

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez  
Prof. Dr. Mustafa GİĞÖCEN  
Prof. Dr. Nişan Sönmez

128607

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE GAZ  
OLUŞUMU VE GAZ GİDERME TEKNİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

Mak. Müh. Pınar DEMİRCİOĞLU

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
DOKÜMANLAMA MERKEZİ

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

128607

İSTANBUL, 2002

## İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ .....	i
ŞEKİL LİSTESİ .....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	iii
ÖNSÖZ .....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....	3
2.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımların Kısa Gösterilişleri.....	4
2.1.1 Avrupa Standartları ve Alüminyumun Kısa Gösterilişi .....	4
2.1.2 Malzeme Numaraları.....	5
3. ÖNEMLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE DENGE DİYAGRAMLARI .....	6
3.1 Arı Alüminyum ve Çok Arı Alüminyum .....	6
3.2 Alüminyum – Bakır Alaşımları.....	6
3.3 Alüminyum – Silisyum Alaşımları.....	7
3.4 Alüminyum – Magnezyum Alaşımları.....	7
3.5 Alüminyum – Silisyum – Magnezyum Alaşımları.....	8
4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ .....	9
4.1 Ağırlıktan Tasarruf.....	9
4.2 Mekanik Özellikler.....	9
4.3 Korozyona Karşı Mukavemet .....	9
4.4 Isıl ve Elektrik İletkenliği.....	10
4.5 İşlenebilme Kabiliyeti .....	10
4.6 Düşük Son Maliyet.....	10
5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI .....	11
5.1 İnşaat Sanayinde .....	11
5.2 Uçak Endüstrisinde .....	11
5.3 Gemi Sanayinde .....	11
5.4 Elektrik Sanayinde .....	11
5.5 Ambalaj ve Konserve Sanayinde.....	11

5.6	Demiryolu Sanayinde .....	12
5.7	Otomotiv Endüstrisinde .....	12
6.	KULLANMA YERİNE GÖRE MALZEME SEÇİMİ.....	13
6.1	Mekanik Özellikler.....	13
6.2	Fiziksel Özellikler .....	13
6.3	İmalat Karakteristikleri.....	13
6.4	Döküm Özellikleri.....	13
6.5	Korozyona Karşı Direnç.....	13
6.6	İşlenebilme Kabiliyeti .....	14
6.7	Yüksek Sıcaklıkta Mukavemet.....	15
7.	ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ETKİSİ.....	15
7.1	Bakır .....	15
7.2	Silisyum.....	15
7.3	Magnezyum .....	15
7.4	Manganez .....	15
7.5	Çinko .....	15
7.6	Titanyum .....	16
7.7	Demir.....	16
7.8	Nikel.....	16
7.9	Kalay .....	16
7.10	Kurşun .....	16
7.11	Krom.....	16
7.12	Bor.....	16
7.13	Berilyum.....	16
8.	ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA METALİN ELDE EDİLMESİ .....	17
8.1	Cevher Hazırlama.....	17
8.2	Ergitme Elektrolizi .....	17
9.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİNİN GÖSTERİLİŞİ.....	19
9.1	“O” Harfi.....	19
9.2	“F” Harfi.....	19
9.3	“H” Harfi.....	19
9.3.1	“H” temperinin alt gösterimleri.....	19
9.4	“T” Harfi .....	19
9.4.1	“T” temperinin alt gösterimleri .....	19

9.5	“W” Harfi .....	20
10.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ.....	21
10.1	Çözeltiyeye Alma Tavlaması .....	21
10.2	Su Verme.....	21
10.3	Ayrışma .....	21
10.3.1	Soğukta Ayrışma .....	22
10.3.2	Sıcakta Ayrışma .....	22
10.3.3	Kendiliğinden Ayrışarak Sertleşme.....	22
11.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ERİTKENLENME .....	23
11.1	Eritken Bileşimi.....	23
11.2	Eritken Tipleri .....	25
11.3	Eritkenlerin Uygun Kullanılması .....	27
12.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE GAZLAR .....	29
12.1	Metallerde Gazlar .....	29
12.1.1	Genel Gaz Kaynakları .....	29
12.1.2	Hurdalardan Gelen Gazlar.....	30
12.1.3	Gaz Erirliği.....	30
12.1.4	Metal Gaz Reaksiyonları .....	32
12.2	Alüminyum ve Alaşımlarında Gazlar.....	32
12.2.1	Alüminyumda Eriyen Gazlar.....	33
12.2.2	Gözeneklilik .....	34
12.2.2.1	Gözenek Tipleri.....	34
12.2.3	Alüminyum ve Alaşımlarında Hidrojen .....	36
12.2.3.1	Hidrojenin Sıvı Metale Giriş Yolları.....	36
12.2.3.2	Hidrojenin Alüminyumda Olan Davranışı .....	38
12.2.3.3	Katılma Boyunca Hidrojenin Davranışı.....	39
12.2.3.4	Hidrojenin Yanetkileri.....	40
12.3	Gazların Belirlenmesi ve Ölçümü .....	41
12.3.1	Gaz Tenorunun Kontrolü .....	41
12.3.1.1	Tenör Tayini İçin Kullanılan Başlıca Yöntemler .....	43
12.3.1.1.1	Açıkta Döküm Deneyi.....	43
12.3.1.1.2	Tele Gaz Yöntemi .....	45
12.3.1.1.3	Vakumda Katılma .....	45
12.3.2	Hidrojen Gazı Ölçüm Yöntemleri .....	46

12.3.2.1	Straube – Prefilter Testi .....	50
12.3.2.2	Düşük Basınç Tekniği .....	51
12.3.2.3	Telegaz Aparatı .....	53
12.3.2.4	Titreşimli Vakum Gaz Testi.....	54
13.	GAZLARIN ÖNLENMESİ VE GAZ GİDERME YÖNTEMLERİ .....	56
13.1	Metallerde Genel Gaz Giderme Yöntemleri .....	56
13.1.1	Ön Katılaşma Yöntemi.....	56
13.1.2	Katı Katkı Maddeleri.....	56
13.1.3	Hafif Metallerde Sıvı Katkı Maddeleri .....	57
13.1.4	Alaşım İlaveleri .....	57
13.1.5	Vakumda Ergitme .....	57
13.1.6	Gaz Katkı Maddeleri .....	58
13.1.7	Yönlendirilmiş Katılaşma .....	58
13.2	Alüminyum Alaşımının Dökümünde Gaz Giderme Yöntemleri .....	58
13.2.1	Parça Dizaynı, Model Tekniği, Maçalar ve Kalıplama İşlemlerinde Alınan Önlemler.....	60
13.2.2	Ergitme Öncesinde ve Ergitme Sırasında Alınan Önlemler.....	63
13.2.2.1	Flakslar .....	64
13.2.2.2	Flakslama ile Gaz Giderme .....	66
13.2.2.3	Gazlar ile Hidrojen Giderme .....	67
13.2.3	Gaz Üfleme Yolu ile Gaz Giderme Yöntemleri.....	67
13.2.3.1	Klor ve Diğer Halojenik Uçucularla Gaz Giderme .....	68
13.2.3.2	Azot Üfleme ile Gaz Giderme.....	68
13.2.4	Gaz Kabarcığı Oluşumu ile Gazların Giderilmesi .....	71
13.2.5	Gaz Giderme Yöntemleri .....	72
13.2.5.1	Gaz Tasfiyesi .....	73
13.2.5.2	Vakum Eritkenlemesi.....	74
13.2.5.3	Hegzakloretilen’le Gaz Giderme.....	74
13.2.5.4	Dönel Sistemle Gaz Giderme.....	75
13.2.5.5	Mekanik Gaz Giderme Sistemleri.....	77
13.2.5.6	Gözenekli Tıkaçla Gaz Giderme .....	78
14.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	81
14.1	Alüminyum Hurdaların Temini ve Değerlendirilmesi .....	81
14.1.1	Alüminyum Hurdaların Ergitme Öncesi İşlemleri .....	82

14.1.2	Alüminyum Hurdaların Ergitilmesinde Kullanılan Ergitme Sistemleri.....	84
14.1.3	Alüminyum Hurdaların Ergitme ve Alaşımlandırma İşlemleri.....	85
14.1.4	Metalde Hidrojen Tayini .....	90
15.	SONUÇ .....	95
	KAYNAKLAR.....	96
	ÖZGEÇMİŞ.....	98



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Al-Cu denge diyagramı.....	6
Şekil 3.2	Al-Si denge diyagramı .....	7
Şekil 3.3	Al-Mg denge diyagramının hem Al, hem de Mg yönünden önemli olan kısımları .....	8
Şekil 3.4	Al-Mg <sub>2</sub> Si denge diyagramı.....	8
Şekil 11.1	Yaygın olarak kullanılan örtü eritkenlere ait 3 adet ikili faz çizgesi .....	25
Şekil 11.2	Yaygın bir temizleme eritkeninin bileşenlerine ait üçlü bir faz çizgesi.....	26
Şekil 11.3	(a) Metal miktarı fazla zengin köpük (b) İyi bir eritkenleme yapıldığında elde edilen kuru ve toz halindeki köpük.....	27
Şekil 12.1	Metallerde gaz erirliği.....	31
Şekil 12.2	1 atm. Hidrojen basıncındaki alüminyum hidrojen çözünürlüğü.....	33
Şekil 12.3	Üç farklı alüminyum alaşımındaki gözenekliliğin artmasıyla en büyük gerilim dayanımının değişimi .....	34
Şekil 12.4	Dört farklı gözenek tipleri.....	35
Şekil 12.5	Hidrojen gözenekliliğinin alüminyum alaşımlarındaki mekanik özellikleri .....	41
Şekil 12.6	Pr. Ransley tarafından kullanılmış paladium filtreli hidrojen çıkarma aygıtı.....	44
Şekil 12.7	Telegaz aygıtı.....	45
Şekil 12.8	Değişik vakum uygulamalarında elde edilen gaz boşlukları .....	48
Şekil 12.9	Alüminyum alaşım 1100 için geliştirilmiş olan grafik .....	51
Şekil 12.10	Herhangi bir test basıncındaki (a) filtre edilmemiş ve (b) filtre edilmiş metalin kalitesindeki hidrojen değişimi .....	55
Şekil 13.1	Vakum tulumbası.....	57
Şekil 13.2	Parçada beslenecek kısmın yukarıya getirilmesi.....	60
Şekil 13.3	Çizim değişikliği ile maça kullanmaktan kaçınmak .....	61
Şekil 13.4	Maça sayısını azaltan çizim değişikliği .....	62
Şekil 13.5	Dönel sistemle gaz enjeksiyonu metodunun çalışma prensibi.....	76
Şekil 13.6	Dönel Sistemin tipik bir kullanımı .....	76
Şekil 13.7	Dönel gaz giderme sistemleriyle elde edilen başarı.....	77
Şekil 13.8	ISOkg (4001b)'lik A357 alaşımına uygulanan; eritken tüpü yada çubuğu ile	

	gaz giderme ve dönel sistemle gaz giderme sistemlerinin kıyaslaması .....	78
Şekil 13.9	Tank içerisine alınmış olan metale nozullar yardımıyla tahliye gazlarının iletim şekli.....	79
Şekil 13.10	Nozul yardımıyla metale tahliye gazlarının iletimi işleminin kullanımı ertesinde elde edilen sonuçlar .....	79
Şekil 13.11	Gözenekli tıkaç, çubuk ve dönel sistemlerdeki gaz akışını karşılaştırması ..	80
Şekil 13.12	Filtrasyon ve gözenekli tıkaçın kullanımı hali.....	80
Şekil 14.1	Yarı mamul şarj arabası .....	81
Şekil 14.2	Basit bir sınıflandırma işlemi akış şeması .....	82
Şekil 14.3	Alüminyumun yeniden değerlendirildiği ASSAN Alüminyum'un tesis şeması.....	85
Şekil 14.4	Ergitme fırınının şarj edilirken ki hali .....	86
Şekil 14.5	Tutma fırının şarj edilirken ki hali.....	88
Şekil 14.6	Cihazın görünüşü .....	92
Şekil 14.7	Sıvı metal içinin termokupl ve grafit probun daldırıldığı an .....	92
Şekil 14.8	a) Sınıf öncesi mikro yapı b) Sınıf sonrası mikro yapı .....	94



**ÇİZELGE LİSTESİ**

Çizelge 2.1	Metallerin doğada bulunma yüzdeleri .....	3
Çizelge 2.2	Demir dışı metal ve alaşımların özellikleri.....	3
Çizelge 2.3	Alüminyum işlem alaşımlarında kullanılan simgeleme sistemi .....	5
Çizelge 3.1	Yüksek sıcaklıklarda bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü .....	7
Çizelge 3.2	Silisyumun alüminyum içindeki erirliğinin sıcaklıkla değişimi .....	7
Çizelge 11.1	Alüminyumların eritkenlenmesinde yaygın olarak kullanılan çeşitli malzemeler .....	24
Çizelge 12.1	Alüminyum ve alaşımlarında hidrojen çözünürlüğü.....	39
Çizelge 13.1	Rafinasyon flaksı bileşimi .....	67
Çizelge 14.1	Sıvı alüminyumdaki bulunabilecek oksitlerin özgül ağırlıkları.....	87
Çizelge 14.2	Spektrometreden alınan element analiz sonuçları .....	90
Çizelge 14.3	Sıvı alüminyum içerisindeki hidrojenin giderilmesi amacıyla ilave edilen farklı gaz gidericiler ve etkileri .....	91
Çizelge 14.4	Deney Sonuçları.....	93

## ÖNSÖZ

Teknolojinin sürekli olarak geliştiği dünyamızda, üzerinde çalışılan ve yeni ortaya konulan her ürünün daha da geliştirilmesi gereği kaçınılmazdır. Alüminyum da hafifliği sayesinde; günümüz endüstriyel dizaynlarda en çok gözetilen hususlardan biri olan hafif tasarımlar için çok yatkın bir malzeme olmuştur. Ne var ki, alüminyumun elde edilişı ve işlenişı esnasında bazı iç yapı sorunları meydana çıkabilmektedir.

İşte böyle güncel bir malzemede ortaya çıkan sorunları inceleme fırsatını bana sağlayan, sonsuz yardımlarını esirgemeyen çok değerli Hocam Sn. Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca ülkemizin en büyük alüminyum tesisi olan ASSAN Alüminyum A.Ş.'de elde etmiş olduğum teorik bilgileri uygulama ile birleştirme ve karşılaştırma yapabilmeme olanak sağlayan değerli ASSAN yöneticilerine ve çalışanlarına da teşekkür ederim.



## ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum ve alaşımlarından elde edilen döküm parçalarında hala çok sık rastlanan hatalardan biri olan gaz gözenekliliğinin, oluşumu ve nedenleri üzerinde durulmuştur.

Gaz gözenekliliği, sadece mekanik özellikler üzerine değil, alüminyum döküm parçalarının işlenebilirlik ve yüzey kalitesi üzerine de negatif bir etki yapmaktadır. Bu istenmeyen döküm hatasının, özellikle ergiyiğin aşırı hidrojen içermesine bağlı olduğu bilinmektedir.

Yapılan bu çalışmada, günümüzde kullanımı oldukça artan alüminyum metalinin sıvı durumdaki kalitesine etki eden faktörlerden en önemlisi olan hidrojen ve etkileri incelenip, hidrojen ölçme ve giderme yöntemleri açıklanmıştır. Burada açıkça görülmüştür ki, hidrojen alüminyum için bir tehlike olup, dikkatli bir uygulama ile sıvı metaldeki güvenilir seviye olan 0.15 ml / 100 gr alüminyum seviyesine inilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gözeneklilik, gaz giderme, hidrojen, alüminyum, yüzey kalitesi.

**ABSTRACT**

In this paper, formation of gas porosity, one of the most common faults seen in aluminium casting parts, is examined and the reasons of this is examined.

Gas porosity affects not only mechanical properties, but also machinability and surface quality of aluminium casting parts. This unwanted casting fault is known to be especially depend on large amount of hydrogen in melt.

In this paper, hydrogen, nowadays which is used frequently and is the most factor effecting aluminium metal in liquid quality is examined; measurement and detection methods are described. Herein, it has clearly been established that hydrogen is a danger for aluminium and with a cautious application the aluminium amount can be decreased to 0.15 ml / 100 gr.

**Keywords:** Porosity, degassing, hydrogen, aluminium, surface quality.



## 1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde hafif fakat mekanik özellikleri yüksek olan alaşım ve metallere bir hayli gereksinim duyulmaktadır. Alüminyum ve alaşımları ise, hafiflik, iyi işlenebilme kabiliyeti, ısı ve elektrik iletkenliği, mekanik özellikleri nedeniyle endüstride büyük önem kazanmışlardır.

Son yıllarda özellikle de II. Dünya Savaşı'ndan sonra, alüminyum ve alaşımları kullanılma alanı büyük bir hızla artmış ve endüstrinin hemen her dalına girmiştir. Böylesine önem kazanan alüminyum alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar gittikçe hızlanmakta, yeni alüminyum alaşımları yapılmakta ve daha önce yapılanların özellikleri geliştirilmektedir. Bu amaçla uygulanan metodların çoğu ısıl olarak alüminyumun bazı eritme ya da tavlama işlemlerine maruz bırakılmasıdır. Böylece alüminyuma değişik özellikler kazandırılabilir.

Mühendislik uygulamalarında ve insan yaşamında önemli ölçüde kullanım alanı bulan alüminyumun en belirgin özelliği hafifliğidir. Alüminyum, hafifliği sayesinde; günümüz endüstriyel dizaynlarda en çok gözetilen hususlardan biri olan hafif tasarımlar için çok yatkın bir malzeme olmuştur. Ne var ki, alüminyumun da diğer malzemeler gibi elde edilişi ve işlenişi esnasında bazı sorunlar meydana çıkabilmektedir. Gündeme gelen bu sorunlar, alüminyumun yapısını doğrudan etkilemekte ve zaten diğer malzemelere göre düşük olan mekanik özelliklerini azaltabilmektedir.

Teknolojinin sürekli olarak geliştiği dünyamızda, üzerinde çalışılan ve yeni ortaya konulan her ürünün daha da geliştirilmesi gereği kaçınılmazdır. Alüminyumun hafifliği nedeniyle tercih edildiği konstrüksiyonlarda ise daha öncede yukarıda belirtilen iç yapı kusurları gibi kusurlardan dolayı olası emniyetsizlikleri önlemek için daha fazla malzemenin ürün bünyesinde kullanılması gereği duyulmaktadır. Oysaki iç yapısından çok daha iyi haberdar olunarak, yapının emniyetliliğinin daha da kesinleştirilmesiyle, alüminyumun üzerine düşen "teknolojinin önünü açmak" hususundaki görev uğruna daha da fazla yol kat edilmiş olacaktır.

Görüşünüze sunulmuş olan bu tezde, alüminyum ve alüminyum alaşımlarıyla yapılan parça dizaynlarında, döküm yönteminin kullanılması ertesinde malzemedeki oluşan ve yukarıda bahsi

edilen iç yapı sorunlarından birisi olan gözenekliliğin; nedenleri, nasıl giderilebileceği, hangi tekniklerin kullanıldığı ve yapı içerisinde hangi seviyelerde olduğunun tespit edilmesiyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Elde edilen teorik bilgilerin ışığında, ülkemizin en büyük alüminyum tesisi olan ASSAN Alüminyum A.Ş.'de gaz gidermeyle ilgili yapılanları araştırma fırsatıyla da pratikteki çözümler araştırılmış oldu.



## 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Yer kabuğunda bulunan demir dışı metallerin oranları aşağıda verilmektedir. Hafif metaller sınıfından olan alüminyum, bileşikler halinde yer kabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturur. Çizelge 2.1'den de görülebildiği üzere yer kabuğunda en çok bulunan metal alüminyumdur.

Çizelge 2.1 Metallerin doğada bulunma yüzdeleri

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
%	7.5	4.7	1.9	0.58	0.02	0.018	0.01	0.002

Yukarıdaki % oranlarına rağmen alüminyumun kullanılma oranı demirin kullanılma oranına erişememiştir. Bu olayın sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

- Alüminyum, parçalanması mümkün olmayan birçok mineralin bileşiminde vardır.
- Alüminyum ilk olarak 100 sene önce teknik olarak üretilmeye başlanmıştır. Demir ise ilk çağlardan beri tanınmaktadır.
- Alüminyum sertleştirilemez; bu nedenle takım malzemesi olarak kullanılması imkansızdır.

Diğer demir dışı metaller yer kabuğunda daha düşük oranda bulunurlar. Ekonomik olarak elde edilmelerinin tek nedeni cevher koridorlarında, cevher yuvalarında veya tabaka halindeki cevher birikim bölgelerinde konsantre halde bulunmalarındır.

Genellikle birçok metal bileşiği iç içe geçmiş durumdadır. Bunların birbirinden ayrılması pahalıdır ve bunun yanında karmaşık işlemler gerektirmektedir. Demir dışı metallerin üretimi demir ve çelik üretiminin çok altındadır. Kısmen yüksek olan fiyatları bu nedene bağlamak gerekir. Demir dışı metallerin ve alaşımlarının kullanma alanı bu nedenle kendine özgü özelliklerinin çeliğe göre daha bariz bir tesir gösterdiği durumlar için sınırlanmıştır. Bu özellikler Çizelge 2.2'de şu şekilde gösterilmiştir:

Çizelge 2.2 Demir dışı metal ve alaşımların özellikleri

Özellikler	Metal ve Alaşımlar
Düşük yoğunluk	Magnezyum, Alüminyum, Titanyum
Düşük ergime noktası (iyi ergime kabiliyeti)	Kurşun, Kalay, Çinko, Alüminyum, Magnezyum
Korozyona dayanıklılık	Bakır, Nikel, Titanyum, Alüminyum
Yüksek sıcaklığa dayanıklılık (ısı mukavemet)	Tungsten, Kobalt, Nikel, Krom, Molibden
Isı ve elektrik iletibilme kabiliyeti	Gümüş, Bakır, Alüminyum
Kayma özellikleri	Kurşun, Kalay, Alüminyum, Bakır

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletmesi düşük fakat yeterli olabilecek mekanik dayanımı ve iyi şekil alabilirliği gibi uygun özelliklerinin yanında, alüminyum esaslı malzemeler değişik korozif zorlamalarda da seçkin olarak kullanılırlar. Özellikle korozyon dayanımı arandığında kimya tekniğinin amacına göre alüminyum arıklığının %95.5'un altında olmaması gerekir. Fakat alüminyum dayanım özelliğini iyileştirmek için alaşımlama gerekiyorsa yine korozyona dayanıklı sayılır, ancak korozyon dayanımı arı alüminyum altındadır. Yalnızca ayrıcalıklı bir durum olarak Al-Mg alaşımlarının deniz suyuna dayanımı gibi, alaşımlarda korozyon dayanımı bazı hallerde iyi olabilmektedir.

## 2.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kısa Gösterilişleri

Alüminyum ve alaşımlarının kısa gösteriminde TSE, önce ISO, sonra da Alman standartlarını DIN'leri esas almıştır. Fakat bazı yerlerde de Amerikan Alüminyum Birliği kuralları benimsenmiştir.

### 2.1.1 Avrupa Standartları ve Alüminyumun Kısa Gösterilişi

Avrupa standartlarının getirdiği bağlayıcı kurallara göre alüminyum ve alaşımlarının iki çeşit kısa gösterimi mevcuttur. Bunlardan biri malzeme numaraları (EN 573-1) diğeri ise kimyasal semboller (EN 573-2) ile kısa gösteriliştir.

#### Alaşımsız Alüminyumlarda:

Kimyasal kısa gösterim verilirken önce Al simgesi yazılır, bir boşluk bırakılır ve alüminyum saflık derecesi ilave edilir. Şayet alaşımsız alüminyuma az bir miktar element eklenmiş ise bunun sembolü aralık bırakılmadan sonra eklenir.

Örnek: EN AW.1199 (Al 99.99) EN AW.1070 (Al 99.7)

EN AW.1100 (Al 99.0 Cu) – Az bir miktar Cu ilavesi var.

#### Biçimlenen Alüminyum Alaşımlarında:

Kimyasal kısa gösterim esasen alaşımsızlarınkine benzer şekildedir. Al simgesinden sonra bir boşluk bırakılır ve ondan sonra da ana alaşım elementi veya ağırlık oranı sırasına göre diğeri alaşım elementleri kimyasal simge olarak sıralanır.

Örnekler: EN AW.5251 (AlMg2) (%1.7 – 2.4 Mg)

EN AW.5052 (AlMg2.5) (%2.2 – 2.8 Mg)

EN AW.606 (AlMg1SiCu) (Al-Mg-Si alaşımları grubundan)

EN.AW.7050 (AlZn6CuMgZr)



Malzeme numaralarının veya alüminyum malzemenin nümerik adlandırılmasındaki kural, alüminyum ve alaşımlarının ana alaşım elementine göre sınıflandırılmasında saklıdır.

Alüminyum işlem alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme Amerikan Standartlar Birliği tarafından belirlenendir. Bu sistem en yalın şekliyle Çizelge 2.3 açıklandığı gibi dört rakamdan oluşmuştur.

Çizelge 2.3 Alüminyum işlem alaşımlarında kullanılan simgeleme sistemi

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Arı alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silis
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum – silis
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Kullanılmayan dizi

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1XXX dizisi arı alüminyumu (%99.00) belirtir. Son iki rakam %99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Son iki rakam ise özel olarak denetlenen katkı (empürite) elementlerin sayısını belirtir ve 1'den 9'a kadar değişebilir. 2XXX'den 8XXX'e kadar olan alüminyum alaşımlarında, ilk rakam alaşım türünü ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur.

### 2.1.2 Malzeme Numaraları

EN 573-I (Ağustos 1994) standardınca düzenlenen alüminyuma ait malzeme numaralarında belirlenen prensipler şöyledir:

1. "EN" harfleri ve bir harflik ara.
2. Alüminyum ifadesi olarak "A" harfi.
3. Malzeme türünün belirleyicisi olarak örneğin biçimlendirilebilen alaşımlar için Wrought'dan W (muhtemelen değerleri; külçe ve kütük; B: döküm alaşımı C; ön alaşım M: rafine hammadde: R; kaynak ve sert lehim malzemesi: S; standard dışı alaşım X olabilir.)

4. Tire (-)

5. Alaşım grubunun ve kimyasal bileşiminin belirleyicisi olarak dört haneli bir sayı.

6. Gerekli olduğunda, ulusal farklı bir alaşım önceden belirlenmiş ifadesi olarak bir harf.

Örnekler: EN AW-5052, EN AW-5154A, EN AW-6005B (ASM Handbook, 1996)

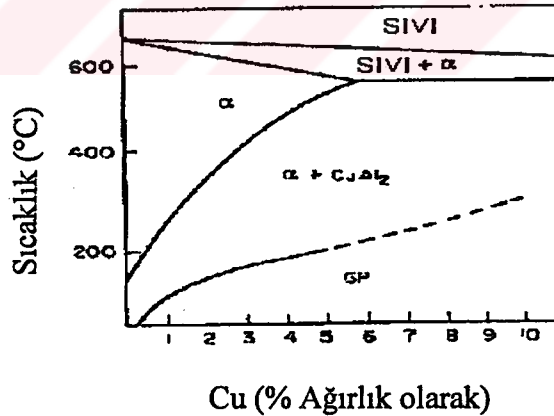
### 3. ÖNEMLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE DENGE DİYAGRAMLARI

#### 3.1 Arı Alüminyum ve Çok Arı Alüminyum

Alüminyum oksidin ergitme – elektrolizi ile üretilen arı alüminyum (metalurjik alüminyum örneğin; Al99.5) ve metalurjik ya da burada alüminyumdan üç kez elektrolizle rafine edilen çok arı alüminyum (örneğin; Al99.99R), atmosferin etkisine, yiyecek ve tatlı madde endüstrisi gibi birçok kimyasal etkiye karşı dayanıklıdır. En önemli artılmayan element demir ve silisyumdur. Gıda endüstrisinde konserve kutuları için alüminyum bantlar (Al99.5), süt şişesi kapaklarında rolyeler (Al99.5) ve mamüllerin paketlenmesinde, paketlenme maddelerinde kimyasal ya da mikrobiyolojik etki ile değişiklik kesinlikle istenmediğinden çok fazla kullanılır. Al99.5 konsantre nitrik asidin depolanması içinde uygundur ve çok uzun etki sürelerinde de tahribat görülmez. Petrol endüstrisinde de kullanılır. Bunun dışında arı alüminyum için; mutfak ve ev aletlerinde, elektrik iletim malzemesi olarak kablolarda, akım raylarında, kondansatörlerde ve kablo kılıflarında sac ve profil olarak dekorasyon için inşaat ve taşıt imalinde, alüminyum tozu olarak alüminyum boyalarında ve kaplarında kullanılır.

#### 3.2 Alüminyum – Bakır Alaşimleri

Bakır, alüminyumla 548°C'de %33 bakır içeren bir ötektik bulunduğuna bir denge diyagramı yapar. Bu diyagramın çok fazla kullanılan Al-Cu alaşımları yönünden önemli olan kısmı büyütülmüş haliyle şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Al-Cu denge diyagramı (Gruzleski ve Closset, 1999)

Ötektik sıcaklığında bakırın ( $\alpha$ ) fazında erirliği %5.65'dir. ( $\alpha$ ) katı fazının limiti 250°C'ye kadar bilinmektedir. Daha aşağı sıcaklıklarda limit kesinlikle bilinmemektedir. Yüksek sıcaklıklarda bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü artmaktadır. Bu durum Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Yüksek sıcaklıklarda bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü

Sıcaklık(°C)	548	500	450	400	350	300	250
%Bakır	5.65	4.05	2.50	1.40	0.85	0.45	0.1-0.2

Hızlı bir su vermekle yarı dengeli olan bir ( $\alpha$ ) fazı oluşur. Bu faz içerisinde  $\text{CuAl}_2$  çökler. Bakır alüminat çok sert bir maddedir ve katı eriyikten zamanla oda sıcaklığında ayrılır. Bu olay yaşlanma sertleşmesini oluşturarak sertlik ve mukavemeti artırır. Çökelmenin tamamlanmış durumda olduğu alüminyum-bakır alaşımlarının korozyon direnci azalır.

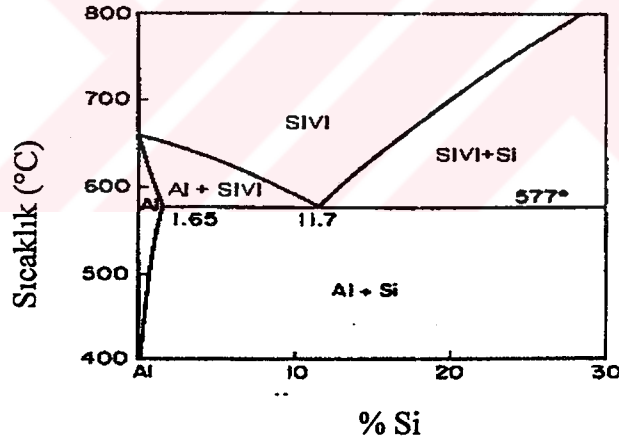
### 3.3 Alüminyum – Silisyum Alaşımları

Silisyum, alüminyumla  $577^\circ\text{C}$ 'de %11.7 Si içeren ötektik bir denge diyagramı oluşturur (Şekil 3.2). Bu sıcaklıkta silisyumun alüminyum içindeki erirliği %1.65'dir.

Al-Si alaşımları döküm alaşımlarıdır. Bunlara ısı işlem uygulanmaz. Döküldükleri gibi kullanılırlar. Silisyumun alüminyum içindeki erirliği sıcaklıkla şöyle değişir.

Çizelge 3.2 Silisyumun alüminyum içindeki erirliğinin sıcaklıkla değişimi

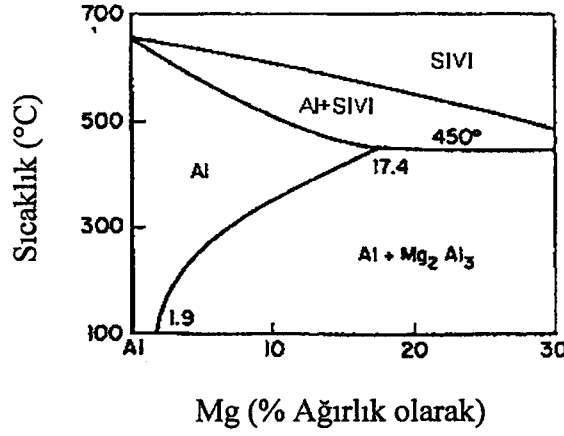
Sıcaklık(°C)	577	550	500	450	400	350	300	250
%Silisyum	1.65	1.30	0.80	0.48	0.29	0.17	0.06	0.008



Şekil 3.2 Al-Si denge diyagramı. (Gruzleski ve Closset, 1999)

### 3.4 Alüminyum – Magnezyum Alaşımları

Magnezyum, alüminyumla  $437^\circ\text{C}$ 'de %67.7 Mg ve  $450^\circ\text{C}$ 'de %35 Mg içeren iki ötektik ihtiva eden bir denge diyagramı yapar (Şekil 3.3).

