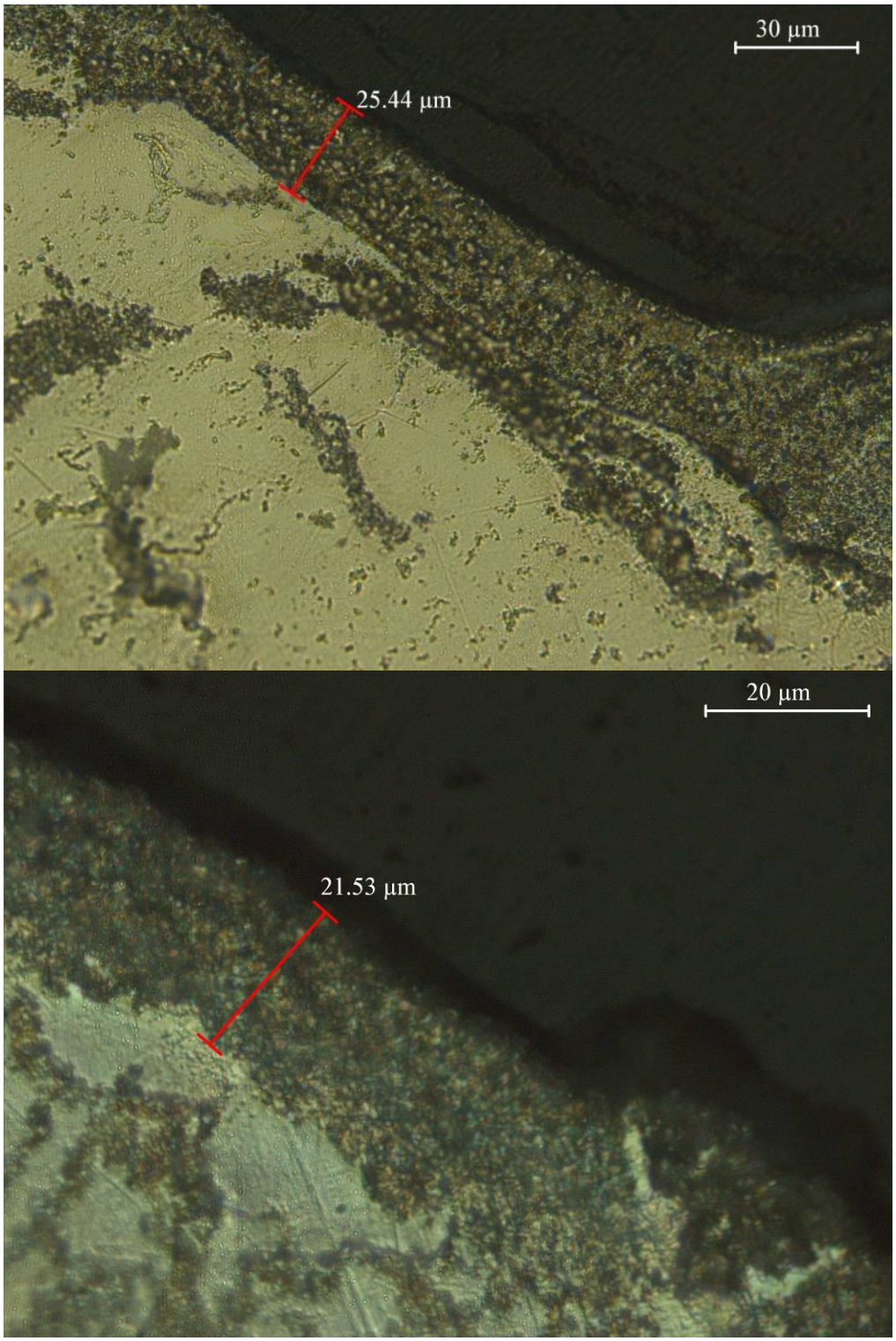
Şekil 6. 16 HFC-134a 3.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