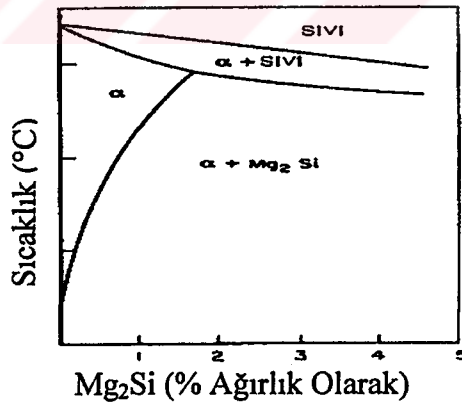


Şekil 3.3 Al-Mg denge diyagramının hem Al, hem de Mg yönünden önemli olan kısımları (Gruzleski ve Closset, 1999)

Oda sıcaklığında magnezyumun içindeki erirliği %1.9'dur. Alüminyum – Magnezyum alaşımları, alüminyum-bakır alaşımında olduğu gibi, ısıl işlem uygulanacak alaşımlardan istenen karakteristik bir katı eriyiğe sahiptir. Alüminyum alaşımlarında %8'in üstünde magnezyum, alaşımın ısıl işlem özelliklerini iyileştirir. Bunun altında magnezyum içeren alaşımlar ısıl işleme uygun değildir. Ancak bakır ve silisyum gibi bazı alaşım elementleri içeriyorsa ısıl işlem uygulanabilir. Al-Mg alaşımları deniz suyuna karşı oldukça dayanıklıdır.

### 3.5 Alüminyum – Silisyum – Magnezyum Alaşımları

Bu tip alaşımlar yüksek döküm özelliği, sızdırmazlık, iyi korozyon direnci gibi özellikler gösterirler. %0.2 – 0.6 Mg ve %5-9.5 Si içerirler.



Şekil 3.4 Al-Mg<sub>2</sub>Si denge diyagramı (Gruzleski ve Closset, 1999)

Al-Si-Mg denge diyagramının esası, Al ve belli bileşimdeki Mg<sub>2</sub>Si'nin üçlü diyagramı, bir ikili sistem gibi iki kısma ayırması üzerine oturur. (Gruzleski ve Closset, 1999; Metals Handbook, 1990)

## 4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Alüminyum;  $2.7\text{gr/cm}^3$  yoğunluğu bulunan, ergime noktası yaklaşık  $660^\circ\text{C}$  olan,  $760\text{ mmHg}$  buhar basıncında  $2770^\circ\text{K}$  kaynama noktası bulunan bir elementtir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı  $250\text{-}300^\circ\text{C}$ 'dir ve kristal çeşidi yüzey merkezli kübik (YMK)'tir. Isıl iletkenliği  $0.531\text{ cal/cms}^\circ\text{C}$ 'dir ve ergime ısısı  $71\text{ ila }94\text{ kcal/gr}$ 'dir.  $1000^\circ\text{C}$ 'deki viskozite ve yüzey gerilimi  $454\text{ dyn/cm}^2$ 'dir. Alüminyum atomları yapılarındaki çekirdekte 13 proton ihtiva etmektedirler. Bu nedenle periyodik tablonun 3-6 grubunda bulunur.

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri, malzemenin özelliklerini daha iyileştirerek diğer metallere göre üstün olmasını sağlarlar.

### 4.1 Ağırlıktan Tasarruf

Otomotiv ve uçak endüstrisinde ağırlıktan tasarruf önemli bir konudur. Çünkü;

- Güç tasarrufu olur.
- Hareketli parçaları olan makinalarda verim yükselir.
- Teçhizatın elle idaresinde işçi daha az yorulur.
- Nakliye işlerinde tonaj düşmektedir.

Pik mamuller, alüminyumdan yaklaşık 2.5 defa, çelik mamuller ise 3 defa daha ağırdır. Bu nedenler, alüminyum alaşımlarının kullanılma işlevini artırmaktadır.

### 4.2 Mekanik Özellikler

Çeşitli alüminyum alaşımları ısı işlemler sonucu arzu edilen şekilde mukavemet, sertlik, tokluk ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması alüminyum alaşımları için büyük bir avantaj olup, kullanım alanını genişletmektedir.

### 4.3 Korozyona Karşı Mukavemet

Alüminyum alaşımları korozyona karşı oldukça dayanıklıdırlar. Ayrıca birçok kimyasal maddelere dayanıklı olduklarından petrol ve kimya endüstrisinde kullanılmaya elverişlidir.

#### **4.4 Isıl ve Elektrik İletkenliği**

Alüminyum alaşımları ısı ve elektriği çok iyi iletirler. Pistonlar, silindir kafaları, çeşitli mutfak eşyaları, kalorifer radyatörleri gibi ısıнын hızla iletilmesi istenen yerlerde geniş uygulama alanları bulmuşlardır.

#### **4.5 İşlenebilme Kabiliyeti**

Alüminyum alaşımlarının sıcak ve soğuk işlenebilme özelliği vardır. Çok iyi hadde özelliğine sahiptirler. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarının döküm özellikleri de iyidir.

#### **4.6 Düşük Son Maliyet**

Alüminyum alaşımlarının birim ünite maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik oluşu bir tercih sebebi olmaktadır. (Topbaş,1993)



## **5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANILMA ALANLARI**

Alüminyum alaşımlarının birçok kullanılma alanı vardır. Bunlar:

### **5.1 İnşaat Sanayinde**

Son yıllarda inşaat tekniğinde ve mimari stilde meydana gelen gelişmeler alüminyum ve alaşımları lehinedir. Alüminyum ve alaşımlarının kullanılma sahalarının fazlalığı düşük maliyetli, iyi görünümlü ve inşasının hızlı olmasındandır.

### **5.2 Uçak Endüstrisinde**

Alüminyum ve alaşımları 1908 yılında yaşlanma sertleşmesinin bulunmasıyla uçak sanayine girmiştir. Bugün uçak sanayinde duralümin tipi alaşımlar kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan süpersonik "CONCORDE" uçaklarının gövde kısmı alüminyum alaşımlarından yapılmıştır.

### **5.3 Gemi Sanayinde**

Günümüzde küçük araştırma gemileri, yat, yelkenli ve feribot gibi küçüklü büyüklü gemilerin yapımında alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Yolcu gemileri ve şileplerde hafif oldukları için tercih edilen alüminyum alaşımları, büyük askeri gemilerde, düşük manyetik geçirgenlikleri sayesinde bir avantaj daha sağlamaktadırlar.

### **5.4 Elektrik Sanayinde**

Bir alüminyum iletken, düşük yoğunluğu nedeniyle bakır bir iletkenin daha hafiftir. Bu nedenle 1930 yılından beri enerji nakil hatlarında kullanılmaktadır. Yurdumuzda da "Türkiye Elektrik Kurumu" enerji nakli ve iç hatlarda alüminyum kablolar kullanılmaktadırlar.

### **5.5 Ambalaj ve Konserve Sanayinde**

Alüminyum, paketlenme (ambalaj) malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca nüfus artışıyla ortaya çıkan beslenme problemi konserveciliği geliştirmiş ve alüminyumdan yapılmış kutular ön plana geçmiştir. Bunlar diğer malzemelere göre daha iyi özellik ve düşük maliyet sağlarlar. Kullanılan kutular atıldığı için bu durum önemli bir avantajdır. Ayrıca bu kutular hurda olarak kullanılabilir.

### **5.6 Demiryolu Sanayinde**

Alüminyum ve alaşımları pahalı olmasına rağmen işletme masraflarının az olması, korozyona dayanıklı ve hafif olması nedeniyle demiryolu araçlarında kullanılmaktadır. Son yıllarda vagon, treyler, lokomotif yapımında alüminyum alaşımları kullanılmaya başlanmıştır.

### **5.7 Otomotiv Endüstrisinde**

Alüminyum alaşımları düşük özgül ağırlıklı ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle bol miktarda kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımları yukarıda saydıklarımızdan başka dekorasyon işlerinde, matbaa klişelerinin hazırlanmasında, kırılan döküm parçalarının termite kaynağında, kimyasal metalurjide metalotermik reaksiyonlarda vb. yerlerde geniş uygulama alanı bulmuştur. (Topbaş,1993)





## 6. KULLANMA YERİNE GÖRE MALZEME SEÇİMİ

Kullanma yerlerine göre bir alaşım seçilirken şu özelliklerin gözönüne alınması gerekir.

### 6.1 Mekanik Özellikler

Bir alaşıma ısı işlem uygulanıp uygulanmayacağına mekanik özellikleri tayin eder. Yüksek mukavemet isteyen yerlerde ısı işlem uygulanabilen alaşımlar kullanılmalıdır. Bazende sertlik, yüksek iletkenlik, boyutların dengeli olması gibi özellikler ön planda tutulur. Seçilecek alaşımın kalıcı gerilimi, maksimum uzaması, çekme ve akma dayanımı gibi bazı karakteristik değerleri bilinmelidir.

### 6.2 Fiziksel Özellikleri

Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyona karşı mukavemet, düşük ısı genleşme vb. gibi özelliklerin istenildiği durumlarda alaşımın fiziksel özellikleri gözönüne alınır.

### 6.3 İmalat Karakteristikleri

Alüminyum alaşımları verilen imalat karakteristikleriyle değer kazanırlar. Bu karakteristikler haddelenme kabiliyeti, döküm özellikleri, kaynak kabiliyeti, korozyon direni, parlatılma (polisaj kabiliyeti), işlenebilme kabiliyeti vb. özelliklerdir. Ayrıca alaşımın kimyasal bileşimi de bilinmelidir.

### 6.4 Döküm Özellikleri

Malzemenin döküm özelliği bilhassa büyük ve karışık parçaların dökümünde çok önemli bir konudur. Malzeme seçilirken kullanma ortamının özelliklerine göre bir seçim yeterli değildir. Döküm dizaynı, alaşım seçiminde önemli bir husustur. Bu nedenle mamulün kullanım ortamı kadar, alaşımın döküm karakteri de seçimi etkiler. Dökülecek parçanın hangi methodla işleneceği kararlaştırılmalıdır. Bu kararda dökülecek parça adedi ve boyutları önemlidir. Kalıp tipi tayin edildikten sonra akışkanlık, sızdırmazlık, sıcak yırtılmaya karşı mukavemet, çekilme payları gibi döküm karakteristikleri incelenmelidir.

### 6.5 Korozyona Karşı Direnç

Genellikle korozyon elektrokimyasal bir oluşumdur. Sonucunda metal kaybı, malzemenin mekanik mukavemetinin azalması, yüzeyde tahribat meydana gelmektedir. Alüminyum alaşımlarının pek çoğu korozyona karşı iyi mukavimli olup genellikle atmosferik korozyona

karşı dayanıklıdırlar. Bir alüminyum alaşımının korozyona karşı direnci sadece kimyasal bileşimine bağlı olmayıp, döküm kalitesine ve uygulanan ısı işlemin cinsine de bağlıdır.

### 6.6 İşlenebilme Kabiliyeti

İşleme metodlarının iyi seçilmesi ve koşulların yerine getirilmesiyle alüminyum alaşımları diğer bütün metallere daha iyi işlenirler. İçerisinde bakır bulunan alaşımların işlenmesi kolaydır. Silisyum içeren alaşımların işlenmesinde düşük kesme hızı ve sert kesici uç gerekir.

### 6.7 Yüksek Sıcaklıkta Mukavemet

Sıcaklığın yükseltilmesiyle metallerin mukavemeti, sertliği ve elastikliği azalır. Buna karşın plastisitesi artar. Yüksek sıcaklıkta alüminyum alaşımlarının çalışma kabiliyeti düşünülürse başlıca iki faktör göze alınır:

- Yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa döndükten sonra metal üzerinde kalan etkiler.
- Yüksek sıcaklıkta metal üzerinde oluşan etkiler.

Yüksek mekanik değerler elde etmek için ısı işleme tabi tutulan alaşımlar, yüksek sıcaklıkta mukavemetlerini önemli ölçüde muhafaza ederler.

Bütün bunlardan başka alaşım seçiminde kaynak kabiliyeti, yüzey bitirme işlemleri, elektrik iletkenliği, yoğunluk gibi özellikler bilinmeli ve seçim ona göre yapılmalıdır. (İğdır,1979; Dennis,1993; Weissavach,1993)

## 7. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ETKİSİ

Alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin (hafif ağırlık, iyi haddelenebilme özelliği, yüksek elektrik özellikler, korozyona karşı mukavemet, manyetik olmayışı vs.) yanı sıra dökme ve mekanik özellikleri çok kötüdür. Kötü olan bu özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyuma ilave alaşım elementleri katılmıştır. Alaşımın kullanılma yerlerine göre seçimlerinin yapılabilmesi açısından, alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri bilinmelidir.

Alüminyuma en fazla ilave edilen alaşım elementleri şunlardır:

### 7.1 Bakır

%3-12 oranında katılırlar. Alaşımdaki bakır miktarı arttıkça alaşımın akıcılığı, çekme dayanımı ve sertliği artar. Fakat korozyon direnci ve çekilebilirliği azalır.

### 7.2 Silisyum

Alüminyuma %20'ye kadar ilave edilebilir. Özellikle bir miktar Mg ilavesiyle ısıl işlem uygulanabilen Al-Si alaşımları meydana getirilir. Korozyon dirençleri, ısıl ve elektrik iletkenlikleri yüksek, genleşmeleri düşüktür.

### 7.3 Magnezyum

Magnezyum ilavesi bir cürufleşme meydana getirdiği için alüminyum alaşımlarının dökümünü zorlaştırır. Bunu önlemek için malzemeye berilyum ilave edilir. %8 Mg içeren alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri yüksek, anodik oksit kaplama özellikleri iyidir.

### 7.4 Manganez

Alaşımın korozyon direncini azaltmadan çekme mukavemetini artırır. Manganezin ısıl işleme bir etkisi yoktur. Manganez, alaşımın ergime noktasını yükseltir.

### 7.5 Çinko

Genellikle Al-Zn alaşımlarına pek rastlanmaz. Hatta Zn bazı alüminyum alaşımlarında stenmeyen yabancı eleman olarak bulunur. Genellikle diğer alaşım gruplarının özelliklerini iyileştirmek için ilave edilir. Artan çinko miktarlarında alaşımın akıcılığı artmakla beraber yüksek sıcaklık dayanımı azalır.

### 7.6 Titanyum

Alüminyum alaşımlarında tane küçültücü bir etki gösterir. %0.05 – 0.2 limitleri arasında ilave edilebilir. Basıncılı döküm alaşımlarında Ti ilavesi zararlıdır. Çünkü Ti ilavesi akışkanlığı azaltır, bu durum ise döküm sırasında zorluk çıkartır.

### 7.7 Demir

Al-Fe alaşımları pek kullanılmazlar. Demir bazı uygulamalarda mukavemeti, yüksek sıcaklıklarda sertliği artırma gibi alaşım özelliklerini iyileştirici özelliğe sahiptir.

### 7.8 Nikel

Nikel alüminyum alaşımlarına yüksek olmayan yüzdelerde katıldığı takdirde tıpkı bakır gibi dayanım ve sertliği artırır. Alaşıma parlaklık ve yansıtıcılık vererek yüzey kalitesini yükseltir.

### 7.9 Kalay

Metal ergidikten sonra ilavesi oldukça kolaydır. Alüminyum alaşımlarında kalay, düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı düşürür. Kalay, yatak olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının en önemli bileşenlerinden biridir.

### 7.10 Kurşun

Özellikle kalay ve bizmut ile kullanıldığında alaşımın işlenebilme kabiliyetini artırır. %0.5'den aşağı miktarlar da ilave edilir. Alüminyum içerisindeki erirliği çok düşüktür.

### 7.11 Krom

Kromun alüminyum içerisindeki erirliği çok düşüktür. Burada ikinci faz çökmesi görülmez. Genellikle %0.1-0.6 oranlarında ilave edilir.

### 7.12 Bor

Genellikle %0.01 oranında kullanılır. Titanyumla beraber iyi bir tane küçültücüsüdür.

### 7.13 Berilyum

Yüksek magnezyumlu (%4 ve daha fazla) döküm alaşımlarında cüruflaşmayı azaltmak ve yeniden ergime esnasında magnezyumun yanarak kaybolmasını önlemek için berilyum ilave edilir. (İğdır,1979; Dennis,1993; Weissavach,1993)

İC YÜKSEK ÖZGÜÇLÜK KURULU  
MÜHÜRLEME VE KONTROL BÜYÜK MÜDÜRLÜĞÜ

## 8. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA METALİN ELDE EDİLMESİ

Alüminyum eldesi için en önemli hammadde boksittir. Güney Fransa'da Ailes yakınlarındaki Lex Baux bölgesinin ismini almıştır.

Boksit yaklaşık olarak şunları ihtiva eder:

%65  $Al_2O_3$

%28  $Fe_2O_3$

%7  $SiO_2$

%30  $H_2$

Boksitin çıktığı en önemli bölgeler coğrafi açıdan şunlardır: Güney Fransa, Macaristan, Yugoslavya, Yunanistan, Hindistan, Endonezya, Brezilya, Batı Afrika.

### 8.1 Cevher Hazırlama

Cevherin ilk etapta bütün yabancı maddelerden temizlenmesi gerekir. Bu işlem için Bayer metodu geliştirilmiştir. Bu metod da kızgın sodyumhidroksit ( $NaOH$ ) ile işleme tabi tutularak, alüminyumoksit, suda çözülebilen sodyumalüminad ( $NaAlO_2$ ) haline dönüştürülür. Filtrasyon ile diğer çözülmeyen maddeler demiroksit ( $Fe_2O_3$ ) ve silisyum ( $SiO_2$ ) ayrılabilir. Demir ihtiva eden filtrasyon artığı kırmızı çamur olarak adlandırılır ve yüksek fırın prosesine gönderilir.

Alüminat çözeltisi içerisinde alüminyum alüminyumhidroksit ( $Al(OH)_3$ ) halinde kristalize edilir, yıkanır ve döner borsal fırınlarda tavlınır ve böylelikle yapıdaki su uzaklaştırılmış olur geriye saf alümina  $Al_2O_3$  kalır. Bu madde, ergitme elektrolizi usulünde kullanılan şarj maddesidir. ( Salgın, 2000)

### 8.2 Ergitme Elektrolizi

Alüminyumun oksijene karşı olan afiniteleri, karbonunkinden çok daha büyüktür. Bu nedenle karbon alüminyumu oksitinden ayıramaz. Redüksiyon için gerekli endotermik enerji elektrik akımından alınır. Bundan dolayıdır ki alüminyumun teknik olarak üretimi ancak Siemens tarafından dinamo makinesinin keşfi elektrik enerjisi ekonomik olarak üretilmeye başlanınca mümkün olmuştur (1866).

Ergitme elektrolizi için  $Al_2O_3$  kimyasal bileşiğinin ergitilmesi gerekir. Böylece bu bileşik iyonlarına ayrılır. İkinci işlem olarak sisteme doğru akım uygulanırsa (+) yüklü metal iyonları katoda hareket ederler ve buradan elektron olarak metal halinde redüklenirler. Alüminyumun

oksidinin çok yüksek bir ergime noktasına sahip olması (2000°C'nin üzerinde) nedeniyle 1896'da Heroult tarafından geliştirilen usul büyük önem kazanmıştır. Bu usulde yüksek sıcaklıkta ergiyen oksit ilk önce ergitilmiş kriyolit içerisinde sıcaklık yeterli gelmektedir. Yaklaşık 5V'luk bir doğru akım uygulanınca  $Al_2O_3$  parçalanırken kriyolit değişime uğramaz. Kriyolit bir çeşit Na-Al-F bileşimidir.

Bu usul karbon asıllı banyo fırınlarında uygulanır. Eriyiğin içerisine anot olarak karbon bloklar daldırılır. Serbest kalan oksijen elektrodlarındaki karbonu oksit halinde bağlar. Alüminyum banyonun dibinde toplanır ve periyodik olarak dışarıya pompalanır. Kullanılan alüminyum oksit yerine de periyodik olarak yenisi doldurulur. Enerji harcaması yaklaşık olarak 17 kwh/kg'dır. Alüminyumun saflığı %99.8 olup çeşitli formlarda dökülmesi amacıyla dengeleme fırınlarına doldurulur.



## 9. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİNİN GÖSTERİLİŞİ

Burada belirtilen temper anahtarı ingot dışındaki tüm alüminyum alaşımları için geçerlidir. Sistem, çeşitli temperler elde etmek için uygulanan ısıl işlemler sırasına dayanır. Temper sembolleriyle alaşım numarası bir arada yazılır, fakat ikisi arasına bir (-) işareti konulur. Temel temper sembolleri harflerden ibarettir. Temel temperlerin alt bölümleri (eğer varsa) harfleri izleyen sayılarla gösterilir.

### 9.1 "O" Harfi

Yalnız hadde ürünleri için geçerli olup, bu ürünlerin en yumuşak temperlerine tekabül eder.

### 9.2 "F" Harfi

Fabrika imalat şartlarını gösterir.

### 9.3 "H" Harfi

Soğuk işleme sertleştirilmiş, gerilmelere sahip malzemeyi gösterir.

#### 9.3.1 "H" temperinin alt gösterimleri

- H1: Yalnız deformasyon sertleşmesine uğramış malzemeleri gösterir.
- H2: Deformasyonla sertleştirilmiş ve sonra kısmen tavllanmış malzemeyi gösterir.
- H3: Deformasyonla sertleştirilmiş ve sonra stabilize edilmiş alaşımları gösterir.

### 9.4 "T" Harfi

(-O), (-F), (-H) temperleri dışında dengeli temperler sağlamak üzere ısıl işlemlerden geçirilmiş malzemeyi gösterir.

#### 9.4.1 "T" temperinin alt gösterimleri

- T1: Yüksek sıcaklıklı bir şekillendirme işleminden soğutulup, oldukça dengeli bir duruma yaşlandırılmış malzemeyi gösterir.
- T2: Tavllanmış malzemeyi gösterir.
- T3: Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra soğuk işlenmiş malzemeyi belirtir.
- T4: Katı eriyik işleminden geçirilmiş ve oldukça kararlı bir durumda dinlendirilmiş (yaşlandırılmış) malzemeyi gösterir.



- T5: Yüksek sıcaklıklı bir şekillendirme işleminden sonra suni yaşlanmayı belirtmek için kullanılır.
- T6: Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra suni yaşlanmayı belirtmek için kullanılır.
- T7: Katı eriyik işleminden sonra dengelenmiş ürünleri belirtir.
- T8: Katı eriyik işleminden geçirilmiş, sonra soğuk işlenmiş ve daha sonrada suni yaşlandırılmış malzemeyi belirtir.
- T9 : Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra suni yaşlandırma ve daha sonrada soğuk işlem yapılmayı belirler.
- T10: Yüksek sıcaklıklı bir şekillendirme işleminden sonra suni yaşlanmayı ve daha sonrada soğuk işlenmeyi belirtir.

### 9.5 “W” Harfi

Katı eriyiğe alma ısıl işlem sıcaklığına çıkarılıp su verilmiş alaşımı göstermek için kullanılır. Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra oda sıcaklıklarında kendi kendine yaşlanan alaşımlar için geçerli dengesiz bir temperdir. (İğdır,1979)



## 10. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ

Bir alüminyum alaşımının ısı işleme genellikle 4 kademede gerçekleştirilir:

- Belli bir sıcaklığa kadar ısıtma
- Belli bir süre bu sıcaklıkta bekletme
- Düşük bir sıcaklığa hızla soğutma
- Soğutmayı takiben yaşlandırma

Bunların dışında malzemede oluşan gerilimleri ortadan kaldırmak için bir tavlama işlemi de uygulanır. Isıl işlem uygulanabilen başlıca alüminyum alaşımları:

- Yüksek bakırlı alaşımlar
- Magnezyum silisidli alaşımlar
- Yüksek çinkolu alaşımlardır.

### 10.1 Çözeltiye Alma Tavlaması

Yavaş soğuma sonunda alaşım meydana getiren bileşenler, karışım kristalleri ve kaba şekilli sekonder ayrışma maddeleridir. Çözeltiye alma tavlaması sonucunda karışım kristallerinin çözündürme kabiliyeti yükselir ve ayrışmış olan maddeleri tekrar yapısına alır. Tavlama süreleri dövme alaşımları için 30 dakika, dökme alaşımları için ise 3-6 saat kadardır.

### 10.2 Su Verme

Su içerisinde yapılan hızlı soğutma sonucu sekonder ayrışma vuku bulmaz ve karışım kristalleri oda sıcaklığında aşırı doymuş halde bulunurlar. Alaşım mukavemeti yükselmemiştir. Alaşım 1-2 saat içinde soğuk şekil değiştirebilir.

### 10.3 Ayrışma

Parça oda sıcaklığında (soğuk ayrışma) ve daha yüksek bir sıcaklıkta (sıcak ayrışma) bekletilir. Aşırı doymuş karışım kristalleri bu sırada normal durumlarına (oda sıcaklığında doymuş hale) gelmeye çalışırlar. Bu nedenle yapıda fazla olarak bulunan alaşım elementleri ayrışırlar ve tane sınırlarına itilirler. Düşük sıcaklık nedeniyle difüzyon olayı zorlaşır.

### 10.3.1 Soğukta Ayrışma

Karışım kristali içerisinde alaşım elementlerinin biriktiği bölgeler meydana gelir. Bu bölgeler mikroskopta görülmez. İkinci bir kristal çeşidi oluşmadığından korozyona karşı dayanıklılık yumuşak durumdan daha iyidir.

### 10.3.2 Sıcakta Ayrışma

Sekonder ayrışma sonucu sub mikroskobik parçacıklar meydana gelir. Aşırı yüksek olan ayrışma sıcaklığında bu parçalar büyürler ve görünür hale gelirler. Önceleri yükselmiş olan akma sınırı tekrar düşer .Bundan sonuç olarak her malzeme için en iyi değerlere ulaşan belirli bir ayrışma sıcaklığı ve süresi vardır.

### 10.3.3 Kendiliğinden Ayrışarak Sertleşme

Bazı tiplerde görülür. Kokil dökümünde veya saclara kaynak yapıldığında alüminyumun iyi ısı iletimi nedeniyle hızlı bir soğuma görülür. Bu sırada denge olmayan aşırı doymuş karışım kristalleri oluşur ve bekletme sırasında sertleşir. Bu amaçla geliştirilen bir alaşım AlZnMgl'dir. Ayrışma sertleşmesinden sonra bu alaşım kaynak edilebilir. İlk önce kaynak bölgesinin yapısı yumuşatılır. Ancak 1-3 haftalık süre içerisinde kendiliğinden tekrar sertleşir.

Bu sebeplerden dolayı dökme alaşımlarında mukavemet deneyleri ayrışma sertleşmesinin sona ermesi beklenerek 8 gün kadar sonra yapılır.(Çiğdemoğlu,1977; Iğdır,1979)

## 11. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ERİTKENLEME

Genel olarak, eritkenleme (fluxing), metal arıtma (metal refining), gaz alma (degassing), oksijen giderme (deoxidation), tane inceltme (grain refining) bütün metal dışı alaşımlara uygulanmaktadır. Bunlara ek olarak, eriyik metal pompalama (molten metal pumping) ve süzme (filtrasyon) uygulanmakta olan yeni fakat yaygın teknolojilerdir.

Eritkenleme deyimiyle, eriyik metale kimyasal bileşiklerin ve karışımların katılması muamelesi kastedilmektedir. Bu bileşikler genellikle organik değildirler. Bazı durumlarda eridiğinde sıvı hale gelen toz, tane veya tablet halindeki metal tuzları kullanılır. Bunlar elle katılabildiği gibi, otomatik olarak da enjekte edilebilirler. Tek bir amaca veya birçok amaca hizmet eden eritkenleme, demir dışı alaşımların katı veya gaz katışıkları uzaklaştırmak için yansız veya tepkin gazlarla muamelesini de kapsar.

Alüminyum alaşımlarının eritilmesinde, bilhassa dökümhane hurdalarının yeniden eritilmesinde, oksitler ve metal olmayan katışıklar yaygındır. Katı veya sıvı kalıntılar halindeki katışıklar, kirli takımlardan, kum veya benzeri kalıplama artıklarından, demir-krom-nikel metaller arası bileşiklerin oluşturduğu tortulardan (sludges), artık yağlardan alaşım elementlerinin oksitlenmesinden meydana gelir. Eritkenleme, bu istenmeyen maddelerin bir araya toplanmalarına, alaşımdan ayrılmasına yardımcı olur.

Eritkenleme sıcaklığa bağlı bir işlemdir. İstenilen fiziksel ayırımın ve kimyasal tepkimelerin olabilmesi için sıcaklığın yeteri kadar yüksek olması gerekir. Yeteri kadar yüksek sıcaklıklarda hem eritken hem de metalin akışkanlığı yüksek olacağından her ikisi arasında iyi bir temas ve tepkime ortamı doğar.

### 11.1 Eritken Bileşimi

Eritkenlerde kullanılan özel bileşikler ve kimyasal maddeler eritkenleme amacına bağlıdır. Eritkenlerin çoğu organik olmayan tuz karışımlarından ibarettir. Eritkenlerdeki bu tuzların veya diğer malzemelerin amacı:

- Sodyum klorür (NaCl) – Potasyum klorür (KCl) karışımlarında olduğu gibi, düşük erime sıcaklığı ve kullanıldığı sıcaklıkta yüksek akışkanlığa sahip bileşikler oluşturmaktır.

- Kullanılma sıcaklığında ayrılarak ergiyik metaldeki katışıqlarla tepkimeye giren anyonlar, nitratlar karbonatlar ve sülfatlar oluşturmaktır. Bu maddeler metalden yoğunluğu farklı metal oksitleri ve diğler bileşikler oluşturarak fiziksel ayrışımı kolaylaştırır.
- Birim ağırlık fiyatını düşürmek için dolgu maddesi olmak, tepkimeye giren maddeler için taşıyıcı görevi yapmak veya metali örtmek.
- Eritkenleme etkisiyle tepkime ürünlerini biraraya toplamak veya içine almak.

Herbir eritkende özelliklerin hepsi mevcut değildir. Aşağıdaki çizelge 11.1'de ticari alüminyumların eritkenlenmesinde yaygın olarak kullanılan çeşitli malzemeler görülmektedir.

Çizelge 11.1 Alüminyumların eritkenlenmesinde yaygın olarak kullanılan çeşitli malzemeler

Malzemeler	Kimyasal Formülü	Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )		Ergime Noktası		Kaynama Noktası	
		Katı	Sıvı	°C	°F	°C	°F
Alüminyum Klorür	AlCl <sub>3</sub>	2.44	1.31	190	374	182.7	360.9
Alüminyum Florür	AlF <sub>3</sub>	3.07		1040	1904		
Boraks	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	2.367		741	1366	1575	2867
Kalsiyum Klorür	CaCl <sub>2</sub>	2.512	2.06	772	1422	1600	2912
Kalsiyum Florür	CaF <sub>2</sub>	3.18		1360	2480		
Karnalit	MgCl <sub>2</sub> KCl	1.6	1.5	487	909		
Çinko Klorür	ZnCl <sub>2</sub>	2.91		262	504	732	1349.6
Çinko Florür	ZnF <sub>2</sub>	4.84		872	1602		
Krolit	NaAlF <sub>3</sub>	2.97		1000	1832		
Lityum Klorür	LiCl	2.068	1.5	613	1135	1353	2464.4
Lityum Florür	LiF	2.295	1.8	870	1598	1676	3048.8
Magnezyum Klorür	MgCl <sub>2</sub>	2.352		712	1314	1412	2573.6
Magnezyum Florür	MgF <sub>2</sub>	3		1396	2545	2239	4062.2
Potasyum Klorür	KCl	1.984	1.53	776	1711	1500	2732
Potasyum Florür	KF	2.48		880	1616	1500	2732
Potasyum Borat	K <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>4</sub>			947	1737		
Potasyum Sülfür	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.662		1076	1969		
Potasyum Karbonat	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2.29	891	1636			
Sodyum Florür	NaCl	2.165	1.55	801	1474	1413	2575.4
Sodyum Florür	NaF	2.79	1.91	980	1796	1700	3092

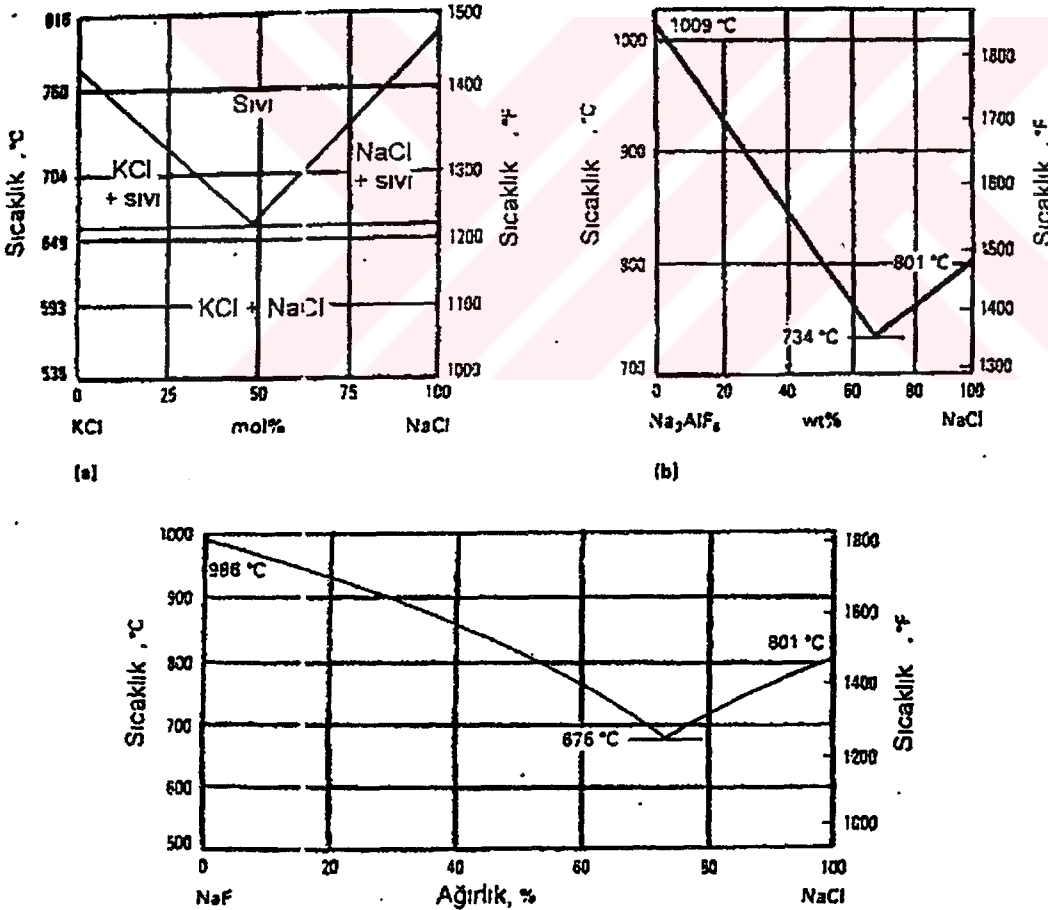
Genellikle eritkenlemede hangi malzemelerin kullanılacağı; kullanılma sıcaklığına, eritkenin eriyik veya katı bir örtü mü oluşturacağı, tepkinliği (reactivity) özel alaşım kimyasına bağlıdır. Örneğin sodyumlu eritkenler, sodyumlu eritken tuzların çözünerek eriyiğe sodyum karışmaması için alüminyum – magnezyum alaşımlarında kullanılmaz. Sodyumlu eritkenler, fosforla muamele edilmiş ötektik üstü alüminyum – silisyum alaşımlarında da kullanılmaz, çünkü kolaylıkla oluşan sodyum fosfür bileşiği fosforun etkisini yok eder.

## 11.2 Eritken Tipleri

Alüminyum alaşımlarında dört ana tip eritken kullanılır. Bunlar; örtü eritkenleri, temizleme eritkenleri, köpüklenme (drossing) eritkenleri ve arıtma eritkenleridir. Pota cidarlarını temizlemek için de eritken kullanılmakla beraber, bunlar eriyik metale katılma yerine eritme potası yüzeyine püskürtülür.

### Örtü Eritkenleri

Örtü malzemeleri olarak da adlandırılırlar. Küçük potalı fırınlarda eriyik metalin oksitlenmesine bir engel oluştururlar ve alaşımların, hurdaların veya diğer şarj malzemelerinin temizlenmesine yardımcı olurlar. Kuru haldeki bu eritkenler eriyik metal yüzeyinde eriyerek yük (charge) malzemelerini ıslatabilirler. Bu durum, serbest artıkların biraraya toplanmasına yardımcı olur ve yeni yüzeylerin oksitlenmesini en aza indirir. Sıvı hale dönen bu malzemelere yağ eritkenler de denir. Şekil 11.1'de yaygın olarak kullanılan örtü eritkenlere ait 3 adet ikili faz çizgesi verilmiştir.

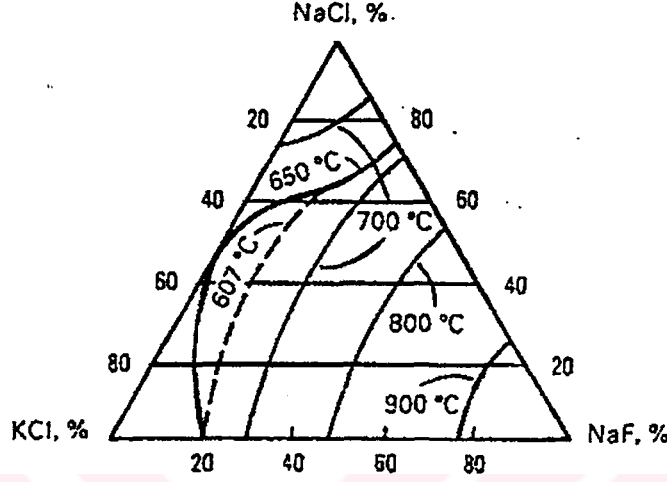


Şekil 11.1 Yaygın olarak kullanılan örtü eritkenlere ait 3 adet ikili faz çizgesi (ASM Handbook,1996)

- (a) KCl - NaCl
- (b) Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> - NaCl
- (c) NaF-NaCl

### Temizleme Eritkenleri

Genellikle klorür tuzlarıyla zengin bileşiklerdir ve oksit kalıntılarının eriyik metalden ayrılmasını kolaylaştırmak için kullanılır ve florürler içerir. Şekil 11.2'de yaygın bir temizleme eritkeninin bileşenlerine ait üçlü bir faz çizgesi gösterilmiştir.



Şekil 11.2 Yaygın bir temizleme eritkeninin bileşenlerine ait üçlü bir faz çizgesi (ASM Handbook,1996)

### Köpükleme Eritkenleri

Eriyik metalin yüzeyinde oluşan köpük tabakasının ( $Al_2O_3$ ) ayrılmasını kolaylaştırmak için kullanılır. Köpük ve katı veya sıvı metal genellikle köpük tabakasında birarada bulunur.

Köpükleme eritkenleri ile cüruf veya köpük içindeki  $Al_2O_3$  tepkimeye girerek metali ayrıştırıp yeniden kazanılmasına yardımcı olur. Bu eritkenler çoğunlukla ısı veren tepkimeye giren (ötektik bir karışım olarak) ıslatmayı kolaylaştıran çift florürlere (double fluorides) ve tuz bileşiklerine sahiptir. Isı veren tepkime sıcaklığı artarak bölgesel akışkanlığı artırır.

Florürler,  $6Na_2SiF_6 + 2Al_2O_3 \rightarrow 4Na_3AlF_6 + 3SiO_2 + 3SiO_2 + 3SiF_4$  tepkimesiyle oksit filmlerini ıslatarak çözer. Sıyırıcı ile yeteri kadar karıştırılınca, bu filmler kırılır ve aralarındaki metal serbest kalır. Florür tuzları buna rağmen iri  $Al_3O_3$  parçalarını çözemezler.

Köpükleme eritkenleri, ayrıştırılmadığı takdirde  $Al_2O_3$ 'e dönerek olduğu gibi atılacak metalce zengin (%60-85) köpüğü indirgeyerek alüminyum endüstrisinde önemli rol oynar. Şekil 11.3'te, metal miktarı fazla zengin köpük ile iyi bir eritkenleme yapıldığında elde edilen kuru ve toz halindeki köpüğü göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 11.3 (a) Metal miktarı fazla zengin köpük (b) İyi bir eritkenleme yapıldığında elde edilen kuru ve toz halindeki köpük (ASM Handbook,1996)

### Arıtma Eritkenleri

Kullanılma sıcaklığında ayrışarak, eriyik metaldeki bazı elementlerle termodinamik olarak tercihli tepkimeye giren bileşiklerdir. Örneğin bazı klor içeren bileşikler, magnezyum, kalsiyum, lityum, sodyum, potasyum ve bu metallerin çözünmeyen klorürleri ile tepkimeye girerek bunların köpük fazına alınmalarını kolaylaştırır.

### Yüzey Temizleme Eritkenleri

Fırın ve pota yüzeylerindeki oksit birikintilerini yumuşatan özel bileşimleri içerir ve çoğunlukla güç erir (refrakter) için kullanılan püskürtme tabancalarıyla uygulanır.

### 11.3 Eritkenlerin Uygun Kullanılması

Eritkenler uygun tepkimelerin oluşturulabilmesi için üretici firma tarafından önerilen sıcaklıklarda kullanılmalıdırlar. Eritkenler genellikle bir dereceye kadar nem kapar



(hygroscopic) olduklarından, kuru bir yerde muhafaza edilmelidirler. Patlayıcı bir tepkimeye neden olabileceklerinden, nemli halde kullanılmamalıdır. Ayrıca, nem içeren eritken, sıvı halde büyük miktarlarda hidrojenin çözünebileceği eriyik alüminyuma hidrojen verecektir. Eritkenle temas eden takımların eriyikle temas edince sıçramalara yol açmaması için temiz ve kuru olmasına ve kullanılmadan önce 95°C'in üzerinde ısıtılmasına dikkat edilmelidir.

Eritkenlerin uygulama yönteminde uzun deneyimlerle belirlenen üretici talimatlarına uymalıdır. Örtü eritkenleri eriyik üzerine elle veya kürekle serpilebilir. Köpük eritkenleri, bir gelberi (rake) ile köpüğe iyice karıştırılmalıdır. Karıştırma sırasında eriyiğin köpüğe karışmamasına dikkat edilmelidir. Eritkenin metale karışmaması için; eritken, döküm yapılmadan önce dikkatle eriyik üzerinden sıyırılmalıdır.

Eritkenin kullanıldığı her durumda ağır kalıntıların çökmesi, hafif eritken tuzlarının ve eritken tarafından ıslatılmış oksit kalıntıların yüzmesi için banyo bir süre hareketsiz bekletilmelidir. Küçük potada eritmelerde en uygun bekletme süresi 5-10 dakika, büyük fırınlarda (45-50 ton) 1-2 saattir. (Kınıkoğlu, 1988)



## 12. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE GAZLAR

### 12.1 Metallerde Gazlar

Döküm işlemi, eskiden olduğu gibi sadece metali ergitip belirli şekillerde dökmekten ibaret olmayıp, ergitme işlemi bir arıtma işlemi şeklinde uygulamaktır. Şöyle ki ergitmenin, sıvı banyo üzerindeki atmosferin ve inklüzyonların kontrolü ile gerek inklüzyonların, gerekse gazların metal içinde bulunup nihai ürünün mekanik özelliklerine olan olumsuz etkisini önlemek gerekir.

Metal içinde gaz varlığı, bozuk döküme yol açmakta ve bir çok döküm hatasının sebebi olmaktadır. Diğer yandan gazın kontrol edilmesi yalnız arıtmada değil katı halde bazı özelliklerinin elde edilmesinde de yararlı olmaktadır.

#### 12.1.1 Genel Gaz Kaynakları

Öncelikle gazın dökümlere hangi yollardan girdiğini incelemek gerekir. Gazlar, döküm içinde ya mekanik olarak hapsolmuş olabilir veya sıvı metalde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu sıvı metalde gazın erirililik derecesinin değişimi gaz varlığına yol açar.

Gazlar, başlıca şu iki ana bölüme ayrılabilir:

- a) Basit gazlar ( $H_2$ ,  $N_2$ )
- b) Kompleks gazlar (çelikte Co)

Ergimiş kitlede birçok eleman erimiş durumdadır. Katılaşma esnasında veya katılaşmaya yakın sıcaklıklarda bunlar kimyasal olarak reaksiyona girerek kompleks gazların kaynağı olurlar.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ergimiş haldeyken, hidrojen tarafından kolayca etkilenebilir bir yapıya sahiptirler. Alüminyumun katı haldeyken ise, hidrojenin çözünürlüğü çok daha düşüktür. Hidrojen bu özellikleri bakımından alüminyumla münasebeti kayda değer olan tek elementtir. Metallerin oksijene olan afinitesi nedeniyle, hidrojenin absorpsiyonunun temel kaynağı su buharının indirgenmesidir.



Bir grafit potayı veya kil ile astarlanmış çelik potayı tamamen kurutmak imkansızdır. Bunun için pota birkaç defa sıvı metalle doldurulup, suyun buharlaşması ve gaz neşrinin durmasına

kadar devam edilse de, pota kurutulmuş sayılmaz. Bu işlem için kullanılan metal, gaz absorbe eder ve düşük kalitededir. Havada uzun süre beklemeyle nem kapalı metalin yüzeyinde gri-beyaz renkte alüminyum oksit lekeleri görülür. Bu lekeler çinko ve bakır içeren alüminyum alaşımlarında daha barizdir. Bu oksit de bünyesinde nem taşır ve özellikle alüminyuma nüfuz ederek hidrojene ayrışır.

Bunun için metal kuru atmosferde stok edilmeli, fırın astarı, kok iyice kurutulmalıdır. Kolayca anlaşılıyor ki, hiçbir zaman ergimiş banyoya nemli metal ilavesi yapılmamalıdır. Aksi halde bu işlem patlamalara sebep olmaktadır. (Okumuş,1975)

Örneğin aşırı sıcak metal banyosunun sıcaklığını düşürmek için banyoya atılan ingotu hafifçe ısıtmak yetmez. Zira bu ingot banyoya daldırıldığında yüzeyinde bulunan az miktardaki nem dahi kaynamaya dolayısıyla banyonun gaz absorpsiyonuna sebep olmaktadır.

### 12.1.2 Hurdalardan Gelen Gazlar

Yağlı artıkları (hurdaları) ergitmeden önce 300°C'nin üzerindeki bir ön ısıtma ile hurdaların yağları yakılmak suretiyle temizlenmelidir. Ancak bu yağların yakılması işlemi de dikkatle yapılmalı ve yanma ürünlerinden metal banyosunu tam olarak korumalıdır. Bu işlem kullanılan ergitme fırınlarının tipine göre değişik şekillerde yapılmaktadır.

Potada ergitmede potanın ön ısıtılmasıyla hurdaların yağları da yakılmış olur. Yer fırınlarında yağ buharları doğrudan bacaya verilebiliyorsa hurdaların yağlarını fırının ön ısıtm bölümünde yakmak uygundur. Şayet buharlar fırını kat ettikten sonra bacaya gidiyorlarsa, banyo üzerinden geçerken banyo yüzeyini yalayarak gaz absorpsiyonuna sebep olurlar. En uygun yol, yağlı hurdaları ayrı olarak ergitip, ingot halinde dökmektir. Böylece yağların büyük bir kısmı giderilmiş olur.

### 12.1.3 Gaz Erirliği

Metal ve alaşımlarda döküm esnasında etkin rol oynayan başlıca 3 gaz vardır. Bunlar: Hidrojen, oksijen ve azottur. Hidrojen metal içinde ergir, diğer oksit ve nitrür bileşikleri yanarlar. (Erdaş,1974)

Katılaşmada döküm içinde kalan gaz miktarı, katılaşma sıcaklığında sıvı ve katı durumda erirlik farkı ile tayin olduğu gözönüne alınır, öncelikle hidrojenin metaldeki erirliği dikkate alınmalıdır.

SMITH'e göre hidrojeni eriten metaller başlıca iki gruba ayrılabilirler:

1. Demir tipi (endotermik) metaller,
2. Palladiyum (ekzotermik) metaller.

Birinci grup metaller ikinciye nazaran daha az gaz eritirler. Her iki halde erirlik, aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$S = C \cdot e^{Es/K.T} \quad (12.2)$$

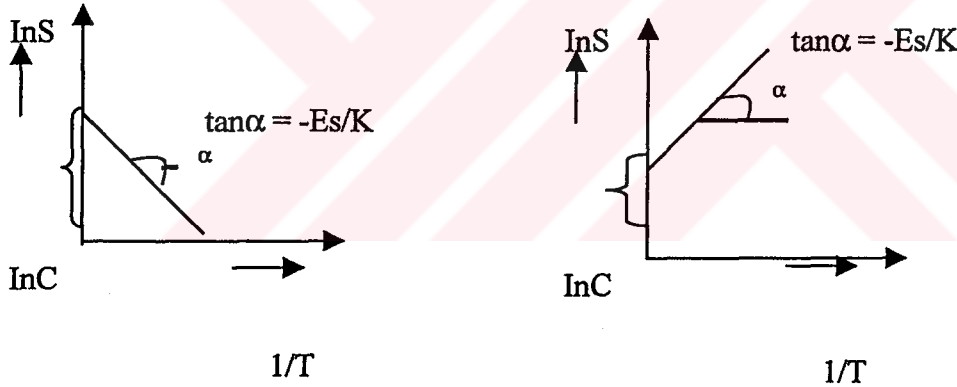
S : Erirlik

C: Sabit

K: Sabit

Es: Bir mol gazın erime ısısı

T: Mutlak sıcaklık



Şekil 12.1 Metallerde gaz erirliği

Hidrojenin eriyik kısmı ağırlıkça çok az olmasına karşı, katılaşma esnasında açığa çıkan hacim büyüktür. Hidrojenin erirliği, saf hidrojenin bir atmosfer basıncı için verilmiştir. Burada ortaya çıkan sorun, rutubetli hava veya fırın gazlarından gelen su buharının parçalanması sonucu ortaya çıkan alçak basınçlı hidrojenin etkisinin ne olacağıdır. Bu sorunun cevabı "Sievert Kanunu" ile verilmektedir.

Sievert Kanunu: Bir metal eriyiği içinde eriyen gaz miktarı, banyo üzerindeki atmosferin gaz basıncının karekökü ile orantılıdır.

$$\%(\text{H}) = K \sqrt{P_{\text{H}_2}}$$

(12.3)

K : 1 atm.için verilen datalardan elde edilir.

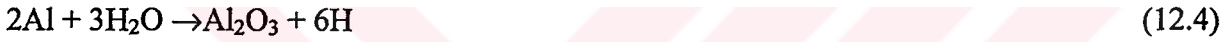
$P_{\text{H}_2}$ : Banyo üzerindeki hidrojenin basıncı

Burada not edilmesi gereken husus, banyo üzerinde cüruf varsa bunun hidrojeni geçirmeyeceği ve özel bir durum yaratacağıdır.

#### 12.1.4 Metal Gaz Reaksiyonları

Alüminyum alaşımlarında eriyen gazlar içinde erirliği ölçülebilen tek gaz hidrojendir. Hidrojen hem katı hem de sıvı metalde çözünür. Fakat sıvı da çözülme miktarı daha fazladır.

Alüminyum içindeki hidrojen erirliği, eritme şartlarında su buharı ile reaksiyon neticesinde meydana gelir.



Hidrojenden sonra sıvı metal bünyesine oksit ve nitrür halinde oksijen ve azot da geçer. Sabit basınç altında gazların eriyebilme kabiliyeti çok zayıftır, fakat sıvı halde ve sıcaklık arttıkça bu miktar artar. Zira alüminyum alaşımlarının gazlarla olan reaksiyonları ısı alan (endotermik) şeklindedir.

Alüminyum döküm alaşımlarının içerisindeki alaşım maddelerinin cinsine göre hidrojen çözünürlüğü de değişmektedir. Bakır ve silisyum çözünebilirliği düşürür, titanyum, demir, magnezyum ise çözünebilirliği arttırabilir. Metalik sodyum veya reaktif sodyum tuzları ergitme kabına ilave edildiği zaman sodyumun, hidrojen çözünebilirliğini arttırdığı zannedilebilir. Fakat uygulamadaki hidrojen porozitesindeki yükselmenin hidrokarbon veya su buharından meydana geldiği kolayca anlaşılmıştır.(Crepau, Fenyes, Jeanneret,1992)

#### 12.2 Alüminyum ve Alaşımlarında Gazlar

İlk defa gaz giderme tekniği alüminyum bazlı alaşımlara uygulanmıştır ve bunlar üzerinde çok miktarda deneyler yapılmıştır. Kesin olarak anlaşılmıştır ki, gaz boşluklarının esas sebebi hidrojendir. Hidrojenin erimiş alüminyumdaki çözünürlüğü yüksektir. Fakat katı metalde çözünürlük çok azdır. Bundan dolayı erimiş metalde çözünmüş gazın tamamı katılaşıma sonunda açığa çıkar ve eriyikten kaçamazsa gaz boşlukları yaratır. Azot, oksijen, karbonmonoksit ve sülfürdioksidin geniş bir sıcaklık aralığında alüminyumdaki çözünürlükleri hemen hemen sıfırdır

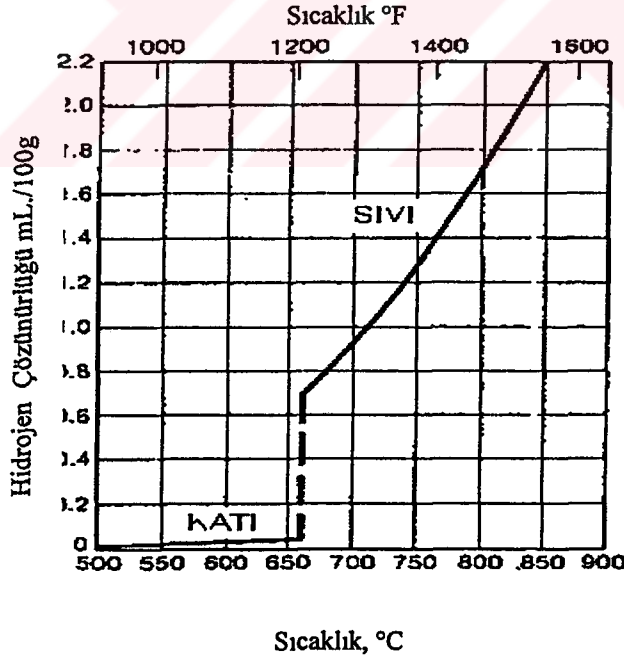
Tecrübeler göstermiştir ki, metal içine yayılan oksit hatalı döküme yol açan belli başlı sebeplerden biridir. Burada bahsedilen oksit çok ince bir film halindedir. Erimiş metal içinde yayılmış halde bulunur. Bu oksit filmi herhangi bir etki olmadan yüzeye çıkamaz ve eriyik içinde asılmış olarak kalır.

Şimdi gaz gidermeyi iyi inceleyebilmek için alüminyum içinde eriyen gazları ve özelliklerini görelim.

### 12.2.1 Alüminyumda Eriyen Gazlar

Alüminyum alaşımlarında eriyen gazlar içinde erirliği ölçülebilen tek gaz hidrojenidir. Hidrojen, hem katı hem de sıvı metalde çözünür. Fakat, sıvı çözülme miktarı daha fazladır. Yapılan çeşitli deneylere göre; 100 gramlık alüminyum yaklaşık olarak 15-20 cm<sup>3</sup>'den az olmamak üzere hidrojen çözer. Burada gazdan arınma oksidasyon yoluyla olur. Fakat oksitlenme yapılmayıp klor, kloritler şeklinde kullanılır. Alüminyum eriyiği ne kadar oksit ihtiva ediyorsa, gazdan arınma da o kadar zor olur. Banyo yüzeyinde bulunan doğal oksit düzeyi yırtılıp, banyoya karışacağından ergime esnasında metal karıştırılmamalıdır.

Hidrojenin çözünürlüğü, sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak artmaktadır(Şekil 12.2). Bu yüzden, gaz absorpsiyonunu azaltmak maksatlı olarak ergitme esnasında aşırı sıcaklıklardan kaçınmak gerekir.



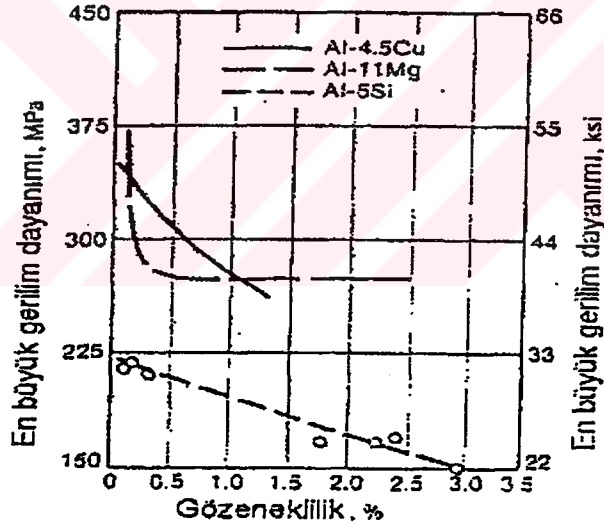
Şekil 12.2 1 atm.hidrojen basıncındaki alüminyumun hidrojen çözünürlüğü (ASM Handbook,1996)



### 12.2.2 Gözeneklilik

Gaz gözenekliliği, alüminyum ve alaşımlarında, mekanik özellikler, yüzey düzgünlüğü ve işlenebilirlik özellikleri üzerine negatif etkiye sahiptir. Bu istenmeyen etki, eriyik metalin içerdiği hidrojen kaynaklanmaktadır. Şekil 12.3'de, hidrojen gözenekliliğinin alüminyum alaşımlarındaki mekanik özellikleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

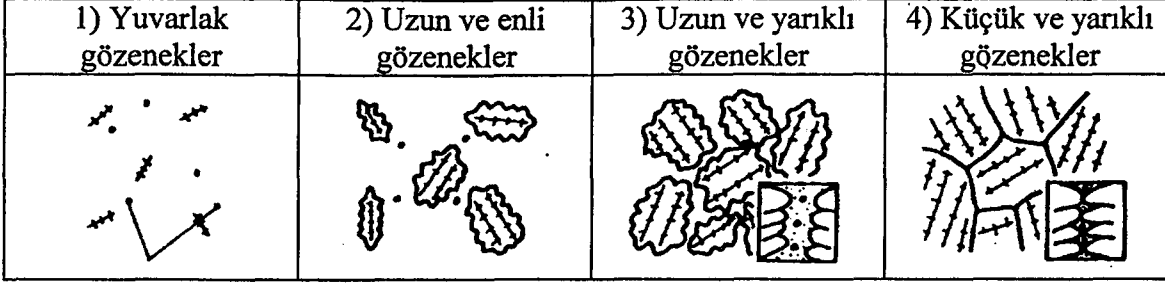
Son yıllarda yapılan araştırmalarda ve yayınlarda alüminyumdaki bu gözeneklilik, sıkça konu edilmiş olup, katılma ortamları ve eriyik üzerinde yapılan işlemler hakkında raporlar yazılmıştır. Bu raporlara göre, yapısında hidrojen bulunmayan bir alaşımda gözeneklilik olmayacağını garanti verilememektedir. Diğer çalışmalara göre de, gözeneklilik oluşumunun mekanizmaları sayıca fazladır. Fakat ne var ki, gözeneklilik oluşumunun ve bu gözenekliliğin nüfuziyeti hakkında halen kesin bir tanım yapılabilmemiş değildir. Alüminyum içerisindeki farklı gözenek oluşumlarının nasıl meydana geldiği konusunun anlaşılmasında zorluklar çekilmelidir.



Şekil 12.3 Üç farklı alüminyum alaşımındaki gözenekliliğin artmasıyla en büyük gerilim dayanımının değişimi (ASM Handbook, 1996)

#### 12.2.2.1 Gözenek Tipleri

Yapılan metalurjik çalışmalar sonucunda dört farklı gözenek tipinin eriyik içerisindeki farklı zaman dilimlerinde oluştuğu saptanmıştır. Şekil 12.4'de gözenek tipleri görülmektedir. (Chen, 1995b)



Şekil 12.4 Dört farklı gözenek tipleri (Chen,1995b)

### **Yuvarlak Gözenekler**

Hidrojen kabarcıklarının eriyiğin ilk katılaşması safhalarında veya sıvı fazda iken meydana gelmesi ile oluşan gözenek tipidir. Bu zaman süresinde, numunenin yapısında eriyik vaziyette metal bulunuyorsa eğer, hidrojen gözenekliliği meydana gelecektir. Bu tip gözenekler kalın ve yuvarlaktır. Numune bünyesinde katılaşma esnasında oluşacak olan dendritler ve kristaller bu şekli bozmamaktadır.

### **Uzun ve Enli Gözenekler**

Bir sonraki zaman aşamasında oluşan gözenek tipidir. Bu aşama esnasında artık dendritler ve kristaller oluşmaya başlamaktadır. Bu tip gözeneklerin bu zaman safhasında oluşmaları nedeniyle herbir gözenek arasında epey boşluklar bulunmaktadır. Gözeneklerin büyümesi, daha uzun şekil almalarına, katılaşma esnasındaki dendrit oluşumları ise, enli olmalarına neden olmaktadır.

### **Uzun ve Yarıklı Gözenekler**

Bu tip gözenekler ise, dendrit ağı oluşmaya başladıktan sonra oluşan kabarcıklardan meydana gelirler. Oluşmaya başladıkları sırada herbir gözeneğin arası açıklıktır, eriyik içerisinde genişlerler. Oluşumları dendritler arasında veya bir dendritin içerisinde olabilmektedir. Bu tip gözenekler genellikle uzun ve incedir. Şekillerinin belirleyicisi ise dendritlerdir.

### **Küçük ve Yarıklı Gözenekler**

Katılaşma sürecinin son safhalarında ortaya çıkan kabarcıklardan oluşan gözenek tipidir. Artık bu safhada döküm parçası içerisinde çok az miktarda sıvı fazda metal bulunmaktadır. Dendritler arasındaki boşluklarda oluşurlar ve bu nedenle şekilleri ufak ve yarıklıdır.



### 12.2.3 Alüminyum ve Alaşımlarında Hidrojen

Hidrojen sıvı alüminyumda tek çözünebilir gaz olduğundan yalnızca hidrojen miktarının ölçümü ile sıvı alüminyumun gaz açısından temiz olup olmadığı kolaylıkla söylenebilir. Hidrojen sıvı alüminyum içerisinde homojen bir dağılım gösterir. Dolayısıyla yapılacak ölçümler tüm metalin hidrojen durumunu rahatlıkla yansıtır.

Hidrojenin çözünlülüğü sıcaklık ve basıncın karekökü ile doğru orantılıdır. Denge şartları için tanımlanmış hidrojen ve sıcaklık arasındaki ilişkiye göre herhangi bir sıcaklıkta sıvı alüminyum içerisindeki dengedeki hidrojen miktarından daha fazlası çözünemez.

Sıvı metal içerisinde çözülmüş olan hidrojen soğuma ve katılaşma devam ederken düşen sıcaklıkla birlikte çözünlülüğü azalacağından gaz formuna geçer ve iç boşluklara neden olur. Aşırı gaz formuna geçer ve iç boşluklara neden olur. Aşırı gaz döküm hatalarına sebep olur, dolayısıyla dökümden önce ve/veya sürekli olarak sıvı metalin gaz durumunu kontrol etmek gereklidir.

Hidrojenin kabarcıklanması sıvı metalin yüzey gerilimi tarafından engellenmeye çalışılır. Kabarcıklaşma bir difüzyon hareketi ile ortaya çıktığından katılaşma ve soğuma hızından etkilenir. Çeşitli döküm uygulamalarında hidrojenin alüminyumun içindeki davranışı değişiktir. Tane rafinasyonu yapılan bir sıvı metalde hidrojen nedeniyle oluşan gözenek sayısı az olur. Artırılmış soğutma aynı şekilde gözenek sayısını azaltır.

#### 12.2.3.1 Hidrojenin Sıvı Metale Giriş Yolları

Hidrojen sıvı metale öncelikle fırın atmosferinde bulunan su buharı ve fırın etrafındaki atmosferde bulunan nemden gelir. Refrakterlerin içerisinde mevcut bulunan nem yine aynı şekilde hidrojen girişine sebep olabilir. Birçok refrakter hidroskopik olup kendi ağırlığının %5 ile %10'u arasında su absorblayabilmektedirler.

Tüm alüminyum üreticilerinin yaptıkları gaz giderme çalışmalarına rağmen, hidrojen genellikle alaşım elementinde ya da ingotta belirli bir miktar mevcuttur. Ergiyikteki hidrojen atmosferdeki nemin ayrışmasıyla ortaya çıkan atomik hidrojenin ergiyiğe difüzyon sonucu oluşabilir. Havadaki nemin yüksek olduğu dönemler dökümcülerin hidrojen problemi ile yüz yüze geldiği dönemlerdir. Bu yolla geçen hidrojen ergiyikte oluşan hidrojenin en önemli kısmıdır. Ergiyik işlemleri sırasında kullanılan aletlerde mevcut bulunan herhangi bir



formdaki nem, flaks tüplerindeki ya da şarj malzemesindeki nem de yine aynı şekilde hidrojen kaynağı olabilmektedir. Tane incelticiler ve alaşımlama malzemeleri yine aynı şekilde hidrojen giriş kaynağı olabilmektedir. Bu yolla giren hidrojen sıvı metaldeki hidrojen miktarını çözünürlük düzeyinin üzerine çıkartır.