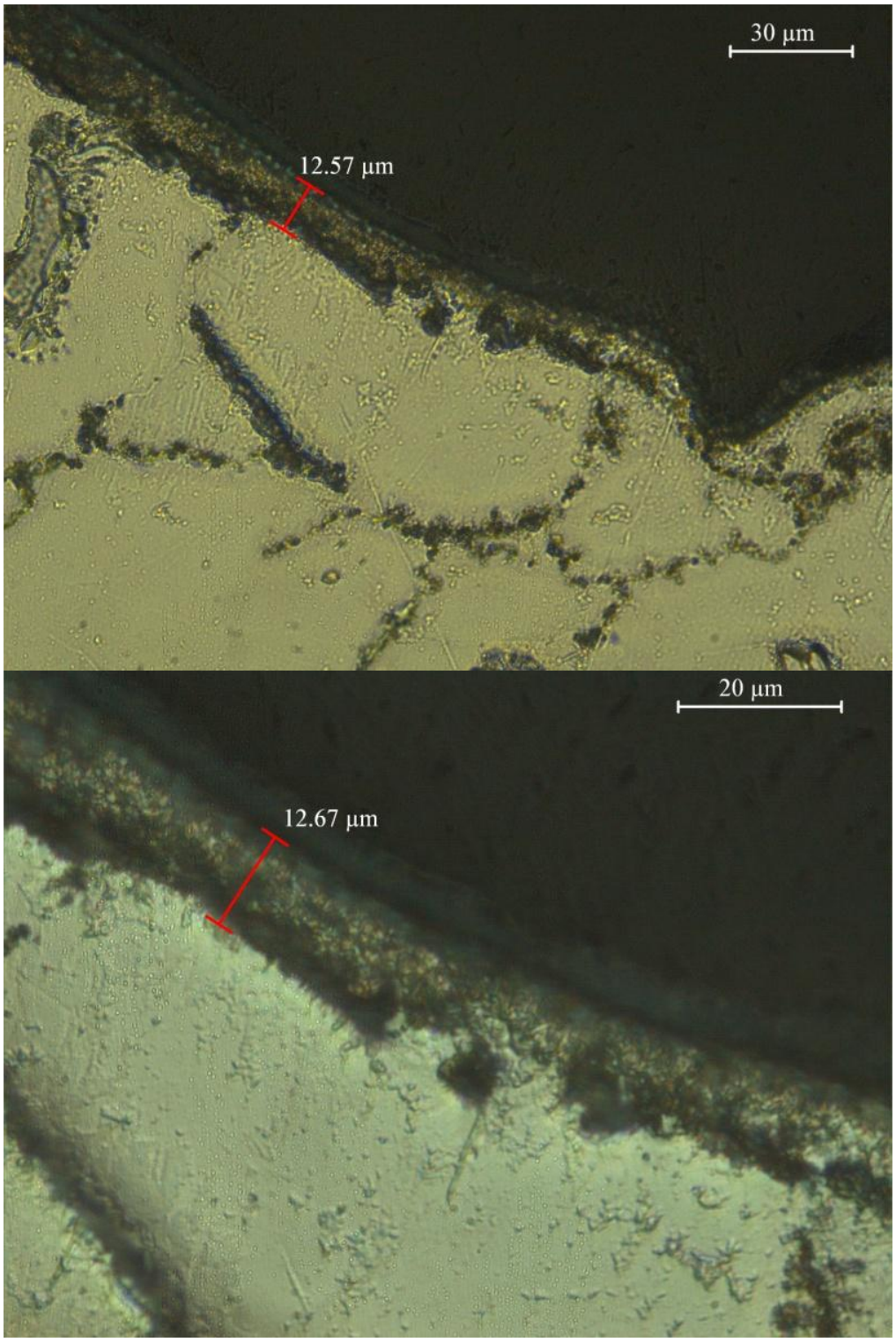
Şekil 6. 17 HFC-134a 4.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



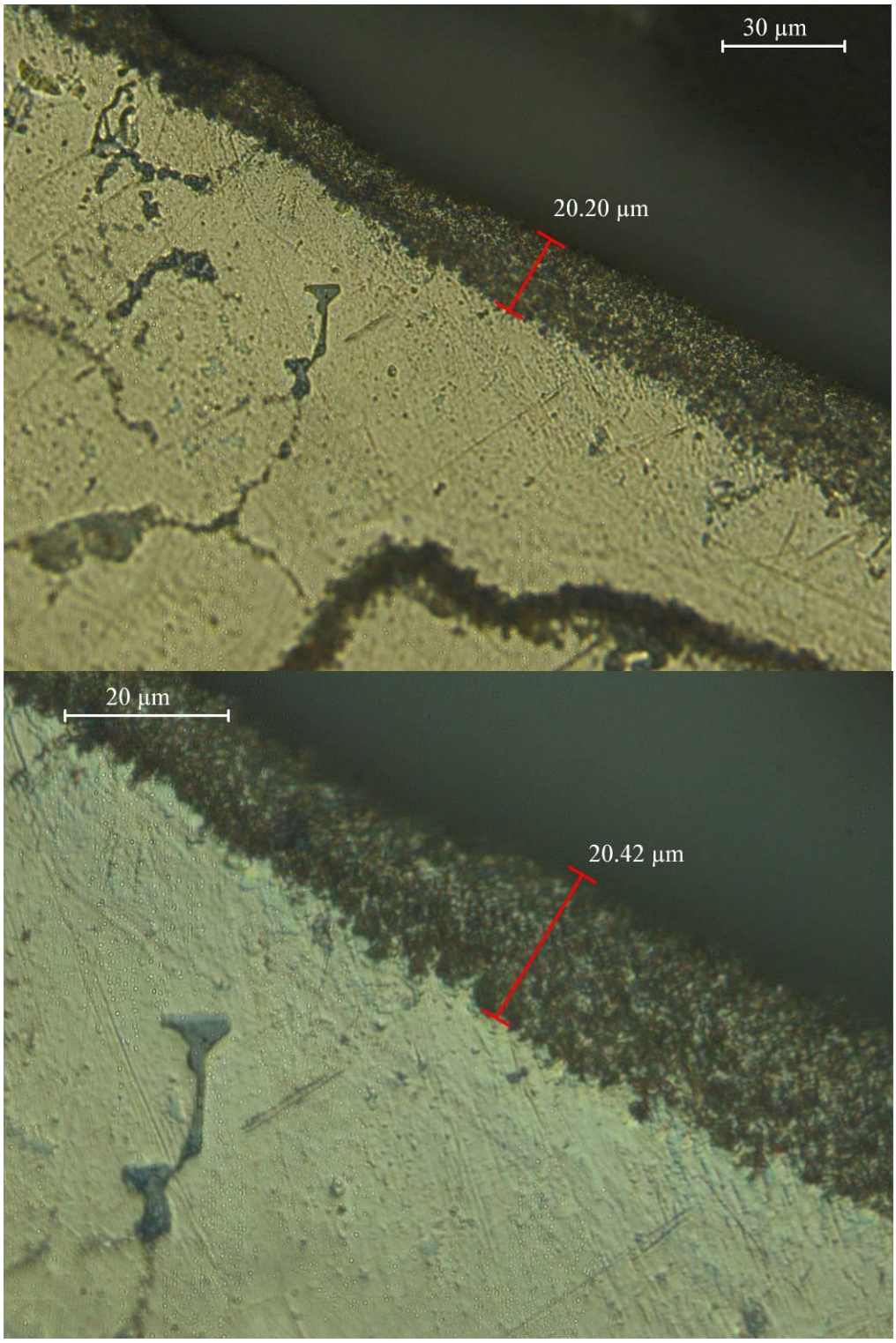
Şekil 6. 18 HFC-134a 5.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