Sıvı metal işlemleri sırasındaki karıştırma yada döküm işlemi sırasında olan karışma aynı şekilde atmosferden hidrojen alım hızını dikkate değer ölçüde artırır. Müteakip olarak hidrojen giderme için yapılan sıvı metal işlemlerinin etkinliği düşeceğinden dolayı, nihai olarak üretilen sıvı metal kalitesinin düşük olması beklenmelidir. Sıvı metal yüzeyindeki oksit tabakasının her karıştırılmasında hidrojen içeriğinin artması beklenmelidir.

Sıvı metallerin reaksiyona girme istekleri çok yüksek olup rahatlıkla çevrelerinde bulunan gazlar ve diğer elementlerle reaksiyon verebilmektedirler. Refrakterlerden hidrojen toplama en iyi bilinen hidrojen giriş yoludur. Hidrojen girişi yine hidrokarbon içeren bileşiklerin yakılmasıyla ortaya çıkar. Özellikle yağlı hurdalar, boyalı hurdalar en önemli hidrojen giriş yollarıdır. Günümüzde kullanılan fırınlarda elektrik enerjisi yerine fosil yakıtlarının kullanımından dolayı yine sıvı metale hidrojen girişi olmaktadır. Ergitmede kullanılan yardımcı teçhizat üzerinde bulunan nemde yine aynı şekilde hidrojen girişine sebep olmaktadır.

Yakıttan hidrojen girişi, yanma reaksiyonu sonucu ortaya karbondioksit ve su açığa çıkarır. Yanma fırında olduğundan sonuçta çıkan yanma gazları ıslaktır. Fırın gazında bulunan su kolaylıkla parçalanıp, rahatlıkla sıvı metale geçebilir. Hidrokarbonların genel formülünün  $C_xH_y$  şeklinde olduğunu düşündüğümüzde aşağıda gösterilen reaksiyona göre yanma işlemi gerçekleşir.



Bu reaksiyonlardan görüldüğü üzere esasında iki şekilde kayıp mevcuttur. Öncelikli olarak sıvı metale hidrojen girişi olmuştur. Bu reaksiyona göre hidrojen girişi sırasında metalin bir kısmında oksitlenmiştir. Bu metal ya cürufa (dross) gidecek ya da sıvı metal içinde kalıp, döküm sonrasında inklüzyon sebepli hasarlanmalara ve diğer inklüzyon problemlerine sebep olacaktır. Ancak reaksiyon sırasında ortaya çıkan hidrojenin akibeti Sievert kanununa göre ortaya çıkar. Yani gaz ve metal fazında ayrı ayrı mevcut olan hidrojenin kısmi basıncına göre reaksiyondan ortaya çıkan hidrojen, gaza ya da metale geçer. Eğer sıvı metaldeki denge gaz

basıncı düşük ise hidrojen sıvıya, fırının denge gaz basıncı düşük ise hidrojen fırın atmosferine geçer.

Hidrojen gaz halinde iken molekül olarak  $H_2$  formunda bulunur. Çözündüğünde ise  $H$  formunda tek atomlu olarak bulunur. Çözünme reaksiyonuna göre denge ifadesi yazıldığında



Bu reaksiyon için Sievert Kanunu'nu yazarsak

$$[H]^2 = kPH_2 \quad (12.7)$$

bu eşitlikte  $k$  denge sabitidir. Eşitliğe göre sabit sıcaklıkta sıvı metalde çözünen hidrojenin miktarı hidrojenin karekökü ile orantılıdır. Daha öncede bahsettiğimiz gibi sıvı metalde çözünen tüm iki atomlu gazlar için Sievert Kanunu olarak bilinir.

Sıvı alüminyum için yapılan bir hesaplama ve ölçümlere göre şu sonuçlar elde edilmiştir. İzafi olarak %30 rutubetli bir günde ve  $750^\circ C$  sıcaklıkta sıvı metalde 1ml/kg çözünmüş hidrojen içermektedir. Bu değer çoğu ticari kalite dökümler için düşüktür ancak daha fazla hassasiyet ve özen gerektiren alanlar için hayli yüksektir. Rutubetin çok yüksek olduğu uygulamalarda bile sıvı metaldeki hidrojen seviyesi kabul edilebilir. (Sigworth, 1988)

### 12.2.3.2 Hidrojenin Alüminyumda Olan Davranışı

Alüminyum dökümünde poroziteye sebep olan gaz hidrojendir. Sıvı alüminyumda dikkate değer şekilde çözünen tek gaz hidrojendir. Hidrojen tüm döküm işlemleri boyunca (ergitme, tutma, taşıma, döküm) sıvı alüminyumun fırın çevresindeki atmosferden gaz absorbe etme eğilimi sonucu metal bünyesine girer. Hidrojen sıvı alüminyuma su ile verdiği reaksiyon sonucu girer. Bu reaksiyon;



Alüminyumdaki hidrojen miktarı 1000 gr.daki  $cm^3$  hidrojen olarak ölçülmektedir.

Hidrojenin alüminyum alaşımlarındaki çözünürlüğü farklılık gösterir. Çizelge 12.1de  $750^\circ C$  de bazı alaşımlar için hidrojen çözünürlük değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 12.1 Alüminyum ve alaşımlarında hidrojen çözünürlüğü

Alaşım	Hidrojen çözünürlüğü (ppm)
Saf Alüminyum	1,20
Al-7Si-0,3 Mn	0,81
Al-4,5 Cu	0,88
Al-6Si- 3,5 Cu	0,67
Al-4Mg-2Si	1,15

Katıdaki hidrojenin çözünürlüğünün az olması sebebiyle katılaşıma boyunca sıvıda hidrojen zenginleşmesi olur. Hiçbir katı ve sıvı difüzyonu olmadığı varsayılır ise, katılaşıma sonunda hidrojen konsantrasyonunda çok büyük artış gözlenir. Örneğin; 0.4 ppm hidrojen içeren 750° saf alüminyumun %90'ı katılaştığında kalan sıvıdaki hidrojenin konsantrasyonu 3.6 ppm seviyesine ulaşır. Bu bir atmosfer basınçtaki hidrojen çözünürlüğünün üzerinde olan bir değerdir. Katılaşıma bittiğinde döküm yapısında kabarcık oluşumu ile sonuçlanır.

### 12.2.3.3 Katılaşıma Boyunca Hidrojenin Davranışı

Sıvı alüminyum hidrojeni çevresinden kolaylıkla almakta ve sıvı olarak kaldığı müddetçe tutabilmektedir. Ancak katılaşıma ve soğumanın başlaması ile birlikte çözünürlüğü düştüğünden kendisini yapı içerisinde tutmak istemeyecek ve yapının gözenekli olmasına sebep olacaktır.

Sıvı alüminyumdaki kritik hidrojen miktarı aynı zamanda basınca bağlı olarak değişir. Yüksek katılaştırma basınçları kritik değeri artırır. Bu işlemin vakum altında yapılması ise, bu değeri azaltır.

Gözeneklilik için D'Archy Kanunlarından (alüminyum dökümü için geliştirilmiş dendritik ağ arasındaki sıvı yollarının sayısı) türetilmiş olan matematiksel sonuçlara göre;

- Kalıcı kalıp parçaları daha yüksek kritik limite sahiptir. Normal kum döküm parçalarda ve hassas döküm parçalarda ise bu değer daha düşüktür.
- Geniş katılaşıma aralığına sahip alaşımlar ise daha düşük kritik değerlere sahiptirler. Hidrojen gözenekliliği oluşturma eğilimleri hayli yüksektir.
- Tane rafinasyonu yapılmış parçalarda gözenek boyutu daha küçüktür. Tane rafinasyonu yapılmamış parçalara oranla daha az gözenek hacim oranına sahiptirler.
- Modifiye edilmiş olan alüminyum silisyum döküm alaşımları modifiye edilmemiş eş miktarda hidrojen içeren döküm alaşımlarında modifiye edilmiş olanlara nazaran hidrojen gözenek seviyesi daha azdır.

- Artırılmış katılaştırma hızı boşluk boyutunu azaltır. Çok düşük basınçlarda yapılan dökümlerde hidrojen gözeneği oluşumu eğiliminde hayli artış görülür.

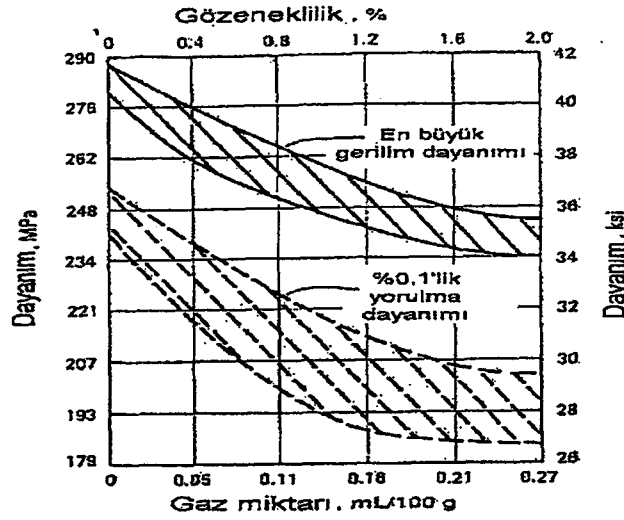
Matematik sonuçlardan çıkartılan bu kısmi liste ile genellikle tüm dökümcüler hem fikirdirler ancak ilave edilen modifiye elemanları (stronsiyum ve sodyum gibi) belirli bir miktar çözünmüş oksijen taşıyabilmektedirler. Bu elementler hidrojen çözünürlüğünü arttırabilir ve yüzey gerilimi gibi gözenek oluşumuna etki eden fiziksel karakteristikleri değiştirebilirler.(Chen, 1995a)

#### 12.2.3.4 Hidrojenin Yanetkileri

Dökümü yapılmış olan alüminyumda, döküm esnasında yapıya girebilecek hidrojen için önlem alınıp uzaklaştırma yapılmadıysa, yapıda gözeneklilik oluşumu gözlenir. Gözeneklilik, oldukça küçük ve yapı içerisinde dağılmış olabileceği gibi, döküm yapısı içerisindeki diğer gaz konsantrasyonlarının düşük olduğu son katılma bölgelerinde de segregasyona neden olabilir. Hidrojenden kaynaklanan böylesi mikro gözenekler, yüksek gerilimlerin gerektirdiği durumlar hariç, yapıya mukavemet dayanımı olarak fazla zarar vermemektedirler. Fakat makro gözeneklerde ise, durum farklıdır; bu tip gözeneklilik oluşumlarında, yapıda kırıklar ve çatlamlar görmek olasıdır.

Gerçek gaz gözenekliliği ile çekme gözenekliliğinin birbirinden ayrı tutulması gerekmektedir. Gaz gözenekliliği; yapı içerisine girmiş olan gazlardan dolayı oluşmaktadır ve yapı içerisindeki şekilleri küreseldir. Oysaki, çekme gözenekliliği ise, ergiyik metalin yeterince kalıp içerisine beslenememesinden kaynaklanmaktadır ve bu gözenek tiplerinin yapı içerisindeki şekli biçimsizdir.

Gözeneklilik, alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinde azalmaya sebebiyet vermektedir. Şekil 12.5'de, hidrojen gözenekliliğinin alüminyum alaşımlarındaki mekanik özellikleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 12.5 Hidrojen gözenekliliğinin alüminyum alaşımlarındaki mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (ASM Handbook, 1996)

Belli başlı miktarlardaki gazların katılaşma esnasında bulunması yararlı olabilmektedir. Kalıcı kalıba dökümde bazen uzaklaştırılmamış hidrojenin ortamda kaldığı görülür hatta bazen bilinçli olarak eklendiği görülür. Bunun nedeni; büyük katılaşmaların dengelenmesi, kalıbın tamamen doldurulmasını sağlamak ve yüzey karakteristiğini korumak veya ticari anlamda gerekli olan minimum mekanik dayanımı sağlamak içindir. Gözeneklilik oluşumuna izin veren kum kalıba döküme nazaran, kalıcı kalıba dökümdeki soğum ahızı ne kadar yüksek olursa, döküm ertesinde yapı içerisinde oluşan gözenekler daha küçük ve ortaya çıkan yapının mekanik özellikleri daha iyi olmaktadır. Basınç altında döküm için de aynı şeyler geçerlidir. Basıncılı dökümde, katılaşma hızı arttıkça, gözeneklilik eğilimi de diğer yöntemlere göre daha az olmaktadır. (Kanicki,1990)

### 12.3. Gazların Belirlenmesi ve Ölçümü

#### 12.3.1. Gaz Tenörünün Kontrolü

Birçok metalurjist tarafından son yıllarda yapılan çalışmalarda pratik olarak yalnızca hidrojenin önemli oranlarda metal içerisinde eridiği ve çeşitli hatalara sebep olduğu görülmüştür.

Hidrojenin metale sızması iki kademede olur:

- 1) Metal yüzeyinden absorpsiyon
- 2) Absorbe olmuş hidrojenin atomik halde, sıvı alüminyum içerisinde erirliği

Hidrojenin, belirli bir sıcaklıkta, sıvı alüminyum içerisinde erirliği daha önceden bahsedilmiş olan Sievert bağıntısıyla bellidir:

$$V = K\sqrt{P_{H_2}} \quad (12.9)$$

Bu erirlik Richardson kanununa da uyar:

$$V = Kpe - \frac{B}{T} \quad (12.10)$$

B: Metalin bir karakteristiği

T: Mutlak sıcaklık (°K)

Bu bağıntıdan görüldüğü gibi hidrojen erirliği sıcaklığın bir üstel fonksiyonudur. Tabii bu erirlik kanunları metal içerisindeki diğer elementlerin etkisiyle (Na,Zr, Ti vs.) değişebilir, çünkü bu elementler belirli şartlarda kararlı hidrürler yaparlar.

Basınç azaldığı zaman, hidrojen kabarcıklar halinde uçmaya başlar. O halde sıvı metal içinde bir iç basınç vardır:

$$P_{iç} = V^2/K \quad (12.11)$$

Bu basınç sıcaklık azaldığı zaman artar ve hidrojeni çözültiden almaya başlar. r yarıçaplı bir hidrojen kabarcığının oluşabilmesi için bu iç basınç en az dış basınca eşit olmalıdır.

$$P_{iç} \geq P + 2t + r \quad (12.12)$$

P: Hidrostatik ve atmosferik basınçların toplamı

P: sıvı metalin yüzey gerilimi

Bu bağıntı r küçük olduğu zaman  $P_{iç}$ 'in çok büyük olması gerektiğini göstermektedir. Bu da yeterli boyutlarda kabarcık oluşumu için çekirdek olmadığı zaman önemli miktarda bir aşırı doymuşluk derecesinin gerekliliğini göstermektedir.

Katılma sırasında söz konusu çekirdekler oluştuğu zaman aşırı doymuşluk hemen durur. Bu durum, içi gaz ile dolu metalle dökülen bir külçenin yüzeyindeki daha katılma başlar başlamaz aniden oluşan çatlakları açıklamaktadır.

Hidrojenin bir kısmı katılmanın hızı ve yönü etkisi ile metal içinde kalır. Kütük ve plakalarda bu durum türlü sakıncalar yaratır:



- Gözeneklilik
- Dökümün çatlama eğiliminin artması
- Haddelenmiş ve tavlanmış metalde kabarcıklar
- Kaynak yapma zorluğu

O halde, dökümcü için dökümden önce metalin hidrojen tenörünü kontrol edecek tertibat kurması önemlidir.

### **12.3.1.1 Tenör Tayini İçin Kullanılan Başlıca Yöntemler**

#### **12.3.1.1.1. Açıkta Döküm Deneyi**

Bu deney için, potadan 100 gr kadar ergimiş metal alınır ve elektrod kömürü veya grafitten yapılmış 100-200°C'ye ısıtılmış küçük kalıplara dökülür.

Tabandan yukarıya doğru, katılma esnasında banyodaki erimiş gaz sıcaklığının düşmesi ile, küçük kabarcıklar halinde bünyeden ayrılır. Gaz kabarcıkları açığa çıkarken sıvı yüzeyindeki oksit tabakasını yırtarak, kraterlere benzer, toplu iğne başı büyüklüğünde kabarcıklar meydana getirir. Bu küçük kabarcıkların miktarına göre banyodaki gaz miktarına dair kuvvetli bir tahmin yapılır.

Bu deney ile bir barem tespit edilir. Örneğin (0) rakamı gözeneksiz katılma bir numuneye karşılık gelsin, (5) rakamı ise yüzeyi tamamen kabarcıklarla kaplı olan numuneye karşılık gelsin. Bu iki sınır arasında birden dörde kadar değerler yerleştirilir, çeşitli miktar ve büyüklükteki yüzey kabarcıklarına karşılık getirilir.

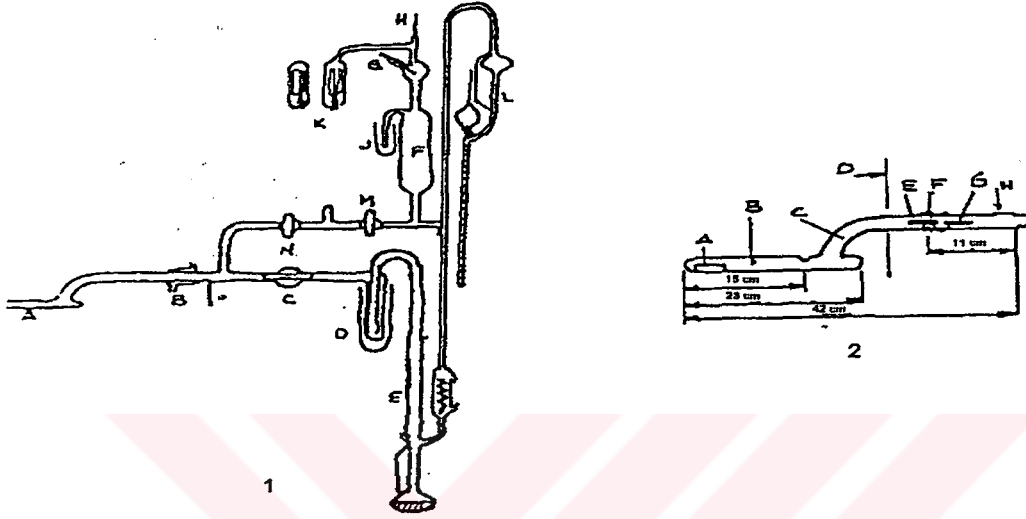
Bunların içinde, yalnızca vakum altında veya bir gaz yardımıyla çıkarma işlemleri bugüne kadar tatminkar sonuçlar vermiştir.

Ransley iki yöntem teklif etmektedir:

- 1) Numunedeki hidrojenin, vakum altında, ısıtıldıktan sonra hidrojenin havaya çıkmasını sağlayan bir paladium filtresi ile kaplanmış cam aygıtla uçurulması. Bu aygıtta basınç paladium filtresinin ısıtılmasından önce ve sonra Mc.Leon ölçeği yardımı ile ölçülmektedir. (Uçan hidrojen miktarını saptamak için)
- 2) Analiz edilecek sıvı metal içine gönderilen taşıyıcı bir gaz yardımıyla (Azot veya argon) hidrojenin uçurulması hidrojen zenginleşmiş taşıyıcı gaz, bir wheatstone köprüsüne

bağlanmış ve diferansiyel bir yöntemle gaz karışımını havaya göre ısı iletkenliği değişimini ölçen bir katarometreye gönderilir. Hidrojen tenörü ne kadar yüksekse karışımın ısı iletkenliği de o kadar yüksek olur.

Aşağıdaki Şekil 12.6'de Pr. Ransley tarafından kullanılmış paladium filtreli hidrojen çıkarma aygıtı görülmektedir.



### 1. Genel Görünüm

- A-Emme Tüpü
- B-Konik Birleştirici
- C-Vana
- D-Sıvı Hava
- E-Hidrojen Pompası
- F-Ölü Bölge
- G-Platin Tel
- H-Paladium Tüp
- J-Sıvı Hava ile Soğutulmuş Tüp
- K-Pirani Ölçeği
- L-Mc Leon Ölçeği
- M,N-Hidrojen Pompası
- O-Atmosfere Açılan Tüp

### 2. Hidrojen Çekme Tüpünün Detayı

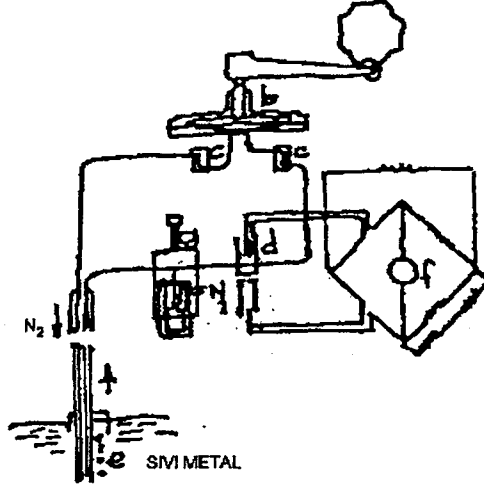
- A-Hidrojeni Alınan Numune
- B-Saydam Silis Tüp
- C-Kondansasyonun Sonu
- D-Isıtmanın Sonu
- E-Vida Dişli Özel Cam
- G-Bağlantı Mekanizasyonu
- H-Standart Pyrex Koni

Şekil 12.6 Pr. Ransley tarafından kullanılmış paladium filtreli hidrojen çıkarma aygıtı (Erdaş, 1974)



### 12.3.1.1.2 Tele Gaz Yöntemi

Diğer bir analiz aygıtı da tele gazdır. Bu aygıtın avantajı bir alüminyum banyosundaki hidrojen tenörünün sürekli ölçü olanağını vermesidir.



- a-Gaz Giriş Valfi
- b-Pompa
- c-Bilyalı Subaplar
- d-Ratarometre
- e-Analiz Edilecek Sıvı Numune
- f-Wheat Stone Köprüsü

Şekil 12.7 Telegaz aygıtı (Erdaş, 1974)

Bu usullerle endüstriyel çalışma koşullarında ölçülen hidrojen tenörleri  $0,1-0,5\text{cm}^3/100\text{ gr}$  arasında değişmektedir. İmalat güçlerini önlemek için  $0,1\text{ cm}^3 / 100\text{ gr}$ 'ın altında bir hidrojen tenörünün uygun olduğu sanılmaktadır.

Fakat bu avantajlarına rağmen gerek paladium filtreli aygıt, gerekse telegaz, dökümlerin sistematik kontrollerinde ancak sınırlı uygulama alanları bulmuşlardır. Bunun nedenleri de fiyatlarının yüksek oluşu, çabuk kırılmaları ve hassas bir çalışma gerektirmeleridir.

### 12.3.1.1.3 Vakumda Katılma

Endüstride uygulanan diğer bir yöntem 1928'de İngiliz Budgen'in geliştirdiği ancak yaklaşık bir değer verebilen vakum'da katılma deneyidir.

Vakum altında 200-350 gr'lık sıvı metal numunesi katılaşmaya bırakılır, gazın buharlaşması incelenir.

Bu yöntemde iki değişken vardır:

1. Boşluk kademeli olarak gerçekleştirilir (1 mmHg'ya kadar) Katılaşma başlar başlamaz çıkan kabarcıklar sayılır.

0 kabarcık : Gazsız metali

5'den küçük kabarcık : Hafif gazlı metali

5-15 kabarcık : Orta gazlı metali

15-30 kabarcık : Gazlı metali

30'dan büyük kabarcık : Çok gazlı metali göstermektedir.

2. Numune katılaşmanın başlamasına kadar soğutulduktan sonra aniden boşluk yapılır. O zaman hamur halindeki metal yüzeyi gaz tenörünün az veya çok oluşuna göre az veya çok kabarmaktadır. Daha sonra katılaşmanın tamamlanmasına kadar beklenir ve numune dik eksen boyunca ikiye ayrılır. Böylece iç gözenekler incelenir ve bunların miktar ve şekillerinden gaz tenörü tayin edilir.

Tahmin edileceği gibi bu ikinci usul daha hatalıdır. Başlıca güçlük, katılaşmanın tam olarak ne zaman başladığının kestirilemeyeceğidir.

Bilhassa kabarcık sayımı usulünde bu ölçüm yöntemi basitliği dolayısıyla faydalıdır. Yalnız numunenin alınışı sırasında dikkatli olmak ve sonuçların irdelenmesinde bütün üretim parametrelerinin değerlendirilmesi gerekir. Örneğin, boşlukta katılaşma deneyinde hiç gaz çıkmaması metalin, katılaşmanın sonunda da iyi bir döküm parçası olacağını göstermez. Nitekim döküm işlemleri sırasında metal akışı türbülanslı veya ortam nemli ise, yeniden gaz absorpsiyonu görülebilir. Bu olayın terside mümkündür.

## 12.3.2 Hidrojen Gazı Ölçüm Yöntemleri

### 12.3.2.1 Straube – Prefiffer Testi

Dökümcüler ergiyiğin döküme uygunluğunu belirlemek için çeşitli testler kullanırlar. Gaz miktarının doğru olarak ölçülmesi ile doğru gaz giderme yöntemi tespit edilebilir. Bu testlerden birisi de vakum altında yapılan katılaştırma testidir. Bu test ile ergiyikteki gazın durumu, miktarı ve nasıl çekirdeklenme gösterdiği ortaya konulabilir. Bu testin bir diğer adı

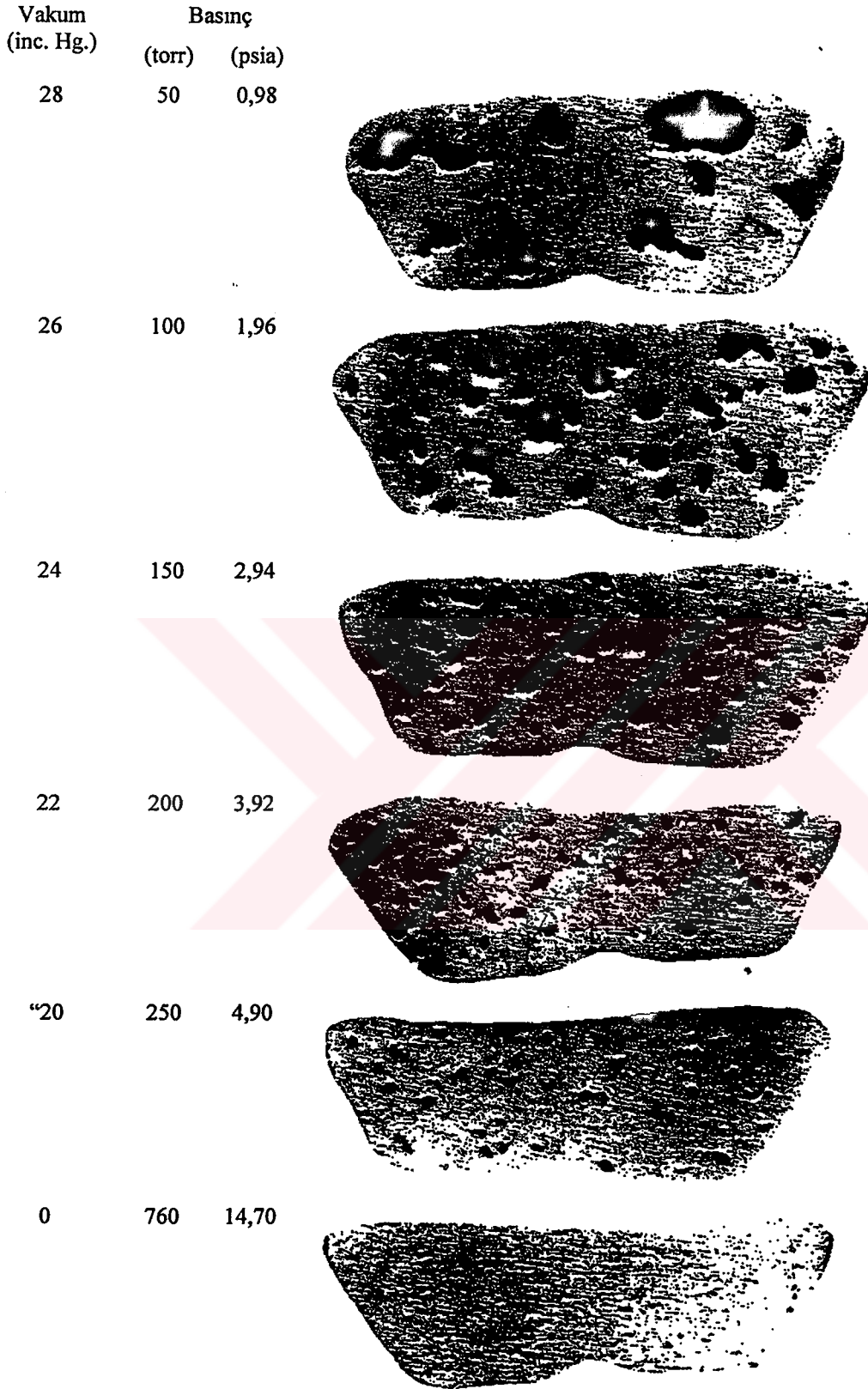
Straube – Preiffer (S-P) testidir. Yapılan test sonuçları hidrojen içeriği ve inklüzyonların varlığından etkilenir.

Bu testin ilkesi; ergiyik metalden alınan ufak miktardaki numunenin belirli basınç değerleri altında katılma tamamlanıncaya kadar tutulmasına dayanmaktadır. Yapı içerisindeki hidrojenden dolayı oluşmuş olan kabarcıkların boyutları gözle görülür şekilde değişim göstermektedir. Katılma ertesinde gözenegin yapısındaki büyüme miktarı, yapı içerisindeki hidrojen miktarını göstermektedir. Mantar kafası şeklinde şişerek katılmış olan numune, içerisinde göreceli olarak daha fazla gaz içerdiğinin göstergesidir.

Katılmış olan numune kesilerek, kesitinde görülen kabarcıklar bir dizi standart ile karşılaştırılarak gözenekliliğin hangi aşamada olduğu belirlenir. Şekil 12.8’de, değişik basınçlarda elde edilen gaz boşlukları görülmektedir. Özellikle buna karşılaştırma yapılacağı durumlarda dikkat edilmelidir.

Daha sonra yapılacak olan numune incelemeleri ile sağlıklı bir karşılaştırılmaya gidilebilmesi açısından, katılma esnasında numunenin maruz kaldığı basıncın sabit tutulmasında fayda vardır.

Yapılan bu testte, ergimiş metalin temizliği ve hidrojen, numuneyi etki altında bırakmaktadır. Bunlar yapıda katılma esnasında meydana gelecek olan hidrojen gözeneklerinin çekirdeklenmesine sebebiyet vermektedir. Bu sebeple, yapılan bu test gerçek hidrojen miktarını belirtmemektedir.



Şekil 12.8 Değişik vakum uygulamalarında elde edilen gaz boşlukları

Bu testten alınan sonuca göre normal basınç şartlarında döküm parçadaki hidrojenin boşluk oluşturup oluşturmayacağı tahmin edilebilir. Basınç çözünürlük ilişkisine göre düşük basınçlarda katılma yapıda küçülme gözlenir. Metalik ve intermetalik fazların bulunduğu durumda hidrojen çökmesi heterojen ve homojen çekirdeklenme ile gerçekleşebilir. Hidrojen çökmesi için en güçlü çekirdekleyiciler oksitlerdir.

Bu tip çekirdekleyicilerin mevcut olması halinde yüzey gerilimi direnci olmaksızın çökme oluşur. Hatta düşük hidrojen seviyelerinde bile hidrojen çökmesi gözlenebilir. Bu oksit fazların olmadığı durumda ise nispeten yüksek hidrojen seviyelerinde bile hidrojen çökmesi yüzey gerilimi tarafından şiddetle engellenir.

Straube – Preiffer testi, aynı zamanda numunenin test ortamına göre yoğunluğu olan D'nin belirlenmesini sağlamaya ve alaşımın bilinen yoğunluğu ile kıyaslamaya yardımcı olmaktadır. Böylece yapı içerisindeki hidrojen miktarı yoğunluk farkından anlaşılabilir ve böylece standart sıcaklık ve basınca (SBB'ye) göre doğrulanarak ölçüm yapılmış olur, çünkü kullanılan sıcaklık alaşımın donma noktasıdır ve basınç önceden tespit edilmiştir.

Hesap tarzı şöyledir;

$$D = \frac{\text{Metalin ağırlığı} + \text{Gazın ağırlığı}}{\text{Metalin hacmi} + \text{Gazın hacmi}} \quad (12.13)$$

Gazın ağırlığı ihmal edilebilir düzeyde olduğu göz önünde tutulursa;

$$\frac{1}{D} = \frac{\text{Metalin hacmi} + \text{Gazın hacmi}}{\text{Metalin ağırlığı}} \quad (12.14)$$

Bulunan pratik yoğunluk, teorik olan  $D_0$  yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, ortaya ölçülmüş gazın hacmi çıkmaktadır;

$$V_0 = \frac{1}{D} + \frac{1}{D_0} \quad (12.15)$$

Burada belirtilen  $V_0$ , 100 gr metaldeki mililitre olarak gaz miktarıdır. Ölçülmüş olan bu hacim standard ortam verileriyle kıyaslanabilecek hale çevrilmelidir (çevrim esnasında Boyle ve Charles Kanunları'ndan yararlanılmaktadır). Bunun için yapılan hesap şöyledir;

$$V_{SSB} = \left[ \frac{\text{Uygulama basıncı}}{760} \right] \times \left[ \frac{273}{273 + \text{Alaşımın donma noktası}} \right] \times V_0 \quad (12.16)$$

Bu denklemdaki basınç milimetre cinsinden civa sütununa aittir (torr) ve alaşımın katılma noktası Santigrad'tır. Sonuç olarak;

$$V_{SSB} = K \times \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{D_0} \right) \quad (12.17)$$

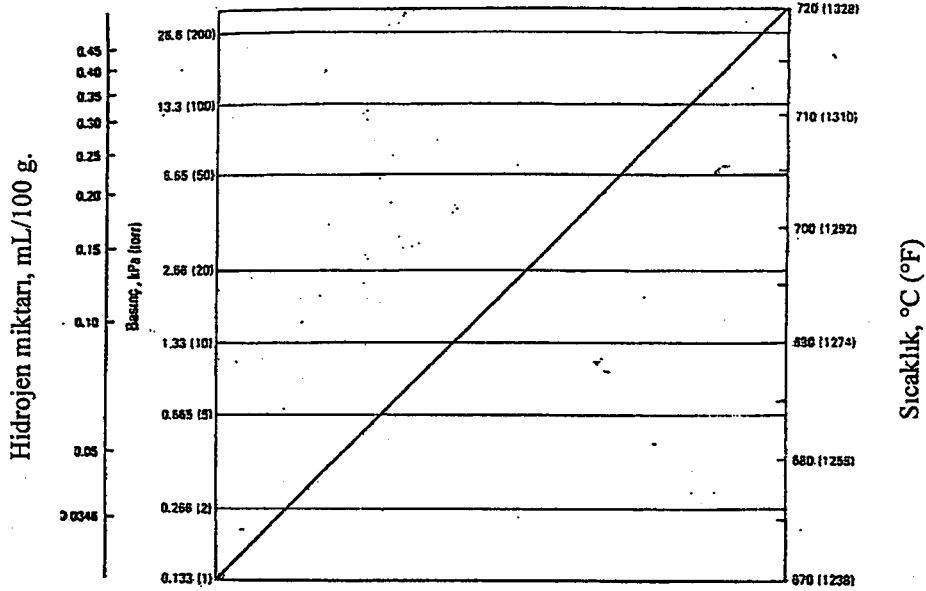
Burada K bir durum sabitidir ve  $V_{SSB}$  ise 100 gr metal içerisindeki milimetre cinsinden standard değişkenlere göre çevrilmiş gaz hacmidir. Her farklı alaşım ve uygulama ortamı için K sabiti yeniden hesaplanmalıdır.

Belirlenmiş bir alaşım için, yoğunluk ve hidrojen miktarı arasında bir bağıntı kurmak olasıdır. Farklı gaz miktarlarına sahip numunelerin Arşimed Kanunlarına göre yoğunluklarının hesaplanması şu şekilde olmaktadır;

$$D = \frac{W_h}{W_h - W_s} \quad (12.18)$$

Burada,  $W_h$  numunenin havadaki ağırlığı,  $W_s$  ise sudaki ağırlığını temsil etmektedir.

Bir alaşım üzerinde yapılan tüm hesaplamalara bağlı olarak çizilebilecek olan bir grafik ile daha sonra aynı alaşım üzerinde yapılacak ölçümler için kolaylık sağlanır. Böylece uzun matematiksel hesaplamalar yapmak yerine sadece ağırlıkların tayin edilmesi ile bu grafikler üzerinden hidrojen miktarının sonucuna varılabilir. Şekil 12.9'da alüminyum alaşım 1100 için geliştirilmiş olan grafik görülmektedir.



Şekil 12.9 Alüminyum alaşım 1100 için geliştirilmiş olan grafik (ASM Handbook,1996)

### 12.3.2.2 Düşük Basınç Tekniği

Düşük basınç testi ya da diğer adı ile vakum katılaştırma testi uzun yıllardır kullanıla gelen bir testtir. Bu test ile alüminyum dökümün potansiyel olarak hidrojen porozitesi hasarlanmasına karşı korunması sağlanır. Bu test için kullanılan ekipman ucuz, çok kullanımlı, hızlı ve basit kullanımlıdır. Sonuç olarak düzenli olarak kalibre edilmiş şekilde kullanılan (RPT) düşük basınç test cihazı kolaylıkla tekrarlı şekilde sistematik olarak döküm kalitesi doğrulanabilir. Test sonuçlarının doğru olarak değerlendirilebilmesi için test aşamasında ve sonrasında aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- Test numunesinin kalitesi ve sıcaklığı
- Katılaştırma boyunca tam bir vakum kontrolü
- Test sonuçlarının sistematik olarak birleştirilmesi

Test numunesi, numune alma ve döküm sırasındaki inklüzyon ve türbülansla ilgili olan durumunu temsil etmek zorundadır. Sıcaklık kaybını minimize etmek için vakum odası izole edilmelidir. Vakum ölçüm cihazının doğruluğu bu testin güvenilir olması açısından ve arka arkaya farklı sıvı metallerde kullanılabilirliği açısından önemlidir.

Düşük basınç testi kalitatif ve yarı kantitatif değerlendirme imkanına sahip olan bir testtir. Test sonucunda elde edilen numune kesitine ilk önce görsel olarak bakılır ve porozite durumu



gözlenir, burada kalitatif bir sonuç alınabilir. Müteakip olarak yapılan testler ile hacim yoğunluğunun, spesifik gravite yöntemi ile mevcut boşluk hacminin belirlenmesi yapılabilir.

Düşük basınç testinin ana hedefi alüminyum ergiyiğine giren hidrojen etkisini hızlı ve kolay bir şekilde ölçmektir. Basit olarak kontrollü şekilde düşürülen basınç altında ergiyik yüzeyinde basınç oluşumunun izlenmesi olarak ifade edilebilir. Bu gözlemler özel bir dökümhanenin bir aşımını için standart üretimlerinde alınan numunelerdeki kabarcık ya da gözenek oluşumu ile ilişkilendirilebilir.

İlk kabarcık testinin kalitatif değerlendirilmesinde, istenen sonuç; düşük hidrojen içeren sıvı metallerde 2-5 kabarcık oluşmasıdır. Bu durum için rahatlıkla sıvı metalin temiz olduğu ve nihai mamulün hidrojen porozitesi içermeyeceği söylenebilir. Gaz kabarcıklarının vakum uygulanmaya başladıktan sonra kısa sürede ve çok miktarda çıkması sıvı metaldeki hidrojen miktarının çok olduğunu gösterir.

Görsel testin bir diğer aşaması ise katılaştırmadan sonra yapılır. İlk grup numunelerde hiç bir hazırlık yapılmamış ve sadece kesit alınmıştır. Burada kesit alma sırasındaki hasarlanmalar gözenekler ile karıştırılabileceğinden dolayı numuneler 125 no'lu zımpara edildikten sonra incelendiğinde daha doğru sonuçlar elde edilecektir. Daha çok düşük gaz içeren malzemedeki boşluk durumunu gözlemek için kullanılmaktadır. Yüzeyi hazırlanmamış numunelerde yüksek gaz içeren metal olduğu durumda gaz boşlukları rahatlıkla gözlenebilir.

Düşük basınç testi boyunca sabit bir basınç uygulanması testin kullanılabilirliği ve güvenilirliği açısından gereklidir.

Basınç değişimi, numunelerin fiziksel görünüşlerinde çok büyük değişimlere sebep olmaktadır. Dolayısı ile karşılaştırma yapılabilmesi için numunelerin hepsinin aynı şartlarda deneye tabi tutulması gerekir. Ancak bu şekilde yarı kantitatif sonuçlar rahatlıkla elde edilebilir.

Düşük gaz testinde kantitatif değerlendirme için numunenin yoğunluğu ve çözülmüş hidrojen arasındaki korelasyonun kurulması ile yapılabilir. Ancak bu tip bir uygulama testin standardize edilmesi ve dikkatli olarak kontrolü ile mümkündür. Bu şekilde uygulanan yarı kantitatif bir testin sonuçları son derece güvenilirdir.





Düşük basınç testi (RPT), şayet değişkenler iyi kontrol edilir ve anlaşılır ise etkili bir kalite kontrol yöntemi olabilir. Hiç şüphesiz bunda en büyük etken vakum şartlarıdır. İyi kontrol edilen vakum şartlarında testin en önemli kısmıdır. Test boyunca sabit bir vakumun temini gereklidir. Test sonuçlarına etki eden bir diğer parametre ise sıvı metal temizliğidir. Sıvı malzemenin oksit bakımından temiz olması gerekir. Çünkü oksitler sıvı metalin hidrojen kapmasını etkiler.

Düşük basınç testi sonuçları istatistiksel proses kontrol amaçlı olarak kullanılabilir. Ancak bunun için öncelikle test şartları kontrollü olmalı ve mümkün olduğunca sabit tutulmaya çalışılmalıdır.

### 12.3.2.3 Telegaz Aparatı

Oldukça uzun senelerdir, alüminyum alaşımlarının yapısı içerisindeki hidrojen miktarını belirlemede kullanılmış bir yöntemdir. Bu yöntemin birincil uygulama alanı dövme endüstrisi veya araştırmalar olmuştur.

Sistem, yapı içerisine kabarcıklar halinde nitrojenin belli bir periyot boyunca beslenmesine dayanmaktadır. Bu periyodun uzunluğu, eriyik içerisinde çözünmüş olan hidrojenin dengelenmesine kadar sürmektedir. Bu aşamadan sonra, katometre (kathometer) olarak bilinen ısıl iletken piller ve Wheatstone Köprü Devresi ile nitrojen içerisinde çözünmüş olan hidrojen miktarı ölçülmektedir.

Bu aparat daha önceden kalibre edilmektedir ve işlemin sonuçları daha önceden bilinen hidrojen miktarına sahip karışım gazları standartları ile uyusmaktadır. Cihazdan okunan değerler, hidrojen konsantrasyonu ile ilgili çizgeler kullanılarak, hidrojen miktarı değerlerine çevrilirler. Kurulan bu dönüşüm ilişkilerini; 675 ila 750°C (1245 ila 1380°F) arasındaki normal ergime sıcaklıkları ile 0.05 ila 0.40 mL/100 gr.lık hidrojen konsantrasyonları arasındaki değerler için bulmak olasıdır. Ayrıca farklı alaşımların hidrojene olan duyarlılığı birbirlerinden farklı olacağı için bu ilişkilerin doğrultma katsayıları da her bir alaşım için mevcuttur.

Telegaz aparatı yöntemi doğru kullanıldığı sürece doğru sonuçlar verebilmektedir. Kullanımının kolay olmasına rağmen, aparat ile kullanılan seramik çubuklar oldukça

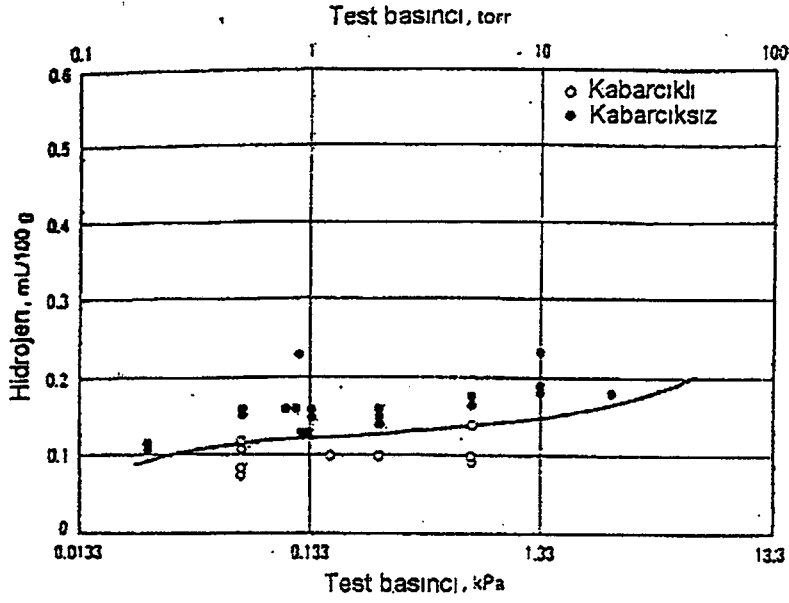
kırılgandır. Isıl şoklardan kaçınmak amacıyla, bu çubukların daha önceden ısıtılması ve aparatın içerisine dikkatlice daldırılması gerekmektedir.

#### 12.3.2.4 Titreşimli Vakum Gaz Testi

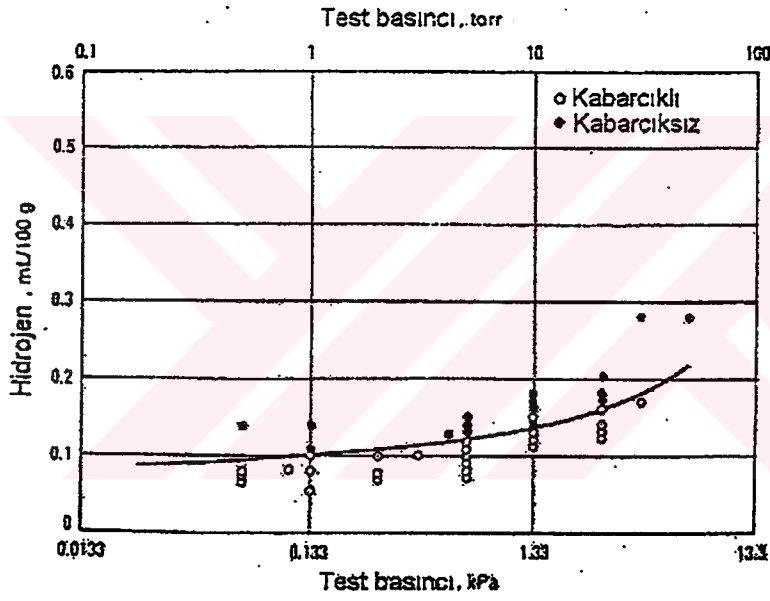
Standart vakum katılaşması testi, alaşımlara nüfuz etmiş olan hidrojen ve diğer katışkılara göre metal kalitesini ölçer. Titreşimli vakum gaz testi, hidrojenden dolayı oluşan etkilerin, katışkılarının çekirdeksel gözenekliliğinden ayrılmasına olanak tanımaktadır.

Uygulamada daha büyük pompa ve daha hassas ölçüm aleti kullanılarak daha verimli vakum ortamları elde edilmektedir. Ayrıca, önceden ısıtılmış ve gazı alınmış güçerir numuneler daha yavaş soğumaya izin vermektedirler. Kontrollü bir titreştirici de gaz kabarcıklarının çekirdeklenmesine, oluşan kabarcıkların birleşmelerine ve eriyik numunenin yüzey geriliminin düşürülmesine yardımcı olmaktadır.

Bu uygulama, sonuçta; filtre edilmiş (daha az ek katışkı içeren) metalde bulunan hidrojen etkilerinin (gözeneklilik oluşumu) filtre edilmemiş metale olan kıyaslamasının neticesi olan farkı çok güzel bir şekilde gözler önüne sermektedir. Şekil 12.10'da, herhangi bir test basıncındaki filtre edilmiş metalin kalitesindeki hidrojen değişimi görülmektedir. Bu nedenle, titreşimli vakum testi sadece hidrojenden dolayı oluşan metalin üzerindeki etkilerin daha kesin bir şekilde tayini için kullanılmakta ve metal kalitesi belirlenmektedir.



(a)



(b)

Şekil 12.10 Herhangi bir test basıncındaki (a) filtre edilmemiş ve (b) filtre edilmiş metalin kalitesindeki hidrojen değişimi (ASM Handbook,1996)

### 13. GAZLARIN ÖNLENMESİ VE GAZ GİDERME YÖNTEMLERİ

#### 13.1 Metallerde Genel Gaz Giderme Yöntemleri

Metalin içinde bulunan ve döküm esnasında veya katılaşmadan sonra problem yaratan gazların giderilmesi işlemleri.

##### 13.1.1 Ön Katılaşma Yöntemi

Bu yöntem, hidrojenin sıvı metalle katı metal içindeki farklı erirliği üzerine kurulmuştur. Ergimiş metalin sıcaklığı düştükçe, erirlik düşer. Ve katılaşma noktasında çok düşük bir değere erişir. Bu sebepten ergimiş metal yavaşça soğutularak katılaşma noktasının yanında gazların çoğu kaybettirilir. Böylece katı metal çok az miktarda gaz ihtiva edecektir. Metal döküm sıcaklığına kadar mümkün olduğu kadar çabuk ısıtılır ve döküm yapılır. Ergime sırasında gazın çok az bir kısmı tekrar emilir.

##### 13.1.2 Katı Katkı Maddeleri

Bazı şartları sağladıkları takdirde, ergimiş metalden hidrojeni temizlemek için çok çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir. Kullanılacak katkı maddeleri hidrojen ihtiva eden bileşiklerden temizlenmiş olmalıdır. Aksi takdirde hidrojen miktarını azaltma yerine çoğaltır. İkinci olarak bu katkı maddelerinin çözünemeyen bileşikler meydana getirmemesi lazımdır ki katı metalde katı artıkları (enklüzyonlar) meydana getirmesin. Son şart olarak da katkı maddelerinin emniyetle kullanılabilmesi için zehirsiz olmaları lazımdır.

Bugün, ticari olarak satılan hazır bileşimler olduğu gibi, bu katkı maddelerinin bileşiminde kullanılan maddeler de satılmaktadır. Aynı baza sahip çeşitli alaşımlar için tek bir katkı maddesi tavsiye edilebilmekle beraber, katkı maddesinin görevi bir metalden diğerine çok değişir ve böylece tek bir katkı maddesi her durumda veya her metal için tatminkar olamaz. Mesela, alüminyum ve bakırın katkı maddesi ile muameleleri çok değişiktir. Her biri için tamamen başka katkı maddeleri kullanmak gerekir. Alüminyum gazını almada kullanılacak katkı maddesinin (Mesela, hegzakloretan;  $C_2Cl_6$ ) oksijen ihtiva etmemesi lazımdır, aksi takdirde metalle reaksiyon neticesinde çözünemeyen oksitler meydana gelir. Bunlar dökümden sonra metal içinde kalabilir. Diğer taraftan bakır bazlı alaşımlarda oksitleyici bir bileşiğe ihtiyaç vardır. Çünkü, gösterilmiştir ki metalin oksijen miktarı arttıkça hidrojen miktarı azalmaktadır. Dökümden biraz evvel, bir oksijen alıcı (Mesela, bakır fosfor;  $CuP$ ) vasıtasıyla eriyiğin oksijeni temizlenir.

Metale katı katkı maddesi eklemenin çeşitli yolları vardır. En genel olanı yüzeye serpmek ve sonra karıştırmaktır. Fakat bu yöntem, katkı maddesini eriyiğin dibine kadar götüremediği için daha iyi bir yol katkı maddesini topak şeklinde hazırlamaktır ki, bu ya tabii olarak dibe çöker veya daldırma çanı ile dibe itilir.

Daha iyi bir yöntem de flaksı azot akımı ile metal içine göndermedir. Böylece hem katkı maddesinin dağılımı daha iyi olur, hem de katkı maddesi ilave miktarı ve hızı daha rahat kontrol edilebilir. Bu yüzden de katkı maddesi en ekonomik şekilde kullanılmış olur.

### 13.1.3 Hafif Metallerde Sıvı Katkı Maddeleri

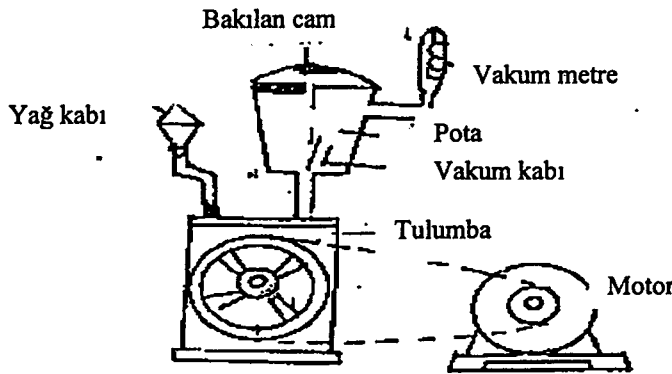
Gaz temizlemede sıvı katkı maddeleri de (Karbontetraklorür;  $CCl_4$ ) kullanılabilir. Fakat bunları metal içine en etkili şekilde almak için en iyi yol, buhar haline getirmektir. Bu, ya direkt olarak veya bir gaz yardımıyla (mesela; azot) erimiş metal içine verilir. Bu yöntem kullanılmakla beraber, uygulaması azdır.

### 13.1.4 Alaşım İlaveleri

Bazen alüminyum ve bakır bazlı alaşımlardan çözülmüş gazları temizlemede yardımcı olmak üzere lityum, sodyum, baryum ve bor ilaveleri yapılır. Fakat bu maddelerin beğenilmeyen tarafı elektrik ve ısı geçirgenliğini azaltmaları ve metal içinde istenmeyen katı artıklar yaratabilmeleridir. Eğer daha evvel ısıtılmazlarsa bu maddeler eriyiğe gaz taşıyabilirler.

### 13.1.5 Vakumda Ergitme

Vakumda eritme eriyik metalde çözülmüş gazları temizler ve gaz boşluklarını önler. Fakat bu yöntem özel araçlar gerektirir ve pahalıdır. Şekil 13.1'de vakum tulumbası görülmektedir.



Şekil 13.1 Vakum tulumbası (Erdaş,1974)

### 13.1.6 Gaz Katkı Maddeleri

Gaz katkı maddelerinin uygulaması, etkili ve kolay uygulanabilir olmasından dolayı çok geniştir. Şimdiye kadar başarı ile denenmiş olan gazlar; azot, klor, helyum ve argondur. Bunlardan ilk ikisi bu amaç için çok miktarda kullanılmakta, fakat son ikisi pahalı olduğundan özel durumlarda kullanılmaktadır.

Arıtma gazı ile eriyik metalden çözünmüş gazları temizleme tamamen mekanik bir olaydır. Arıtma gazı kabarcıkları metal içinde yukarı doğru çıkarırken çözünmüş gaz kabarcıkları ile bağlantı kurarlar. Çözünmüş gaz kabarcıklarının sadece bir kısmı arıtma gazı içine girer ve temizlenir. Fakat bunu takip eden bağlanarak çözünmüş gaz hacmini azaltmaya devam eder. Nihayet bir minimum değere ulaşılır. Arıtma gazının ikinci bir görevi de oksitleri ve katı artıkları yüzeye doğru iterek temizlenmelerine yardım etmesidir. Buradaki olayda tamamen mekaniktir ve bunun için tek şart gazın metale karşı ilgisiz olması ve metal yatağından yukarı doğru çıkmasıdır.

Açıkça görülüyor ki, her iki görevin de en iyi şekilde gerçekleşmesi için; gazın, eriyik metalin dip tarafından ve yukarı çıkarken maksimum alanı tarayacak şekilde, çok küçük kabarcıklar halinde verilmesi lazımdır.

### 13.1.7 Yönlenmiş Katılaşma

Sıvı metalin bünyesinde gaz tutabilme kabiliyeti katı metalden daha fazladır. Bundan dolayı, kalıba döküm yapıldıktan sonra, katılaştıran metal bünyesinde tutamadığı gazları kusar ve bu gazlar daha henüz katılaşmamış olan sıvı kısımda toplanır. Eğer bu prensip kullanılıp, dökümün katılaşması besleyiciye doğru yönlendirilir ve en son katılaştıran yerde besleyici olursa; bütün gazlar besleyicide toplanır. Besleyici, katılaşmadan sonra kesip atılır ve böylece daha az gaz boşluğu bulandıran bir döküm elde edilir.

## 13.2 Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gaz Giderme Yöntemleri

Alüminyum alaşımlarının döküm aşamalarındaki bazı işlemler ve olaylar gaz problemlerine neden olur. Bu nedenle gazların önlenmesi ve giderilmesi için yapılan çalışmalar tek bir aşamada değil birçok aşamada yapılmaktadır. Genellikle bu işlemler, ergitmeden önce, ergitmede sırasında, dökümden hemen önce ve döküm sırasında yapılır. Ayrıca, modeller, kalıplar, maçalar ve parça dizaynı ile ilgili çalışmalarda gaz problemlerini belli miktarlarda önlemektedir.

Hidrojen ergiyik alüminyumda, ergiyik bakırdakinden çok daha az erimesine rağmen çok daha fazla gaz boşlukları meydana getirmektedir. Bunun sebebi, hidrojenin büyük bir kısmının katılma noktasında serbest kalmasıdır. Mevcut hidrojen metal katılmasından önce, metalden alınmazsa toplu iğne başı şeklindeki yaygın gaz boşlukları meydana gelir. Oksijenle ilgisinin fazla olması ve oldukça sağlam bir oksidasyon zarının meydana gelmesi sebebiyle, metalin hidrojen kapmasını önlemek için alüminyum alaşımlarında oksidasyon flaksları kullanılmaz. Bu sebeptendir ki, ergiyik metali cüruftan ayıran, özel bir şekilde gaz alma ve giderme usulüyle, erimiş hidrojeni de gideren “koruyucu flaks altında ergitme usulü” tatbik edilmektedir. Bu husus, azot veya klor gazı ile veyahutta ergiyik metaldeki uçucu ergimiş organik bileşimlerinden meydana gelen klorla temin edilir. Bu sebeple, ergiyik metal içine organik klor bileşikleri daldırılır. Bu şekilde yaratılan klor gazı arzu edilmeyen diğer gazları da kovalıyarak ergiyik metalden dışarıya atar.

Ergiyik metalden “azot ve klor gazının geçirilmesi” suretiyle arzu edilmeyen gazların temizlenmesinin bazı mahsurları vardır. Bu da bu işlemin yapılmasında bazı alet, boru ve ısıya dayanıklı malzeme ihtiyacını ortaya çıkarır. Bundan başka azotun bir miktar rutubet meydana getirmesi ihtimalleri de vardır. Klor gazı da hem zehirli hem de korozyon meydana getirici bir elemandır. Klor veya organik klor bileşenleri kullanılırken aktif gaz alma maddesi alüminyum klorürdür. Bu madde alüminyumun ergiyik vaziyetteki sıcaklık derecesinde gaz halindedir.



Bu usulde alüminyum gaz şeklindeki klorür olarak, kaçıp gider ve alüminyum kaybına sebebiyet verir. Klor gazı yerine uçucu organik klorür bileşimleri kullanılacak olursa alüminyum kaybı önlenmiş olacaktır. Organik gaz alıcı maddelerin verimli olmaları nedeniyle 3 ila 4 kilo organik gaz alıcı 6 ila 8 kiloluk klor gazının gaz alma tesirini yapar. Ayrıca gaz giderme süresi organik gaz alıcı maddelerde çok daha kısadır. Giderilmesi istenen gazları sürüklemek üzere ergiyik metalin bir boru yardımıyla sevkinde meydana gelen gaz kabarcıkları büyük olduğundan, bu işlemin “gaz haline gelen tabletler” yardımıyla temini daha verimli ve iyi sonuç verir. ( Özdemir,1980)



### 13.2.1 Parça Dizaynı, Model Tekniği, Maçalar ve Kalıplama İşlemlerinde Alınan Önlemler

- Parça dizaynı açısından uygun döküm ve kalıplama tarzının belirlenmesi

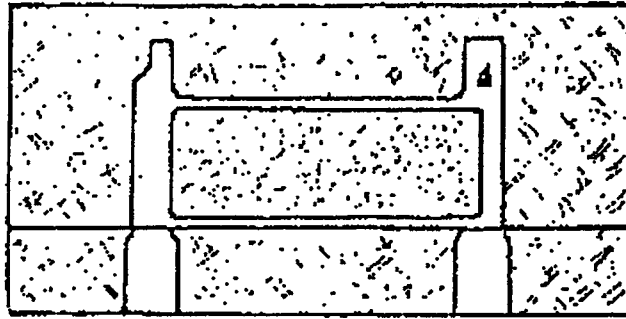
Uygun döküm tarzını dökümcü seçer. Ancak parça dizaynını yapanın da, dökümcünün hangi faktörleri dikkate alarak bu seçimi yaptığını bilmesinde yarar vardır. Bu yönden düşünüldüğünde parça dizaynını yapan, hem modelcinin ve hem de dökümcünün seçeneklerini önemli ölçüde etkiliyor demektir.

Kalıplama yönteminin uygun seçilmesi ve parça dizaynının da buna olanak sağlaması kalıplama işini kolaylaştırır. Aynı şekilde döküm tarzının doğru seçilmesiyle de parçaların hatasız dökümü kolaylaşır.

Döküm tarzının seçilmesini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- a) Parçalardaki kütle yığılmalarının durumu,
- b) İşlenecek yüzeylerin durumu,
- c) Maça gazlarını dışarı atma olanağı,

Kalıplama kolaylığı ve etkin besleme özelliği bakımından besleyiciler kalıpların üst bölgelerine konurlar. Kütle yığılması olan parçaların bu bölgelerinin de iyi beslenebilmesi için kalıpta yukarıya gelecek tarzda tanzim edilmesi doğru olur (Şekil 13.2).



Şekil 13.2 Parçada beslenecek kısmın yukarıya getirilmesi (Avcı, 1992)

Aynı şekilde parçaların işlenecek yüzeylerinin de hatasız ve sıkı dokulu dökülmesi istenir. Bu yüzeylerin kalıpta düşey veya tabanda yatay konumda olacak şekilde bir döküm tarzı seçilmesiyle bu istek gerçekleşmiş olur. Cüruf ve gazlar sıvı metal içinde yukarıya doğru



yükseldiğinden kalıp tavanında yoğun halde bulunurlar. İşlenecek yüzeyler kalıpta kalıp tavanını meydana getirirse parçanın bu bölgelerinde toplanan cüruf ve dışarı kaçamayan gazlar işlemede yüzeylerin bozuk çıkmasına neden olurlar. Bundan başka kalıpta işlenecek yüzeyler sıvı metalin kalıbı yalıtılarak geç ulaştığı bölgelerde bulunmamalıdır.

Döküm tarzı, parçaların iyi beslenebileceği ve işlenecek yüzeylerinin temiz çıkacağı şekilde tanzim edilirken maça gazlarının kalıptan kolay atılması da dikkate alınmalıdır.

Sıcak metal etkisi ile maçalardan çıkan gazlar kalıbın yan taraflarından, en kolay şekilde de kalıp tavanından dışarı atılırlar.

- Maça Sayısının Azaltılması

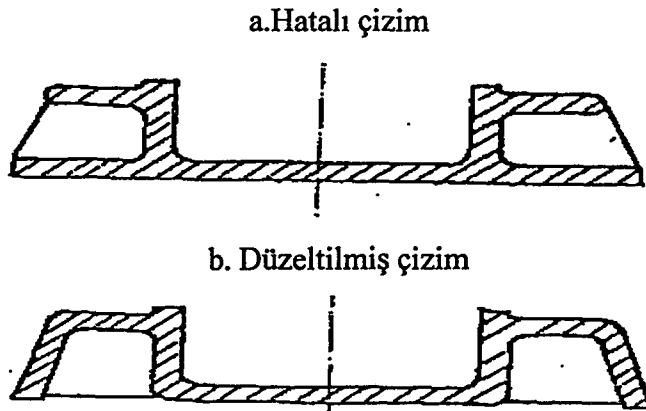
Döküme uygun parça dizaynında maça sayısını azaltmanın başlıca amacı, kalıp ve maça işçiliğini ve malzeme tüketimini azaltmaktır.

Maça sayısı iki şekilde azaltılabilir:

- Döküm parçası, maça ya da maçalara gerek kalmayacak şekilde yeniden çizilir.
- Parça şekli birkaç maçanın birleşebileceği duruma getirilir.

Ancak bütün bunlardan amaç yukarıda belirtildiği gibi kalıp ve maça imalini kolaylaştırarak parça maliyetini düşürmek olmalıdır.