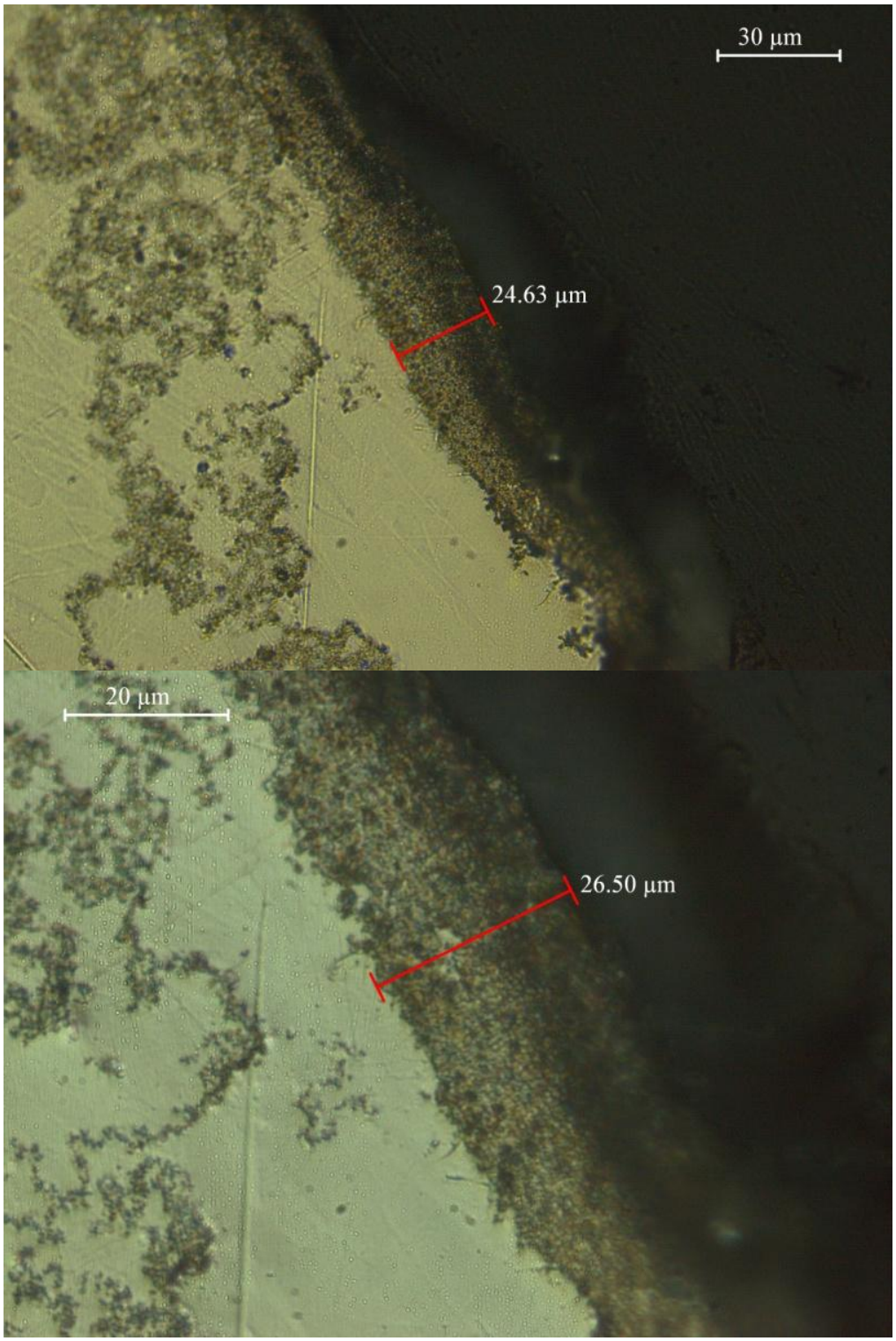
Şekil 6. 19 HFC-134a 6.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 20 HFC-134a 7.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 21 HFC-134a 8.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6. 22 HFC-134a 9.numunenin 800x-1600x büyütme ile optik mikroskop görüntüleri