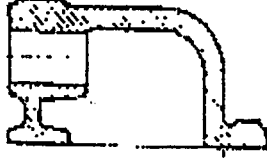
Aşağıda bu hususları açıklayan birkaç örnek verilmiştir. Şekil 13.3a'da verilen parçayı bu haliyle kalıplamak için dış maçalara ihtiyaç vardır. Yapılan çizim değişikliğiyle Şekil 13.3b maça kullanmaya hiç ihtiyaç kalmamıştır.



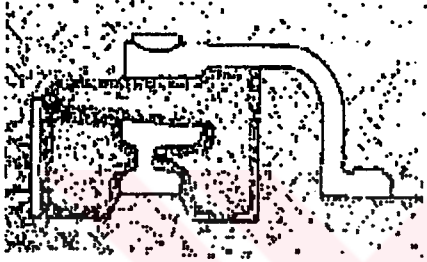
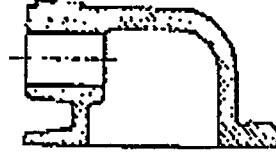
Şekil 13 .3 Çizim değişikliği ile maça kullanmaktan kaçınmak (Avcı, 1992)

Şekil 13.4'teki örneklerde ise yapılan çizim değişikliği ile maça sayısı ikiden bire indirilmiştir. Maça sayısının azaltılması bu örnekten de görüldüğü gibi maça kütlesinin de azalması demektir. Bu sayede kalıpta maçalardan kaynaklanan gaz oluşumu da önemli ölçüde azalır.

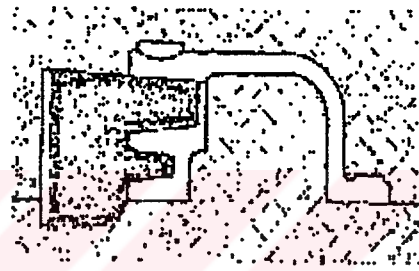
Bu çizim iki maçayı gerektirir.



Tek maça yeterlidir.



(a) İki maça



(b) Tek maça

Şekil 13. 4 Maça sayısını azaltan çizim değişikliği (Avcı, 1992)

- Gazların Kalıptan Çıkarılması, Geçirgenlik.

Kalıp içindeki gazların sebep oldukları hataların, kalıbın gaz geçirgenliği nispetinde azalacakları aşikardır.

Kokil dökümde geçirgenliğin temini, havanın çıkmasına kolaylık gösterilerek, yani bir nevi bacalar yapılarak elde edilir. Ancak bu deliklerin devamlı açık olduğunu kontrol etmek şarttır.

Çalışma esnasında kumun tane büyüklüklerinin değişmesi geçirgenliğinin de değişmesine sebep olur, bu yüzden kumun geçirgenliği hafif alaşım dökümünde sık sık kontrol edilmelidir.

Ancak rutubetin ve geçirgenliğin uygun değerlerde olması, gazların sebep olduğu hataların önlenmesi için yeterli değildir. Ayrıca kalıp ve maçaların uygun şekilde kullanılması ve fazla sıkıştırılmaması gerekir. Model veya sandık yapımında kumu fazla sıkıştırmamaya dikkat etmelidir.

- Kalıplama

Alüminyumun özgül ağırlığı hafiftir. Dolayısıyla kalıp cidarlarına az basınç yapar. Alüminyum alaşımlarının dökümünde kalıbın yumuşak dövülmesi, bilhassa sıcak yırtılmaya karşı hassas olan alaşımlarda önem taşır. Yumuşak kalıplama, metalin büzülmesini kolaylaştırır. Dolayısıyla sıcak yırtılma tehlikesini ortadan kaldırır.

Çıkıcı ve yollukların yerleştirilmesi de önemlidir. Bunlar metalin soğuma esnasında büzülmesini engellememelidirler.

- Modeller

Alüminyum alaşımlarının sıcak dökülmeye karşı meyilleri yüksek olduğundan döküm dizaynı dikkatli yapılmalıdır. Kalıp mümkün olduğu kadar sade olmalıdır. Kalıplama şekli parçanın şekline uygun olmalı ve kalıp birleştirmeleri basit olmalıdır.

Bağlantı noktalarındaki eğrilik yarıçapı uygun olmalıdır ve yığılmalara sebebiyet vermemelidir. (e kalınlık ve R yarıçap ise  $e < R < 1.5 e$ ) Bir kalınlık değişimi hiç bir zaman meyilli bir bağlantı ile birleştirilmemelidir. Çıkıntı az kalın bir bağlantı ile dış kısma bağlanır ve böylece oluşacak birikintinin önüne geçilmiş olur.

Yollukların ve çapaklarının temizlenmesi kolay ve ucuz olmalıdır. Ağırlıkları parçaya nazaran pek büyük olmamalıdır. En ekonomik yolluklar, kalın kısımların yakınlarında bulunan ince kısımlara yollamakla elde edilir.

### 13.2.2 Ergitme Öncesinde ve Ergitme Sırasında Alınan Önlemler

Gazlı akımlar (Azot, helyum, Argon, klorür) ergiyiklerin hidrojenini temizlemek için kullanılır. Bu gazlar ergiyik içinde kabarcıklaşır, hidrojen de bu kabarcıklara difüze olur. Neticede yüzeye çıkarak ergiyik metalden ayrılırlar. Diğer taraftan hegzaklorür alüminyum klorür, susuz magnezyum klorür de aynı amaçla kullanılır. Magnezyum klorür reaksiyonu kuvvetli ekzotermik olduğundan, fazla ısınmayı önleyici tedbirler alınmalıdır. Klor gazı 700 - 770°C de sıvı alaşımdan geçirilir. Bunun neticesinde  $AlCl_3$  teşekkül eder. Fakat zararlı değildir.

Yukarıda sayılan gazlardan başka bor-klorür, fosfor-Penta klorür ve bilhassa titan tetraklorür gibi maddelerde geçirilir.

Aynı amaçla alkali klorat gibi oksitleyici maddeler ihtiva eden toz kullanarak, alaşımdaki gazlar giderilebilir.

Oksitleyici olmayan tozlarda karıştırılarak ergimiş metalin gazlarını çıkarmak mümkündür.

Ergitme sırasında gaz girmesini önlemek için:

- a) Ergime süresi uzatılmamalı,
- b) Döküm esnasında alaşımlar az boşaltılmalı, banyo karıştırılırken hava girmesi önlenmelidir, sarsılmamalıdır,
- c) Yakıtın sıvı alaşım ile doğrudan doğruya temasından kaçınılmalı,
- d) Yakıtta ve şarjda rutubet olmamalı,
- e) Fırınları, potaları iyi kurutmalı,
- f) Metalle temasta bulunan gazlı ve kok cüruflaştırıcılar kullanılmalı,
- g) Nemden ayrılmış gazlı ve kok cüruflaştırıcılar kullanılmalı,
- h) Banyoda türbülans olmamalıdır,
- i) Yağlı hurdaların yağları ön ısıtma ile yakılmalıdır,
- j) Alüminyum sıvı halde gereğinden fazla bekletilmemelidir,
- k) Flakslama için gerekli olanın dışında cüruf çekme bir kez yapılmamalıdır,
- l) Ergiyik yüzeyi altına hidrojen oluşturan gazların girişi önlenmelidir,

Porozitenin büyüklüğü ve dağılışı şunlara bağlıdır:

- a) Alaşım katılaşma derecesine,
- b) Katılaşma hızına,
- c) Ergiyikteki hidrojen konsantrasyonuna,
- d) Metal besleme sistemine bağlıdır. (Akdere, 1980)

### 3.2.2.1 Flakslar

Flakslar, yapışkan ve vizkoz fırın cürufları, kum, toprak, yakıt külleri ve metal oksitlerle birleşebilen ve bunları kolayca akabilen cüruf şekline dönüştürerek banyo yüzeyine çıkararak ve akıben kolayca sıyrılabilen bir karakter kazandıran düşük ergime noktalı malzemelerdir. Başka bir deyimle flakslar örtüleme, cüruf yapma, yıkama, deoksidasyon, gaz giderme ve afinasyon amacıyla kullanılırlar.

Alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde gaz veya katı flakslar kullanılır. Gaz fazındaki flakslar hidrojen gibi çözülmüş gazlar, sıvıya kanşmış cüruf ve oksit filmlerini uzaklaştırmak için kullanılır. Katı flakslar ise ergiyik sıcaklıklarında gaz oluştururlar ve gaz flakslara benzer şekilde fonksiyonlarını yerine getirirler veya ergiyik sıvının yüzeyinde bir örtü tabakası oluştururlar. Ergiyik flaks gaz absorpsiyonunu ve oksit oluşumunu önler, oksitleri ergiyik yüzeyinde yüzdürerek daha yoğun olan metalin süzülmesine ve cürufun granüle hale gelerek banyodan gelberi ile kolaylıkla çekilebilmesini sağlar. Her iki tip flaksda rutubet ve hidrojen oluşturucu maddelerden arındırılmış olmalıdır. Gaz flakslar hidrojen ve yağ buharlarının absorpsiyonuna karşı çok duyarlıdırlar.

### Gaz Flakslar

Klorür en yaygın kullanılan gaz flaksı olup, katı ve gaz flakslar içinde en etkilisi ve ucuzudur. Azot gazı bazen kullanılır fakat gaz gidermede etkili olabilmesi için kısmi gaz basıncı düşük veya çok kuru olmalıdır. Tüplerde veya tanklarda depolanan gaz flakslar ergiyiğe, banyoya daldırılmış gözenekli refrakter seramik tüplerle verilir. Bu işlemde önce tüpler ön ısıtmaya tabi tutulurlar.

İnert gaz kabarcıkları ergiyik yüzeyine doğru çıkarken hem mekanik karıştırmayı sağlarlar, hem de yüzeylerine banyoda çözülmüş halde bulunan gazları alarak uzaklaştırılmalarını sağlarlar. Fırın ortamındaki gazların boşaltılması için uygun donanım veya şartların sağlanması gerekir. Aksi halde gaz basıncı yüksek ortamdan banyoya gaz emişi çok hızlı bir şekilde gerçekleşerek başlangıç noktasına geri dönülebilir. Burada hatırlatılmasında fayda görülen bir noktada şudur; banyoların modülleri ( modül = banyonun hacmi / banyonun atmosferle temas halindeki yüzey alanı ) çok düşük olduğundan bu ortamda atmosferden gaz emişi ve oksidasyon hızı fırından kalıba metal transfer hattına göre 40 - 50 kat düşüktür. Modülleri çok düşük olan sevk hattında gerekli önlemlerin alınmaması halinde 1 dakika gibi sürelerde ergiyiğin hidrojen ve oksit içeriği aşırı derecede yükselebilir. Klorürler hem mekanik karıştırmayı sağlarlar ve hemde absorbe edilen hidrojenle reaksiyona girerek hidrojen klorürleri oluştururlar. Gaz kabarcıklarının yüzeye doğru hareketleri sırasında ergiyiği karıştırırlar ve sıvı metalde asılı oksitleri ( kolloidal suspansiyon şeklinde ) yüzeydeki denge pozisyonlarına yüzdürürler. Gaz akış hızı yüzeyde türbülans kabarcıklanmasına sebep olmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

### Katı Flakslar

Katı flakslar daha çok açık kalp tipi reverber fırınlarda ergiyik yüzeyini battaniyeleme fonksiyonunu yerine getirmeleri amacıyla kullanılırlar. Flaks ilave edilmeden önce şarj ergitilir ve 675 - 760°C sıcaklığa ulaştırılır. Ancak hurda ergimesi veya magnezyum ihtiva eden alaşımların ergitilmesinde şarj fırına yüklendikten sonra ergitme sürecinde koruma sağlaması amacıyla flaks yüzeye serpilir.

Gerekli flaks miktarı flaksın ergiyik ile yaptığı reaksiyona bakılarak tayin edilir. Dros içerisine flaksın karıştırılması ile dros tozumsu veya granüler hale gelmeli ve sıyrılması kolay olmalıdır. Flaks ilavesi, dros yukarıda izah edilen şekle dönüşünceye kadar devam etmelidir. Uygun bir katı flaks tarafından yüzeyde oluşturulan dros uygun ( gözenekli ) bir gelberi ile çekilir.

Susuz alüminyum klorür veya susuz hegzakloretan gazları oluşturan katı flakslar ergiyiğe banyonun tabanında ters kapatılmış ve delikli bir kap vasıtasıyla ilave edilir. Bu tip flaksların buharlaşmaları gaz flakslara benzer şekilde işlev görmelerini sağlar. Flaksların banyoya ilavelerinden önce kuru olmaları için gerekli önlemler alınmalıdır. Çünkü bu maddeler aşırı derecede higroskopiktir ve havadan nem kaparlar, ergiyikten gaz uzaklaştırma yerine gaz emilmesine neden olabilirler. Flakslama işlemi 730°C civarında daha başarılı olur.

#### 13.2.2.2 Flaklama ile Gaz Giderme

Gaz giderme flaksları ergiyikten hidrojen ve inklüzyonu almak amacı ile kullanılmaktadır (Cochran, 1992). Flakslama ile gaz giderme işleminde, flaks bileşiminde mevcut bulunan metal klorürler ve florürler ergimiş metalin inklüzyon ve gaz giderme yani rafinasyon işlemini yaparlar (Yıldırım, 1997).

Sıvı metalde çözülmüş halde bulunan hidrojen rafinasyon flaksları yardımı ile alınabilmektedir. Tüm flakslardan istendiği gibi bu flakslarında ergime derecesinin düşük olması istenir. Birçok flaks bileşiminde KCl ve NaCl mevcuttur. Bu iki tuz %44 ve %56 bileşiminde ötektik oluşturduğundan karışımın ergime derecesi hayli düşük olacaktır. Bileşiminde genel olarak alkali klorürler ve florürler bulunmaktadır. Bu bileşikler flaksın ergime derecesini düşürürler. Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan rafinasyon flakslarından birisinin bileşimine örnekler verilmiştir.



Çizelge 13.1 Rafinasyon flaksı bileşimi

KCl	% 45
NaCl	%45
AlF <sub>3</sub> , 3 NaF	%10

Rafinasyon flaksları ergiyiğe bir besleyici yardımı ile verildiğinde gaz gidermenin verimliliği son derece artmaktadır (Cochran, 1992). Besleyici ile verilirken flaks toz formundadır. Taşıyıcı gaz olarak inert gaz kullanılmaktadır.

Enjeksiyon yöntemi ile flaksın ergiyikle teması hızlandırılır, temas yüzeyi artırılır. Toz formunda beslenen flaksın etkinliği dikkate değer şekilde artmaktadır (Crepeau, 1992).

Ancak flaksla temizle hiçbir zaman gazla temizleme işlemi kadar etkin olmayacaktır. Çünkü gaz etkin ve hızlı bir temizleme yapar ve gazla tüm ergiyiğin süpürülerek hidrojenden arındırılması mümkündür.

### 13.2.2.3 Gazlar ile Hidrojen Giderme

Gazlarla hidrojen giderme işlemi diğer yöntemlere nazaran etkinlik açısından çok iyi durumdadır. İşlemin esası sıvı metalde çözülmüş bulunan gazın süpürücü gazdaki kısmi basıncının düşük olması sebebi ile süpürücü gaza geçmesidir. Tamamı ile fiziksel esaslı bir prosestir. Ergiyik içerisine gönderilen gaz kabarcığı ergiyik içerisinde yükselirken kabarcığın içindeki düşük olan sıvı metaldeki ergimiş gaz konsantrasyonu gittikçe artar yüzeye çıktığında ise gaz kabarcığından fırın atmosferine salıverilir (Biol, 1989).

Gazla temizleme işleminde beslenen gazın hızı, kabarcık boyutu işlemin etkinliğine doğrudan etki eden parametrelerdir. Gazın debisi yüksek olduğunda etkinlik düşmektedir. Buna göre gazın debisini fazla artırmanın hiç bir iyi etkisi yoktur. Gaz kabarcıklarının boyutu mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Böylelikle gaz kabarcıkları küçülüp ergiyikle temas alanı artacağından dolayı daha fazla gazın giderilmesi mümkün hale gelecektir.

### 13.2.3 Gaz Üfleme Yolu ile Gaz Giderme Yöntemleri

Bu usül dokümde çok kullanılır.

- 1.Metal yüzeyinde süspansiyon halindeki empüritelere gaz kabarcıkları ile mekanik veya fizikokimyasal muamelesi.
2. Gaz kabarcıklarının çözülmüş bazı empüritelerle reaksiyonu (Na, Ca, Mg).
- 3.Gaz kabarcıkları ile metal arasındaki hidrojen kısmi basıncı farklarından dolayı banyoda

çözünmüş hidrojenin gaz kabarcıklarından yayılması.

Bu işlem için kullanılan gaz veya gaz bileşikleri iki grupta toplanabilir:

### 13.2.3.1 Klor ve Diğer Halojenik Uçucularla Gaz Giderme

Kullanma sıcaklığında  $C_2Cl_4$ ,  $C_2Cl_6$ ,  $AlCl_3$ ,  $MnCl_2$  gibi klorürler gaz halindedirler ve hem fiziksel hem de fiziko kimyasal etki yaparlar. İçlerinde en faydalısı muhtemelen klordur. Klor kolayca kuru ve temiz olarak elde edilebilir. Ancak zehirli olduğundan kullanılması mahsurludur. Daha çok klor bileşikleri kullanılır (örneğin, çinko klorür gibi). Bu gazlar metale grafit borularla üflenir.

$C_2Cl_4$  ve  $C_2Cl_6$  tipi halojenik bileşikler faydalıdır. Yalnız iyice temizlenmiş olmaları ve metal içine yavaş ve düzenli yayılmaları gerekir.  $C_2Cl_4$  çok az kullanılır, çünkü normal sıcaklıklarda sıvı olduğundan üflemede bazı zorluklar yaratır. Normal sıcaklıkta katı halde olan  $C_2Cl_6$  ise klasik tuzla yıkama maddeleri ile karıştırılarak kullanılır. Bu karışım sıvı metal içine dalan bir çan tertibatı ile verilir. Bazen karışıma inert gözenekli maddeler eklenir (Gazın uçmasını düzenlemek için).

$AlCl_3$ ,  $MnCl_2$  ve  $ZnCl_2$  ise en ufak bir nem miktarında dahi gaz giderici olarak kullanılamazlar. Kuvvetli higroskopik olduklarından tamamen kurutulmaları da olanaksızdır.  $C_2Cl_4$  gibi oda sıcaklığında katı haldedirler ve metal içine dalıcı bir çanla verilirler.

Klor ve metalik klorürler bazen döküm yapısını genleştirme eğilimindedirler.

Bu gaz giderici maddelerin kullanılışı sırasında (klorun) çok sıkı emniyet tedbirleri almak gerekir. Çünkü zehirli ve korozif dumanlar yayarlar. Çinko klorürün kullanılması daha az tehlikelidir, ancak bunun kullanılması sırasında daha sonra izah edilecek olan bazı şartların çok iyi tesbit edilmesi gerekir(Erdaş, 1974).

### 13.2.3.2 Azot Üfleme ile Gaz Giderme

Alüminyumda en çok kullanılan yöntem azot üflemedir. Azot üfleme alüminyum alaşımlarında çözünmüş gaz ve oksitleri temizlemede kullanılır.

Azot, 750 °C altında pratik olarak nötr olup yalnızca fiziksel yoldan etki eder. Yararlılığı çoğunlukla saflık derecesine ve metal içine verilmiş şekline bağlıdır. Oksijenden arınmış



olmalıdır. Çünkü, gaz kabarcıklarının etrafında alümin teşekkül ederek çözülmüş hidrojenin metalde yayınmasını önler.

Azot, klorla veya klasik tuzlu yıkama maddeleri ile beraber kullanılır ki, üfleme sırasında oluşan  $AlCl_3$  yüzeyde metalce zengin empürüteleri çözer. Azot - klor karışımları klordan daha az zehirli ve azottan daha faydalıdır.

Azot ancak  $760\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde teşekkül eden alüminyum nitrürün bilhassa tane sınırlarında iki çeşit etkiye sebep olabilir:

- a) Nitrür, gren büyümesini önleyebilir ve küçük taneli bir yapıya sebep olur.
- b) Büyük miktarlarda ise alüminyum nitrür çökeleği tane sınırı çatlamasına yol açabilir. Bu ikinci şık bilhassa dökme çelikler için geçerlidir.

Yüzeydeki oksit filmi metali atmosferden ve daha fazla hidrojen emmeden korur. Oksit filminin bu görevine metal yüzeyinden çıkıp yayılan ve yüzeyi bir örtü gibi örten atıl gazda yardım eder. Burada en çok dikkat edilecek hususlardan biri de kuru azot kullanmaktır. Çünkü nem eriyiğin hidrojen miktarını daha da artırır. Gaz temizleme işlemi fırında veya döküm sırasında yapılabilir. Fakat, döküm anına daha yakın olup eriyiğin tekrar hidrojen emebilme zamanını azaltacağı için gaz temizleme işlemi döküm potasında tercih edilir.

Gaz temizleme işlemi için gerekli teçhizat şunlardır:

- Kuru azot tüpü,
- Regülatör,
- Debi sayacı,
- Grafit flakslama tüpü,

Grafit flakslama tüpünün ucuna gözenekli bir x grafit yerleştirme veya değişebilen delikler açmak gerekir. Ucuna gözenekli grafit yerleştirilen tüp bir çok hallerde tercih edilir. Çünkü, bu şekilde gaz çok küçük kabarcıklar halinde verilip, etkin temas yüzeyi fazlalaştırılır. Hem de bu sayede etrafa sıçratma olmadan daha yüksek gaz akımı sağlamak mümkündür. Grafit tüpünü eriyiğe sokmadan evvel iyice ısıtıp nemini kaçırmak ve sonra da eritme potasının dibine temas edinceye kadar daldırmak lazımdır.

Mümkün olsa, gaz temizleme işlemini potadaki metal erir erimez az miktarda azot vererek

başlatmak tercih edilir. Gaz temizleme işlemini ateşleme devam ederken yapmak pratik olmuyorsa bu işlemi pota fırının içindeyken yapmalıdır. Şu da hatırlanmalıdır ki, bir çok fırında; fırın duvarlarından gelen ısı, alüminyum bazlı alaşımların sıcaklığını arttırmaya yeterlidir. Bu bakımdan gaz alma işlemine istenen döküm sıcaklığının daha altında başlamak gerekir.

Azot enjeksiyon oranı esas olarak kullanılan tüpün tipine, metal derinliğine, sıcaklığına ve bileşimine bağlıdır. Genel olarak, istenilen gaz hacmini metal içinde minimum zamanında geçirmek için sıçramaya sebep olmayacak maksimum enjeksiyon oranı uygulanmalıdır. Yüzeyde oksit filmini aşağıya taşımak için yüzeyde sadece çok hafif yuvarlama hareketi görülmelidir.

Azot ile gaz alma işlemi çözülmüş gazlardan dolayı olan, gaz boşluklarını giderir. Bu işlem alüminyum bazlı bütün alaşımlar için geçerlidir. Yalnız muhtemelen Ca ve Mg ihtiva edenler için bu işlemin etkinliği kesinlikle söylenemez.

Gaz alma işlemi için klor ve azot gazlarının mukayesesinde esas noktalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Klor paslandırıcı, aşındırıcı ve zehirlidir. Bununla beraber uygun tedbirler alarak bu dezavantajlar, ucuzluk ve kimyasal aktifliği gibi avantajlar sayesinde minimuma indirilebilir.
2. Klorun tane yapısının büyüklüğüne dair iddialar mevcuttur. Halbuki azot tane yapısını etkilemez. Bununla beraber gren büyüklüğü bor, titanyum ve zirkonyum gibi maddelerle kontrol edilebilir.
3. Klor gazını kullananlar, bu gazın oksitlerle reaksiyona girerek ve bunları yüzeye çıkararak daha temiz eriyik temin ettiğini iddia etmektedirler. Azot atıl bir gaz olmasına rağmen o da oksitleri mekanik bir işlemle yüzeye çıkarır.
4. Klor gazı alüminyum klorür teşekkül etmesine yol açar ve klorun azottan daha ağır olması bir avantaj sayılmaktadır. Çünkü metal yüzeyi böylelikle daha etken bir şekilde örtülüp hidrojen emmesi ödenmiş olur fakat bu avantaj, azotla birlikte metal yüzeyinde uygun bir örtü maddesi kullanıldığında, ortadan kaybolur.
5. Bazı durumlarda azotla nitrür teşekkülü ihtimali vardır. Fakat bu bileşimlerin eriyiğin sıcaklığındaki çözünürlükleri sıfırdır ve yüzeye taşınırlar.
6. Klor, özellikle alüminyum ile magnezyum alaşımlarında istenmeyen Ca ve Na gibi yabancı maddeleri kimyasal olarak temizler. Azot tek başına bu işi yapamaz. Fakat bir katkı maddesi

ile beraber kullanıldığında aynı derecede etkili olabilir.

#### 13.2.4 Gaz Kabarcığı Oluşumu ile Gazların Giderilmesi

Sıvı metallerde erimiş gaz miktarını azaltmak için ticari olarak değişik teknik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların hepsi, bir gazın erime miktarı o gazın kısmi basıncının azalmasıyla azalır prensibine dayanır. Vakumda ergitme, vakum altında gaz giderme ve asal gazlarla gaz giderme gibi birçok yöntem, yukarıdaki prensibe dayanan eriyikteki gaz miktarını azaltma yöntemleridir. Bunlardan farklı bir teknik ise gaz meydana getiren elemanı başka bir elemanla birleştirerek gayri safiyet halinde çöktürmektir.

Vakumda ergitme ve vakum altında gaz giderme, metal içindeki gazları ortadan kaldırmada hızlı ve etkili yöntemlerdir. Vakum altında gaz gidermenin vakumda ergitmeden tek farkı, metalin açıkta ergitilmesinden sonra vakuma maruz bırakılmasıdır. Verimin en iyi bir şekilde olması için, gazın sadece eriyik yüzeyinden dışarı yayılması değil, aynı zamanda sıvı eriyik içinde oluşması istenir.

Bu gaz kabarcıklarının, oluşumu için metal üzerindeki sıvı metal yüksekliğini azaltmak önemli bir konudur. Bu durum, dökerek gaz giderme yoluyla (metali vakum altında dökme), büyük bir sıvı metal banyosundan az miktarda bir metal alıp vakuma maruz bırakmak ve bu yöntemi tekrarlamakla ve eriyiği kuvvetle çalkalamakla gerçekleştirilebilir.

Erimiş olarak gaz bulduran bir sıvı metal vakuma maruz bırakılırsa, kabarcık içindeki gaz basıncının dış kuvvetleri dengeleyecek kadar yeter derecede yüksek olması halinde kararlı olacaktır. Bu dış kuvvetler sıvı - gaz yüzey enerjisi, sıvı metalin yükseldiği ve ortam basıncıdır. Böylece, kararlı bir kabarcık için,

$$P_g = P_0 + p_L g_r h + \frac{2\sigma_{g_L}}{r} \text{ dir.}$$

$P_g$  : Kabarcık içindeki toplam gaz basıncı

$P_0$  : Ortam basıncı

$p_L g_r h$  : Sıvı metalin yüksekliğinden gelen basınç

$\sigma_{g_L}$  : Kabarcık içinde kabarcık - sıvı eriyik ara yüzey enerjisinden ileri gelen basınçtır.

Kabarcık içindeki gazın tek bir elemandan meydana geldiği ve etrafındaki metal içinde

bulunan gazlarla dengede olduğu kabul edilirse,  $P_g$ , termodinamik bağıntılara göre hesaplanmış gaz basıncını verir. Kabarcıkların birkaç mikrondan büyük olması halinde yüzey enerjisi terimi ihmal edilebilir. Özellikle çelik gibi ağır metallerde metal yükseldiğinden doğan basınç, kabarcık oluşumunu önleyen önemli bir faktör olarak görünür.

Küçük kabarcıklar için son derece yüksek basınçlara ihtiyaç vardır. Dolayısıyla, sıvıda katının çekirdeklenmesinde olduğu gibi, bir kabarcık çekirdeklenmesi problemi vardır. Saf su ve diğer sıvılar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, heterojen çekirdeklerin tesirli bir şekilde olmaması halinde kabarcık oluşumuna karşı çok büyük bir engelin mevcut olduğunu göstermiştir. Sıvı haldeki metallerde aşırı gaz doymasının olduğuna dair geniş kanıtlar bulunmaktadır. Oksit ve diğer kalıntıları kaldırmak amacıyla filtre edilmiş alüminyum alaşımlarında, katılaştırma esnasında büyük miktarda hidrojen aşırı doyması bulunmuştur. Fakat kalıntıların bulunması halinde aşırı doymanın çok daha az olduğu saptanmıştır.

Metallerin gazını gidermede kabarcık çekirdeklenmesinden kaçınmak için bir yöntem sıvı içinden asal bir gaz geçirmektir. Bu yöntem çoğunlukla havada ergitilen demir olmayan alaşımlar ve bir dereceye kadar demir ve bakır alaşımlar için kullanılır.

Bir çok farklı metalde araştırmacıların bulduğu sonuçlar, gaz giderme hızının bazen sıvı içindeki veya metal - kabarcık ara yüzeyindeki gaz nakil hızıyla sınırlı olduğunu göstermektedir. Alüminyumda, asal gazlar içinde bulunan su buharı gaz giderme hızını önemli miktarda yavaşlatır. Buna sebep kabarcık etrafında oluşan oksit filmidir. Asal gazlara yapılan klor ilavesi gazın giderilme hızını artırır ; klor gazı muhtemelen oksit filmi kırar veya eritir. (Chen, 1995b)

### 13.2.5. Gaz Giderme Yöntemleri

Alüminyumdan gaz gidermek için birkaç yöntem mevcut bulunmaktadır. En basit yöntem; metalin daha düşük sıcaklıklarda belli bir zaman boyunca bekletilerek, hidrojen çözünürlüğünün daha düşük olduğu bu sıcaklıkta doğal olarak gaz gidermenin sağlanmasıdır. Döküm koşullarının da, katılma esnasında hidrojenin kendiliğinden eriyikten dışarı edilmesini sağlayacak tarzda olması, arzu edilen bir durumdur. Fakat ne var ki, bu sayılanların hiçbirini sürekli olarak yapmak mümkün değildir.

Temkinli bir gaz giderme yapılarak başarıya ulaşabilmek için şu yollar kullanılabilir;

- Gaz tasfiyesi veya gaz fişkırtılmasıyla
- Tablet eritken kullanımıyla
- Mekanik karıştırıcıyla

### 13.2.5.1 Gaz Tasfiyesi

Ergimiş alüminyum alaşımlardan gaz gidermenin en kolay yolu, bir tüp veya boru içerisinden tasfiye gazının veya gaz karışımının eriyik içine içitilmesidir. Kullanılan tüpler; seramik kaplı döküm demir veya çelik boru, veya daha sıkça kullanılan grafitten ibarettirler.

Tasfiye gazı, hidrojenin daha düşük olan kısmi basıncından faydalanarak, eriyik içerisinde kendi kabarcığına hidrojeni katmaktadır. Bu kabarcık büyüyerek eriyik içerisinde yükselmekte ve atmosfere açılarak eriyikten ayrılmaktadır.

Tasfiye gazları, soygaz (argon veya nitrojen) veya tepkin gazlardan (klorin veya freon 12) biri olabilmektedir. Tepkin gazlar %10'dan düşük konsantrasyonlarda soygazlar ile birlikte kullanılırlar. Bu tepkin gazlar, eriyik ile bir reaksiyona uğrarlar. Klorin, ergimiş alüminyum ile tepkimeye girerek daha sonradan tasfiye gazı görevini üstlenecek olan gaz halindeki  $AlCl_3$ 'ü oluşturur. Freon'un kullanımı halinde ise; florin, eriyik ile tepkimeye girerek  $AlF_3$ 'ü oluşturur.

Klorin ve florinin her ikisi de, kabarcık yüzey gerilimi üzerinde ve eriyikten katışkuların ıslatılarak ayrılmasını sağlamada oldukça olumlu etkiye sahiptir. Bu nedenle, bu iki elementin kullanımı ile sağlanan tasfiye gazı sisteminin kullanımı ile, gaz giderme sistemlerinde daha çok verim elde edilmesi umulur.

Klorinin kullanımı oldukça verimli olmasına rağmen, çevreye zararlı fabrika atıkları oluşumuna neden olmaktadır. Bu yüzden sürekli olarak bir soygaz ile kullanılmaktadır.

Nitrojen, klorin ve karbonmonoksit (CO) karışımı ile gerçekleştirilen gaz giderme işlemleri oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu üç gaz karışımının veya freonun kullanımı ile, klorinin tek başına kullanılmasına nazaran veya klorin ve bir soygazın beraber kullanılmasına nazaran, daha az gaz emilimi yaptığı görülmektedir.

Sonuç olarak; klorin veya klorin ihtiva eden gaz karışımlarının kullanılması bu tip bir gaz gidermede daha yararlı olacaktır.

### 13.2.5.2 Vakum Eritkenlemesi

Bu yöntem Kuzey Amerika'da ticari amaçla kullanılmamasına rağmen, Avrupa'da kullanılmaktadır. Elde edilen en güncel sonuçlar bu tekniğin daha yararlı olduğunu göstermektedir. Büyük miktarlardaki (45 - 50 ton) eriyiklerde, bir alüminyum alaşım serisi %99 5Al Al-0 5Mg-0.5Si ve Al-5Zn- 1.1 Mg-0.3Cu) 30 dakika boyunca gözenekli bir kaçtan geçirilirken argon ile eritkenlenerek artım gerçekleştirilmektedir. İşlem süresince basınç 7 Pa (0,001 psi) değerinde sabit tutulmaktadır.

Sonuçta, hidrojen konsantrasyonu üç alaşım için ; 0,16'dan 0,11 ppm'e, 0,24'den 0,12 pm'e ve 0,17'den 0,13 ppm' e düşmektedir.

Bu yöntemin göze çarpan en büyük avantajı; çok az miktarda cüruf oluşturmasıdır.

### 13.2.5.3 Hegzakloretilen'le Gaz Giderme

Dökümhanelerde başvuru olan gaz giderme yöntemlerinden en sık kullanılanı hegzakloretilen ( $C_2C_6$ ) tabletlerinin kullanımı olduğu düşünülmektedir. Tablet eriyik içerisine girdiğinde ayrılarak gaz halindeki  $AlCl_3$ 'ü meydana getirmektedir.  $AlCl_3$  , bir yandan eriyik içerisinde yukarı doğru olan yükseliş hareketini devam ettirirken bir yandan da hidrojen gazlarını toplamakta ve eriyik yüzeyine ulaştırarak atmosfere serbest bırakmaktadır. Bu tabletler ayrıca tuz eritkeni de içermektedirler. Tuz eritkenler, eriyik içerisindeki ıslak oksit katışımlarla ilişkili olan hidrojenlerinde artırılmasına yardımcı olmaktadır.

Tam anlamıyla yararlı olabilmesi için, tabletlerin tamamen kuru olarak saklanması ve temiz ve kuru olan bir alet ile eriyiğin içine daldırılması gerekmektedir. Daldırma işlemi eriyiğin en dibine kadar yapılmalı ve eriyik yüzeydeki kabarcıklardan dolayı oluşan hareketlilik durulana kadar en dipte tutulma vaziyeti korunmalıdır. Bu işlem belirtildiği şekilde yapılmazsa, daha az yoğunluğa sahip olan tablet, eriyik yüzeyine çıkacak ve bu seviyede yüzecektir. Böyle bir durum hasıl olduğunda, az miktarda veya hiç bir şekilde gaz giderimi yapılmış olmayacaktır.

Dökümcülükte kullanılan bu tabletlerin, daha çok küçük ölçekli fırınlarda ve daha küçük kepçelerle kullanılacağı düşünülse de, bu tabletleri herhangi bir büyüklükteki eriyiğe uygun ebatlarda bulmakta olasıdır. Doğru kullanıldıklarında,  $C_2C_6$  oldukça verimli bir gaz giderme



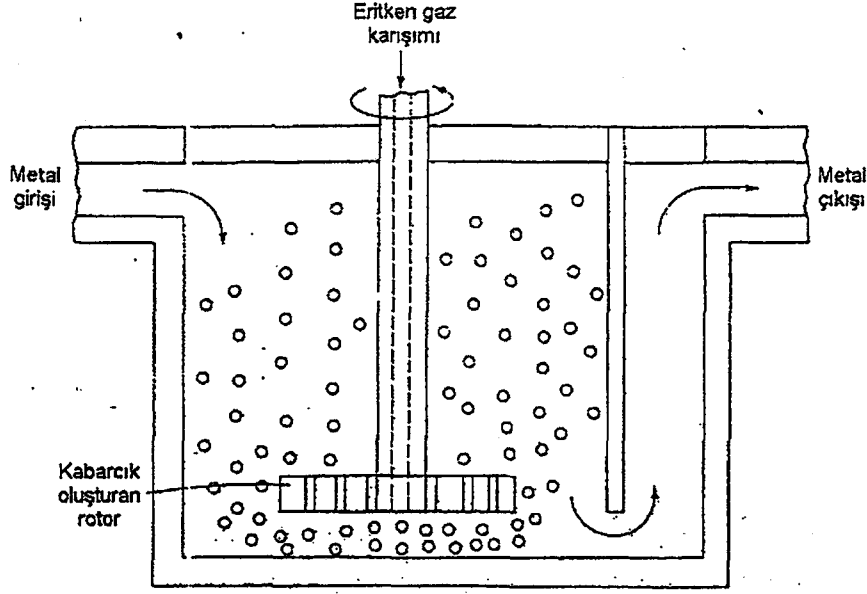
işlemi gerçekleştirmektedir. Ancak, özellikle uygunsuz kullanımdan kaynaklanan, nemli tabletlerin zehirli koku oluşturmaları ve daha fazla zararlı atık oluşturması nedeniyle, çevreyle olan münasebetlerde karşılaşılan zorluklar dökümhaneleri bu tabletlerin sürekli kullanamamasına sebebiyet vermektedir.

#### 13.2.5.4 Dönel Sistemle Gaz Giderme

Eritken tüpü veya çubuğu kullanılarak yapılan gaz giderme işlemleri basit ve bir bakıma etkili olmalarına rağmen yeterli verimliliğe sahip değildirler. Bu yöntemin olabirliği, oluşturulan kabarcığın büyüklüğüne ve eriyik ile kabarcığın temas yüzeyinin genişliğine bağlıdır. Bazen büyük kabarcıklar elde etmek mümkün olabilmekte ve hatta eritken çubuğu veya borusu kullanılarak küçük karıştırma çalkalanmaları elde etmek mümkündür.

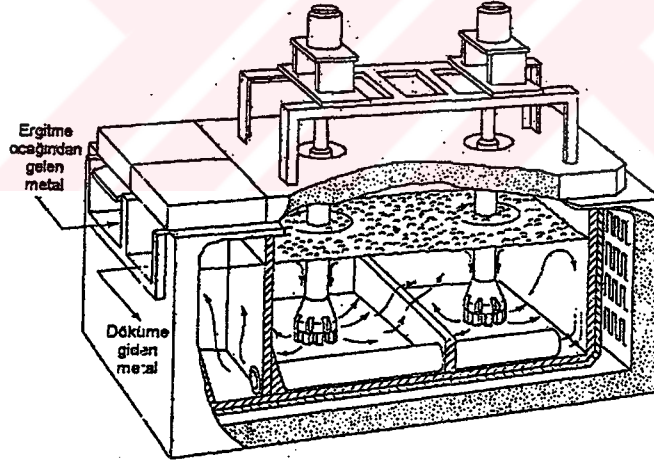
Elde edilmiş olan en çarpıcı gelişme ise dönel sistem sayesinde gaz enjeksiyonu ile gaz gidermedir. Bu sistem daha çok alüminyum sektöründe kullanılmaktadır.

Sistemin işleyişi, ertitme fırını ile kepçe arasında veya ertitme fırını ile döküm gravürü arasındaki yardımcı kapta gerçekleşmektedir. Şekil 13.5'de dönel sistemle gaz enjeksiyonu metodunun çalışma prensibi görsel olarak verilmeye çalışılmıştır. Resimden de anlaşılabilirceği üzere, bir kap içerisine giren eriyik metal dönel bir şaftın rotorundan yayımlanan gaz kabarcıklarının temasına maruz bırakılmakta ve bu kabarcıkların tüm eriyiğe tesir edebilmesi için de şaft döndürülerek karıştırılma işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Döndürme işlemi 300 ila 500 devir/dakika hızlarında gerçekleştirildiğinde kabarcıklar daha küçük ebatlara ayrılmaktadır. Elde edilen, daha fazla "yüzey alanı" / "hacim" oranı ile daha fazla temas yüzeyi sağlanmakta ve gaz giderme işleminin daha verimli olabirmesine imkan tanınmaktadır. Şekil 13.6'da sistemin tipik bir kullanımı görülmektedir.



Şekil 13.5 Dönel sistemle gaz enjeksiyonu metodunun çalışma prensibi (ASM Handbook, 1996)

Bu sistemlerin ebatları, ergiyük metal miktarına ve debisine bağlı olarak değişebilmektedir. Sistemde kullanılan gaz ise tek başına argon, nitrojen, klorin veya bu üç gazın karışımı olabilmektedir.



Şekil 13.6 Dönel Sistemin tipik bir kullanımı (ASM Handbook, 1996)

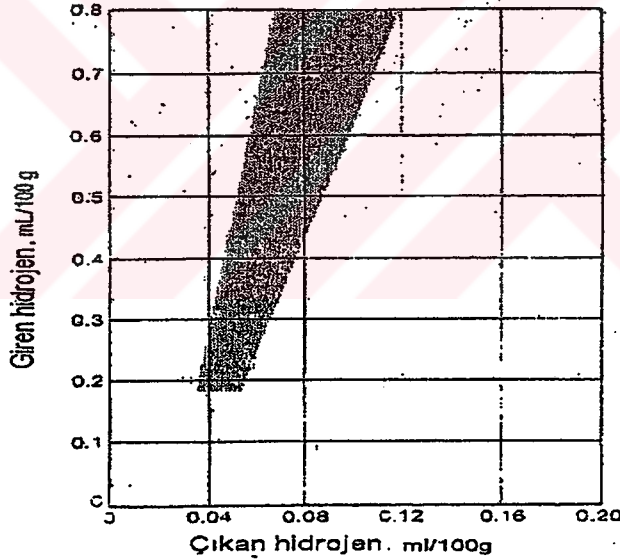
Ticari olarak bu sistem üzerinde geliştirilen ve en başarılı sonuçların ortaya konulduğu değer, yapı içerisinde kalan hidrojen miktarının 0.15 mL/100gr 'dan daha az olduğudur. Bu tür bir başarı tatmin edici boyutlardadır. Şekil 13.7'de bu sistemin kullanımı sayısında erişilen gaz giderme oranları görülmektedir.



Gaz giderme verimi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; eriyik metal bünyesindeki hidrojen miktarı, metal akış hızı, yardımcı kabin büyüklüğü, tahliye gazı akış hızı, karıştırılabilme kapasitesi ve alaşımın özellikleri (termodinamik faktörler ve kütle transfer katsayıları).

Son zamanlarda, dönel gaz giderme sistemlerinin bir yandan ebatları küçültülürken, diğer yandan da daha verimli sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Küçültme çalışmaları sayesinde, sistemler; pota veya kepçe içerisine adapte edilebilmektedir.

Sistem sabitlerinin bir kaç kombinasyonu mevcuttur. Bunlar; tahliye gazı hacmi, rotor çapının pota çapına oranı, türbülanssız akışı sağlayacak olan rotor devir hızıdır. Rotor çapının pota çapına oranı %20 ila %25 olması, 350 ila 450 devir/dakika'lık tur hızları, 18 ila 20 ft<sup>3</sup>/h'lik gaz akış hızları ideal değerlerdir. Rotor dizaynındaki değişimler bu oranların da değişimine sebebiyet verebilmektedir. Şekil 13.8'de, 180kg (400lb)'lik A357 alaşımına uygulanan; eritken tüpü yada çubuğu ile gaz giderme ve dönel sistemle gaz giderme sistemlerinin kıyası verilmiştir.



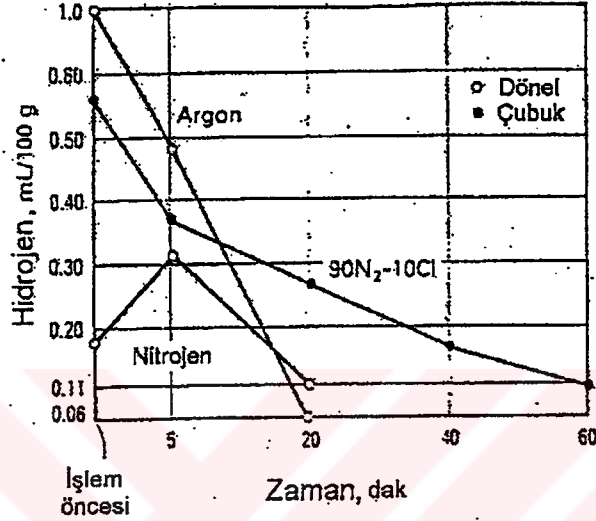
Şekil 13.7. Dönel gaz giderme sistemleriyle elde edilen başarı(ASM Handbook, 1996)

### 13.2.5.5 Diğer Mekanik Gaz Giderme Sistemleri

Döngüsel gaz enjeksiyon pompaları da gaz giderme maksatlı olarak kullanılabilir. 600 ila 1100 devir/dakika'lık pervane hızları, gaz kabarcıklarını bölerek daha ince olmalarını sağlamaktadır. Bu yöntem kullanılarak, büyük ergitme ocaklarında, eriyik daha ocağın içerisinde iken tahliye gazları enjekte edilebilmekte ve böylece fırın ertesinde ek bir donatıma ihtiyaç kalmamaktadır. Bu tarz bir çalışma ile, daha etkin gaz giderme ve daha az enerji

sarfıyatı mümkündür. Büyük ergiyik miktarlarında (45-50 ton) dahi, hidrojen miktarı 0.15 mL/100g seviyelerine çekilebilmektedir.

Aynı amaç için kullanılan diğer bir mekanik sistem ise, girdap tankıdır. 'da, tank içerisine alınmış olan metale nozullar (memeler) yardımıyla tahliye gazlarının nasıl iletildiği gösterilmiştir. Şekil 13.10'da ise bu tip bir işlemin kullanımı ertesinde elde edilen sonuçları göstermektedir.



Şekil 13.8 ISOkg (4001b)'lik A357 alaşımına uygulanan; eritken tüpü yada çubuğu ile gaz giderme ve dönel sistemle gaz giderme sistemlerinin kıyaslaması (ASM Handbook, 1996)

### 13.2.5.6 Gözenekli Tıkaçla Gaz Giderme

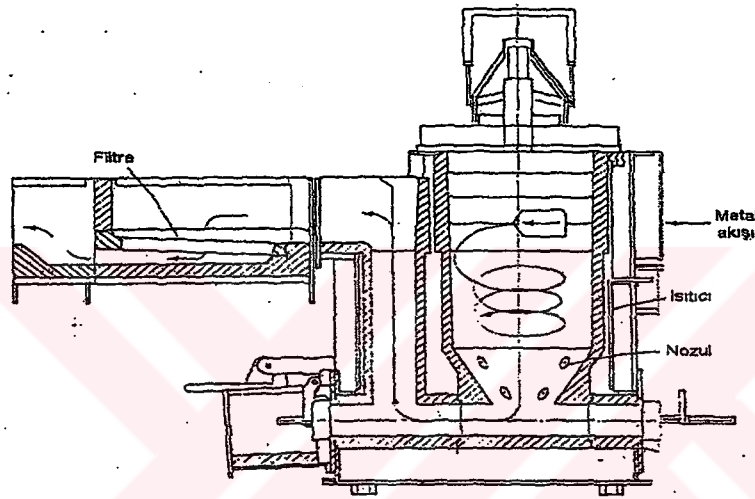
İnce taneli taşıyıcı gazı kabarcığı oluşturarak hidrojeni eriyikten uzaklaştırmanın diğer bir yolu ise, eritken tüpünün sonuna gözenekli tıkaç koymaktır. Bu gözenekli tıkaçlar grafitten veya seramikten yapılmış ince gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu tıkaçlar döküm kepçelerinin dibine, fırınlara veya yardımcı işlem kaplarına montaj edilebilirler. Tıkaç yapısındaki gözeneklerin küçük tutulması sayesinde daha küçük tahliye gazı kabarcıklarının oluşmasına olanak verilmiş olur.

Bu sistemdeki gaz giderme verimi; tahliye gazı kabarcıklarının eriyik içerisinde kalma sürelerine, gaz akış hızına, eriyik derinliğine ve kap ebatlarına bağlıdır.

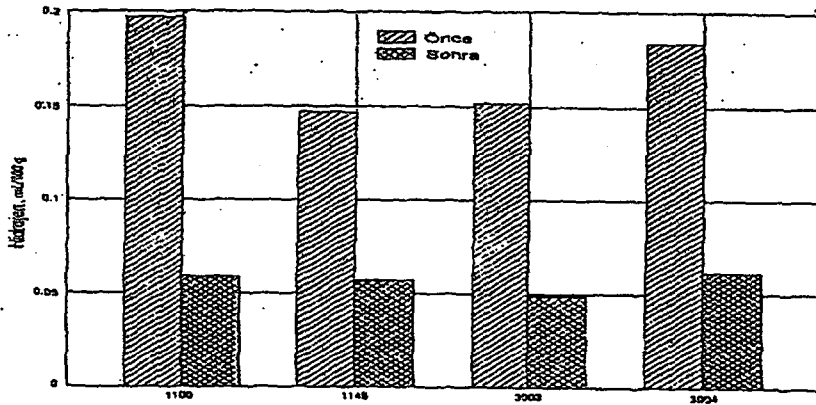
Gözenekli tıkaç metodu dönel sistemle gaz giderme yöntemine göre çok daha ekonomiktir. Çünkü dönel sistemle gaz gidermede kullanılan rotor ve diğer ekipmanlar belli periyotlarla yenileri ile değiştirilmesi icap etmektedir.

Şekil 13.11'de gözenekli tıkaç, çubuk ve dönel sistemlerdeki gaz akışını karşılamaktadır. Gözenekli tıkaç, çubuğa göre çok daha verimli bir çalışma sergilemektedir ve arzu edilen gaz gidermeyi ayarlamak için kap ebatları, gaz akışı ve eriyik içerisindeki ikamet süreleri ile oynamak yeterlidir.

Son zamanlarda, tanıtılan bir sistemde, filtrasyon ve gaz giderme aynı hat üzerinde ve gözenekli tıkaçtan istifade edilerek yapılmaktadır. Şekil 13.12'de görülen böylesi bir sistemin kullanımı ile eriyik yapısı içerisinde; metal akış hızı 40 kg/dakika (90 lb/dakika) olduğunda 0,06 mL/100gr hidrojen, metal akış hızı 330 kg/dakika (725 lb/dakika) olduğunda ise 0,14 mL/100gr hidrojenin geride kalması sağlanabilir.

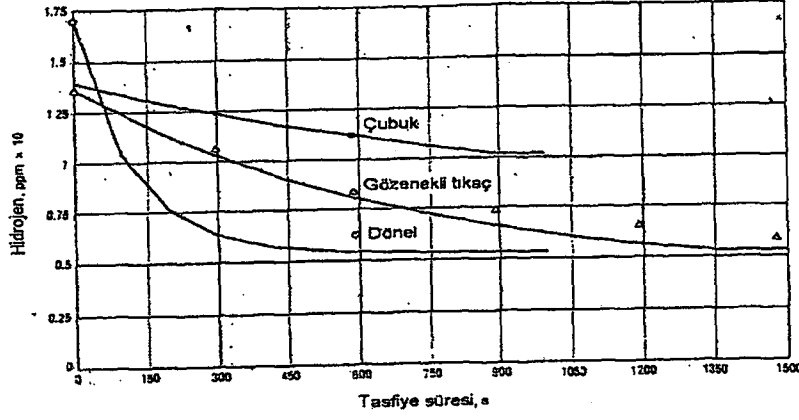


Şekil 13.9 Tank içerisine alınmış olan metale nozullar yardımıyla tahliye gazlarının iletim şekli (ASM Handbook, 1996)

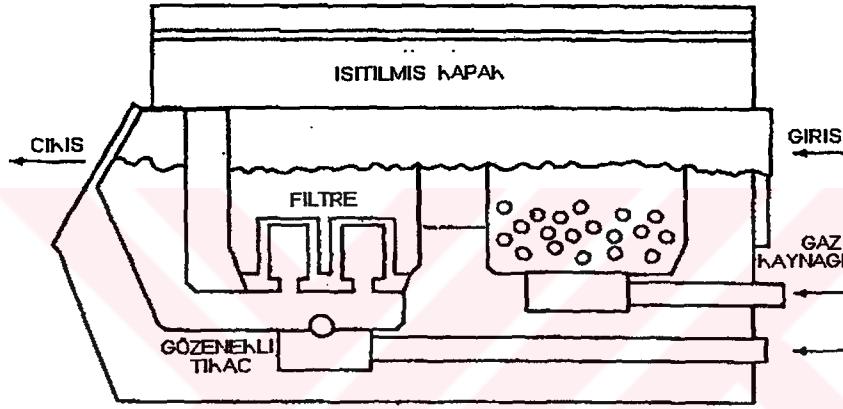


Alüminyum Alaşımı

Şekil 13.10 Nozul yardımıyla metale tahliye gazlarının iletim işleminin kullanımı ortesinde elde edilen sonuçlar (ASM Handbook, 1996)



Şekil 13.11 Gözenekli tıkaç, çubuk ve dönel sistemlerdeki gaz akışını karşılaştırması (ASM Handbook, 1996)

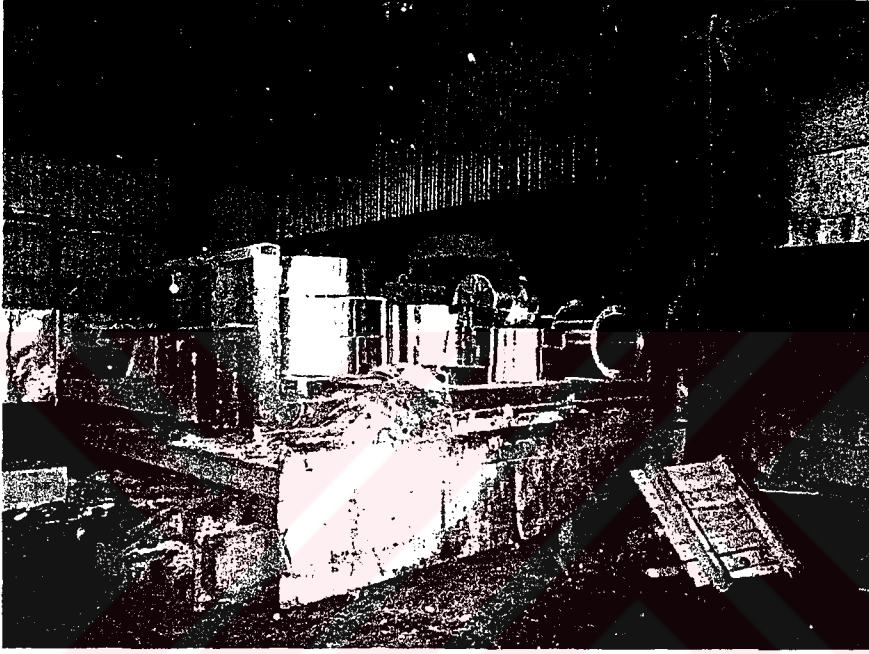


Şekil 13.12 Filtrasyon ve gözenekli tıkaçın kullanımını hali (ASM Handbook, 1996)

## 14. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 14.1. Alüminyum Hurdaların Temini ve Değerlendirilmesi

ASSAN Alüminyum'da, döküm ve imalat neticesi meydana gelen cüruf, kırpıntı, talaş ve işlem artıkları toplanır ve büyük bir kısmı, kalitesine göre; yeniden ergitilir, tasfiye olunur veya her iki işleme birden tabi tutulur (Şekil 14.1).



Şekil 14.1 Yarı mamul şarj arabası

Geri kazanımın temel prensibi, toplanılan hurdayı mümkün olan en saf hale getirmek değil; alaşım içeriğine uygun hammadde üretmektir. Bu sebeple "ASSAN Alüminyum"da, alüminyumun geri kazanımı ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi ile ilgili en önemli konular, hurdaların toplanması, seçimi, sınıflandırılması, yabancı maddelerden ayrılması ve en yakın alaşıma uyacak şekilde gerekli ilaveler veya eksiltmeler yapılarak uygun alaşımın üretilmesidir.

Alüminyum hurdalar, çok çeşitli olduğu için, geri kazanım için tek bir işlem veya yöntemin kullanılması olanaksızdır. Ancak seçilen işlem ve yöntemlerin ekonomik ve pratik olma zorunluluğu vardır. Hurda alüminyumun geri kazanım işlemleri genel olarak ergitme öncesi ve sonrası işlemler olmak üzere ikiye ayrılır.

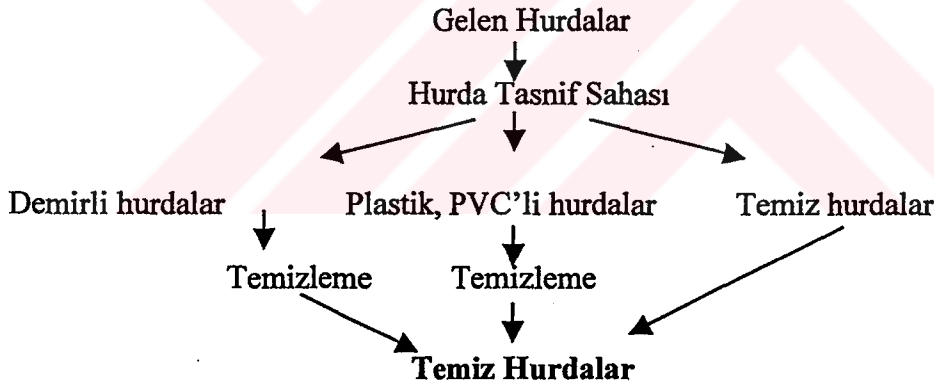
### 14.1.1 Alüminyum Hurdaların Ergitme Öncesi İşlemleri

Ergitme öncesi işlemler büyük sabır, dikkat ve özen gerektirir. Bu sebeple emek yoğun bir işlemler süresidir. Genel olarak alüminyum hurdaların ergitme öncesi işlemleri sınıflandırma, kırma ve ayırma (demir, PVC, diğer renkli metaller vb. istenmeyen parçaların alüminyumdan ayrılması), yağ, boya ve lak giderme, yüzey küçültme ve ön ısıtma olarak beş kısma ayrılır:

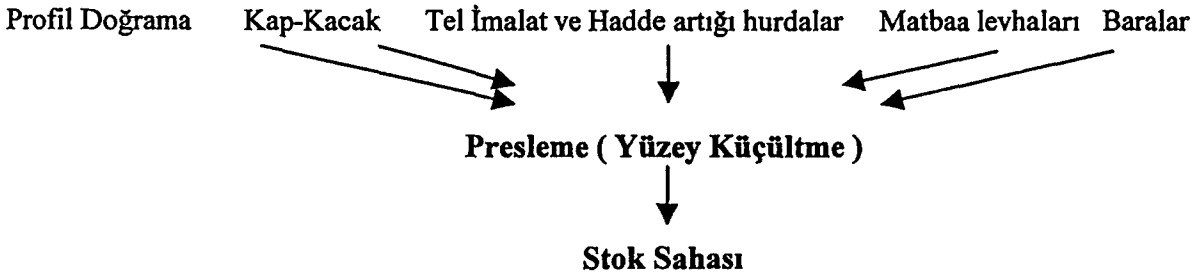
- **Sınıflandırma**

ASSAN Alüminyum'da sınıflandırma, genel olarak benzer kullanım amacıyla kullanılmış hurdaların benzer alaşım içeriğine sahip olması esasına uygun olarak gruplandırmaya dayanmaktadır. Ayrıca yapılan bu sınıflandırmada alaşım içeriğinin yanında parça büyüklükleri de baz alınır.

Geniş bir hurda stok sahası içindeki çok miktardaki hurdadan profillerin, folyo atıklarının, mutfak eşyalarının her birinin ayrı bir bölüme toplanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 14.2'de basit bir sınıflandırma işlemi akış şeması görülmektedir.



İçerdikleri alaşım elementleri bakımından yaklaşık aynı olabilecek hurdalar



Şekil 14.2 Basit bir sınıflandırma işlemi akış şeması (Taptık, Aldın, 1991)

- **Kırma ve Ayırma**

Ergitme öncesi işlemleri içinde en kolay gibi gözükse de en zor bölümdür. Kullanım amaçlarına göre içinde demir ve demir dışı pek çok bileşen içeren alüminyum hurdaların ergitme işlemi öncesi mutlaka bu bileşenlerden ayrılması gereklidir. Bu işlem gelişen teknoloji ve otomatizasyon sonucu kolaylaşmış gibi gözükse de ergitme sırasında pek çok soruna sebep olmaktadır. Hurdalar öncelikle kırıcı değirmende kırılır, ufalayıcılarla küçük parçalara ayrıldıktan sonra magnetik ayırıcılarla demirli kısımlarından ayrılır. Bu işlem sonucunda alüminyum hurdaların içerdiği demir oranı %0.2 değerlerine kadar düşürülürse de magnetik olamayan bakır, pirinç gibi diğer metalik kısımlar alüminyum hurdalarla birlikte ergitme sistemine gitmektedir. Ancak, gelişen teknolojiyi önde takip eden ASSAN Alüminyum'da, lazer tahrikli optik emisyon spektroskopisi ile ayırım işlemi emek yoğunundan makine yoğununa dönüşmüştür.

- **Yağ, Boya ve Lak Giderme**

Alüminyum ürünlerinde estetik veya korozif amaçlı olarak bulunabilecek boyaların, herhangi bir üretim işlemi sırasında yüzeyinde bulunabilecek yağların veya gıda sanayinde metalle, gıda malzemesinin etkileşimini kesmek amacıyla kullanılan lak ve benzeri organiklerin ergitme işlemi öncesinde alüminyumdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Aksi halde hidrokarbon gibi istenilmeyen pek çok bileşik sıvı alüminyumun bünyesine girerek gaz giderme işleminin uzamasına ve kullanılan gaz giderici maddenin artışına sebep olacaktır.

Bu sebepler de doğal olarak fırın içindeki sıvı alüminyumun oksitlenerek kaybına yol açabileceği gibi, fırın dışına çevre için tehlikeli daha fazla atık gazın verilmesine neden olacaktır. Çevre bilinci yüksek ASSAN Alüminyum fabrikasında bu nedenlerle özellikle boyalı hurdalar kullanılmamaktadır.

- **Yüzey Küçültme**

Folyo, ince tel, plaka, talaş gibi geniş yüzey alanına sahip parçacıkların yağ ve demirli malzeme içermemesi koşuluyla, ergitme sırasında yanma kaybını önlemek amacıyla hidrolik preslerle sıkıştırılarak hacimleri azaltılır.

İşlem sonucunda elde edilen briketlerin yoğunluğu yaklaşık  $1.2-1.5 \text{ gr/cm}^3$  civarındadır.

- **Ön Isıtma**

Bu işlem sayesinde ergitilecek hurdaların ergitme öncesinde nemi giderildiği gibi, ergitme sistemi çevresinde çalışmayı zorlaştıran duman oluşumu engellenir. ASSAN Alüminyum'da



ön ısıtma sistemleri, baca gazlarından atılan atık ısının bir eşanjör yoluyla reküperatif sistem kullanılmasıyla, ek bir enerji harcaması yapmadan çalışmaktadır.

Böylelikle enerjinin daha efektif bir şekilde kullanımına olanak sağlanmaktadır. Fakat bu işlemin uygulanıp uygulanmaması seçilmiş olan ergitme sistemine bağlıdır. Örneğin döner fırınlarda, fırını terk eden baca gazlarının sıvı tuz banyosu üzerinden geçerken yoğun tuz buharı ile yüklenmesi sebebiyle ön ısıtma yapılamazken, ASSAN Alüminyum'da reverber fırın kullanımı halinde bu işlem başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

#### **14.1.2 Alüminyum Hurdaların Ergitilmesinde Kullanılan Ergitme Sistemleri**

Alüminyum hurdaların geri kazanımında hurdaların niteliklerine uygun ergitme sistemi seçilmelidir. Bu konuda yapılabilecek bir hata geri kazanım verimini direkt olarak etkiler. Kullanılan fırınlarda aranan başlıca özellikler ergitme veriminin yüksekliği, ergitmeyle ilgili parametrelerin kontrol edilebilme olanağı, kolay ve hızlı şarj yapılabilme, kolay temizlenebilme gibi özelliklerdir. Bu amaçla ASSAN Alüminyum'da en çok reverber fırınları kullanılmaktadır.

##### **• Reverber Fırınları**

Reverber fırınları T-ingot şeklinde yarı mamul veya büyük boyuttaki alüminyum hurdaların, kısa sürede ergitilmesine olanak sağlayan yüksek sıvı alüminyum kapasiteli fırınlardır.

Reverber fırınlarının en büyük dezavantajı hızlı ergitmeye olanak sağlayan güçlü brülör sisteminin hurdaya direkt vurması halinde ergitme kayıplarını önemli oranda artırmasıdır. Bu sebeple bu tip fırınlarda küçük boyuttaki hurdalar sıvı banyoya daldırılarak kullanılmalıdır. Fırına girecek fazla hava yanmayı hızlandırırken, enerji kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Diğer yandan havanın az olması halinde tam yanma sağlanamadığı için yakıt sarfiyatı artacaktır. Ön ısıtılmış hurda şarjı da fırının ergitme verimliliğini arttıran önemli bir etkidir.