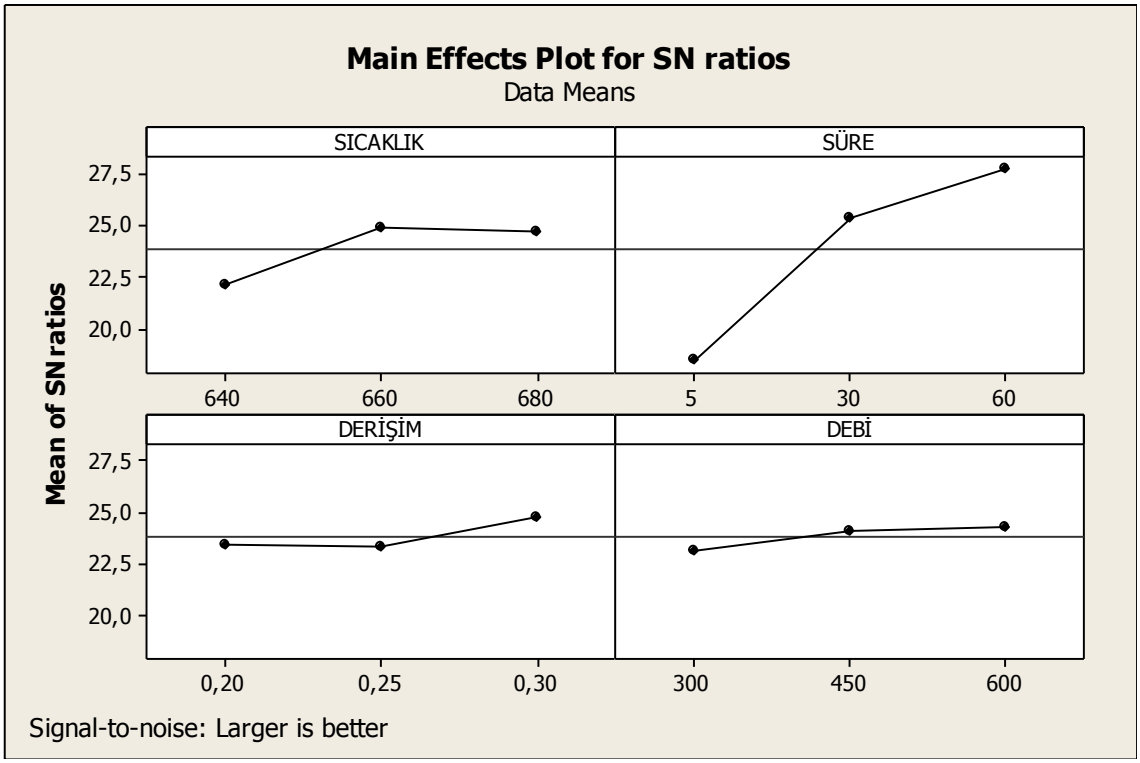
6.4.4 HFC-134a için Optimum Koruyucu Atmosfer Şartlarının Belirlenmesi

Çizelge 6.8'de her deney için optik mikroskop ile ölçülen film kalınlığı değeri üzerinden "en büyük - en iyi" denklemi yardımıyla hesaplanan "MİNİTAB 16" programı ile hesaplanan S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 6. 8 HFC-134a gazındaki film kalınlığı ve S/N oranları

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	SICAKLIK	SÜRE	DERİŞİM	DEBİ	KALINLIK	SNRA9	MEAN9
1	640	5	0,20	300	6,01	15,5713	6,0057
2	640	30	0,25	450	14,61	23,2930	14,6100
3	640	60	0,30	600	23,31	27,3521	23,3133
4	660	5	0,25	600	9,26	19,3338	9,2617
5	660	30	0,30	300	21,36	26,5920	21,3600
6	660	60	0,20	450	26,89	28,5910	26,8875
7	680	5	0,30	450	10,56	20,4692	10,5550
8	680	30	0,20	600	20,31	26,1542	20,3100
9	680	60	0,25	300	23,11	27,2760	23,1100

Çizelge 6. 9 S/N oranı için sonuç tablosu



Çizelge 6.9'de HFC-134a gazı için yanıt faktörünün S/N oranları görülmektedir. En büyük en iyidir yaklaşımıyla yapılan optimizasyona göre, film kalınlığının en büyük olduğu seviyeler; 660°C ergiyik banyo sıcaklığında, 60 dakika bekleme süresinde, %0.30 HFC-134a/Azot gazı karışımında ve 600 lt/h debisinde gerçekleşmektedir.

Level	SICAKLIK	SÜRE	DERİŞİM	DEBİ
1	22,07	18,46	23,44	23,15
2	24,84	25,35	23,30	24,12
3	24,63	27,74	24,80	24,28
Delta	2,77	9,28	1,50	1,13
Rank	2	1	3	4

Bu optimizasyona göre en etkili faktörün süre, en az etkili faktörün de debi olduğu gözükmektedir. Sırasıyla süre, sıcaklık, derişim ve debi oranları film kalınlığının oluşumuna etki etmektedir. Bu sonuçlar SF_6'daki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

Taguchi optimizasyon yöntemi ile film kalınlığı için yapılan tahmini model, sıcaklık, debi, süre değerlerinde optimal değerlere ulaşılabileceğini ortaya koymuştur. Optimal koşullar, daha önce yapılan mevcut deney şartları arasında bulunmamaktadır.

6.5 Doğrulama Deneyi

Deney tasarımı neticesinde optimum kalite karakteristiği ve minimum varyasyonu oluşturan faktörlerin ve düzeylerinin kombinasyonu tespit edilmektedir. Tespit edilen bu kombinasyonun en az bir kez denenmesi ve beklenen sonuçları vermesi gerekmektedir. Elde edilen bu kombinasyonun deney planında denenmemiş olması kuvvetle muhtemeldir. Deney Tasarımının son adımı olan doğrulama deneyinin, beklenen sonuçları vermesi ile iyileştirme tamamlanmış olmaktadır [29].

BÖLÜM 7

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

7.1 Değerlendirme

Bu çalışmada, koruyucu film oluşumunda etkili olan parametreler, etkileyiş yönleriyle birlikte incelenmiş olup, oluşan filmin kalınlığına olan etkileri belirlenmiştir. Koruyucu film tabakasını oluşturan optimum değerleri daha ayrıntılı bir şeklide belirleyebilmek için Taguchi L9 ortogonal deneysel tasarım düzleminden yararlanılmıştır. Koruyucu gaz parametreleri olarak incelenen kontrol faktörleri sırasıyla; ergiyik banyo sıcaklığı, koruyucu gaz derişim oranı, koruyucu gaza maruz kalma süresi (tutma süresi) ve gaz akış debisidir. Optimum proses parametrelerinin belirlenmesinde; optik mikroskop ile elde edilen film kalınlığı ölçümleri yanıt faktörü olarak değerlendirilmiş olup, Taguchi deney tasarımı, bu faktörlere ait S/N oranları için büyük olan değer en iyidir yaklaşımı dikkate alınarak analiz edilmiştir.

SF_6 gazı ve HFC-134a gazı için aynı deneyler tekrarlanmış olup, sonuçları karşılaştırabilmek için de iki ayrı Taguchi tablosu oluşturulmuştur.

- ***Ergiyik Banyo Sıcaklığı;*** SF_6 ve HFC-134a gazının koruyucu gaz olarak ergiyiğe gönderilmesiyle yapılan iki deneyde de elde edilen numunelerin optik mikroskop ölçümleri sonucu elde edilen film kalınlıklarının Taguchi ortogonal deney tasarımı ile analizi sonucunda en kalın koruyucu film kalınlığı 660°C'de elde edilmiştir. Banyo sıcaklığı arttıkça film kalınlığının artması beklenmektedir. Ancak bazı durumlarda film kalınlığının artması koruyuculuğun da arttığının göstergesi olamayacaktır. Çok yüksek banyo sıcaklıklarında koruyucu film koruyucu özelliklerini kaybetmeye başlamaktadır. Ergiyik banyo sıcaklığı arttıkça korunma

işlemi zorlaşmaktadır, sıcaklığın artması ile koruyucu gaz ile Mg metali arasında oluşan reaksiyon da hızlanmakta ve koruyucu film oluşumu artmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda bu tepkimeler kararsız hale gelmektedir, böylece yüzeyde cüruf oluşumu artmakta ve yüzey filminin koruyucu özelliği bozulmaya başlamaktadır. Taguchi sonuçlarından da görüldüğü gibi, sıcaklığın yükselmesiyle film kalınlığı artacaktır. Ancak artan sıcaklık ile filmdeki boşluk ve çatlakların sayısı da artacağı için oksijen hala bu koruyucu filmden geçebilmekte ve oksitlenmeye, yanmaya sebep olabilmektedir. Bu yüzden 660°C döküm ergiyik banyo sıcaklığının en iyi korumayı veren değer olarak iki gazda da karşımıza çıkması mantıklı ve beklenen bir sonuçtur.

SF_6 gazı ile yapılan deneylerde 640°C, 660°C ve 680°C'de ki deneysel şartlarda koruyucu film oluşmuş ve metalin yanmasını engelleyebilmiştir. HFC-134a gazı ile yapılan deneylerde de koruyucu film oluşmuştur ancak düşük banyo sıcaklıklarında daha iyi koruma sağlarken, sıcaklık arttıkça oluşan filmin koruyucu özelliğinin düştüğü gözlemlenmiş ve özellikle yüzeyde aşırı miktarda cüruf oluşumu meydana gelmiştir. HFC-134a gazı SF_6 gazına göre daha kararsız bir gazdır ve içindeki florüni daha kolay bırakma özelliğine sahiptir. Bu florinler Mg ile reaksiyona girerek MgF_2 oluşturmaktadır. Bu MgF_2'ler filmdeki boşlukları çatlakları doldurarak filmin koruyucu özelliklerini arttırmaktadır. HFC-134a ile oluşan koruyucu yüzey filmindeki MgF_2 sayısı SF_6'yla oluşturulan yüzey filmine göre daha fazla olmaktadır. Ancak HFC-134anın bu kararsız yapısı cüruf oluşumunu da arttırmak ve koruyucu filmin özelliğini bozmaktadır. Bu sonuca göre düşük banyo sıcaklıklarında çalışılıyor ise, pahalı olan SF_6 gazı yerine bu gazdan 3 kat daha ucuz ve çevreci olan HFC-134a gazını tercih edebiliriz.

- ***Koruyucu Gaz Derişim Oranı;*** Taguchi ortogonal deney tasarımının analizi sonucuna göre koruyucu gaz derişim oranı için hacimsel olarak %0.25 SF_6 derişim oranı, HFC-134a koruyucu gazının kullanılmasıyla ise %0.30 HFC-134a derişim oranı en kalın film oluşumunu sağlamıştır. Koruyucu gaz derişim oranı olarak SF_6 gazını kullandığımız deneysel sonuçlara göre, hacimsel olarak %0.25 SF_6 derişim oranı %0,30'a çıksa da etkisi değişmemektedir. Yani koruyucu film tabakası oluşması için belirli miktarda SF_6 gazı yetmektedir ve bundan daha fazlasının kullanımı koruyucu

film kalınlığını arttırıcı bir etkide bulunmamaktadır. SF_6'nın küresel ısınma potansiyelinin yüksek olması da göz önünde bulundurursak, bu gazın mümkün olan en düşük olan derişimde kullanılabilmesi ve daha fazla kullanılmasının koruyucu filme etkisinin olmaması bizim için yararlı olmaktadır. HFC-134a gazındaki duruma baktığımızda ise, hacimsel olarak %0.20 ve %0.25'lik karışım oranları aynı koruyucu etkiyi göstermekte %0.30'luk oran en kalın koruyucu film değerini vermektedir. Kullanılan gaz derişimi arttıkça, Mg metali ile koruyucu gaz karışımı arasında oluşan reaksiyon da sürekli devam edeceği için film kalınlığının da artması beklenmektedir. SF_6 gazında bu değerin 0.30 değil de 0.25 hacimsel derişim oranının en iyi değer olarak verilmesinin sebebi SF_6 gazının daha yoğun bir gaz olmasıdır. İçinde barındırdığı florin oranı HFC-134a gazına göre fazladır. SF_6'nın Molekül Ağırlığı 146 g/mol iken HFC-134a gazı için bu değer 102 g/moldür bu sebeple %0.25 karışım oranı yeterli olmaktadır.

- ***Ergiyiğin Koruyucu Gaza Maruz Süresi;*** 60 dakika her iki gaz için de optimum koruyucu özelliği sağlamaktadır. Artan zamanla koruyucu filmin kalınlığının da artması beklenilen bir sonuçtur. Çünkü ile Mg metali ile koruyucu gaz arasındaki reaksiyon belirli bir zaman zarfında gerçekleşmektedir. Ergiyik magnezyum ile koruyucu gaz arasında meydana gelen reaksiyonlar, gaz ve ergiyik metal tamamen harcanana kadar sürekli olarak devam etmektedir, yani zamanla yüzey filminin kalınlığı da artmaktadır.
- ***Gaz Akış Debisi;*** 600 l/h değeri her iki gaz için de optimum koruyucu özelliği sağlamaktadır. Gazın debisi arttıkça filmin koruyucu özelliğinin artması beklenmektedir. Koruyucu gazın uygulanma süresinde olduğu gibi, ergiyik magnezyum ile koruyucu gaz arasında meydana gelen reaksiyonlar gaz ve ergiyik metal tamamen harcanana kadar sürekli olarak devam etmektedir, gaz miktarının artması bu reaksiyonları hızlandırarak arttırmakta ve böylece yüzey filminin kalınlığı da artmaktadır. Ancak hem çevreyi korumak hem de gaz maliyetini azaltmak için bu gaz debisinin daha çok arttırmamalıyız.

Bu sonuçlar, en büyük - en iyidir yaklaşımına göre, en kalın koruyucu film tabakasını veren değerlerin taguchi deneysel tasarım programının analiziyle, yorumlanmıştır.

Ancak uygulama esnasında en kalın film tabakası oluşsa da en iyi koruyucu özelliği sağlayamadığı bazı durumlarla da karşılaşılmıştır, tam tersi olarak en ince koruyucu film tabakasıyla en iyi korumayı sağlayan yüzey filmi oluşumu da olmaktadır. Örneğin HFC-134a gazı için yaptığımız deneyde 9. numunede oluşan koruyucu film kalınlık değeri 23 µm olmasına ragmen, bu numunenin üretimi bizi çok zorlamıştır. SF_6 gazı için de 1. numunede kalınlık değeri yaklaşık 5µm olmasına rağmen 6. numuneye göre (kalınlığı 25 µm) daha rahat bir üretim gerçekleşmiştir.

Elde edilen sonuçlarımız literatürdeki değerlerle de örtüşmektedir, bazı ufak farklılıkların sebebi literatürdeki diğer çalışmaların laboratuar koşullarında ve ideal şartlar altında, protatip olarak imal edilen fırınlarda deneylerin gerçekleştirilmesi, bizim ise ticari özellikteki bir sanayi fırınında deneyleri gerçekleştirilmesidir. Ülkemizde bugüne kadar yapılan akademik çalışmalar da yalnızca laboratuar şartlarında denenmiş olup, bu çalışma sayesinde endüstriyel ölçekte bir seri üretim hattında yapılan ilk uygulama gerçekleştirilmiştir.

7.2 Sonuç

Magnezyum ergitme işlemi uğraştırıcı bir proses olarak karşımıza çıkmaktadır. Ergiyik magnezyumun hava ile olan temasını kesmek için gönderdiğimiz koruyucu gazlarla üzerinde oluşan koruyucu filmin özellikleri ergiyiğin korunmasında etkili olmaktadır. Koruyucu film tabakasının oluşması ise bazı parametreler ile yakından ilişkilidir. Ergiyik banyo sıcaklığı, kullanılan koruyucu gazın özellikleri, derişim oranı ve debisi, ergiyiğin gaza maruz kalma süresi bu parametreleri oluşturmaktadır. Bunların koruyucu film oluşumuna nasıl etki ettikleri araştırılmış ve bu tez çalışmasında değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında iki farklı gaz, film oluşumuna etki eden faktörleri daha iyi karşılaştırabilmemiz açısından ve birbirlerine alternatif olabilmesi amacıyla kullanılmıştır.

SF_6 ve HFC-134a gazının koruyucu gaz olarak ergiyiğe gönderilmesiyle yapılan iki deneyde de elde edilen numunelerin optik mikroskop ölçümleri sonucu elde edilen film kalınlıklarının Taguchi ortogonal deney tasarımı ile analizi sonucunda en kalın koruyucu film kalınlığı 660°C'de elde edilmiştir. Ergiyik banyo sıcaklığı arttıkça korunma işlemi zorlaşmaktadır, sıcaklığın artması ile koruyucu gaz ile Mg metali arasında oluşan

reaksiyon da hızlanmakta ve koruyucu film oluşumu artmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda bu tepkimeler kararsız hale gelmektedir, böylece yüzeyde cüruf oluşumu artmakta ve yüzey filminin koruyucu özelliği bozulmaya başlamaktadır. Koruyucu gaz derişim oranı için hacimsel olarak %0.25 SF_6 derişim oranı, HFC-134a koruyucu gazının kullanılmasıyla ise %0.30 derişim oranı en kalın film oluşumunu sağlamıştır. Kullanılan gaz derişimi arttıkça, Mg metali ile koruyucu gaz karışımı arasında oluşan reaksiyon da sürekli devam edeceği için film kalınlığının da artması beklenmektedir. SF_6 gazında bu değerin 0.30 değil de 0.25 hacimsel derişim oranının en iyi değer olarak verilmesinin sebebi SF_6 gazının daha yoğun bir gaz olmasıdır. İçinde barındırdığı florin oranı HFC-134a gazına göre fazladır, bu sebeple %0.25 karışım oranı yeterli olmaktadır. Ergiyiğin koruyucu gaza maruz süresi olarak 60 dakika her iki gaz için de optimum koruyucu özelliği sağlamaktadır. Mg metali ile koruyucu gaz arasındaki reaksiyon belirli bir zaman zarfında gerçekleşmektedir bu nedenle zamanla koruyucu filmin kalınlığının da artması beklenilmektedir. Gaz akış debisi olarak 600 l/h değeri her iki gaz için de optimum koruyucu özelliği sağlamaktadır. Gaz miktarının artması bu reaksiyonları hızlandırarak arttırmakta ve böylece yüzey filminin kalınlığı da artmaktadır. Ancak hem çevreyi korumak hem de gaz maliyetini azaltmak için gaz sarfiyatını azaltmamız gerekmektedir.

Yaptığımız bu deneysel çalışma, dünyada yaygın olarak kullanılan ve avantajlı özelliklere sahip olan bir metalin Ülkemiz imalat sanayinde üretilebilmesi için bir fırsat sunmaktadır. Magnezyum alaşımlarının ergitme prosesinde koruyucu gaz uygulamaları, ergiyiğin yanmadan korunabilmesi, magnezyumun dökümünde karşılaşılan bir zorluğu aştığımızın göstergesi olup gelecek için oldukça umut vericidir.

KAYNAKLAR

[1] M. Holtzer, A. Bobrowski (2008), "Magnesium melt protection by covering gas", Archives of Foundry Engineering, Volume 8 Special Issue 1/2008, 131-1 36

[2] Vanlı, A.S., (2013). Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Ürün Kalitesine Etki Eden Proses Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] Xiong, S., Wang, X., (2009), "Protection behavior of fluorine-containing cover gases on molten magnesium alloys", ScienceDirect, 1228-1234

[4] Wang, X., Xiong, S., (2010), "Protection behavior of SO_2-containing cover gases to molten magnesium alloy", ScienceDirect, 807-813

[5] Argo, D., Lefebvre, M., (2003), "Melt Protection For The Aj52 Magnesium Strontium Alloy", Magnesium Technology, TMS

[6] Pettersen G., (2002) "Characterisation of the surface films formed on molten magnesium in different protective atmospheres", Materials Science and Engineering A332, 285–294

[7] Aarstad K., (2004). Protective Films on Molten Magnesium, PhD. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Technology, Trondheim.

[8] Cashion,S.P., Ricketts, N.J. ve Hayes, P.C., (2002), "Characterisation of protective surface films formed on molten magnesium protected by air/SF6 atmospheres", Journal of Light Metals 2, 37–42

[9] Aslan, O.B., (2007). Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] Vanlı, A.S., (2007). Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümde İşlem Faktörlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[11] Gözen, A., (2007). Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Sistemlerinin Tasarımı ve Simülasyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[12] Sönmez, H. (2006), Basınçlı Döküm Ders Notları (yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

[13] Uludağ, A. (2007), Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] Ünal, M., (2008), Magnezyum Alaşımlarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] Şevik, H., (2011). Magnezyum Alaşımlarının Kontrollü Atmosferde Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[16] Ha, W., Kim, Y., (2006) "Effects of cover gases on melt protection of Mg alloys", Journal of Alloys and Compounds 422 208–213

[17] Cashion, S.P., Ricketts, N.J. ve Hayes, P.C., (2002), "The mechanism of protection of molten magnesium by cover gas mixtures containing sulphur hexafluoride", Journal of Light Metals 2, 43–47

[18] Mirak, A., Davidson, C.J., Taylor, J.A., (2010), "Characterisation of fresh surface oxidation films formed on pure molten magnesium in different atmospheres", Corrosion Science 52, 1992–2000

[19] Couling, S.L., (1979), "Use of air/CO_2/SF_6 gas mixtures for improved protection of molten magnesium", Proceedings 36th Annual World Conference on Magnesium, 24–28th, IMA, 54–57, Norway.

[20] Wang X., Xiong S., (2011), "Oxidation behavior of molten magnesium in atmospheres containing SO_2", Corrosion Science 53 4050–4057

[21] Cashion, S.P., (1998). The Use of Sulphur Hexafluoride (SF_6) for Protecting Molten Magnesium, Ph.D. Thesis, Minerals and Materials Engineering, Department of Mining, University of Queensland, Australia.

[22] Aarstad, K., Tranell, G., Pettersen, G. Ve Engh, T.A., (2003), "Various techniques to study the surface of magnesium protected by SF_6", Magnesium Technology, TMS, pp. 5–10.

[23] WU, G., Dai, J., Sun, M. ve Ding, W., (2010), "Non-flux purification behavior of AZ91 magnesium alloy", Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20 2037−2045.

[24] Avedesian, M., Baker, H., (1999), Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International, USA.

[25] Solvay Chemicals International, (2012). SOLKANE ® 134a - Güvenlik Bilgi Formu, Version 2.2 (P 19426), Malta

[26] HABAŞ Sınai ve Tıbbi Gazlar İstihsal Endüstrisi A.Ş., (2009). Argon (Basınçlı Gaz Halinde), Güvenlik Bilgi Formu (GBF-05), İstanbul.

[27] Sirvancı, M., (1996), Kalite için Deney Tasarımı "Taguçi Yaklaşımı" s.112, Literatür Yayıncılık, Milwauke ABD

[28] Montgomery, D. C., (1991), Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley&Sons Inc. New York

[29] Ross, P. J., (1996), Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill Press, New York

[30] Roy, R. K.: “A primer on taguchi method”, Competitive Manufacturing Series, New York, 7-80 (1990).

[31] ASM Handbook Volume 9, (1990). Metallography and Microstructures, Second Edition, ASM International Handbook Committee, Ohio.

[32] Jafari H., Idris M. Ve Ourdjini A., (2011). “High temperature oxidation of AZ91D magnesium alloy granule during in-situ melting”, Corrosion Science 53, 655–663

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Meltem DEMİRCİ

Doğum Tarihi ve Yeri : 30.07.1987 İstanbul

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :meltem87@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y.Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Avcılar 50.Yıl İnsa Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2014-Devam	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2014	TC. İstanbul Arel Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2009-2011	Özler Plastik A.Ş	Arge Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. **DEMİRCİ M.,** VANLI A.S., AKDOĞAN (NOMAK) A., SÖNMEZ H., (2014). "Magnezyum Alaşımlarının Ergitme Proseslerinde Koruyucu Gaz Atmosferlerinin Kullanımı", MakineTek Dergisi, 200. Özel Sayısı, 200: 280-286.

Bildiri

1. **DEMİRCİ M.,** VANLI A.S., SONMEZ H., (2014) "The Using of Sulphur Hexafluoride (SF_6) as a Cover Gas for Protection of Molten Magnesium Alloys", The International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS 2014), 16-19 June 2014, Barcelona, Spain

2. SÜZGÜN M., **DEMİRCİ M.,** "Investigation and Comparison of the Quality and Food Safety Management Systems" 4. Food Safety Congress, Poster Bildirisi(P106).14-15 May, 2013. İstanbul

Proje

1. "Basınçlı Döküm Magnezyum Alaşımlarının Ergitme Prosesinde Kullanılan Koruyucu Gaz Atmosferlerinin İncelenmesi" başlıklı YULAP Projesi, Proje No: 2013-06-01-YL03, Görevi: Yüksek Lisans Tez Öğrencisi, 14.06.2013 - 14.06.2014.

2. "Basınçlı Döküm Yöntemi ile Magnezyum Alaşımı Parça İmalatı için Entegre Seri Üretim Hattı Tasarımı" başlıklı SANTEZ Projesi, Proje No: 00961.STZ.2011-2, Görevi: Yüksek Lisans Tez Öğrencisi, 01.03.2012 - 01.03.2014.