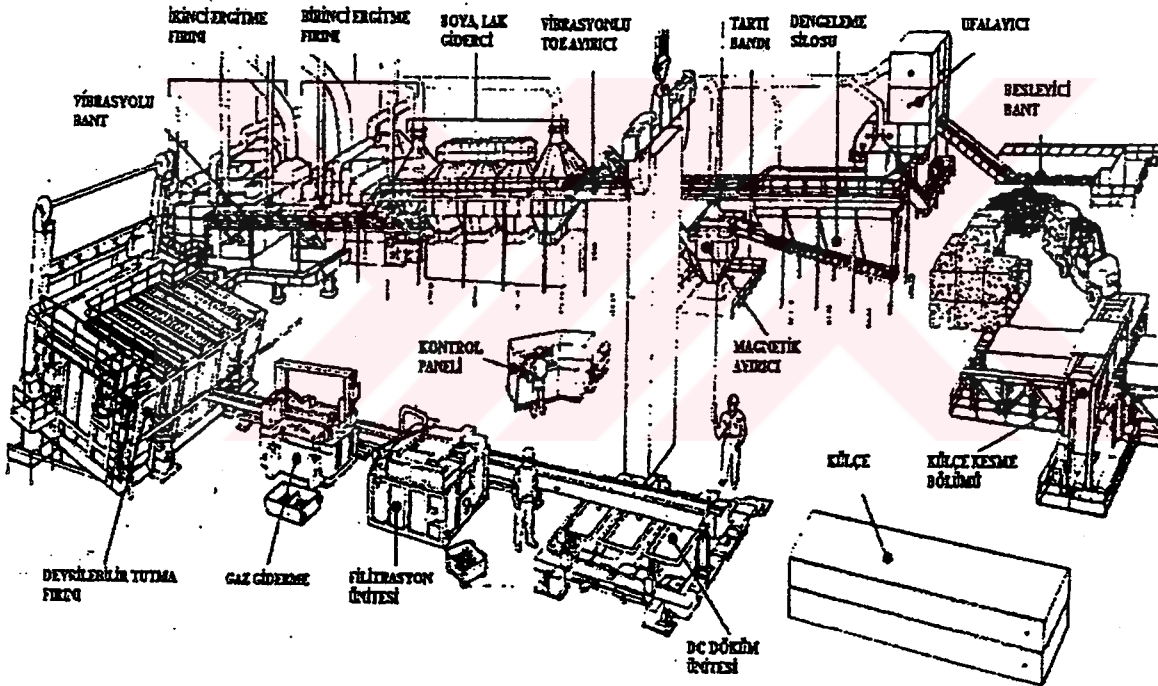
Reverber fırınları yakıtlarına göre fuel-oil yakıtlı ve LPG yakıtlı olmak üzere 2'ye ayrılırlar. ASSAN Alüminyum'da LPG yakıtlı reverber fırını kullanılmaktadır. Diğer yandan yapılan otomotizasyon çalışmaları sonucu fırın içi sıcaklık ve basınç kontrol sistemleri; hidrolik sistemleri sayesinde devrilebilme, rejeneratif sistemle yanma havasının ısıtılması ve



reküperatif sistemle şarjın ön ısıtılması gibi yenilikler sonucu firmanın verimliliği önemli ölçüde artmıştır.

### 14.1.3 Alüminyum Hurdaların Ergitme ve Alaşımlandırma İşlemleri

Alüminyum hurdaların gerek ergitme öncesi işlemleri, gerekse ergitme işlem ve prosesleri yeniden değerlendirilecek alüminyumun şekli, büyüklüğü, oksitlenme durumu, yağ ve kirliliği göz önünde bulundurularak tespit edilmektedir. Ergitme öncesi işlemlerde enerji ve zaman sarfiyatına sebep oldukları için, maliyeti düşürmek amacıyla işlemlerin eldeki hurdaların durumları göz önüne alınarak tek tek incelenmesi ve mümkün olduğu kadar azaltılması gerekir. Şekil 14.3'de alüminyumun yeniden değerlendirildiği ASSAN Alüminyum'un tesis şeması görülmektedir.



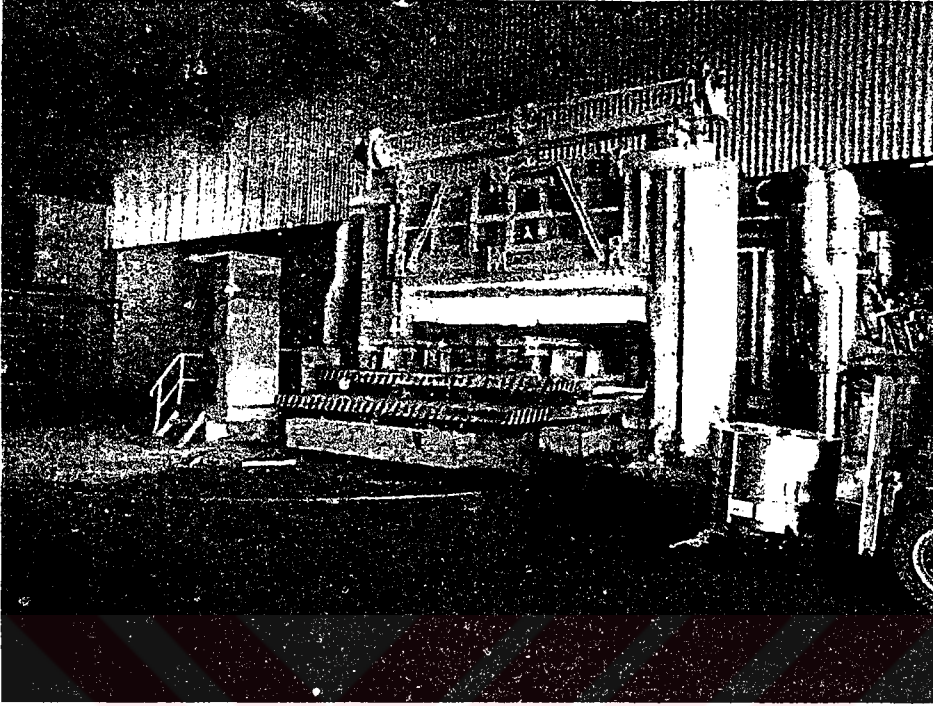
Şekil 14.3 Alüminyumun yeniden değerlendirildiği ASSAN Alüminyum'un tesis şeması

#### • Ergitme

Alüminyum hurdaların ergitme öncesi işlemlerinin tamamlanmasından sonraki aşama ergitmedir. Bu işlem ergitme öncesi işlemlerin bitiminden hemen sonra yeniden oksitlenmeye imkan vermemek amacıyla hemen yapılmaktadır.

ASSAN Alüminyumda ergitme işlemi gerekli hurda hazırlama işlemlerinden geçmiş hurdaların, ergitme fırınına yüklenmesi ve fırının ergitme için gerekli sıcaklığa çıkarılmasıyla

başlamaktadır(Şekil 14.4). Alüminyum hurdaların ergitilmesinde düşük ergime derecesine sahip cüruf yapıcılar (flakslar) kullanılır.



Şekil 14.4 Ergitme fırınının şarj edilirken ki hali

Cüruf yapıcılar değişen miktarlarda kloridler ve floridler karışımı olup, bazı hallerde karbonatlar ve sülfatlar da bu karışımlara ilave edilebilir. Bu karışımdaki her cins tuz metal banyosunda farklı derecede ekzotermik reaksiyon verir.

Ekzotermik reaksiyona giren klorid ve floridler oksit tabakalarını çözerler ve oksit kafeslerindeki küçük metal damlacıklarını birleştirerek büyük damlacıklar halinde cüruftan sızmalarına yardımcı olurlar.

ASSAN Alüminyum'a cüruf yapıcıların ergitilecek hurda şarjının içerdiği yağ, oksit gibi özelliklerine bağlı olmakla birlikte NaCl, KCl, CaCl ve kriyolit gibi tuzlar kullanılmaktadır. Bir cüruf yapıcıdan beklenen en temel özellikler ergimiş metal içerisinde çözünmemesi, düşük viskozite, yoğunluk ve ergime derecesine sahip olmasıdır.

Cüruf yapıcılar sıvı alüminyum içerisindeki oksitleri ve yabancı bileşikleri eriyikten dışarı çıkarırlar. Yalnız cüruf yapıcıların içerdiği tuzların genel olarak hidroskopik özellik göstermesi sebebiyle, fırının soğuması sırasında ortamdaki nemi toplayarak, fırın astarında

nemlenmeye sebep olurlar. Bu nedenle kullanımlarından hemen sonra cüruf yapıcı ve cüruflar fırından uzaklaştırılmalıdır.

Hurdanın içerdiği yabancı maddeler ve ergime sırasında sıcaklığın etkisiyle sıvı banyonun üst yüzeyindeki oksitlenme oluşan cürufun başlıca sebebidir. Alüminyum oksit ve diğer zararlı bileşikler sıvı alüminyumun içerisinde erimedikleri için, sıvı eriyik içerisinde asılı dururlar. Bu partiküllere kalıntı veya inklüzyon adı verilir. Ergitme sırasında oluşan bu istenmeyen bileşiklerin yoğunlukları sıvı alüminyumunkine oranla farklılıklar gösterir. Bu zararlı bileşiklerin ergimiş alüminyumdan ayrılması yoğunluk farkı sayesinde, yani bazı oksitlerin sıvı alüminyumun yüzeyine çıkarken, bazılarının da ağır oldukları için çamurumsu bir doku oluşturarak dibe çökmeleriyle mümkün olabilmektedir. Çizelge 14.1'de sıvı alüminyumda bulunabilecek oksitlerin özgül ağırlıkları görülmektedir.

Çizelge 14.1 Sıvı alüminyumda bulunabilecek oksitlerin özgül ağırlıkları(Reine,Looper, Resenthal, ,1993)

BİLEŞİK	Özgül ağırlık gr/cm <sup>3</sup> (20°C)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3H <sub>2</sub> O	2,42
Al	2,70
MgO	3,65
Mg	1,47
Si	2,40
SiO <sub>2</sub>	2,20-2,60
CuO	6,40
Cu <sub>2</sub> O	6,0

ASSAN Alüminyum'da hurdaların ergitme ve alaşımlandırma işlemlerinde bazı noktalara dikkat edilmektedir. Bunlardan en önemlisi hurdaların yağsız, temiz ve kuru olması ve sıcaklığın artmasıyla birlikte ortamda bulunabilecek gazların çözünürlüklerinin artması sebebiyle sıvı alüminyumun sıcaklığının gereğinden fazla artırılması önlenmelidir. Diğer yandan ergitilecek hurda fazla miktarda küçük parça içeriyorsa ergitme veriminin artırılıp, yanma payının azaltılması için bu parçaların sıvı banyo içerisine daldırılması işlemi uygulanmaktadır.

- **Alaşımlandırma**

Hurda alüminyumlar çok çeşitli alaşımlardan meydana gelirler. İkincil ergitmede alüminyum içerisinde genelde en çok karşılaşılan elementler magnezyum, silisyum, demir, çinko, bakır, mangan, kurşun, krom, kalay, sodyum ve kalsiyumdur.

Alaşımlandırma işlemleri için ASSAN Alüminyum'da, ergitme fırınına ilave olarak tutma fırınları kullanılır(Şekil 14.5).



Şekil 14.5 Tutma fırının girişi ve brülör kısmı

Doğru bir alaşımlandırma için ilk olarak ergitme fırınında rafinasyon ve gaz giderme işlemleri yapılmış sıvı alüminyumdan bir analiz alınır. Bu analiz sonucuna göre elde edilmek istenilen alaşım için azaltılması veya artırılması gereken alaşım elementleri miktarları saptanır. Daha sonra ergitme fırınından tutma fırınına yolluk sistemi vasıtasıyla sıvı alüminyum transfer edilir. Sıvı alüminyum içinde istenilmeyen elementler saf alüminyum ilavesi yoluyla azaltılırken, eksik olduğu saptananlar ise ön alaşımlar katılarak istenilen alaşım elde edilir. Son olarak tutma fırınından da bir analiz alınarak yapılan işlemlerin doğruluğu kontrol edildikten sonra döküm işlemlerine geçilir.

Ergitme işlemleri sırasında sıvı alüminyum banyosuna magnezyum ilavesi, magnezyumun yoğunluğunun alüminyuma göre düşük olması ve oldukça aktif bir element olması sebebiyle çok dikkat gerektirir. Bu işlem magnezyumun yanmadan banyoya daldırılıp karıştırılması ile

olur. Magnezyum miktarı yükseldikçe koruyucu gaz atmosferi altında veya bir örtü şeklinde sıvı alüminyumun üzerine örtterek onun oksitlenmesini önleyici cüruf yapıcı kullanmak gerekir. Diğer yandan cüruf yapıcının sodyum içermemesine de dikkat edilmelidir.

Bakır ilavesi de, bakırın alüminyuma göre özgül ağırlığının oldukça yüksek olması sebebiyle güçtür. Bakır ilavesi genellikle Al-Cu ön alaşımı, toz veya elektrolitik hurda tel kırıntısı kullanılarak yapılabilmektedir.

Günümüzde bakır gibi özgül ağırlığı alüminyuma göre yüksek olan alaşım elementlerinin dibe çökmesini önlemek ve alaşımın homojenliğini sağlamak amacıyla, ASSAN Alüminyum'da reverber fırınlarda geniş çaplı olarak kullanılmaya başlanılan, fırın içi sıvı metalin sirkülasyonunu sağlayan karıştırıcı pompalar kullanılmaktadır.

#### • Gaz Giderme

Ergitme ve alaşımlandırma işlemi tamamlanmış olan sıvı alüminyumun döküm işlemine geçilmeden önce içerisindeki gazların alınması gerekir. Bu işlem klor, azot veya argon gazlarının tek tek veya çeşitli oranlarda karışımının sıvı alüminyum içerisinden geçirilmesi ile olur.

ASSAN Alüminyum'da gaz giderme işleminin alaşımlandırma öncesi yapılması, alaşım elementlerinin sıvı banyo içine homojen olarak dağılımını sağlaması bakımından faydalıdır.

Metalde gaz miktarının artışı poroziteyi çok belirgin hale getirmektedir. Özellikle katılaşıma sırasında, makro nülker ya da mikro nülker adı verilen çekilme boşluklarının oluşumuna sebep olmaktadır. Diğer yandan malzeme içerisinde kalabilecek poroziteler, malzemenin kopma mukavemeti ve yüzde uzamasını düşürmesi başta olmak üzere mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Alüminyum içerisindeki en önemli gaz empürite hidrojenidir. Hidrojen hem katı, hem de sıvı metalde çözünür. Hidrojenin çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artar. Bu yüzden ASSAN Alüminyum'da, sıvı metalin döküm sıcaklığı mümkün olduğunca ergime sıcaklığına yakın tutulmaktadır.

Hidrojen kaynakları, fırın atmosferi, hurda şarjın içerdiği yağ ve benzeri hidrokarbonlar cüruf yapıcılar, fırın donanımı ve metal kalıp reaksiyonlarıdır.



#### 14.1.4. Metalde Hidrojen Tayini

Yarı mamullerin ergimesi için fırına belli bir miktar şarj yüklenir. Yüklenen şarj, ergitme fırınında LPG brülörleriyle birlikte metalin ergime derecesine göre ergitilir. Ergiyen metalden numune alınıp optik emisyon spektrometresinde analizi yapılarak istenilen alaşıma uygun olup olmadığı tespit edilir. Belirlenen alaşımı elde edebilmek için alınan spektrometre sonucuna göre element ilavesi yapılır veya saflaştırılır. Çizelge 14.2’de yapılan bir analiz sonucu spektrometreden alınan değerler verilmiştir.

Çizelge 14.2 Spektrometreden alınan element analiz sonuçları

<b>Si</b>	0.131	<b>Cd3</b>	0.00004
<b>Fe</b>	0.269	<b>T14</b>	0.034
<b>Cu</b>	0.001	<b>Na</b>	0.00003
<b>Mn</b>	0.005	<b>Ca2</b>	0.00001
<b>Mg</b>	0.14	<b>Zr1</b>	0.0006
<b>Cr</b>	0.00231	<b>L13</b>	0.00000
<b>Zn</b>	0.005	<b>Hg</b>	0.00009
<b>Pb</b>	0.00072	<b>Al4</b>	106.19
<b>Sn</b>	0.000	<b>Al%</b>	99.51
<b>B2</b>	0.0033		

İstenilen alaşım elde edildiğinde döküme başlatmak için tutma fırınına şarj edilir. Tutma fırınındaki döküme hazır olan sıvı metalin içindeki gazlar (hidrojen) klorlama veya azot gazı ile, metal içine konulan bir aygıt aracılığı ile karışım yapılır. Karışım esnasında sıvı metalin içindeki hidrojen gazı açığa çıkar. Çizelge 14.3’de sıvı alüminyum içerisindeki hidrojenin giderilmesi amacıyla ilave edilen farklı gaz gidericiler ve etkileri görülmektedir.

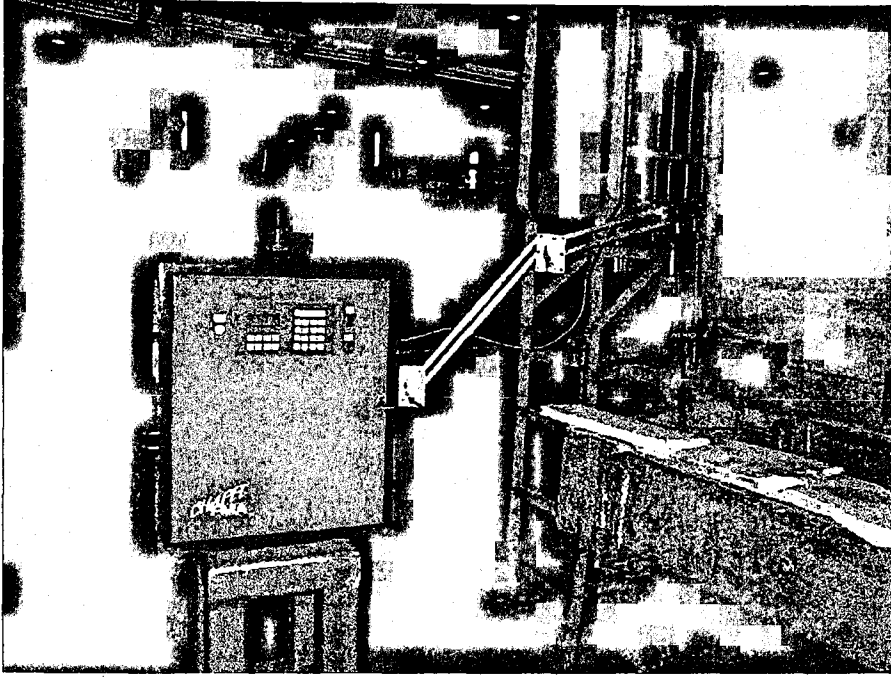
Çizelge 14.3 Sıvı alüminyum içerisindeki hidrojenin giderilmesi amacıyla ilave edilen farklı gaz gidericiler ve etkileri (Reine, Looper, Resenthal, ,1993)

	Klor	Hekzakloretan tablet (C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> )	AlCl <sub>3</sub>	Azot
Hidrojenin giderilmesi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün giderilmesi	Çok iyi	İyi	İyi	Az
Banyo üzerinde koruyucu gaz oluşumu	İyi	İyi	İyi	İyi
Cüruftaki metal miktarı	Çok iyi	Az	Az	Çok
Maliyet	Düşük	Normal	Normal	Düşük
Dezavantajı	Zehirli havalandırma gerekir	Zehirli, korozif havalandırma gerekir.	Korozif nem kapıcı	Cürufta fazla metal kaybı

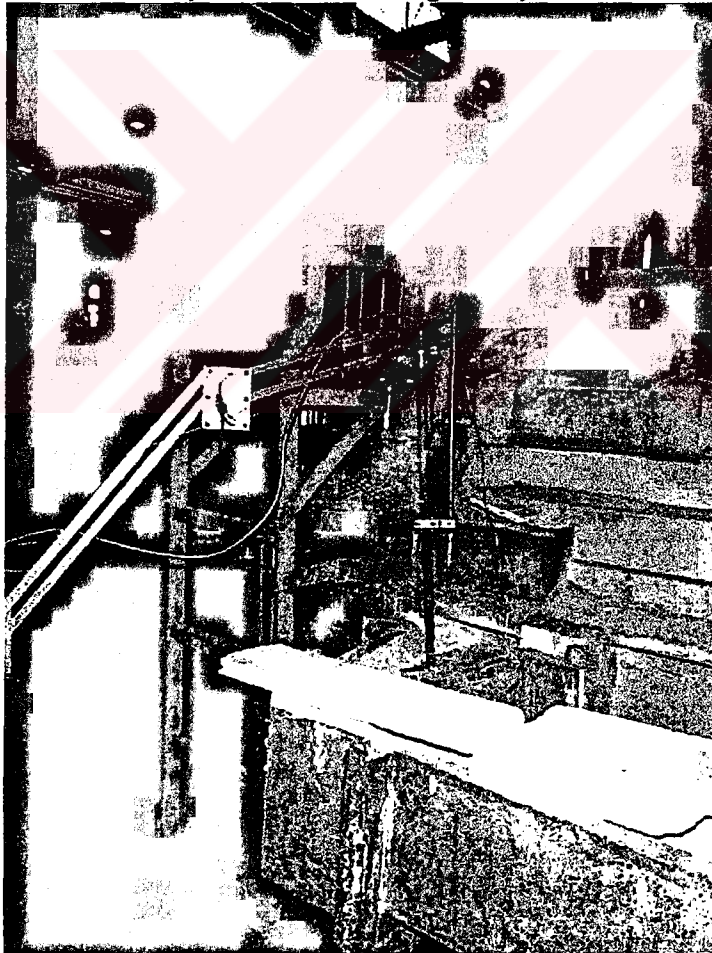
Klor gazı sadece hidrojeni gidermekle kalmayıp aynı zamanda, oksit yüzeylerinde alüminyum klorür oluşturarak, bu oksitlerin sürekli ıslanmasını ve oksit parçalarının sıvı metal yüzeyine çıkmasını sağlar. Diğer yandan gaz gidermede etkinliği azot gazına oranla oldukça yüksektir. Gaz giderme için gerekli işlem süresi de azota göre çok düşüktür. Klorla hidrojen gazı giderme işlemi sıvı banyo içerisine klor gazı üfleme veya hekzakloretan tabletlerini çan şeklindeki delikli kutularla gezdirme yoluyla yapılır. Bu işlem sırasında çalışanların sağlıklarını tehdit eder derecede HCl gazı oluşur.

Bu nedenle klorla gaz giderme işlemi ASSAN Alüminyum'da, yapılmamaktadır. Ancak ülkemizde halen, özellikle tablet kullanımı küçük işletmelerde kolay ve pratik olması sebebiyle sıkça kullanılmaktadır. ASSAN Alüminyum gibi daha modern ve büyük işletmelerde ise, %95 oranında argon gazı ile %5 oranında azot gazı karışımı kullanılmaktadır.

Sıvı metalin içindeki gazın tayini için CHAPEL marka hidrojen test cihazı kullanılmaktadır. Hidrojen cihazı, fırın yanına uygun bir şekilde yerleştirilir(Şekil 14.6). Cihazda değişmesi gereken parçalar değiştirilir. (termokupl, probe, oring, filtre gibi) cihaza enerji verilir. Sıvı metal içine termokupl ve grafit probe daldırılır(Şekil 14.7).



Şekil 14.6 Cihazın görünüşü



Şekil 14.7 Sıvı metal içinin termokupl ve grafit probun daldırıldığı an

Yapılan ölçümler 1235 alaşımlar için geçerlidir. Ölçümler, tutma fırını çıkışı ve sınıf çıkışı olmak üzere iki ayrı yerden yapılmaktadır. Tutma fırınındaki gazları minimuma indirmek



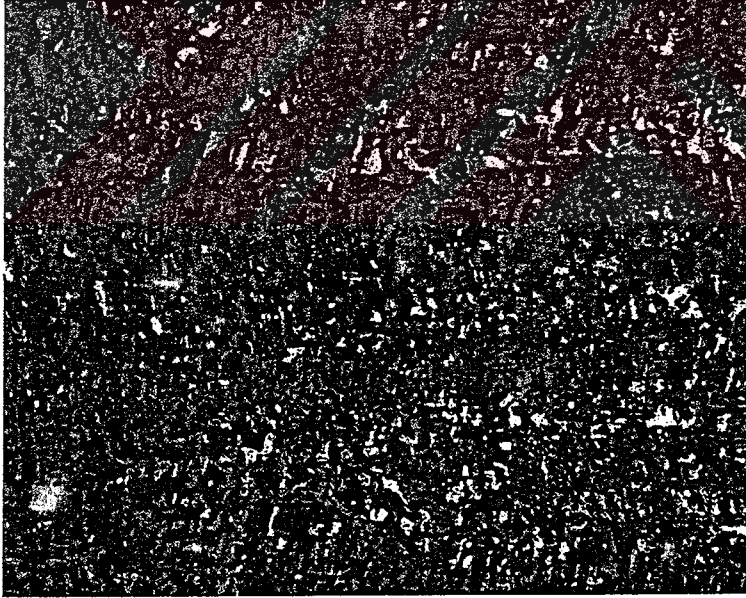
veya yok etmek için snıf ünitesi yardımıyla operasyon gerçekleştirilmektedir. Çizelge 14.4'de Assan Alüminyum'da gerçekleştirdiğimiz 4 deney sonucu verilmektedir.

Çizelge 14.4 Deney Sonuçları

Ölçüm adedi	Sürekli levha dökümünde olması gereken hidrojen miktarı	Snıf öncesi (giriş) sıvı metaldeki hidrojen değeri	Snıf çıkışı sıvı metaldeki hidrojen değeri
1	0.15	0.12	0.068
2	0.15	0.095	0.062
3	0.15	0.092	0.061
4	0.15	0.09	0.06

Sınıf öncesi 0,09 gelen hidrojen miktarı sınıf sonrası ölçüm yapıldığında bu değer 0,02-0,06 arasına düşmektedir. Bu değerlerin üstünde çıkan sonuçlarda gereken önlemler alınmaktadır. Bu önlemler, snıftan daha fazla argon gazı vererek metal içindeki hidrojeni gidermekle yapılabilir.

Yapılan ölçümler neticesinde hidrojen miktarının düşmesiyle yapıdaki değişimleri de görebilmek için sınıf öncesi ve sınıf sonrası mikro yapılar şekil 14.8'de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 14.8 a) Snif öncesi mikro yapı  
b) Snif sonrası mikro yapı

Tutma fırını çıkışı, sıvı metalden numune alınarak spektrometrede analizi yapılır. Sonuçlar, hidrojen test cihazındaki elementlerin sayfasına girilir.

Cihaz, termokupl ve probe daldırılmış vaziyetteyken, çalışır durumda yarım saat bekletilir. Bekletmenin amacı, cihazın devre sistemini dengelemektir.

## 15. SONUÇ

Alüminyum döküm parçalarında oluşan gaz gözenekliliklerinin araştırılmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Hidrojen alüminyum ergiyiğinde, çözünürlüğü en yüksek olan gazdır ve ergiyik içerisinde giderilmediği takdirde gaz gözenekliliğine neden olmaktadır.
- Ergiyiğin düşük hidrojen içermesi, gözeneksiz ve kaliteli bir döküm parçasının garantisi değildir.
- Farklı zaman dilimleri içerisinde ve farklı şartlarda dört değişik gözenek tipi oluşmaktadır.
- Hidrojenin, sıvı alüminyuma giriş yollarının ve alüminyumda olan davranışının doğru olarak bilinmesi, gözenekliliğin önlenmesinde etkili olacaktır.
- Kalıcı kalıba döküm ve basınçlı döküm yöntemlerinde, soğuma hızından ( daha yüksek soğuma hızı ve katılaşma hızı) dolayı, kum kalıba döküm ve diğer döküm yöntemlerine göre daha az gözeneklilik olmaktadır.
- Alüminyumda gaz gidermek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ergimiş alüminyum alaşımlardan gaz gidermenin en kolay olanı ve en çok uygulama alanı bulanı; bir tüp veya boru içerisinde tasfiye gazının veya gaz karışımının eriyik içine itilmesidir.

**KAYNAKLAR**

- Akdere, H.,(1980), "Alüminyum Alaşımların Döküm Tekniği",Bitirme Projesi, İTÜ.
- ASM Handbook,(1996), Volume15, Nisan 1996.
- Avcı, A.U.,(1992), "Döküme Uygun Parça Dizaynı ve Model Tekniği", YTÜ, İkinci Baskı, İstanbul.
- Belond, G., Dupuis, C., Martin, J.P., (1995), Improving Fluxing of Aluminium Alloys, Light Metals, The Minerals, Metals & Materials Society: pp1189-1195.
- Biröl Y.,(1989), Sıvı Alüminyumda Gaz ve Safsızlıkların Giderilmesi, Bitirme Projesi, pp.24-31.
- Champpele, J.,(1992), Castings, pp15-25.
- Chen, S.G., Gruzleski, J.E., (1995a), Measurent of Hydrogen in Aluminium- Silicon Foundry Alloys Using The ALSCAN Technique, Light Metals, The Minerals, Metals & Materials Society: pp 1079-1086.
- Chen, S.G.,(1995b), "Formation of Gas Porosity in Aluminum Alloys", Foundiy Institute, Aachen University of Technology.
- Clement, G.,(1995), The Pechiney Deep Bed Filter Technology and Performance, The Minerals, Metals & Materials Society: pp 1253-1262.
- Cochran B.P., Fenyas M.L., Mulac R.P.,(1992), Fluxpractice in aluminium Meltin, AFS Transactions: pp.737-742.
- Crepau P.N., Fenyas M.L., Jeanneret J.L.,(1992), Solid Fluxing Practics for Aluminium Melting. Modern Casting: pp.28-31.
- Çiğdem, M.,(1996), Dökümde Özel Konular Ders Notları,Y.T.Ü.
- Çiğdemoğlu, M., (1992),"Metal ve Alaşımlarının Isıl İşlemleri", MMO Yayını, No: 73.
- Dennis, W.H., (1993),"Demirden Gayrı Metaller Metalurjisi", (Çev., H. E. Tulgar).
- Dupuis, C., Wang, Z., Martin, J., Allard, C.,(1992), An Analysis of Factors Affecting The Response of Hydrogen Determination Techniques For Aluminium Alloys, Light Metals.
- Erdaş, F.F.,(1974), "Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gazlar ve Giderilmesi", Bitirme Projesi, Bitirme Projesi, İTÜ.
- Granfield, J. F., (1993), Melt Quality Spesifications Aluminium Melt Treatment& Casting, The Minerals, Metals & Materials Society: pp 79-88.
- Guthrie, R.I.L.,Nilmani, M.,(1993), Impurity Sources and Control-General Principles of Melt Treatment& Casting, The Minerals, Metals & Materials Society: pp 85-104.

- Iğdır, R., (1979),“Alüminyum Alaşımının Isıl İşlem Yolu ile Bünyesel ve Özellik Değişikliklerinin Etüdü”, Bitirme Projesi, I.D.M.M.A.
- İçözü,E.,(1993), Al, Mg ve Cu Alaşımında Hidrojen, Bitirme Projesi, İ.T.Ü.
- Kanicki, P.D., Rasmussen, W.,(1990), Cleaning Up Your Metal, Modern Casting, pp 55-58.
- Kınkoğlu, N.G., (1988),“Demir Dışı Metaller Erimiş Metal Tepkimeleri”, Ders Notları,Y.T.Ü.
- Metals Handbook, (1990), Metallography, Structures and Phase Diagrams, Cilt 8.
- Okumuş, S., (1975),“Alüminyum ve Alaşımında Gaz Giderme Yöntemleri”, Bitirme Projesi, İTÜ.
- Özdemir, N.,(1980), “Döküm Hataları ve Önleme Çevreleri”, Bitirme Projesi, İDMMA.
- Sigworth, G. K.,(1988), “Practical Degassing of Alüminum”, Modern Casting.
- Topbaş, M.A.,(1993), “Endüstri Malzemeleri (1.Cilt)”, İstanbul.
- Yıldırım, M,(1997), “Alüminyum Magnezyum Alaşımının Gaz giderme Yöntemleri”, Bitirme Projesi, Y.T.Ü.
- Weissavach, W.,(1993), “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, (çev., S. Anık, E. S. Anık, M. Vural), 4.Basım.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	<b>01.01.1979</b>	
Doğum Yeri	<b>İzmir</b>	
Lise	<b>1992-1995</b>	Aydın Cumhuriyet Lisesi
Lisans	<b>1995-1999</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	<b>1999-devam ediyor</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı
Çalıştığı kurumlar	<b>2000- Devam ediyor</b>	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi