

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez
Prof. Dr. Mustafa SİĞİREM

ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMLARININ SIVAMA DÖKÜMÜ

Metalurji Müh. Murat ÜNDEY

**F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihat G. KINIKOĞLU

N. Kinikoglu

**İTÜ YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. SIKIŞTIRMALI (DÖVME) DÖKÜM YÖNTEMİ.....	3
2.1 Yöntem.....	3
2.2 Sıkıştırılmal Dökümün Avantajları ve Dezavantajları.....	3
2.2.1 Ekonomik Avantajlar.....	3
2.2.2 Teknik Avantajlar.....	5
2.2.3 Sıkıştırılmal Dökümün Dezavantajları.....	6
2.3 Sıkıştırılmal Döküm Uygulamasında Kullanılan Alaşımlar.....	6
2.4 Yöntemin Değişkenleri.....	6
2.4.1 Metal Sıcaklığı.....	7
2.4.2 Sıvı Kalitesi ve Miktarı.....	7
2.4.3 Kalıp Sıcaklığı.....	8
2.4.4 Basınç Uygulanana Kadar Geçen Süre (Geciktirme Zamanı).....	8
2.4.5 Uygulanan Basınç ve Bekleme Süresi.....	9
2.4.6 Kalıp Malzemesi ve Tasarımı.....	10
2.5 Sıkıştırılmal Dökümde Karşılaşılabilen Döküm Hataları.....	11
2.5.1 Oksit Kalıntıları.....	12
2.5.2 Boşluklar.....	12
2.5.3 Darçıkım Ayrışması.....	14
2.5.4 Ayrışma.....	15
2.5.5 Kabarcıklaşma.....	15
2.5.6 Kalıbın Tam Dolmaması ve Birleşmeme (Soğuk Döküm).....	16
2.5.7 Sıcak Yırtılma.....	16
2.5.8 Yapışma.....	16
2.5.9 Soyulma.....	17
2.5.10 Darçıkım Soyulması.....	17
3. YARI-KATI METAL DÖKÜMÜ YÖNTEMİ.....	18
3.1 Yöntem.....	18
3.1.1 Döküm Makinası Sistemi.....	21
3.1.2 İçyapı.....	22
3.2 Yarı-Katı Metal Dökümü İşleminin Avantajları.....	22
3.3 Kalıbın Isıl Davranışı.....	23
3.4 Döküm Parçalarında Gözeneklilik.....	24
3.5 İşlemde Oluşabilecek Hatalar.....	25
3.5.1 Kabarcıklar.....	25
3.5.2 Soğuk Birleşme.....	25
3.5.3 Doldurmama.....	26
3.5.4 Yüzey Boşluğu.....	26

3.5.5	Sıcak Yırtılma.....	26
3.5.6	Büzülme Gözenekliliği.....	27
3.5.7	Gaz Gözenekliliği.....	27
3.6	Yarı-Katı Dövme Uygulamaları.....	27
3.7	Yarı-katı Metal Dökümünün Sıkıştırılmalı ve Diğer Döküm Yöntemleriyle Karşılaştırılması.....	28
4.	SIVAMA DÖKÜM.....	34
4.1	Giriş.....	34
4.2	Yöntem.....	34
5.	SONUÇ.....	37
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
6.1	Sıkıştırılmalı Döküm.....	38
6.1.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Cihazlar.....	38
6.1.1.1	Döküm Alaşımı.....	38
6.1.1.2	Kalıp.....	38
6.1.1.3	Kalıp Ayırıcı Malzemeler.....	38
6.1.1.4	Gaz Giderici.....	39
6.1.1.5	Hidrolik Pres.....	39
6.1.1.6	Ergitme Ünitesi.....	41
6.1.1.7	Grafit Pota.....	41
6.1.1.8	Kalıp Isıtma Fırını.....	41
6.1.1.9	Sıcaklık Ölçüm Cihazları.....	41
6.1.1.10	Ultrasonik Temizleme Cihazı.....	42
6.1.2	Sıkıştırılmalı Döküm Deneyleri.....	42
6.1.2.1	Döküm Öncesi Hazırlıklar.....	42
6.1.2.1.1	Yük Malzemesinin Hazırlanması.....	42
6.1.2.1.2	Gaz Giderme Malzemesinin Kurutulması.....	42
6.1.2.1.3	Alt Kalıbın Yerleştirilmesi.....	43
6.1.2.1.4	Kalıpların Temizlenmesi.....	43
6.1.2.1.5	Kalıp Ayırıcıların Uygulanması.....	43
6.1.2.1.6	Alt Kalıp Kapağının Kapatılması ve Üst Kalıbın Merkezlenmesi.....	43
6.1.2.2	Döküm İşlemi.....	44
6.1.2.3	Sıkıştırılmalı Döküm Deneylerinde Karşılaşılan Sorunlar ve Sonuçlar.....	45
6.2	Sıvama Döküm.....	56
7.	SONUÇLAR.....	58
	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sıkıştırılmalı döküm işleminin çizgisel gösterimi.....	4
Şekil 2.2 Dolaylı sıkıştırılmalı döküm işleminin çizgisel gösterimi.....	5
Şekil 2.3 B 295.2-T6 alaşımında demir içeriğinin mekanik özelliklere etkisi.....	8
Şekil 2.4 Uygulama basıncı ve Al-Si alaşımında Si miktarı arasındaki ilişki.....	10
Şekil 2.5 Basınç ve parça şekli arasındaki ilişki.....	10
Şekil 2.6 Çekme boşluklarının oluşması.....	13
Şekil 3.1 Hızlı karıştırılmış ve yavaş karıştırılmış karışımların görünümü.....	19
Şekil 3.2 A357 alaşımının yarı-katı metal döküm sıcaklığındaki pelte görünümü.....	20
Şekil 3.3 Yarı-katı metal dökümü işleminin adımları.....	20
Şekil 3.4 Sürekli pelte üretici döküm makinası çizimi.....	21
Şekil 3.5 440C paslanmaz çeliğinin dendritik ve pelte döküm yapılarının karşılaştırılması.....	23
Şekil 3.6 Fe-C faz çizgesinin demirce zengin bölgesi.....	24
Şekil 3.7 Sn-%15 Pb alaşımının kalıbı doldurması.....	26
Şekil 3.8 Bakır esaslı 905 alaşımının sıvı ve pelte halden dökümlerinin radiografları.....	27
Şekil 3.9 A356 alaşımından Alfa Romeo arka süspansiyon desteği.....	28
Şekil 6.1 Alt kalıbın teknik resmi.....	39
Şekil 6.2 Üst kalıbın teknik resmi.....	40
Şekil 6.3 Ergitme ünitesi.....	41
Şekil 6.4 Sıkıştırılmalı döküm işleminde döküm anı.....	45
Şekil 6.5 Hard-Coat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmamış döküm parçasının görünümü.....	49
Şekil 6.6 Hard-Coat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmuş döküm parçasının görünümü.....	50
Şekil 6.7 Lubriccoat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmamış döküm parçasının görünümü.....	50
Şekil 6.8 Lubriccoat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmuş döküm parçasının görünümü.....	50
Şekil 6.9 6 numaralı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri.....	52
Şekil 6.10 8 numaralı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri.....	52
Şekil 6.11 9 numaralı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri.....	53
Şekil 6.12 10 numaralı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri.....	53
Şekil 6.13 11 numaralı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri.....	53
Şekil 6.14 Sıkıştırılmalı döküm işlemi sonrası döküm kalıplarının görünümü.....	55
Şekil 6.15 Sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiş basınç görmüş ve basınç görmemiş parçalar.....	55
Şekil 6.16 Sıvama döküm sistemi.....	56
Şekil 6.17 Sıvama döküm deneyi sonrası elde edilen parçadan alınmış mikroyapı resimleri.....	57

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Sıkıştırılmalı dökümde kullanılan döküm tipi alüminyum alaşımları.....	6
Çizelge 2.2 Sıkıştırılmalı dökümde kullanılan dövme tipi alüminyum alaşımları.....	7
Çizelge 3.1 Dayanım ve bütünlük faktörleri yönünden ürün karakteristikleri.....	31
Çizelge 3.2 Boyutsal ve karmaşıklık faktörleri yönünden ürün karakteristikleri.....	32
Çizelge 3.3 İşleme ve kalıp faktörleri yönünden ürün karakteristikleri.....	33
Çizelge 3.4 Döküm faktörleri yönünden işlem karakteristikleri.....	34
Çizelge 3.5 Ekonomiklik yönünden işlem karakteristikleri.....	35
Çizelge 5.1 Sıkıştırılmalı döküm deneylerinde kullanılan alaşımın bileşimi.....	37
Çizelge 5.2 Hidrolik pres teknik özellikleri.....	39
Çizelge 5.3 Kalıp ısıtma rejimi.....	43

ÖZET

Ticari önemi olan metal şekillendirme işlemleri ya tamamen sıvı metallerin ya da tamamen katı metallerin görev aldığı işlemlerdir. Metal döküm yöntemlerinin kullanımı ürünlerin kalitelerinin geliştirilmesi imkanı sunmaktadır.

Tezin deneysel çalışması içinde Al-Si alaşımlarından Yıldız Teknik Üniversitesinde Prof. Dr. Nihat G. KINIKOĞLU tarafından geliştirilmiş olunan sıvama döküm yöntemi ile bomba gövdesi üretimi amaçlanmıştır.

Tezin teorik temelleri ise sıkıştırmalı, yarı-katı metal ve sıvama döküm işlemlerini içerir.

Daha önce ifade ettiğimiz sıvama döküm yöntemi yeni bir döküm yöntemi olup, yöntem klasik merkezkaç döküm, sıkıştırmalı döküm ve yarı-katı metal dökümü yöntemlerini tek bir işlemde bir araya getirmektedir.

Merkezkaç döküm makinasının tablası üzerinde dönmekte olan kalıcı kalıp içinde merkezkaç kuvvet etkisiyle ön şekillendirilmiş yarı-katı metal sıkıştırılarak döküm parçasına son şekli verilmektedir.

Merkezkaç kuvvetler ergimiş metalin kalıp içerisinde yükselmesini sağlar. Üsrt kalıp kullanımı ile ön şekillendirilmiş yarı-katı metal üzerinde kesme hareketi oluşturulur.

Yöntemin tam olarak uygulanabilmesi için sıkıştırmalı döküm ve yarı-katı metal dökümü işlemlerinin değişkenlerinin tam olarak belirlenmesi gereklidir. .

Anahtar Kelimeler: Sıvama döküm, sıkıştırmalı döküm, yarı-katı metal dökümü.

ABSTRACT

Metal forming processes of commercial importance employ either fully solid metals or liquid metals. The use of metal casting processes offers opportunities to improve the products qualities.

In the experimental work of the thesis, producing of bomb body from Si-Al alloy by swage casting method which was developped by Prof. Dr. Nihat G. KINIKOĞLU in Yıldız Technical University is aimed.

The theoretical bases of the thesis included squeeze, semi-solid metal and swage casting processes.

As we mention before swage casting method is a new casting method which combines the classic centrifugal casting, squeeze casting and semi-solid metal casting processes in just one operation.

With the effect of the centrifugal forces semisolid metal has been pre-shaped in the turning mold that located on the centrifugal casting machine. The upper mold which was stable, squeeze the pre-shaped semi-solid metal and gives the net shape to the metal casting products.

Centifugal forces makes the liquid metal to rise in the mold. With the using of upper mold, we establish a shear movement on the pre-shape semi-solid metal.

For applying the process exactly, we must determine the variations of squeeze casting and semi-solid metal casting processes.

Key Words: Swage casting, squeeze casting, semi-solid metal casting.

1. GİRİŞ

Sıvama döküm işlemi yeni bir döküm yöntemidir. Yöntem; sıkıştırılmalı döküm, merkezkaç döküm ve pelte döküm işlemlerinin bir araya getirilmesi düşünülmüş geliştirilmiş melez bir döküm yöntemidir. Merkezkaç döküm makinasının tablası üzerinde dönmekte olan bir kalıcı kalıp içerisinde merkaç kuvvet etkisiyle ön şekillendirilmiş yarı-katı metal, dönmeyen bir üst kalıp ile sıkıştırılarak döküm parçasına son şekli verilmektedir.

Merkezkaç etki ile ergimiş metalin üst kalıp indirilmeden kalıbın iç duvarında yükselmesi, alt ve üst kalıplar arasındaki yarı-katı metal üzerinde yaratılan kesme hareketi ile yarı-katı metale kazandırılan akışkanlık daha ince ve uzun parçaların dökümüne imkan vermektedir. Yöntemi tam olarak kavrayabilmek için öncelikle sıkıştırılmalı döküm ve yarı-katı metal dökümü yöntemlerini kavramak gerekmektedir.

Dövme ve döküm işlemleri geleneksel olarak birbirinden ayrı yollarda ilerlemişlerdir. Bu iki teknik kendilerine has üstünlüklere ve eksikliklere sahiptirler. Döküm yöntemiyle karmaşık şekilli parçalar rahatça üretilebilir fakat son üründe gaz boşlukları ve diğer hatalar görülebilir. Bunun dışında dökümde değişik kesit kalınlıklarıyla beraber homojen bir yapı elde etmekte güçtür. Bu hatalar dövme işlemiyle giderilebilirken yöne bağımlı yapı (anizotropik) ortaya çıkar ve karışık şekiller elde etmek her zaman mümkün değildir veya birden fazla işlem gerektirir.

Sıkıştırılmalı döküm (Dövme döküm, sıvı metal dövümü veya sıvı metal şekillendirmesi olarak da bilinir) basınçlı dökümle kapalı kalıpta dövmenin bir bileşimidir. Yöntem basit ve ekonomik bir yöntem olup yüksek üretim oranlarında otomatikleştirilmiş üretim potansiyeline sahiptir. Yüksek boyutsal tamlik ve yüzey düzgünlüğü parçaların işleme ihtiyacını en aza indirir. Diğer döküm yöntemlerine nazaran basınçtan dolayı boşluksuz ve küçük taneli mikroyapıya sahip parçalar üretilir. Döküm parçalar içerisinde sıkıştırılmalı döküm ürünleri en yüksek mekanik özellikleri verir. (Luş, 1999)

Yaygın düşüncenin aksine sıkıştırılmalı döküm yeni bir yöntem değildir. Bu konudaki ilk referans 1819'da James Hollingrake tarafından alınan patenttir (Morton ve Barlow, 1994). Bununla birlikte 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar önemli bir gelişme gözlenmemiştir. 1931'de alüminyum-silisyum alaşımlarında basıncın etkisi incelenmiş, sonra Sovyetler Birliği'ndeki gelişmelerle 1975'de Plyatskii tarafından sıkıştırılmalı döküm konusunda ilk sayılabilecek bir kitap yayınlanmıştır (Franklin ve Das, 1984; Morton ve Barlow, 1994).

Sovyetler Birliği'ndeki gelişmelere paralel olarak 1965-1970 yıllarından itibaren Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya da çalışmalar başlamış ve bu tarihi gelişimin sonucu olarak 1974'de ilk ticari uygulamaya geçilmiştir (Lynch, 1975).

Sıkıştırılmalı döküm tekniği ile sıvı metalin basınç altında katılaşmasından yararlanarak klasik yöntemlerle üretilen ürünlerden daha yetenekli ürünler elde etmek mümkündür. Günümüzde pistonlar, jantlar, rulman parçaları, bilezikler, bağlantı milleri, varil başlıkları, fren diskleri, dökme demirden bomba kılıfları gibi parçalar bu teknikle üretilmektedir.

Sıvama dökümün diğer bir önemli ayağı ise yarı-katı metal dökümüdür (Pelte döküm ve ağda döküm). Ticari önemi olan metal şekillendirme işlemleri ya tamamen sıvı metallerin yada tamamen katı metallerin görev aldığı işlemlerdir. Pelte döküm ve ağda döküm, sıvıgen ve katıgen eğrileri arasındaki bir sıcaklıkta sıvı artı katı alaşımların karışımlarının dökümünü içermektedir (Campell, 1970).

Pelte döküm (Rheocasting) adı verilen yöntemle elde edilen yarı-katı haldeki kütükler kısaçla tutulabilecek kadar sertleşmiş olmalarına karşın bir darbe veya kesme hareketi ile hemen akmaya başlarlar. Bu şekilde elde edilen kütüklerin katılaşmadan veya katılaştıktan sonra düşük sıcaklıkta katılaşan ara fazlarının ergime sıcaklığına kadar ısıtılması ile yeniden preslenerek dökümde kullanılmasına ise Ağda Döküm (Thixocasting) adı verilir (Kınıkoğlu, 1999).

Sıvama döküm yönteminin de prensibi metalin sıkıştırılmalı dökümdeki basıncın etkisi altındayken yarı-katı metal dökümündeki kesme hareketine tabi tutulması temeline dayanmaktadır. Böylelikle her iki döküm yönteminin avantajlarına sahip tek bir ürün üretimi hedeflenmiştir.

2. SIKIŞTIRMALI (DÖVME) DÖKÜM TEKNIĞİ

Sıkıştırırmalı döküm; sıvı metalden tamamen şekil verilmiş, mükemmel yüzey bitirme kalitesine sahip bir parça elde etmek için geliştirilmiş tek adımlı bir işlemdir. Katılaşma esnasında yüksek basınç uygulanır böylelikle oksidasyon, bünyeye hidrojen kaçıışı ve büzülme önlenir. Döküm işlemindeki sıvı metalin kalıbı doldurması ve dövme işlemindeki dikey pres hareketinin bir araya gelmesiyle oluşmuş melez bir yöntem olarak ortaya çıkar. Yöntem darçıkım döküm, sıvı metal dövümü ve basınç kristalizasyonu isimleriyle de anılmaktadır. (Clegg, 1991)

2.1 Yöntem

Sıkıştırırmalı Dökümün ana prensibini, doğru ölçülmüş hacimdeki sıvı metalin istenilen sıcaklıktaki kalıba konması ve üst kalıbın inerek veya pistonun yukarı çıkarak metalin katılaşması esnasında basınç uygulaması oluşturur. Son yıllarda yöntem iki ana gruba ayrılmıştır, direk ve dolaylı yöntem (Luş, 1999).

Direkt yöntem Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir ve üç kademeye ayrılabilir,

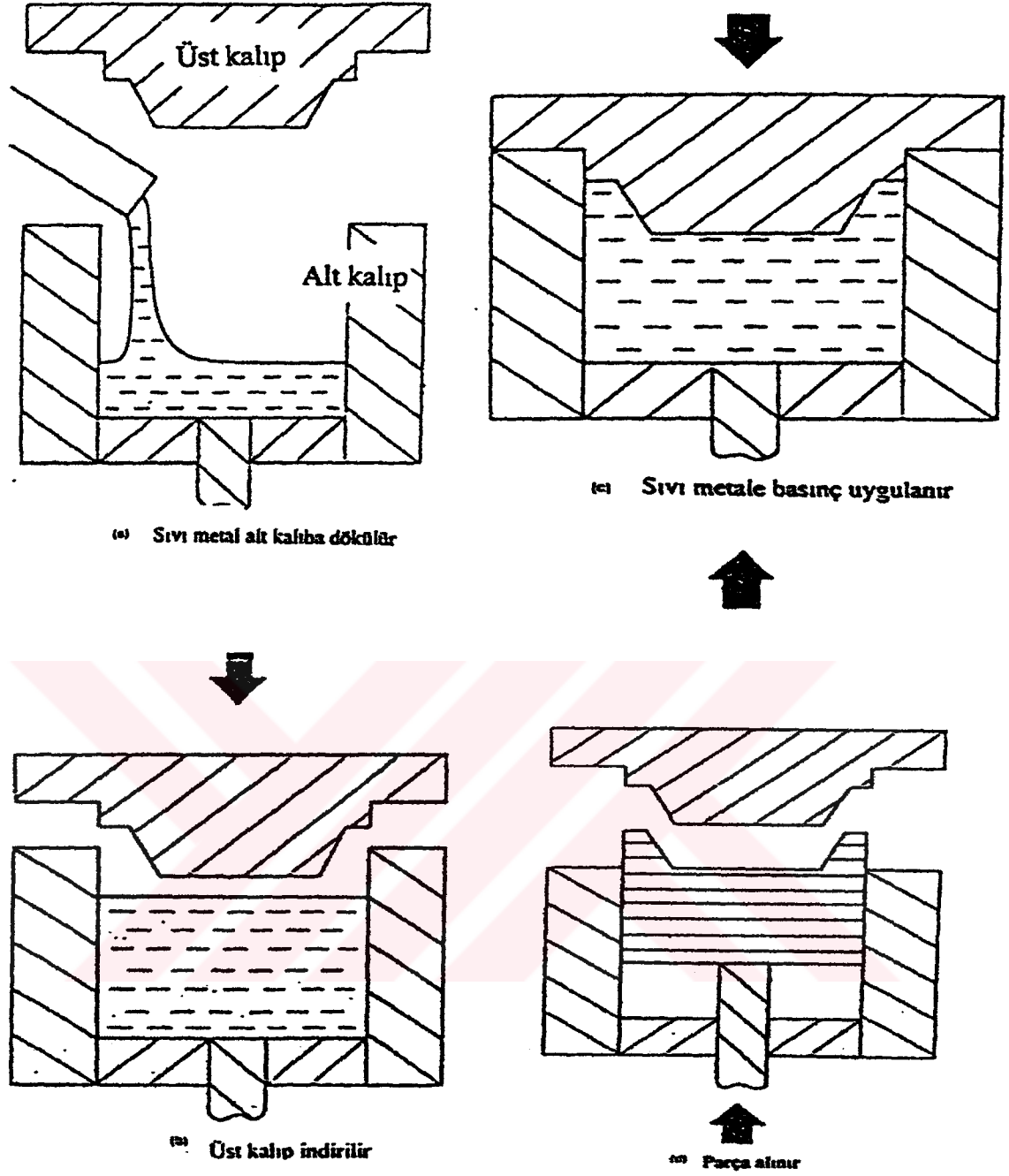
1. İstenilen miktarda sıvı metalin alt kalıba dökülmesi.
2. Prese bağlı üst kalıbın inmesi ve alt kalıba basınç uygulaması. Bu kademede basınç parça tamamen katılaşana kadar devam ettirilir.
3. Üst kalıbın yukarı çıkması ve parçanın alınması (Franklin ve Das, 1984).

Göreceli olarak daha yeni bir teknik olan dolaylı sıkıştırırmalı döküm tekniği beş kademeye ayrılmaktadır (Suzuki, 1989). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sıvı metal içinde piston bulunan bir potaya boşaltılır, pota metal kalıba dayanır ve piston yukarı doğru hareket ederek sıvı metali kalıp boşluğuna doldurarak basınç uygulanır.

2.2 Sıkıştırırmalı Dökümün Avantajları ve Dezavantajları

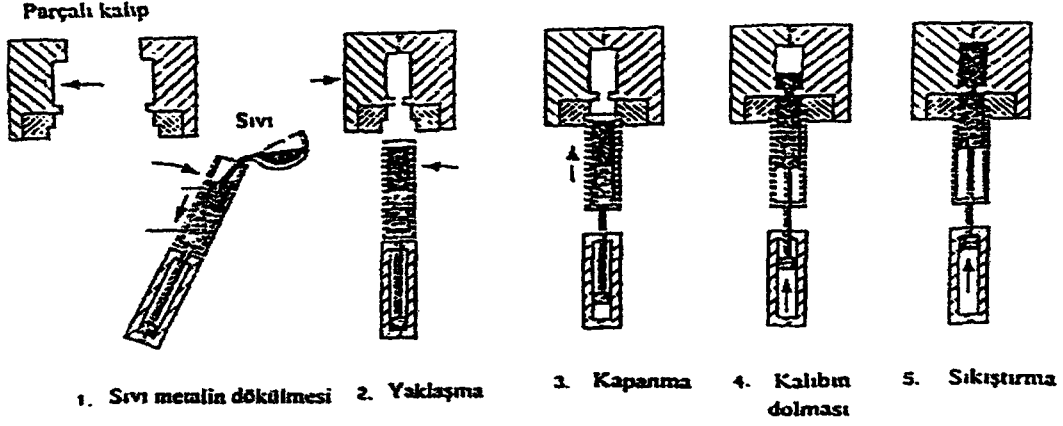
2.2.1 Ekonomik Avantajlar

1. Dövme işlemi ve basınçlı döküme nazaran bütün işlem için daha az kalıpla üretim yapılabilir.
2. Son ürün boyutlarına yakın üretim imkanı işleme maliyetini düşürür.



Şekil 2.1 Sıkıştırılmalı döküm işleminin çizgisel gösterimi. (Franklin ve Das, 1984)

3. Sıkıştırılmalı dökümde geleneksel döküm yöntemlerindeki gibi daha sonradan hurdaya çıkan yolluk ve besleyicilere ihtiyaç olmadığından malzeme tasarrufu sağlar. (Lynch v.d., 1975).



Şekil 2.2 Dolaylı sıkıştırırmalı dökümün çizgisel gösterimi. (Suzuki, 1989)

2.2.2 Teknik Avantajlar

1. Hızlı katılaşma zamanı malzemeye son derece ince taneli mikroyapı verir, bunun sonucu diğer döküm yöntemlerine göre daha yüksek ve dövme işlemiyle kıyaslanabilir çekme dayanımıdır. Örnek olarak 7075 T-73 tipi alüminyum alaşımında sıkıştırırmalı dökümde 480 MN/m^2 çekme dayanımına karşılık dövme işlemiyle ise 441 MN/m^2 çekme dayanımına ulaşılmıştır. (Morton ve Barlow, 1994)
2. Yöntem geleneksel döküm yöntemleriyle üretilen karmaşık şekilli ve ince profilleri üretme yeteneğine sahiptir. (Clegg, 1991)
3. Sıkıştırırmalı döküm tekniği geleneksel dövme parçalarla kıyaslandığında daha düşük basınçlarda daha detaylı parça üretme imkanı sağlar. (Clegg, 1991)
4. Yüzey kalitesi, boyutsal doğruluk ve mekanik özelliklerde artış sağlar.
5. Sıkıştırırmalı döküm tekniği ile üretilen parçalara ısı işlem uygulanabilme imkanı vardır.
6. Sıkıştırırmalı döküm yöntemiyle elde edilen parçalarda büzülme ve gaz gözenekliliği tamamıyla ortadan kalkar.
7. Basınçlı ve düşük basınçlı döküm yöntemlerine üretim potansiyeli daha fazladır.
8. Karma döküm malzemelerin üretimine uygundur. (Clegg, 1991)

2.2.3 Sıkıştırırmalı Dökümün Dezavantajları

Yukarıda sayılan avantajlara karşılık yöntemin olumsuz yönleri de vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Yöntemin maliyeti basınçlı döküm yöntemine göre daha yüksektir.
2. Kalıp ömrü kısadır.

3. Geleneksel metal kalıba döküm yöntemiyle karşılaştırıldığında şekil karmaşıklığı sınırlılığı vardır.
4. Yöntem kalıba dökülen metal miktarının tam olarak ölçülmesini gerektirir. (Clegg, 1991)

2.3 Sıkıştırılmalı Döküm Uygulamasında Kullanılan Alaşımlar

Sıkıştırılmalı döküm işleminde genellikle yanlış anlaşılan noktalardan biri döküm ve dövme alaşımlarının ikisinde işlem için uygun olduğudur. Bu ifade ürün eğer düz bir yüzey veya çubuk şeklinde ise doğrudur. Parçalar karmaşılaşmaya başladığı zaman alaşım seçimi önem kazanır(Williams, 1981,1984).

Uygulama çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip alaşımların geniş bir aralığına ihtiyaç duyar. Bu gereksinimleri karşılayabilmek için, bir alüminyum alaşım grubu geliştirilmiştir. Çizelge 2.1’de sıkıştırılmalı dökümde kullanılan alüminyum döküm alaşımları, Çizelge 2.2’de ise sıkıştırılmalı dökümde kullanılan alüminyum dövme alaşımları verilmiştir (Williams, 1981,1984).

Çizelge 2.1 Sıkıştırılmalı dökümde kullanılan döküm tipi alüminyum alaşımları (Williams, 1981, 1984).

Alaşım No.	Kimyasal Bileşim						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn
LM 6	11,5-13,5	0,6	0,1	0,4	0,1		0,1
LM 18	4,5-6	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
LM 24	7,5-9,0	1	3,0-4,0	0,5	0,3	0,2	0,1

2.4 Yöntemin Değişkenleri

Sıkıştırılmalı döküm işleminin çeşitli alaşımlarla en kaliteli şekilde gerçekleştirilebilmesi için yöntemdeki değişkenlerin ürün üzerindeki etkilerini tam olarak bilmemiz gereklidir.

Sıkıştırılmalı döküm işlemine etki eden değişkenler aşağıdadır. Bunlar

1. Metal sıcaklığı
2. Sıvı metal kalitesi
3. Kalıp sıcaklığı
4. Basınç uygulanana kadar geçen süre
5. Uygulanan basınç ve bekleme süresi

6. Kalıp malzemesi ve kalıp tasarımı

Çizelge 2.2 Sıkıştırılmalı dökümde kullanılan dövme tipi alüminyum alaşımları (Williams, 1981, 1984).

Alaşım No.	Kimyasal Bileşim %					
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
AA 7075	0,4	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1
AA 2014	0,5-1,0	0,7	3,9-5,0	0,4-1,2	0,2-0,8	0,25
AA 6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,25
AA 6066	0,2-0,6	0,35	0,1	0,05	0,45-0,9	0,1
AA 6082	0,7-1,3	0,5	0,1	0,4-0,8	0,1	0,2

2.4.1 Metal Sıcaklığı

Metalin kalıba döküldüğü sıcaklık döküm kalitesi ve döküm kalıbının ömrü üzerinde etkilidir. Yolluk ve besleme sisteminin olmayışı ve kalıbın esas olarak basınç etkisiyle dolması düşük sıvı akışkanlığının kabul edilebileceği anlamına gelir. Bununla birlikte çok düşük döküm sıcaklığı yetersiz akış zamanına dolayısıyla ince kesitlerin dolmaması veya birleşmeme hatalarına neden olabilir. Tersine, çok yüksek döküm sıcaklığı sıcak yırtılmaya sebep olabilir ve kalıp ömrü olumsuz etkilenir. Doğru döküm sıcaklığı sıvılaşma sıcaklığına, katılaşma aralığına ve kalıp biçimine bağlıdır fakat çeşitli malzemeler için yerleşmiş kuralları mevcuttur. Alüminyum alaşımları için döküm sıcaklığı ergime sıcaklığının 20°C ile 100°C üstündedir. 7075 ve A 390 alaşımlarında düşük döküm sıcaklıkları kullanılırken 3003 ve A 419 tipi alaşımlar için yüksek döküm sıcaklığı gerekir. (Lynch vd., 1975)

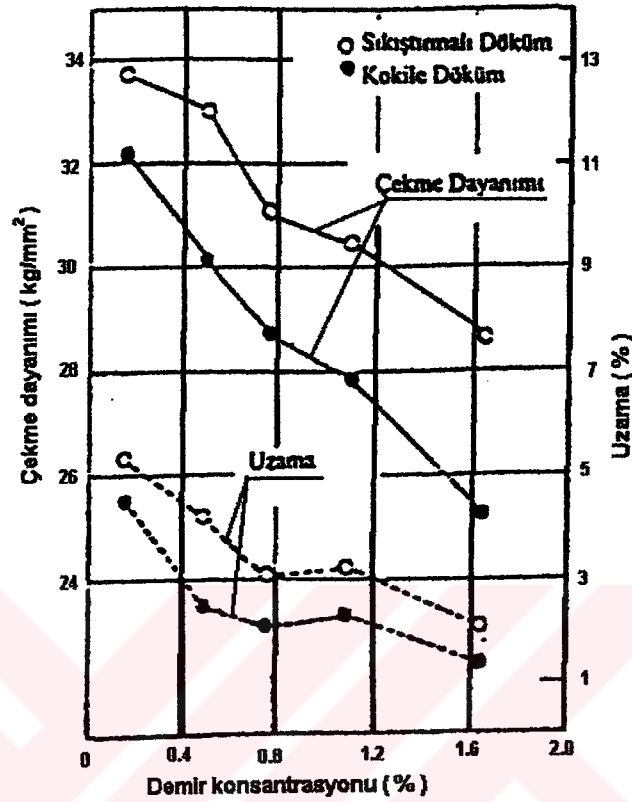
Bakır ve çelik alaşımlarında, kalıpla temas eden yüzeyler hızlı katılaşmaları için 30°C ile 150°C arası üst ısı gereklidir. (Franklin ve Das., 1984)

2.4.2 Sıvı Metal Kalitesi ve Miktarı

Geleneksel dökümlerde olduğu gibi dövme dökümde de döküm sıvısının kalitesinin kontrolü temiz bir mikroyapı elde etmek için gereklidir.

Metal kalıp boşluğuna direkt döküldüğü için metal içindeki kalıntıların ve istenmeyen maddelerin bu işlemde evvel uzaklaştırılmaları önemlidir. Örneğin metal içinde kalan empüritenin mekanik özelliklere olan etkisi şekil 2.3'te görülmektedir. B 295.2 alüminyum

alaşımında demir içeriği arttıkça çekme dayanımı ve yüzde uzama üzerinde olumsuz etkileri açıktır.



Şekil 2.3 B 295.2-T6 alaşımında demir içeriğinin mekanik özelliklere etkisi (Okada vd., 1982)

2.4.3 Kalıp Sıcaklığı

Kalıp sıcaklığı erken katılaşmaya, ısıl yorulmaya ve soğuk birleşmelere neden olmayacak kadar yüksek, yüzey hatalarına yol açmayacak kadar düşük tutulur (150°C-400°C). Eğer kalıp sıcaklığı çok yüksekse metal ile kalıp arasında lehimlenme ihtimali vardır.

Alüminyum alaşımları için 300°C'den, demir esaslı alaşımlar için 400°C'den yüksek kalıp sıcaklıkları tavsiye edilmez. Döküm parçasına ve kalıp tasarımına bağlı olarak kalıblı dökümde açığa çıkacak ısıyı dağıtacak kadar büyük olması veya soğutucu sıvıyla (su veya yağ) soğutulması gerekebilir (Franklin ve Das., 1984).

2.4.4 Basınç Uygulanana Kadar Geçen Süre (Geciktirme Zamanı)

Bu konuda uzlaşılmış tek nokta yoktur. Bu süre alaşımın bileşimine ve parça şekline bağlı olarak 1-2 saniyeden 1 dakikaya kadar değişmektedir. (Franklin ve Das, 1984)

Bazı kaynaklar basıncın metalin hemen hemen sıfır akışkanlık sıcaklığında uygulanması gerektiğini söylemektedir. Yani döküm sıcaklığı katılaşma ve sıvılaşma eğrilerinin ortasındadır.

Genel kabule göre ise metal basınç uygulandığında tamamıyla sıvı durumda olmalıdır. Her iki halde de bu sıcaklık geciktirme süresi ile ayarlanır (Franklin ve Das., 1984).

2.4.5 Uygulanan Basınç ve Bekleme Süresi

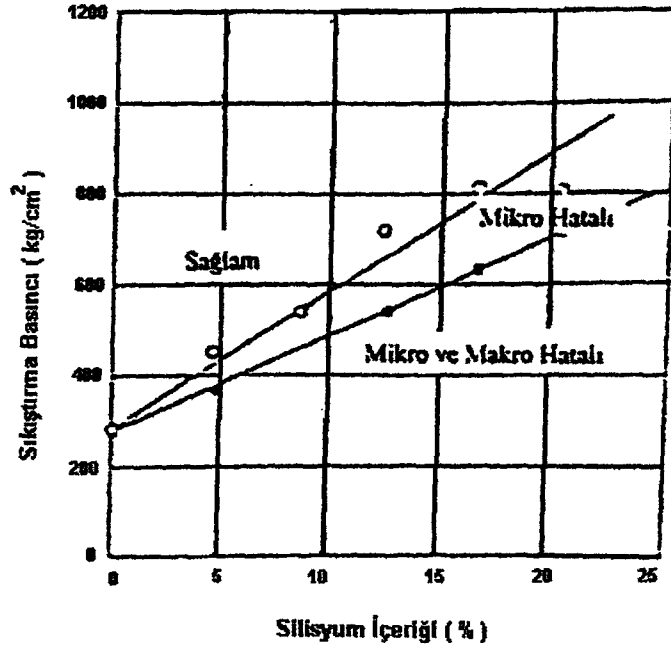
Uygulama basıncı parça şekli ve alaşımın bileşimine bağlı olarak 30-140 MPa arasındadır. Basınç seviyesinin belirlenmesinde arzu edilen mekanik özelliklerde önemlidir. Boşluksuz yapıda döküm parçası üretmek için uygulanacak basınçtan daha fazla basınç uygulamak mekanik özellikleri arttırabilir fakat kalıp ömrünü düşürür. Basıncın katılaşma davranışındaki olası etkileri ise;

- a) Metalin ergime sıcaklığının değişmesi
- b) Döküm kalıp arayüzeyi arasındaki ısı transferinin artması
- c) Katılaşma işleminin sonuna doğru yarı-katı malzemelerin çıkışıdır.

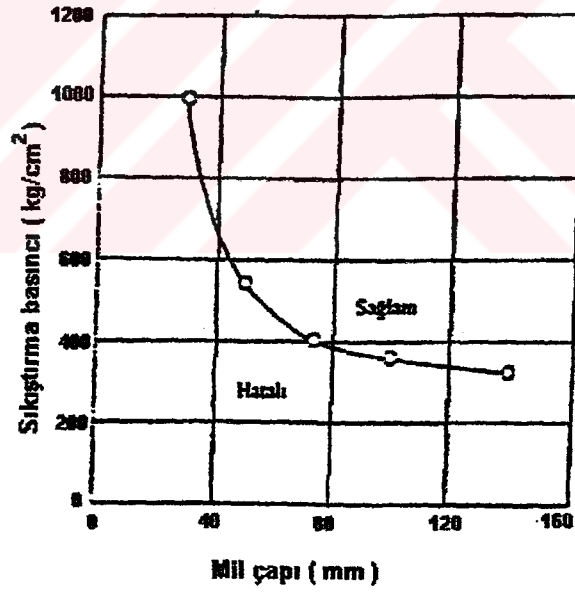
Uygulanan basınçta bekleme süresi alaşım tipi, parça şekli ve ısı transfer koşullarına bağlı olarak değişir. Parça tamamen katılaşana kadar basınç uygulamak yeterliyken sıcak yırtılmadan kaçınmak için bu süre biraz daha uzatılabilir. Daha uzun sürelerde basınç uygulanması çok az yarar sağlarken kırılma gibi problemlere yol açabilir. Tavsiye edilen kural 1 mm cidar kalınlığı için 1 sn beklenmesidir (Franklin ve Das., 1984).

Alaşım elementlerinin uygulama basıncı üzerindeki etkisini anlamak için Şekil 2.4'ü incelemek gerekir. Burada alüminyum içinde artan silisyum oranının seçilmesi gereken basınç seviyesini arttırdığı anlaşılmaktadır.

Uygulama basıncı üzerinde etkili olan ikinci faktör parça şeklidir. Parça şekli ile basınç arasındaki ilişki Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Artan parça büyüklüğü ile uygulanması gereken basınç ters orantılıdır.



Şekil 2.4 Uygulama basıncı ve Al-Si alaşımında Si miktarı arasındaki ilişki (Okada vd., 1982).



Şekil 2.5 Basınç ve parça şekli arasındaki ilişki (Okada vd., 1982)

2.4.6 Kalıp Malzemesi ve Kalıp Tasarımı

Kullanılacak kalıp malzemesi birinci derecede kullanılan alaşıma bağlıdır. İdeal olanı sıvı metal ve kalıp yüzeyi arasında hiçbir tepkime olmaması ve kalıp malzemesinin uygulama sıcaklığına dayanmasıdır (Franklin ve Das, 1984).

Demirdışı alaşımlarda genellikle H13 krom-molibdenli sıcak iş takım çelikleri kullanılır. Bu malzeme ortalama yüksek sıcaklık dayanımına ve yeterli ısıl yorulma ve yırtılma dayancına sahiptir. Daha zorlu koşullar için tungsten ve molibdenli sıcak iş takım çelikleri kullanılmalıdır.

Basıncılı dökümde girdaplı metal akışında kalıp yenim problemi sıkıştırılmalı dökümde görülmemiştir. Bununla birlikte sıvı metal çok çabuk katılaşmakta ve açığa çıkan enerji metal kalıp arayüzeyi vasıtasıyla kalıp malzemesine geçmektedir. Böylece kalıp yüzeyinde hızlı bir sıcaklık yükselişi olur. Parçanın çıkartılmasından sonra kalıp yüzeyi soğumaya başlar. Bu sıcaklık yükselişi ve düşüşü ısıl yorulmaya neden olabilir. Kalıpların parçalı yapılması bu sorunu çözümleyebilir.

Parçanın rahat sıyrılması için üst kalıpta demir dışı alaşımlar için köşeler 2 mm, demir alaşımları için 3 mm radiüslü verilmelidir. Toplam sıyırma açısı %2'den düşük olmamalıdır. Doğru sıyırma açısı gözenekliliğin giderilmesi için gerekli basıncın düşürülmesine de yarar. (Franklin ve Das., 1984)

Kalıp yüzeyleri uygun bir kalıp ayırıcı ile kaplanmalıdır. En ucuz yöntem koloidal grafit püskürtülmesidir. Daha zorlu koşullar için alümina ve bağlayıcı karışımı veya bor nitrür kullanılabilir.

2.5 Sıkıştırılmalı Dökümde Karşılaşılabilen Döküm Hataları

Güvenilir ürünler üretmek için kontrol altına alınması veya giderilmesi gereken döküm hataları şunlardır (Rajapol ve Altergott., 1985).

1. Oksit kalıntıları
2. Boşluklar
3. Darçıkım ayrışması
4. Kabarcıklanma
5. Dolmamış kalıplar
6. Soğuk döküm
7. Sıcak yırtılma
8. Yapışma
9. Kabuk soyulması
10. Darçıkım soyulması

2.5.1 Oksit Kalıntıları

Sıkıştırılmalı dökümde yolluk ve besleyici sistemleri olmadığı için yorulma dayanımını ve çekme dayanımını düşürecek kalıntılar döküm sırasında parça içinde kalabilir. Sıkıştırılmalı döküm ise çoğunlukla yüksek mekanik özellikler istendiğinde tercih edildiğinden temiz sıvı metal dökümü özellikle önem kazanır.

Alüminyumdaki metal olmayan kalıntıların genel kaynakları şunlardır:

1. Yük malzemesinin yüzeyinden gelen kalıntılar.
2. Ergitme, taşıma ve döküm esnasında oluşan atmosferik kirlenme
3. Metal transferindeki aşırı girdap
4. Potada kalan cürufların uzaklaştırılmasındaki yetersizlik.

Sıvıda bazı oksidasyonların oluşumu kaçınılmazdır. Sorun katı oksitlerin (Al_2O_3 , MgO gibi) yaklaşık olarak eriyik alüminyumla aynı yoğunluğa sahip olması ve eriyik içinde kalabilmesidir. Aşırı sıvı girdabı da bu oksitlerin varlığını artırır. Bu oksitler ne yazık ki kolayca uzaklaştırılamazlar. Bununla birlikte parça içine nüfuz edebilecek bu metal olmayan katışkıları önlemek için aşağıdaki teknikler kullanılabilir.

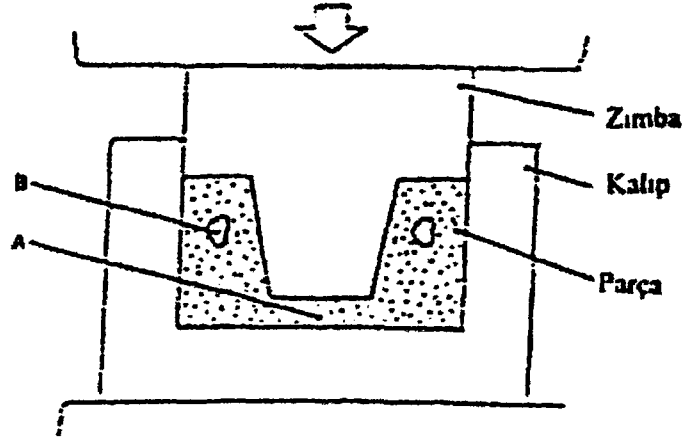
1. Sıvı yüzeyinde curuflar ayrılmalı
2. Koruyucu atmosfer altında işlem yapılmalı
3. Metal taşıma ekipmanlarından curuf kalıntıları alınmalı
4. Kalıp ağzında tercih edilecek şekilde seramik köpük filtre kullanılmalı
5. Mümkün olan en düşük ergitme sıcaklığı ve ergitme süresi kullanılmalı
6. Yük malzemesi ve sıvı metal taşıma ekipmanlarındaki nem ön ısıtma ile giderilmeli
7. Bütün aşamalarda en düşük sıvı girdabı olmalı

Sıvı metalin filtrasyonu (köpük filtre ile) en basit ve güvenilir oksit giderici önlem olarak gözükmektedir(Luş, 1999).

2.5.2 Boşluklar

Sıkıştırılmalı dökümün önemli avantajlarından bir tanesi yeterli basınç altında katılaşmada gaz ve çekme boşluklarının en aza inmesi veya yok edilmesidir.

Makroboşluklar: Şekil 2.6’da makroskopik boşluklar oluşma mekanizması gösterilmiştir. İnce kesitli yerler ilk katılaşılan yerler olup pres gücünün çoğunu üzerine çekip basınç iletimini veya metal hareketini engellemiştir. Kalın kesitli yerler hala sıvı haldedir ve bu kesitte sıvı metal hareketiyle beslenemeyen boşluklar oluşmuştur (Luş, 1999).



Şekil 2.6 Çekme boşluklarının oluşması. A-ince kesitli bölge. B-kalın kesitli bölge (Luş, 1999)

Makroskopik çekme boşlukları sıkıştırılmalı dökümde aşağıdaki yöntemlerle yok edilirler.

1. Arttırılmış basınç,
2. Kalın kesitlerdeki sıcak noktaların oluşumunu en aza indirecek şekilde sıvılaşma sıcaklığının hemen üstünde metal dökümü,
3. Şayet düşük döküm sıcaklığı soğuk döküm gibi hatalara neden oluyorsa daha yüksek döküm sıcaklıkları üst kalıbın inme zamanının gecikmesiyle kullanılabilir. Fakat buda sonradan tartışılacağı gibi yürümeme hatasına yol açabilir,
4. Kalın bölgenin soğutularak daha hızlı katılaşması sağlanabilir,
5. Üst kalıp iki parçalı yapılarak bağımsız basınçlar uygulanabilir,
6. Daha eşşekli geometride parçalar yapılabilir.

Katılaşılan son bölgede görülen makro boşluklara benzemez şekilde mikro boşluklar bütün parça boyunca yer alabilir. Mikro boşluklar çekme boşluklarından, katılaşma esnasındaki çözünmemiş gazlardan veya her ikisinin bileşimi sonucu oluşabilir. Döküm işleminde sıvı ve katı bir arada bulunmaktadır. Böylece küçük sıvı parçaları, büyüyen dentrit kolları içinde kalır.

Bu hapsolmuş sıvılar katılaştığında, bölgeye sıvı akışı olmadığı sürece bu bölgede mikroboşluklar oluşur. Katılaşmada basınç iletimi daha evvel katılaşmış bölümler tarafından engellendiğinden sıvı akışı olamaz ve boşluklu yapı giderilemez.

Mikroboşluklar sıkışmış gazlar yüzünden de olabilir. Alüminyum içerisinde hidrojen çözünürlüğü oldukça yüksektir ve sıvının sıcaklığı ile bu çözünürlük hızla artar ve aşırı hidrojen genellikle küresel şekilde döküm içerisinde kalır. Bu boşlukları çekme boşluklarından da ayırmak zordur. Yeterli basınç iletimi gaz oluşumunu engellemeye meyillidir. Bundan dolayı gaz boşlukları genelde direkt basınç altında kalmayan bölgelerde sık görülür. Bazı zamanlarda gaz boşlukları sıvı metalin yeterince gazı alınmamışsa, nem oranı fazlaysa, basınç şiddeti çok düşükse veya çok yüksek ısıda döküm yapılmışsa da görülebilir.

Çekme boşlukları ile gaz mikroboşluklarını ayırt etmek zor olsa bile bu gaz pinhollerini (iğne deliklerini) en aza indirmek aşağıdaki şekillerde mümkündür(Luş, 1999).

1. Gaz alma işlemini uygun şekilde yapmak
2. Döküm geometrisini değiştirmek
3. Basınç miktarını arttırmak
4. Kalıbı dolduracak en düşük döküm sıcaklığında çalışmak
5. Nem kaynaklarından sakınmak (Su bazlı kalıp ayırıcılar gibi)
6. Direkt veya indirekt gaz yakıtlı fırın kullanılıyorsa gaz kompozisyonunu oksitleyici alev verecek şekilde ayarlamak

2.5.3 Darçıkım Ayrışması

Sıkıştırılmalı dökümde varolan hızlı soğuma daha az ayrışmaya yol açar. Diğer bir taraftan, sıkıştırılmalı döküm kendine özgü bir makro ayrışma vermeye eğilimlidir. Sıvı alüminyumun kalıba dökülmesiyle beraber, ilk katı çekirdekler kalıp duvarlarından büyümeye başlar. Katılaşma yüzeyi kalıp yüzeylerinden uzaklaşmaya başladıkça katı yüzey Cu, Zn, Mn, Si gibi elementlerce zengin sıvıyı iteler. Böylece bu elementlerce zengin bölüm üst kalıp indiğinde diğer bölgelere gider. Katılaşma tamamlandığında parçada çözelti derişimi farklılığı görülür. Bu derişim farklılığı ısıtma işlemce giderilemeyecek kadar şiddetli olabilir. Daha da önemlisi bu bölgeler düşük ergime sıcaklığına sahip olabilirler. Çökelti sertleşmesi işleminde bu fazlar ısıtma işlem esnasında ergimeye meyledebilir. Mekanik özellikleri olumsuz şekilde etkilemesi dışında korozyon direncide düşer. Bu olayın olumlu yanı bu hataların genellikle

2014 ve 2075 gibi yüksek alaşımlı malzemeler kullanıldığında görülmesidir. Aşağıdaki yöntemlerle bu hata giderilebilir(Luş, 1999).

1. Kalıp sıcaklığını arttırmak
2. Kalıp kapanma zamanını en aza indirmek
3. Alaşım seçimini uygun yapmak

2.5.4 Ayrışma

Katılma kalıp duvarlarından merkeze doğru ilerler. Merkez son katılan bölge olduğu için alaşım elementlerince zengindir. Bu hatada darçıkım ayrışması gibi sorunlara yol açabilir. Aşağıdaki tekniklerin kullanılmasıyla giderilebilir(Luş, 1999).

1. Yönlendirilmiş katılma olacak şekilde kalıp soğutulması (yukarıdan veya tersi yönde)
2. Daha hızlı katılma için düşük kalıp sıcaklığı. Böylece alaşım elementlerince zengin kısımlar oluşmayacaktır.
3. Döküm alaşımının değiştirilmesi.
4. Düşük döküm sıcaklığı.
5. Homojenizasyon ısı işlemi

2.5.5 Kabarcıklanma

Sıvı hareketinde girdap ve basınç hava ceplerinin ve yarı-katı parçacıkların hapsolmesine yol açar. Bunlar yüzeyin hemen altındalarsa basınç kaldırılırken veya ısı işlem esnasında ortaya çıkarlar. Bu hata genellikle ince kesitli geniş yüzeyli parçaların en büyük sorunudur. Bu hatayı gidermek için şu önlemler alınmalıdır (Luş, 1999).

1. Pres inme hızı azaltılmalı
2. Doğru gaz giderme işlemi uygulanmalı
3. Metal olmayan parçaların uzaklaştırılması için filtrasyon yapılmalı
4. Hava kaçıışı için uygun dizayn yapılmalı
5. Akış kalın kesitten ince kesite doğru yapılmalı
6. Mümkün olan en düşük döküm sıcaklığı kullanılmalıdır.

2.5.6 Kalıbın Tam Dolmaması ve Birleşmeme (Soğuk Döküm)

Hava veya döküm gazlarından doğan basınç ince kesitlere sahip yerlerin tam dolmamasına yol açabilir. Diğer döküm yöntemlerinde olduğu gibi sıkıştırılmalı dökümde de parça şekli kalıp boşlukları tam dolmadan katılaşması sonucu bozulabilir (Luş, 1999). Bunu önlemek için

1. Kalıp sıcaklığını yükseltmek
2. Döküm sıcaklığını yükseltmek
3. Kalıp inme zamanını azaltmak
4. Daha geniş katılaşma aralıklı alaşım
5. Yönlendirilmiş katılaşma için kalıp tasarımı önlemleri alınabilir.

2.5.7 Sıcak Yırtılma

Sıcak yırtılma hızlı katılaşma hızlarında sık görülen genel bir döküm hatasıdır. Sıvı ve katı geniş bir sıcaklık aralığında birarada bulunduğu rijit kalıp yüzeyindeki katının karşı hareketli kısmı katılaşmış bölgede kopmalara sebep olabilir. Çinko içeren alaşımların metal kalıba dökümü bu yüzden zordur. Sorun değişik kesit kalınlıkları parçada bulunuyorsa daha da büyür. Kesit farklılıkları değişik soğuma hızlarına da neden olabileceğinden sorun karmaşılaşır. Sıkıştırılmalı dökümde bu hatadan kaçınmak için pek çok çözüm bulunmaktadır (Luş, 1999). Bunlar;

1. Parçada açık yerleri ve köşe çaplarını arttırma
2. Kalıp sıcaklığını azaltmak
3. Ayrışmaları (segregasyonları) yok etmek için döküm sıcaklığını düşürmek
4. Döküm basıncını arttırmak
5. Basınç uygulayıp üst kalıp ayrıldıktan sonra parçayı hemen çıkarmak
6. Dar katılaşma aralıklı veya daha düşük ergime noktalı alaşım seçmek
7. Döküm parçasında birbirine yakın kesitler kullanmak

2.5.8 Yapışma

Kalıp tasarımı veya kalıp ayırıcısında hata yapılmadıkça yapışma kritik bir problem değildir. Yapışma sonucu üst kalıp alt kalıptan ayrılırken ince alüminyum bir tabakayıda çeker. Genellikle kalıpların soğumasına izin vermeyecek hızlı çevrim süreleri söz konusuysa görülür. Yapışma aşağıdaki önlemlerle engellenir (Luş, 1999).

3. YARI-KATI METAL DÖKÜMÜ YÖNTEMİ

Yarı-katı metal dökümü 100 yıldan beri çeşitli şekillerde uygulanmıştır bununla birlikte bugün bildiğimiz yarı-katı metal döküm teknolojisinin esasları M.C. Flemings'in 1960'ların sonlarında MIT'de gerçekleştirdiği bir seri çalışmanın sonunda ortaya çıkmıştır. (Nadca, 1999)

Flemings'in çalışmalarında görüldüğü üzere normal dendritik mikroyapıya sahip olan malzeme dendritik olmayan, küresel bir mikroyapıya dönüştürülerek yüksek katı oranının sağlanmasına karşın düşük bir kesme dayanımı sunabilir hale getirilmiştir. Bu tip bir malzeme işlem sonunda ağdalık (tikotropi) özelliği kazanmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki yarı-katı döküm teknolojisinin kullanımıyla üretilmiş olan parçalarda yüksek kalite ve mekanik özellikler sağlanabilmektedir. (Nadca, 1999)

Yöntemin diğer bir üstünlüğü ise sadece belirli metal alaşımlarının kullanımıyla sınırlı kalmamasıdır. Yalnız buna karşın üretimin başlangıcında özel olarak hazırlanmış hammaddenin kullanımı bir zorunluluk olarak karşımıza çıkar. (Nadca, 1999)

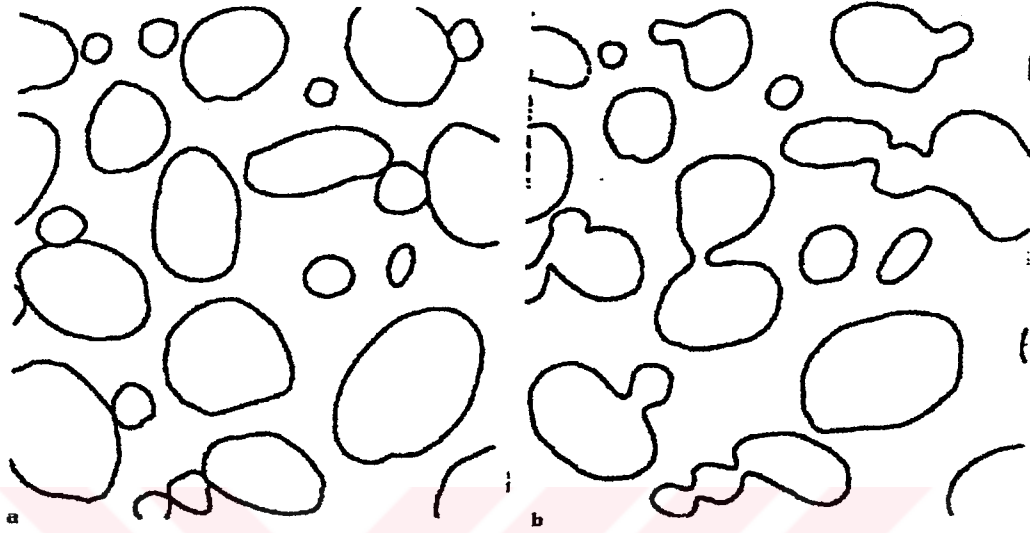
MIT'nin yarı-katı metal dökümü teknolojisi üzerine geliştirmiş olduğu patentin hakları Alcoa grup içerisinde yer alan Alumax Inc. tarafından alınmıştır. Alumax bu patentten yola çıkarak 1980'lerin sonunda otomotiv endüstrisi uygulamaları için yarı-katı döküm parçalarının üretimine başlamıştır. 1992 yılında orijinal patentin koruma süresinin bitmesiyle beraber yöntemin geniş bir alanda kullanımı başlamıştır. (Nadca, 1999)

1990'ların başlarından itibaren avrupadaki birincil alüminyum üreticileri direksiyon kutusu, transmisyon kapağı, süspansiyon kolları ve aktuatör şaftı gibi parçaların üretilmesinde yüksek dayanım ve kalitenin sağlanması amacıyla yarı-katı metal döküm teknolojisinden yararlanmaya başlamışlardır. Dünya çapında 60'tan fazla kuruluş birkaç gramdan 7 kilografa kadar olan alüminyum esaslı parçaların üretiminde bu yönteme başvurmaktadır. (Nadca, 1999)

3.1 Yöntem

Katılaşma sırasında dendritler bir ağ halinde büyürken arayerlerinde çözünence zengin bir sıvı kalır. Dendritlerin birbirleriyle teması şekil değiştirmeye karşı bir direnç oluşturur (Campell, 1970). Soğuma esnasında sıvı katı karışımı hızla karıştırılacak olursa katı dendritleri kırılır ve herhangi bir zamanda temas kurmaları engellenir (Şekil 3.1a).

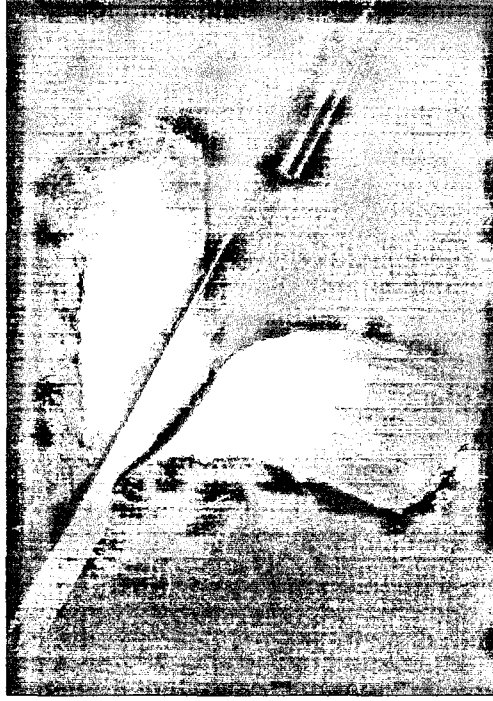
Düşük karıştırma hızlarında karışım büyük ölçüde koyulaşır. Bunun sebebi katı dendritlerinin kaynaşma için daha fazla zaman bulabilmeleridir (Şekil 3.1b). Eğer karışım tamamen karıştırılmazsa dendritlerin arasındaki birleşmeler daha da büyüyerek güçlenecek ve birkaç saniye sonra karışım bir kısıkaç ile katı gibi ele alınabilecektir (Campell, 1970).



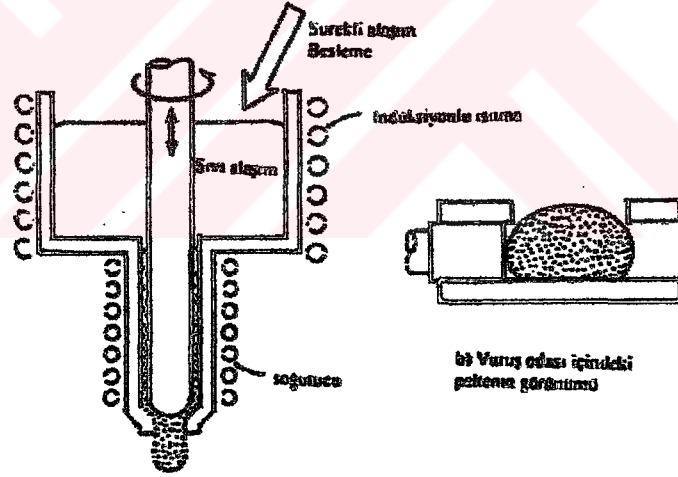
Şekil 3.1 a) Hızlı karıştırılmış karışımın görünümü, b) Yavaş karıştırılmış karışımın görünümü (Campell, 1970).

Böylece karışım katı parçacıkların kayganlaştırıcı gibi davranan sıvı ile çevrildiği bir asıltı ortamında ince bir bulamaç gibi davranır. Karışımın viskozitesi ortamda ne kadar katı olduğuna bağlı olarak değişir. Örneğin ortamda %10 katı bulunduğu zaman sıvının viskozitesi tamamen sıvı hale göre %20 yükselir. Katı oranının artmasıyla viskozite çok hızlı bir şekilde yükselir. %50 katı oranında viskozite on katına çıkar. %30 katı oranı viskoziteyi 3 katına çıkartan katı oranıdır ve karışım basit kalıpların içine akabilecek kadar akıcı olur (Campell, 1970).

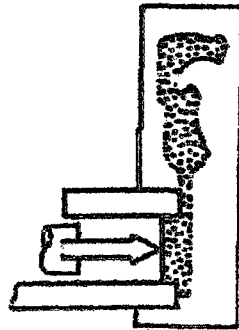
Pelte Döküm (Rheocasting) adı verilen bu yöntemle elde edilen yarı-katı haldeki kütükler kısa süre tutulabilecek kadar sertleşmiş olmalarına karşın bir darbe veya kesme hareketi ile hemen akmaya başlarlar. Bu tip bir oluşum şekil 3.2’de görülmektedir (Nadca, 1999). Bu şekilde elde edilen kütüklerin katılaşmadan veya katılaştıktan sonra düşük sıcaklıkta katılaştıran ara fazlarının ergime sıcaklığına kadar ısıtılması ile yeniden preslenerek dökümde kullanılmasına ise Ağda Döküm (Thixocasting) adı verilir (Kınıkoğlu, 1999). Şekil 3.3’de Pelte döküm işleminin adımları görülmektedir. İşlem gazlardan, oksitlerden ve metal olmayan kalıntılardan uzak, süreksizliklerin olmadığı bir malzemeyi amaçlamaktadır (Kınıkoğlu, 1999).



Şekil 3.2 A357 alaşımının yarı-katı metal döküm sıcaklığındaki pelte görünümü (Nadca, 1999)



a) Sürekli Pelte dökümü



c) Kalıba dökülen pelte



d) Bitmiş döküm parçası

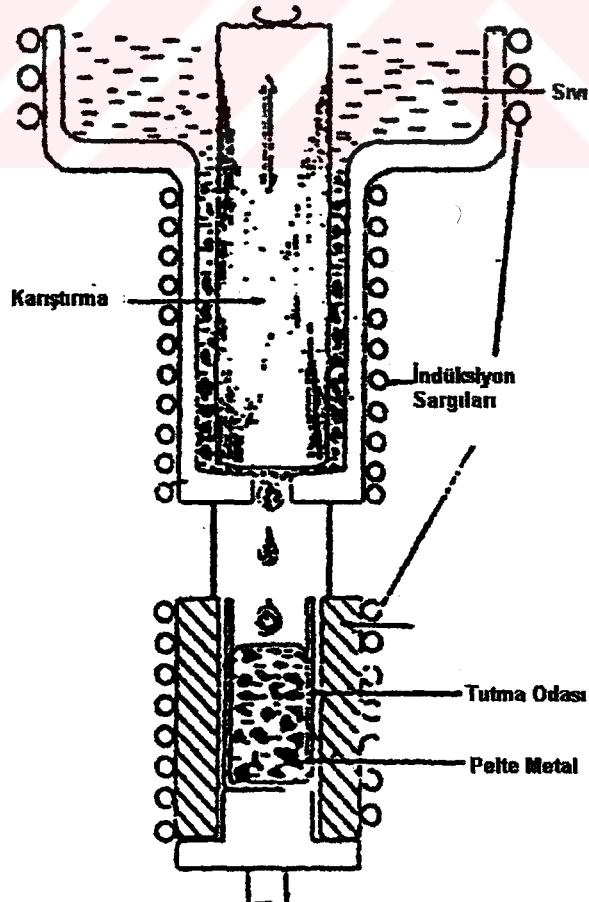
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Şekil 3.3 Yarı-katı metal dökümü işleminin adımları (Riek vd., 1976).

3.1.1 Döküm Makinesi Sistemi

Döküm sistemi sürekli veya ihtiyaca göre yarı sürekli biçimde yarı-katı pelte alaşım üretecek donanımı içerir. Şekil 3.4'te sistemin çizgisel görünümü verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi pelte üretici karıştırma odası ve bunun üzerinde bir sıvı metal haznesi bulundurmaktadır. Bunlar tek parça pota olarak üretilmişlerdir. Pota; Al_2O_3 , C, SiO_2 ve CaO içeren bir malzemeden izostatik presleme yoluyla üretilmiştir (MIT'deki prototip) (Matsumoto vd., 1975).

Alt kısımdaki çıkış bölgesinin altında pota ile aynı malzemeden yapılmış bir toplama silindiri bulunur. Karıştırma rotoru ise yüksek saflıkta alüminadan üretilir ve alt kısmı yarı küre biçiminde sonlandırılır. Rotor istenilen hızda döndürülebilecek şekilde bir düzencele elektrik motoruna bağlıdır. Rotorun ayrıca çıkış kapısında kapak görevi görebilmesi amacıyla aşağı yukarı hareket yeteneği de vardır. Üstte biriktirilen sıvı metal, karıştırma odası ve toplama odasındaki metal indüksiyon yoluyla ısıtılmaktadır. Karıştırma çemberinin çevresindeki indüksiyon bobini çıkan pelte içinde istenilen katı oranının sağlanması için çıkış bölgesine yaklaştıkça sıcaklığın düşeceği şekilde tasarlanır. Ayrıca toplama odasının alt kısmı da ısıtılır.

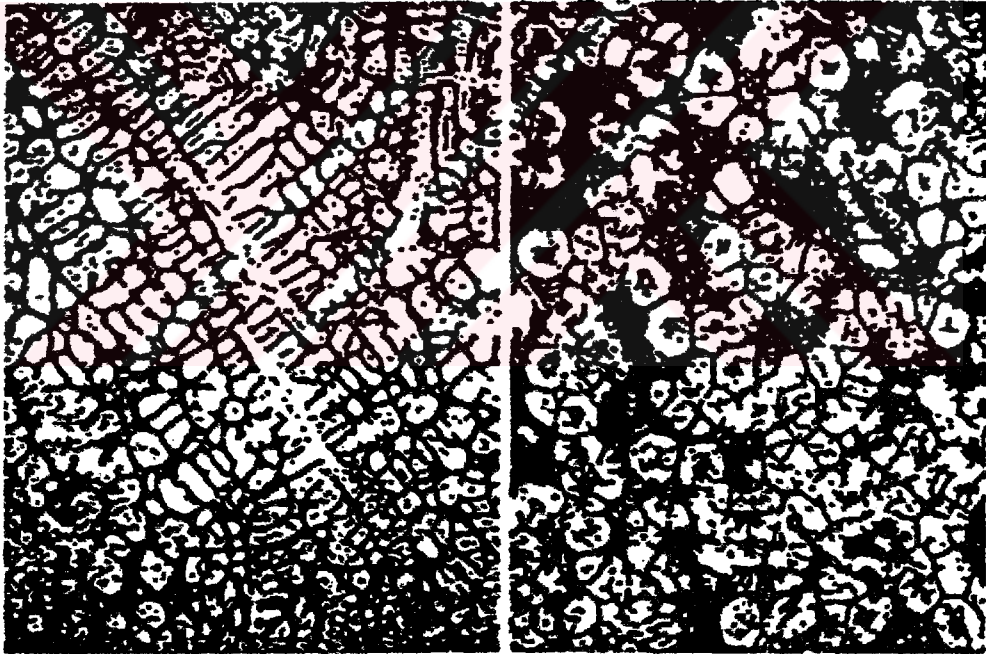


Şekil 3.4 Sürekli pelte üretici döküm makinesi çizimi (Matsumoto vd., 1975).

Toplama esnasında oda içindeki sıcaklık yaklaşık olarak alaşım pelvesinin sıcaklığıdır. Bu sayede pelte donmadan veya yeniden ergimeden durabilir. Pota dolduğunda ya malzeme hızla döküm makinesine yollarır yada daha sonra ağda dökümde kullanılmak üzere soğutulur (Matsumoto vd., 1975).

3.1.2 İçyapı

Alaşımın içyapıları; pelteleşme davranışları, karıştırma vasıtasıyla dikkat edilebilir biçimde değiştirilebilir. Şekil 3.5'te hem klasik dendritik yapıda sıvılaşma sıcaklığının üzerinde dökülmüş 440C paslanmaz çelik yapısı, hemde katı-sıvı aralığındaki sıcaklıkta pelte halindeki aynı alaşımın dökümünün dendritik olmayan küresel şekli görülmektedir. İlk katı parçacıklar döküm esnasında mevcut olup bunlar soğutulmuş sıvı anayapı ile çevrili olarak görülmekte ve ayırt edilebilmektedir (Şekil 3.5b).



Şekil 3.5 440C paslanmaz çeliğinin a) dendritik ve b) pelte döküm döküm yapılarının karşılaştırması. (b resmindeki açık renkli küresel parçacıklar sürekli pelte döküm makinasında oluşan birincil katı parçacıklardır.) (Matsumoto vd., 1975)

3.2 Yarı-Katı Metal Dökümü İşleminin Avantajları

1. Pelte dökümün başlıca avantajı metal kalıpların ömrünü arttırıyor olması. Bunun sebepleri: a) Normal döküm sıcaklığından 80°C kadar aşağılarda olan düşük döküm sıcaklığı, b) Metalin katılaşma gizli ısısının büyük bir bölümünü zaten vermiş olmasından dolayı daha düşük ısı içeriğinin olması. Böylelikle kalıplar daha çabuk soğuyabiliyorlar (Campell, 1970).

2. Basınçlı dökümün boyutsal hassasiyetini artırır. Kalıbın düşük sıcaklığı nedeniyle genişleme ve çarpılma en aza iner. Metal kalıba dökülen Alüminyum alaşımlarında yoğunluk artışı sağlar.
3. Yüksek üretim hızı. Üst ısının olmaması ve katılaşma gizli ısısının yarısından fazlasının uzaklaştırılmış olması dökümde kalan ısının oldukça küçük ve hızla uzaklaştırılabilir olmasını sağlar. Bu sebeple döküm parçasıda, kalıpta zarar görmeden üretim hızı artırılabilir.
4. Otomasyona uygun olması. Ağda döküm hattı kullanılarak ön dökülmüş külçeler kolaylıkla ve hızla ısıtılabilirler ve katılar gibi darbe odasına konulabilirler. Böylece aynı zamanda sıvı metal taşımada karşılaşılan problemlerden de kurtulunmuş olur.
5. Malzeme tasarrufu. Ön dökülmüş malzeme soğukken tam istenilen ağırlıkta kesilebilir veya parçalara bölünebilir. Böylelikle döküm makinasına son derece doğru miktarda malzeme yüklenmiş olur. Bu yolla sıvının ağırlığının hassas olarak ölçülmesi sorunları aşılmış olur ve toplam döküm ağırlığı ile birlikte fazla metal ağırlığıda hassas olarak kontrol edilebilir (Campell, 1970).
6. Hassas işlenmiş kalıplarla çok az işlemeye ihtiyaç gösteren son şekline yakın parçalar üretilebilir.
7. Yarı-katı dövme, dökümün gerektirdiği enerjinin %65'ini gerektirir.
8. Daha az sıvı-katı büzülmesi ve daha az mikro gözeneklilik verir (Kınıkoğlu, 1999).

3.3 Kalıbın Isıl Davranışı

Metal kalıpların kırılması, yüzeysel aşınması ve lehimlenme yüksek sıcaklıkta dökülen alaşımların metal kalıplara dökülmesinde karşılaşılan ana sorunlardır. Bu sorunların herbiri kalıp içindeki ısı akışına ve kalıp ile döküm malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Temel olarak kalıptaki çatlakların dereceleri metal kalıp iç yüzeyindeki ısı eğimcesinin büyüklüğüne ve kalıp malzemesinin ısıl şok direncine bağlı olacaktır. Lehimlenme ve yüzey aşınması ise kalıp yüzey sıcaklığı, metalin kalıp içine akış hızı ve akış şekline bağlıdır.

Yarı-katı alaşımın metal kalıba dökümünde kalıp yüzey sıcaklığı ve sıcaklık eğimcesi, geleneksel dökümdeki sıvı alaşıma göre çok daha düşüktür. Çünkü yarı-katı alaşımın dökümü daha düşük sıcaklıktadır ve katılaşma sırasında dışarı verilecek ısının büyük bir bölümü zaten döküm yapılmadan önce verilmiştir. Ayrıca yarı-katı alaşımın sıvı alaşıma göre daha yüksek viskozitesi kalıbın dolması aşamasındaki ısı akışının hızını azaltır.

Şekil 3.6'da Fe-C faz çizgesinin demirce zengin bölgesi görülmektedir. Fe-%0,8C karbon çeliği için geleneksel sıvı metal dökümünde alaşımın sıcaklığı 1575°C'tır; aynı bileşime sahip

0,5 katı oranlı yarı-katı alaşımın döküm sıcaklığı ise 1450°C 'in altına iner. Bu sıcaklıklara karşılık katılaşmanın tamamlanması için yarı-katı metalden 67 cal/gm ısı uzaklaştırılması gerekirken, üst ısıtılmış metal için bu rakam 120 cal/gm'dür (Matsumoto vd., 1975).

Bu durumda yarı-katı metal kullanarak kalıp yüzey sıcaklığını ve sıcaklık eğimcesini düşürerek kalıp ömrümüzü uzatacağımız bir gerçektir.



Şekil 3.6 Fe-C Faz çizgesinin demirce zengin bölgesi (Matsumoto vd., 1975).

3.4 Döküm Parçalarında Gözeneklilik

Yarı-katı alaşımla yapılan düşük basınçlı metal kalıba dökümde sıvı alaşımla yapılan geleneksel döküm yöntemine göre daha düşük gözeneklilik elde edilir. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi; metal yarı-katı olarak kalıba girdiğinden sonuçta daha düşük çekme gözenekliliği meydana gelir. Meydana gelen gözeneklilik ise diğer yöntemle göre daha eş dağılımlı meydana gelir. İkinci sebep ise; metal sıvı metale göre daha viskoz olduğundan kalıp içine itilme esnasında daha az püskürme olur ki buda yapıya daha az havanın girmesini sağlar. Bu olay tamamen şeffaf kalıplarda incelenmiştir (Riek vd., 1976).

Tamamen sıvı alaşımların ve yarı-katı alaşım peltelerinin kalıp doldurma davranışları şeffaf kalıp içinde kalıbın dolumunun yüksek hızda fotoğrafları çekilerek doğrudan incelenebilmektedir. Şekil 3.7'de Sn-%15Pb alaşımının kalıbı dolduruluşu gösterilmektedir. Çerçeve 3.7a ve 3.7b'de sıvı metal enjeksiyonu ile sıvı metalin kalıba girişi ve karşı taraftaki kalıp duvarına vuruşu görülmektedir. Çerçeve 3.7c ve 3.7d'de ise 0,55 katı oranlı yarı-katı alaşım peltasinin göreceli olarak daha yumuşak girişi görülmektedir ki bu sıvıya göre 2-3 kat daha viskoz olan katı yapının kendine özgü dolum yapısıdır (Bu fotoğraflarda kalıp içindeki metal hızı 700ft/dk'dır) (Matsumoto vd., 1975).

Bir başka çalışmada ise döküm parçalarının gözenekliliği x-ışını radyografisi ile incelenmiş. Bakır esaslı 905 alaşımının 1100 psi içitim basıncıyla aynı kalıp boşluğuna sıvı ve pelte dökümlerinin şekil 3.8'de görülen x-ışını radyografileri çekilmiş. Şekil 3.8'den de görüldüğü gibi üst ısıtılmış sıvı metalin dökümü önemli miktarda gözeneklilik olmadan yapılamamış olmasına karşılık yarı-katı malzemede katı oranı arttıkça gözenekliliğin azaldığı, kalitenin arttığı gözlenmiştir (Matsumoto vd., 1975).

3.5 İşlemden Oluşabilecek Hatalar

Üretim değişkenleri iyi kontrol edilmediği takdirde yarı-katı döküm yönteminde de diğer üretim yöntemlerinde olduğu gibi süreksizlikler meydana gelecektir. Bu süreksizlikler ana hatlarıyla aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1 Kabarcıklar

Ana nedeni çok yüksek metal akma hızıdır. Kalıp yüzeyini hızla kaplayan metal yüzeyindeki kabuk ile arkadan gelen metal arasında sıkışan kalıp gazıdır. Bir diğer nedeni kalıp yüzeylerindeki kirliliktir. Kalıp yüzeylerini çok temiz tutmak ve metal akış hızını azaltmak ve metalin kalıba girerken kullandığı yolun kesit alanını artırarak önlenir.

3.5.2 Soğuk Birleşme

Az rastlanan bir hatadır. Yüzeylerdeki oksit filmleri ve iyi havalanmaması nedeniyle sıkışan havanın yüzeyi oksitlemesi sonucu iki metal yüzeyinin birbirine kaynamasıdır. İyi bir havalandırma ve metal akış şeklini değiştirerek önlenir.

3.5.3 Doldurmama

Erken donma, düşük metal hızı ve basıncı, sıkışan hava kalıp boşluğunun tam olarak dolmasını engeller. Peltedeki sıvı oranı artırılarak, kalıp sıcaklığı artırılarak, basınç ve hız artırılarak ve havalandırma iyileştirilerek önlenir.



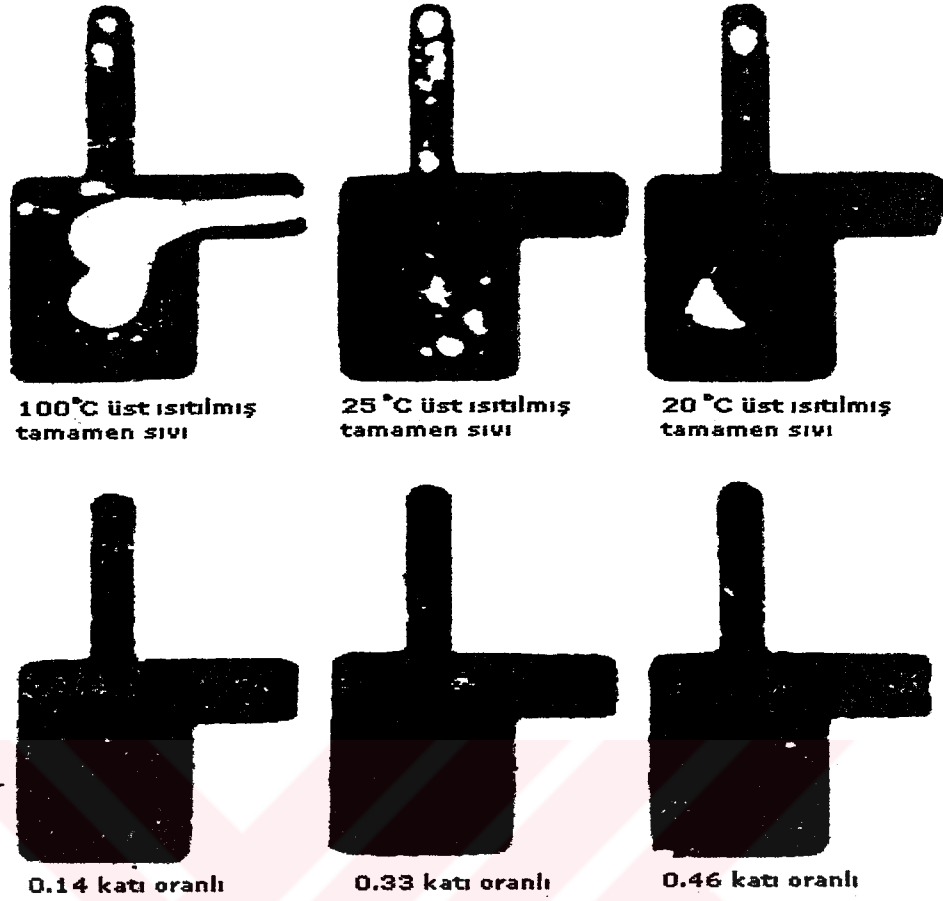
Şekil 3.7 Sn-%15Pb alaşımının kalıbı doldurması. a) ve b) 25°C üst ısıtılmış sıvı metal, c) ve d) 0,55 katı oranlı pelte döküm alaşımı (Matsumoto vd., 1975).

3.5.4 Yüzey Boşluğu

Kalıp yüzeylerindeki yağ ve hidrolik sıvısının yarattığı gaz basıncı neden olur. Yüzeyleri temizlemekle önlenir.

3.5.5 Sıcak Yırtılma

Katı hal büzülmesi sıcak sünekliği aşacak derecede gerinim yarattığında meydana gelir. Parça ve kalıp tasarımı değiştirilerek ve yüksek metal basıncı, kısa bekleme zamanı veya alaşımın cinsi değiştirilerek önlenir.



Şekil 3.8 Bakır esaslı 905 alaşımının sıvı ve pelte halden dökümlerinin radiografları (Matsumo vd., 1975).

3.5.6 Büzülme Gözenekliliği

Kalın kesitli kısımlar onları besleyen kısımlardan sonra katılaşırsa meydana gelir. Kalıp sıcaklığı ve besleme bölümü değiştirilerek, dövmeden sonraki besleme zamanı ve basıncı artırılarak önlenir.

3.5.7 Gaz Gözenekliliği

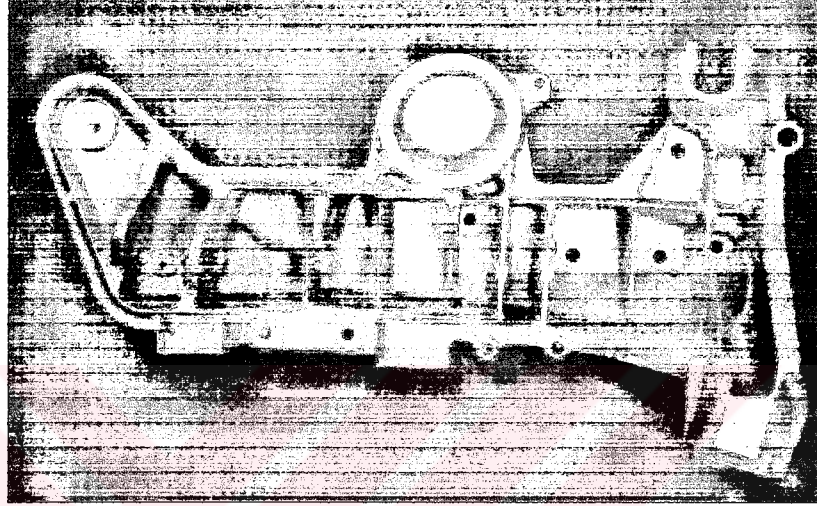
Çok az rastlanır. Metalin kalıptan içeri giriş hızının çok yüksek olması sonucu doğan girdaplar neden olabilir. Hızı azaltmak veya meme genişliğini arttırmak gerekir (Kınıkoğlu, 1999).

3.6 Yarı-Katı Dövme Uygulamaları

Yarı-katı dövmenin avantajları onun birçok yaygın üretim yöntemiyle örneğin dövme, metal kalıba döküm, hassas döküm, darçıkım, talaşlı vida üretimi, basınçlı döküm yarışabilmesine

imkan vermiştir. Yaygın uygulama yerlerine örnek olarak otomobil tekerlekleri, fren ana silindirleri, valfler, otomobil direksiyon kutusu parçaları, motor pistonları, kompresör gövdeleri, elektrik iletme parçaları verilebilir (Kınıkoğlu, 1999).

Örnek olarak yarı-katı metal döküm teknolojisi ile A356 kalite alaşımdan Alfa Romeo firması için üretilmiş bir arka süspansiyon desteği parçasının görünümü şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 A356 alaşımından Alfa Romeo arka süspansiyon desteği (Nadca, 1999).

3.7 Yarı-Katı Metal Dökümünün Sıkıştırılmalı Ve Diğer Döküm Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'te yarı-katı metal dökümünün diğer döküm yöntemleriyle çeşitli işlem karakteristikleri açısından karşılaştırılması sunulmuştur. Çizelgeler içerisinde değerlendirme göstergesi olarak kullanılan rakamlarda 1'den 5'e doğru özelliğin iyiden kötüye doğru yönelimi ifade edilmiştir (Nadca, 1999).

Yarı-katı metal dökümünde döküm parçasının üretilmesi için gerekli olan süre metal kalıba döküm ve sıkıştırılmalı döküm uygulamalarına göre daha uzun bir zaman almaktadır. Ama ilave olarak yarı-katı metal dökümleri için kullanılan kalıpların ömrü diğer döküm uygulamalarında kullanılan metal kalıplara göre çok daha uzundur. Bunun sebebi ise bu yöntemde döküm işlemini göreceli olarak daha düşük sıcaklıklarda yani metal alaşımının ergime sıcaklığının altında yapılmasıdır ki buda metal kalıbın katılaşma aşamasında daha az ısı etkisinde kalmasını sağlar (Nadca, 1999).

Çizelge 3.1 Dayanım ve bütünlük faktörleri yönünden ürün karakteristikleri (Nadca, 1999).

	Katılma Hızı (SDAS)	Mikro Gözeneklilik	Büzülme Beslemesi	Basmaç Sızdırmazlık	Çözümlü Isıl İşlem	Aleml Çeşitliliği	Metal Matris Kompozitlere Uygunlabilirlik	Yüzey Kalitesi	Kaynaklanabilirlik	Dayanım	Süreklilik
Seri Üretim Yöntemi											
Sıkıştırılmalı Döküm											
Direk	25 - 75	1	1	1	evet	3	1	3	1	1	1
Endirekt	5 25	1	1	1	evet	3	2	1	1	1	1
Yarı Katı Metal	10 40	1	1	1	evet	3	1	1	1	1	1
Kuma Döküm Yön.											
Yaş Kum Kalıba	40 - 100	5	4	4	evet	1	3	5	2	3	3
Kuru Kum Kalıba	30 - 80	4	4	4	evet	1	3	4	2	3	3
Cosworth Yöntemi	25 - 60	3	3	3	evet	1	5	4	2	3	3
Kaybolan Köpük Yön.	50 - 150	5	4	4	evet	4	5	5	2	5	5
Kokil Kalıba Dök. Yön.											
Statik Metal Kalıba Dök.	20 - 60	3	3	3	evet	2	3	3	2	3	2
Devirmeli Döküm	20 - 60	3	3	3	evet	2	4	3	2	3	2
Düşük Basıncılı Döküm	20 - 60	2	2	2	evet	3	5	3	2	2	2
Karşıt Basıncılı Döküm	20 - 60	2	2	2	evet	3	5	2	2	2	2
Dövme Döküm	15 - 40	2	2	2	evet	4	3	2	2	2	2
Metal Kalıba Döküm											
Klasik	5 25	5	4	4	hayır	4	5	1	5	5	5
Kontrolü Vuruşlu Dök.	5 40	4	3	3	sınırlı	4	3	1	4	4	4
Vakum Altında	5 25	2	3	3	sınırlı	4	3	1	4	3	4
Dövme		1		1	evet	5	3	3	1	1	1

Çizelge 3.2 Boyutsal ve karmaşıklık faktörleri yönünden ürün karakteristikleri (Nadca, 1999).

	Tam Şekillendirilebilir Kapasitesi				Boyutsal Tolerans				Yüzey Bitimi	
	Parça Karmaşıklığı	Boyutsal Tekrar Edilebilirlik	Makine ile İşleme Toleransı	Minimum Duvar Sayısı	Lineer Eğim	Ayırma Çizgisi	Kesit Kalınlığı	Düzgünlük	Yüzey Pürüzlülüğü	
Seri Üretim Yöntemi										
Sıkıştırılmalı Döküm										
Direk	4	2	5	4	3	5	4	5	1	2
Endirekt	2	1	3	1	1	2	2	3	2	1
Yarı Katı Metal	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Kuma Döküm Yön.										
Yaş Kum Kalıba	2	5	5	5	5	3	5	4	4	5
Kuru Kum Kalıba	2	3	3	3	4	3	4	3	3	4
Cosworth Yöntemi	2	3	3	3	4	3	4	3	3	4
Kaybolan Köpük Yön.	1	2	3	2	3	1	1	1	5	5
Kokil Kalıba Dök. Yön.										
Statik Metal Kalıba Dök.	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3
Devirmeli Döküm	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3
Düşük Basıncılı Döküm	3	3	4	3	2	4	3	3	3	3
Karşıt Basıncılı Döküm	3	3	4	3	2	4	3	3	3	3
Dövme Döküm	5	2	5	4	2	5	4	4	2	2
Metal Kalıba Döküm										
Klasik	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Kontrollü Vuruşlu Dök.	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1
Vakum Altında	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Dövme	5	2	5	5	2	5	5	5	1	2

Çizelge 3.3 İşleme ve kalıp faktörleri yönünden işlem karakteristikleri (Nadca, 1999)

Seri Üretim Yöntemi	Makine		Birleştirme (Kombine)			İşleme			
	Verimlilik (Zamana Göre)	Yararlılık	Maça	Döküm İçi Parçası	Malzemeler	Geliştirme Zamanı	Ömür	Maliyet	Değişim Esnekliği Çoklu Boşluk
Sıkıştırılmalı Döküm									
Direk	5	4	5	4	Takım Çeliği	2	4	4	5
Endirekt	3	3	3	1	Takım Çeliği	5	4	5	5
Yarı Katı Metal	1	2	3	1	Takım Çeliği	5	1	5	5
Kuma Döküm Yön.									
Yağ Kum Kalıba	1	1	1	5	Plastik-Çelik	1	1	1	1
Kuru Kum Kalıba	4	2	1	3	D.Demir-Çelik	2	2	2	2
Cosworth Yöntemi	4	2	1	3	D.Demir-Çelik	2	2	2	2
Kaybolan Köpük Yön.	3	2	1	5	Alüminyum	4	1	2	2
Kokil Kalıba Dök. Yön.									
Statik Metal Kalıba Dök.	4	2	2	4	D.Demir-Çelik	3	3	3	3
Devirmeli Döküm	4	2	3	4	D.Demir-Çelik	3	3	3	4
Düşük Basıncılı Döküm	5	3	2	3	D.Demir-Çelik	2	3	4	3
Karşıt Basıncılı Döküm	5	3	2	3	Takım Çeliği	3	2	4	4
Dövme Döküm	5	3	5	5	Takım Çeliği	2	4	4	5
Metal Kalıba Döküm									
Klasik	2	5	5	1	Takım Çeliği	3	4	5	5
Kontrolü Vuruşlu Dök.	3	4	3	2	Takım Çeliği	3	2	5	5
Vakum Altında	2	5	5	1	Takım Çeliği	3	3	5	5
Dövme	4	4	5	5	Takım Çeliği	2	2	4	5

Çizelge 3.4 Döküm faktörleri yönünden işlem karakteristikleri (Nadca, 1999).

Seri Üretim Yöntemi	Metal Akışı	Yönlendirilmiş Katılaşma	Katılaşma Hızı F°/sn	Kalıp Doldurma Süresi (sn)	KSI Katılaşma	Kalıp Sıc. (F°)	Döküm Sıc. (F°)
Sıkıştırılmalı Döküm							
Direk	2	4	3	5 25	15-40	450-600	1300-1350
Endirekt	1	1	1	0,2-2	10 20	450-600	1275-1400
Yarı Katı Metal	1	1	1	0,1-0,5	10 20	300-600	<1100
Kuma Döküm Yön.							
Yaş Kum Kalıba	3	4	4	5 25	Atmos.	Oda s.c.	1300-1400
Kuru Kum Kalıba	3	3	4	5 25	Atmos.	Oda s.c.	1300-1350
Cosworth Yöntemi	1	3	3	5 25	Atmos.	Oda Sıc.	1300-1350
Kaybolan Köpük Yön.	2	5	5	5 25	Atmos.		
Kokıl Kalıba Dök. Yön.							
Statik Metal Kalıba Dök.	3	3	3	5 25	Atmos.	600-800	1300-1500
Devirmeli Döküm	2	2	3	10 30	Atmos.	600-800	1300-1450
Düşük Basıncılı Döküm	1	2	3	10 60	Atmos.	600-800	1275-1350
Karşıt Basıncılı Döküm	1	2	3	10 60	0,2-1	600-800	1275-1350
Dövme Döküm	2	4	2	5 25	Atmos.	400-600	1250-1300
Metal Kalıba Döküm							
Klasik	5	4	1	0,04-0,1	10 15	300-450	1175-1250
Kontrollü Vuruşlu Dök.	4	4	2	0,05-0,2	6 12	400-600	1225-1300
Vakum Altında	4	4	1	0,04-0,1	4 8	300-450	1175-1250
Dövme						300-600	

Çizelge 3.5 Ekonomiklik yönünden işlem karakteristikleri (Nadca, 1999).

	İşlemler				Ürün			
	Toplam	Ekipman	İşleme	Döküm	İşlem	Ham Madde	Parça Ağırlığı	Net Şekillendirilme
Seri Üretim Yöntemi								
Sıkıştırılmalı Döküm								
Direk	4	4	4	4	4	3	1	4
Endirekt	2	5	5	2	2	3	1	2
Yarı Katı Metal	3	5	5	3	2	5	1	2
Kuma Döküm Yön.								
Yaş Kum Kalıba	1	1	1	1	5	3	5	3
Kuru Kum Kalıba	2	2	2	2	4	3	5	3
Cosworth Yöntemi	2	2	2	2	4	3	4	3
Kaybolan Köpük Yön.	1	2	2	1				
Hassas Dök. Yöntemleri								
Hassas Döküm	3	3	2	3	2	4	2	1
Alçı	3	2	1	3	4	4	2	1
Koklu Kalıba Dök. Yön.								
Statik Metal Kalıba Dök.	2	2	3	2	4	2	4	3
Devirmeli Döküm	2	2	3	2	3	2	4	3
Düşük Basıncılı Döküm	3	3	4	3	2	3	3	3
Karşıt Basıncılı Döküm	3	3	4	3	2	3	3	3
Dövme Döküm	4	2	4	3	1	3	3	4
Metal Kalıba Döküm								
Klasik	2	4	5	1	1	1	2	1
Kontrollü Vuruşlu Dök.	3	4	5	3	1	2	2	1
Vakum Altında	2	4	5	2	1	2	2	1
Dövme	4	5	4	4	4	4	1	5

4. SIVAMA DÖKÜM

4.1 Giriş

Sıvama döküm yeni bir döküm yöntemidir. Geleneksel merkezkaç döküm, sıkıştırılmalı döküm ve yarı-katı metal dökümü yöntemlerini tek bir yöntemde birleştirmektedir. Merkezkaç döküm makinasının tablası üzerinde dönmekte olan bir kalıcı kalıp içinde merkezkaç kuvvet etkisiyle ön şekillenmiş yarı-katı metal, dönmeyen bir üst kalıp ile sıkıştırılarak döküm parçasına son şekli verilmektedir.

Merkezkaç etki ile ergimiş metalin üst kalıp indirilmeden kalıbın iç duvarında yükselmesi ve alt ve üst kalıplar arasındaki yarı-katı metal üzerinde yaratılan kesme hareketi ile yarı-katı metale kazandırılan akışkanlık daha ince ve uzun parçaların dökümüne imkan vermektedir.

4.2 Yöntem

Klasik merkezkaç döküm işleminde ergimiş metal dönen silindirik bir kalıcı metal kalıba dökülmektedir. Merkezkaç kuvvet ergimiş metali dönen kalıbın yüzeylerine yaymakta kalıbın şekline ve bulunduğu yere bağlı olarak ya silindirik bir boru veya kalıbın belirlediği bir biçimde katılaşmaktadır.

Klasik sıkıştırılmalı döküm işleminde ergimiş metal sabit bir metal alt kalıba dökülür. Üst kalıp zimba alt kalıptaki sıvı metal üzerine indirilir ve parçanın son şekli zimba daha da bastırılarak elde edilir. Fakat, kalıp ve zimba ile temas halindeki ergimiş metal hızla ısı kaybettiğinden sıkıştırma etkisine rağmen hızlı katılaşma işlemin ince yüksek cidarlı parçaların üretilmesinde kullanılmasını sınırlamaktadır.

Yarı-katı metal dökümünde, pota içinde peltemsi bölgeye kadar soğumuş yarı-katı metal bir kanatçıkla karıştırılarak dendritler kırılır ve küreleştirilir. Dendritleri küreselleşmiş malzemenin kazandığı akışkanlık onun sıvı alaşımlar gibi kalıbın ince kesitlerini doldurmasına imkan verir.

Sıvama döküm alt tablası merkezkaç döküm makinası¹ olan bir sıkıştırılmalı döküm presinde gerçekleştirilmektedir. Sıkıştırılmalı dökümün alt kalıbı bir merkezkaç döküm makinasının döner tablasına yerleştirilmiştir. Sıvı metal merkezkaç döküm makinasının tablası üzerinde

¹ Makine proje ekibi tarafından verilen verilere göre Prof. Dr. Faris Kaya tarafından tasarlanmıştır.

dönen (Genellikle yağlama ve ısıtma gibi ön hazırlıklar yapılmış halde) metal kalıba dökülür. Sıkıştırılmalı dökümün üst kalıbı olan zımba indirilmeden önce sıvı metal merkezkaç kuvvet etkisiyle kalıbın duvarları üzerinde yayılarak iç yüzeyi merkezkaç kuvvet etkisiyle belirlenen eğimde şekillenecektir. Ergimiş metalin dönen kalıp yüzeyinde kısmen katılaşmasından sonra zımba indirilerek yarı-katı malzeme dönen alt kalıp ile dönmeyen zımba arasında sıkıştırılarak (Sıkıştırılmalı dökümde her iki kalıpta dönmemektedir.) parçanın son şekli elde edilir. Sıkıştırma hareketinin başında metal henüz yarı-katı haldeyken kalıbın belirli bir süre dönmesi sağlanır. Bu süre makinanın gücü kapatılarak kalıbın kendi ataletiyle durana kadar dönmesi veya kalıp bir süre döndükten sonra dönmenin frenlenmesi şeklinde yapılabilmektedir.

Dönen alt kalıp ve dönmeyen üst zımba kalıp arasındaki yarı-katı metal üzerinde bir kesme etkisi yaratmaktadır. Kesme etkisi kısmen katılaşmış metalin dendrit ağını ve dendritlerini kopartarak onları yarı-katı metal dökümü işleminde olduğu gibi küreleştirir.

İşlem sırasında üç etki altında kalan sıvı metal çok daha ince kesitli silindirik parçaların dökümle üretilmesine imkan vermektedir. Ergimiş metal merkezkaç kuvvetin etkisiyle zımba indirilmeden önce alt kalıbın üst kısımlarına doğru yükselmiş olmaktadır (birinci etki). Bu sırada iç kalıbın soğutucu tesiri olmadığından sıvı metal her iki kalıbın birden soğutucu etkisine maruz kaldığı duruma göre daha sıcak kalmakta, akışkanlığını daha uzun süre muhafaza edebilmektedir. Diğer taraftan, kalıplar arasındaki yarı-katı metal üzerinde oluşan kesme kuvvetlerinin metalin dendritlerini kırarak onu daha akışkan hale getirmesi (ikinci etki) ve sıkıştırmanın yarattığı hidrostatik basınç (üçüncü etki) ile metal iki kalıp arasında daha yükseklerle çıkabilmekte, daha ince kesitleri doldurabilmektedir.

Ergimiş metal katılaşma ayrılaşmasından önce merkezkaç kuvvet etkisiyle kalıp cidarında yükselerek ön şekillendiğinden geleneksel sıkıştırılmalı dökümde normal olarak metalin son sürüklendiği bölgelerde rastlanılan çözünen ayrılaşması sıvama döküm yönteminde daha azdır. Ayrıca, ilk katılaşan alaşımın bileşimindeki kırılan dendrit parçaları çözünen ile yukarılara doğru sürüklendiğinden bu kısımlar çözünence zenginleşmekte dolayısıyla üstteki ince kısımlarda katılaşma ayrılaşmasının etkisi geleneksel sıkıştırılmalı dökümden daha az olmaktadır.

Sıvama döküm yönteminin mikroyapı üzerindeki bir diğer olumlu etkisi gaz gözenekliliğindeki azalmadır. Başlangıçtaki merkezkaç kuvvetler etkisiyle yayılma sürecinde

katılaşma sırasında oluşan gaz üst kalıp metalle temas halinde olmadığından daha kolaylıkla ergimiş metali terk edecektir. Ayrıca, sıkıştırma sürecinde yarı-katı metalin karıştırılması ve dendrit ağının kırılması da gazın ergimiş metali daha kolaylıkla terk etmesine neden olmaktadır.



5. SONUÇ

Yüksek sıcaklıkta dökülen alaşımların dökümünde karşılaşılan sorunlar sadece malzeme geliştirilerek çözülebilecek bir sorun değildir. Malzeme sınırlamalarından dolayı döküm işleminde karşılaşılan sorunlar işlemin içinde bir takım değişiklikler yapılarak aşılabılır ki sıvama döküm sağlayabileceği özelliklerle bu koşulu gerçeklemektedir. Uzun kalıp ömrü, düşük döküm sıcaklığı, malzeme tasarrufu, boyutsal hassasiyet gibi özelliklerinden dolayı üzerinde pekçok çalışma yapılabilecek bu konunun gelecekte geliştirilecek yeni düzenekler ve yöntemlerle önem kazanacağına ve endüstride geniş bir kullanım alanı bulacağına inanılmaktadır.



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Daha önceden bahsedildiği üzere Sıvama Döküm Yöntemi; Merkezkaç Döküm, Sıkıştırılmalı Döküm ve Yarı-Katı Metal Dökümü işlemlerinin bir araya getirilmesiyle gerçekleşen bir döküm yöntemidir. Bu nedenle sıvama döküm yöntemine geçiş öncesi sıkıştırılmalı döküm yöntemine hakim olmak ve gerekli bilgi tabanını oluşturmak amacıyla sıkıştırılmalı döküm deneylerine başlanmıştır.

6.1 Sıkıştırılmalı Döküm

6.1.1 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

6.1.1.1 Döküm Alaşımı

Deneyler için alaşım belirlenirken kullanılacak alaşımın hem sıkıştırılmalı dökümde hem de yarı-katı metal dökümünde kullanılan bir alaşım olmasına dikkat edildi. Bu alaşımlar içinde A356 alaşımına karar verildi. Ancak ülkemizde A356 alaşımı bulunmadığından bu alaşıma en yakın olan ve ülkemizde bulunabilen Etial 160 alaşımına karar verildi. Deneylerde kullanılan külçeler Gelişim Metal A.Ş.'den temin edildi. Tüm deneylerde aynı alaşım kullanıldı.

Deneylerde kullanılan şarj malzemesinin Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümünde yapılan spektral analizi sonucu belirlenen bileşimi çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Sıkıştırılmalı Döküm deneylerinde kullanılan alaşım bileşimi.

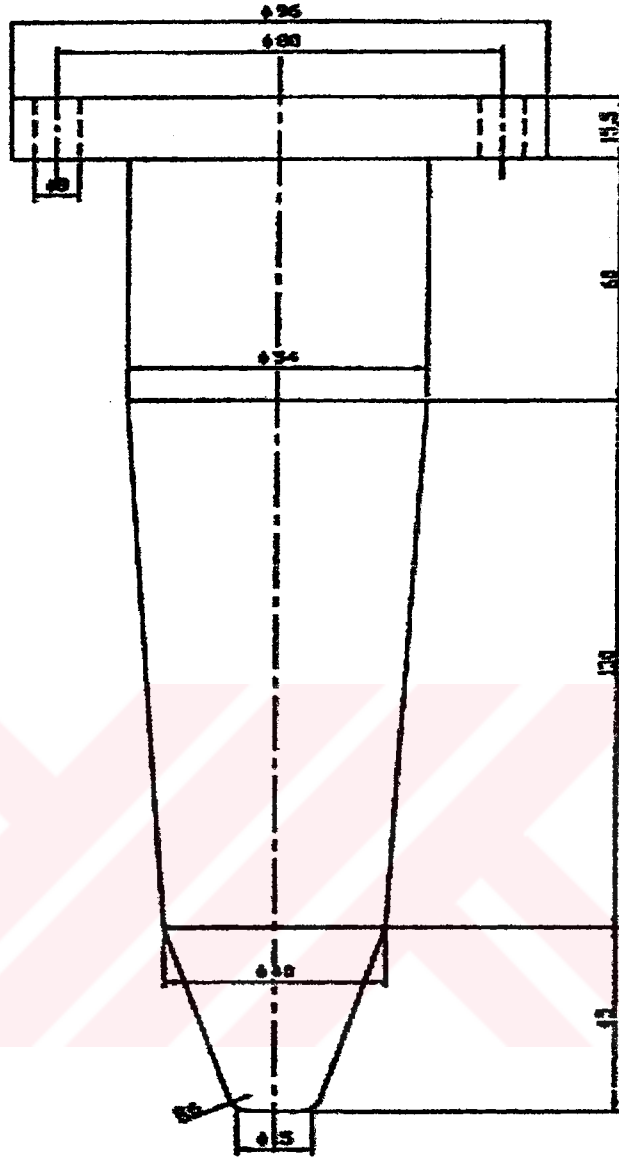
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
7,53	0,68	3,01	0,18		0,65	0,015

6.1.1.2 Kalıp

Kalıp malzemesi 1,2344 rumuzlu sıcak iş takım çeliğidir. Üst ve alt kalıbın teknik çizimleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Üreri amaçlanan parça mühimmat gövdesi olduğundan kalıplar buna göre dizayn edilmiştir. Kalıplar Kararmaz Kalıp A.Ş.'de işlenmiş ve İstaş A.Ş.'de ısıtılma tabi tutularak 52 HRC sertlik değerine ulaştırılmışlardır.

6.1.1.3 Kalıp Ayırıcı Malzemeler

Kalıp ayırıcı olarak ZYP Coatings firmasının Boron-Nitride Lubriccoat ve Boron-Nitride Hard-Coat ürünleri kullanılmıştır. Malzemeler Refsan A.Ş.'den temin edilmişlerdir.



Şekil 6.2 Üst Kalıbın Teknik Resmi

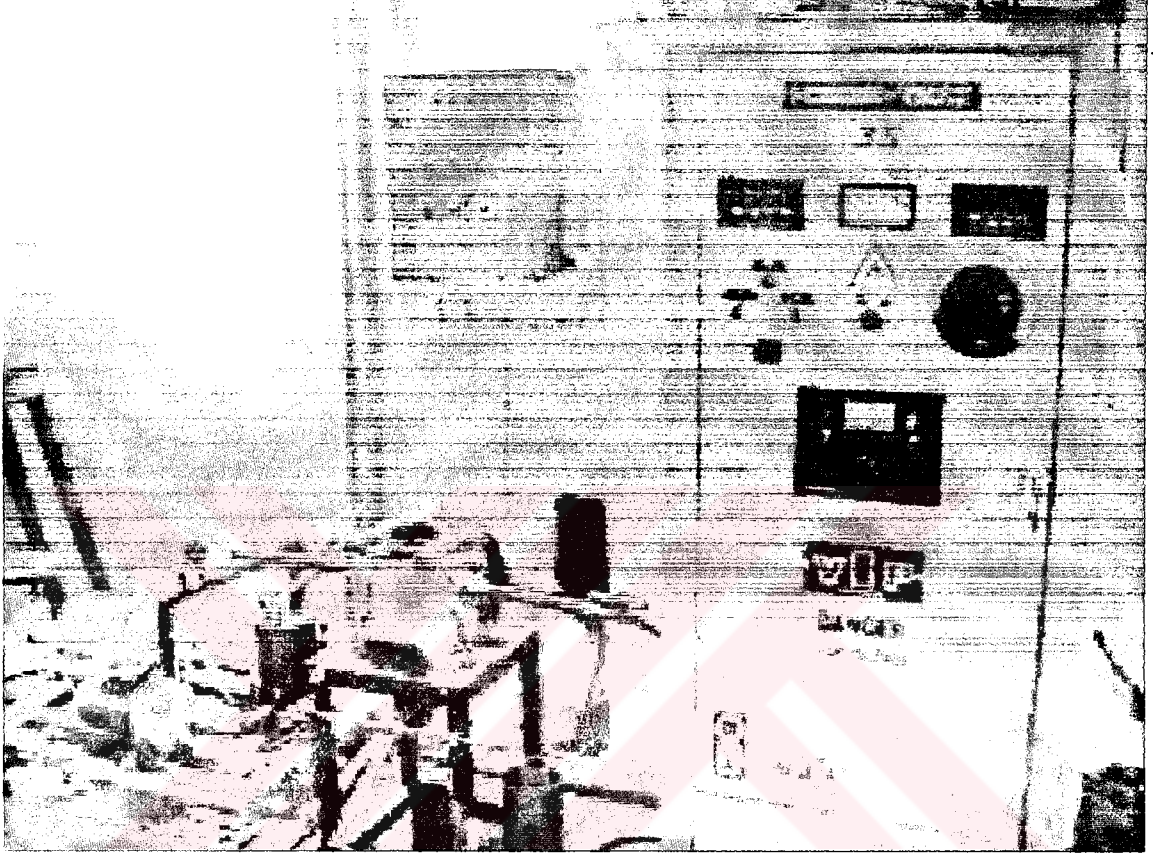
Yapılan deneylerden sonra bu sürenin uzun olduğuna karar verilerek 9. deneyden sonra pres üst kalıp alt kalıba dayandıktan 3 saniye sonra basıncı en yüksek seviyeye ulaştıracak şekilde üretici firma tarafından yeniden yapılandırıldı. Kullanılan hidrolik presin teknik özellikleri çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Hidrolik Pres Teknik Özellikleri

Üst Tabla Kursu	100 mm
Maksimum Yük	100 Ton
Tablalar Arası Maksimum Açıklık	1480 mm
Ağırlık	5200 kg

6.1.1.6 Ergitme Ünitesi

Ergitme için Inductotherm marka VIP Minimelt tipi 9600 Hz frekanslı indüksiyon ocağı kullanılmıştır. Kullanılan ergitme ünitesinin resmi Şekil 6.3'te görülmektedir.



Şekil 6.3 Ergitme Ünitesi

6.1.1.7 Grafit Pota

Hem içinde ergitme işlemi gerçekleştirilen hem de döküm esnasında kullanılan grafit pota en fazla 1200 gram sıvı alüminyum içerecek şekilde Toz Metal A.Ş. 'den satın alınmıştır.

6.1.1.8 Kalıp Isıtma Fırını

İlk başta Özmak Ltd. Şirketi'ne yaptırılmış olan elektrik dirençli kalıp ısıtma fırını birkaç deneyden sonra eriyip kullanılamaz hale geldiğinden sadece çelik kasası kalacak şekilde sökülerek 7 kw kapasiteli olarak tarafımdan yenilenmiştir.

6.1.1.9 Sıcaklık Ölçüm Cihazları

Hem sıvı metal sıcaklığının hemde kalıp sıcaklığının ölçümü Testo 900 marka sıcaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Sıvı alüminyumun sıcaklığının ölçümü için NiCr-NiAl tipi daldırma probu, kalıp sıcaklığının ölçümü içinse NiCr-NiAl tipi yüzey probu kullanılmıştır.

6.1.1.10 Ultrasonik Temizleme Cihazı

Şarj malzemesinin ve gerektiğinde üst kalıbın temizlenmesinde Anka Firmasından temin edilen İntersonik marka ultrasonik temizleme cihazı kullanılmıştır. Ayrıca temizlik işlemlerinde Aykim Firması tarafından üretilmiş teknik Trikloretilen de kullanılmıştır.

6.1.2 Sıkıştırılmalı Döküm Deneyleri

6.1.2.1 Döküm Öncesi Hazırlıklar

Sıkıştırılmalı döküm deneyleri gerçekleştirilmeden önce her deney için aşağıda belirtilecek olan hazırlıklar gerçekleştirilmiştir.

6.1.2.1.1 Yük Malzemesinin Hazırlanması

Etial 160 malzemesi 12 kilogram'lık külçeler halinde olduğundan hem yük miktarının ayarlanması hem de malzemenin ocağa yüklenebilecek boyutlara inmesi için külçeler kesilir. Kesim esnasında iyice yağlanan ve kirlenen yük malzemesi ilk önce temiz bir bez trikloretilen ile ıslatılarak iyice silinir. Daha sonra 60 °C'de 30 dakika ultrasonik temizleme makinasında temizlenirler. Yüzeyindeki tüm kirliliklerinden arındırılmış malzeme kurutulmak üzere 150-200 °C sıcaklıktaki etüve bekletilir.

6.1.2.1.2 Gaz Giderme Malzemesinin Hazırlanması

Gaz giderme işleminde kullanılan hekzakloreten yeterli miktarda tartılıp 30 °C sıcaklıkta 2 saat kurutulur. Daha sonra şarjın binde 2'si kadar bir miktar tartılıp bir alüminyum folyoya sarılarak döküm anına kadar desikatörde bekletilir.

Gaz giderme işlemiyle ilgili bir diğer hazırlık ise işlem esnasında kullandığımız çanın üzerindeki bir önceki dökümden kalma artık alüminyumların ve oksitlerin temizlenmesidir. Bunların giderilmesi için çan kalın bir zımpara ile güzelce zımparalanır. Ayrıca başarılı bir gaz giderme için ergitme yaptığımız grafit potanın da dökümden önce 150-200 °C sıcaklıkta kurutulmasında yarar vardır.

6.1.2.1.3 Alt Kalıbın Yerleştirilmesi

Alt kalıp kollu aparatlar vasıtasıyla hidrolik presin alt tablası üzerinde merkezlenmiş çelik kaideye yerleştirilir. Yerleştirme işleminden sonra alt kalıbı kaideye bağlayan çevredeki 5 civatanın iyi bir şekilde sıkılmasına dikkat edilmelidir.

6.1.2.1.4 Kalıpların Temizlenmesi

Başarılı bir sıkıştırılmalı döküm işleminin gerçekleşmesi için dökümden önce kalıpların temizliğine son derece önem verilmelidir. Kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı malzemenin uygulanabilmesi için yüzeylerin yağdan ve kirden kesinlikle arındırılmış olması gereklidir. Temiz bir bez trikloretilen ile ıslatıldıktan sonra kalıplar bu bezle silinir ardından yine temiz ve kuru bir bezle kurulur. Kalıp ayırıcı uygulanana kadar kalıpların üzeri alüminyum folyo veya jelatinle kapanır.

6.1.2.1.5 Kalıp Ayırıcıların Uygulanması

Alt kalıpta bir hareket söz konusu olmadığından burada Boron Nitride Lubriccoat Aerosol kaplama malzemesi kullanılmaktadır. Sprey şeklinde bir üründür. Ürün kalıp üzerine 25-30 cm uzaklıktan tüm yüzeylere eşit gelecek şekilde püskürtülür. Kalıbın üzerinde koyu renk kalmayacak kadar sıkılamak yeterlidir. Fazla sıkılacak olursa akma yapar ve bu akma döküm parça üzerine olduğu gibi taşınır.

Üst kalıpta ise bir hareket söz konusu olduğundan Boron-Nitride Lubriccoat'a nazaran daha mukavemetli olan Boron-Nitride Hard-Coat üst kalıba daldırılarak veya fırça ile uygulanır.

6.1.2.1.6 Alt Kalıp Kapağının Kapatılması ve Üst Kalıbın Merkezlenmesi

Kalıp ayırıcı malzeme uygulandıktan sonra alt kalıbın kapağı kapatılır ve üzerindeki 8 civata karşılıklı olarak iyice sıkılır. Üst kalıp T civatalarıyla üst pres tablasına geçirildikten sonra göz kararıyla yaklaşık olarak alt kalıba merkezlenir fakat T civataları sıkılmaz. Pres yavaşça aşağıya indirilir ve indirilirken üst kalıbın alt kalıba göre konumuna dikkat edilir. Eğer merkezden kaçıklık gözlenirse hemen pres durdurulur ve üst kalıp tekrar merkezlendikten sonra üst kalıp alt kalıba dayanana kadar indirilmeye devam edilir. Kalıplar birbirine dayandıktan sonra üst kalıbın civataları iyice sıkılır ve böylelikle kalıplar merkezlenmiş olur. Üst kalıp kaplamasında herhangi bir çizilme varsa hemen onarılır.

6.1.2.2 Döküm İşlemi

Sıkıştırılmalı döküm deneylerimizde döküm safhası elektrik dirençli kalıp ısıtma fırınının kalıpların çevresine yerleştirilmesiyle başlar. Alt kalıbın üstü termal battaniye ile örtüldükten sonra üst kalıp alt kalıba dayanana kadar aşağıya indirilir ve fırına güç verilir. Deneylerde istenilen kalıp sıcaklığı 210°C 'tır. Fırının kalıpları bu sıcaklığa çıkartması yaklaşık olarak 50 dakika sürmektedir. Fırının kalıpları ısıtma rejimi çizelge 6.3'te görülmektedir.

Çizelge 6.3 Kalıp Isıtma Rejimi

Süre (dakika)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
10	50
20	100
30	140
40	180
50	220

Kalıp ısıtma fırınına güç verildikten 50 dakika sonra kalıp sıcaklıkları kontrol edilerek sıcaklık uygun ise üst kalıp yukarı kaldırılır. Alt kalıp üzerinde bulunan termal battaniye çekilir ve fırın kapağı sökülerek fırın kalıp üzerinden alınır. Bu esnada bir yandan da etüvde $150\text{-}200^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmış olan grafit pota ve şarj malzemesi indüksiyon ocağına yerleştirilir. Ocağa güç verilerek ergitme işlemine başlanır. Ergitme 6-8 dakika arasında sürer. Sıvı metal sıcaklığı 730°C 'ye geldiğinde daha önce içerisine gaz giderme malzemesi yerleştirilmiş olan gaz giderme çanı sıvı metal içerisine daldırılarak 30-35 saniye beklenir. Grafit pota bir tutamaç yardımıyla ergitme ünitesinden alınarak alt kalıba sıvı metal boşaltılır. Sıvı metalin etrafa sıçratılmadan ve mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde kalıp duvarlarına çarptırılmadan dökülmesine dikkat edilmelidir. Sıvı metal kalıp içerisine boşaltılır boşaltılmaz üst kalıp indirilir ve 20 saniye boyunca basınç uygulandıktan sonra yukarı kaldırılır.

20 dakika kadar parçanın soğuması beklendikten sonra alt kalıp kapağı sökülerek parça kalıptan alınır.



Şekil 6.4 Sıkıştırılmalı döküm işleminde döküm anı.

6.1.2.3 Sıkıştırılmalı Döküm Deneylerinde Karşılaşılan Sorunlar ve Sonuçlar

1. deneyde dökümün hemen ardından pres önceden çalıştırılıp yeterince ısıtılmadığı için çok yavaş aşağıya indi ve gerekli basıncı uygulayamadı. Potadan kalıba döküm 12 saniye gibi olması gerekenden çok daha uzun bir zaman sürdü. Alt kalıbı kaideye bağlayan cıvatalar ters bağlandığı için üst kalıp yukarı kaldırıldığında alt kalıpta beraberinde yukarı kalktı. Deney başarısız sonuçlandı.

Deney sonrasında tüm kalıplar prestan sökülerek dışarıda doğru şekilde monte edilerek üst kalıp alt kalıptan yine pres yardımıyla ayrıldı. Kalıptan çıkan parça basınç görmediğinden yüzey kalitesi son derece kötü idi. Yüzeyde çok fazla pürüzlülük ve büyükçe gaz boşlukları bulunmakta idi.

2. deneyin hazırlık safhası geçilip döküm için kalıpların ısıtılma safhasına gelindiğinde elektrik dirençli kalıp ısıtma fırını bozulduğundan deney yarıda kesilip fırın tamamen yenilenip 4 gün sonra deneye tekrar başlandı.

Bu dökümde sıvı metal potada kalıp içine 6 saniyede boşaltıldı ve üst kalıp indirilerek 20 saniye içeride tutuldu. Pres aşağıya indikten 15 saniye sonra 40 ton basınç çıktığını göz önünde bulunduracak olursak parçaya 5 saniye 40 ton basınç uygulandığı anlaşılmaktadır.

Döküm sonrası çıkan parçanın bir yarısı çok düzgün olmasına karşılık döküm ile ilk karşılaşan kalıp duvarının yüzeyi bozuk idi. Bunun sebebinin sıvı metal ilk kalıp duvarına çarptığı anda söz konusu bölgedeki bornitrürü bozması olduğu düşünüldü ve bir sonraki deneyde boşaltma işleminin alt kalıba sıvı metalin dik inecek şekilde boşaltılmasına karar verildi.

3. deneyde kullanılan basınç 40 ton, süre ise $15+5=20$ saniye idi. Döküm sonrasında alt kalıp kapağı araya sızan sıvı alüminyumun kapağı tutan civatalardan 2 tanesini sarması sebebiyle açılmadı ve parça dışarı alınamadı. Bunun üzerine ilk önce araya sızan alüminyum sodyumhidroksit çözeltisiyle çözündürerek civataların gevşetilmesi denendi ancak olumlu bir sonuç alınamadı. Son olarak alyan başlı civataların başları matkapla kopartılarak kapak söküldü ve parça dışarı alındı.

Parça yüzeyinde az miktarda gaz boşlukları vardı. Ancak yüzeyin önemli bir kısmı kapak sökülmeye çalışılırken kullanılan sodyumhidroksitin buharından zarar görmüş durumda idi.

Bir sonraki dökümde sıvı metalin civatalara ulaşmasını engelleyecek şekilde seramik izolasyon kağıdından yapılmış bir contanın civataların önüne yerleştirilmesine karar verildi.

4. dökümde şarj edilen metal miktarı 1027 gramdı (Normalde kullandığımızdan 45 gram daha fazla). Basınç 40 ton, süre ise $15+15=30$ saniye olarak uygulandı.

Deney sonunda kalıplar çakıldı. Yani basıncın uygulanmasından sonra üst kalıbın yukarı kaldırılması için pres pek çok kez zorlandı ancak gücü yetmedi ve üst kalıp alt kalıbın içinde sıkıştı. Bunun sebebi şarj miktarının fazla olması idi çünkü kalıp içindeki metal daha üst kalıp alt kalıba tam olarak girmeden boğaz kısmından dışarı çıkmaya çalışıyor ve orada kalıbı katılaştırarak kalıbı sıkıştırıyordu.

Üst kalıbı dışarı çıkartmak için üst kalıpla alt kalıp arasına 10 tonluk 4 adet hidrolik krik o yerleştirildi ve aynı anda preste çalıştırılarak yukarı doğru zorlanırken krikolara yüklenildi ancak olumlu bir sonuç alınamadı.

Bu denemeden sonra üst kalıbı pres tablasına bağlamaya yarayan parça üzerinde alt kalıp kapağının kapağını bağlayan civataları sökebilecek şekilde bir delik açıldı. Ancak civatalar sökülmeye çalışıldığında civataların da sıkıştığı anlaşıldı. Sonuçta civataların başları yine matkapla kopartılarak kapak söküldü. Civataların sıkışmasının yerleştikleri yuvaların alt

kısımlarının eğimli, cıvata başlarının ise düz yüzeyli olmasından kaynaklandığı anlaşıldı. Cıvata başlarının alt köşelerinde pah kırılmasına karar verildi.

Kalıplar açıldıktan sonra parçanın üst kalıba sıkıştığı görüldü. Parçaya 30 saniye şaloma ateşi tutulup genleşmesi sağlandıktan sonra bir manivela yardımıyla üst kalıptan rahatlıkla sıyrıldı.

Parçanın dış yüzeyi son derece düzgün olmasına karşılık iç yüzeyinde ağ şeklinde bozukluklar olduğu gözlemlendi. Ankiros 2001 fuarında ZYP Coatings firmasının yetkilisiyle görüşülüp parçalar beraberce incelendi. Yetkili bu ağ şeklindeki bozukluğun iç yüzeyde olup dış yüzeyde olmamasının sebebini dışta statik bir etki iç yüzeyde ise üst kalıbın hareketiyle dinamik bir etkinin olmasına bağladı. Üst kalıbın hareketi kalıp ayırıcı olarak kullanılan Boron-Nitride Lubricat'un yüzeyini bozuyordu. Alternatif olarak daha mukavemetli olan aynı firmanın ürünü olan daha mukavemetli Boron-Nitride Hard-Coat isimli malzemeyi önerdi ve bu üründen denememiz için göndermiştir.

5. deneyde önceki dökümlerde çok ısı kaybına sebep olduğu düşünüldüğü için daha küçük bir gaz alma çanı kullanıldı. Basınç değeri 40 ton, süresi $15+5=20$ saniye idi.

Deneydeki önemli değişikliklerden bir diğeri ise üst kalıpta kalıp ayırıcı olarak Boron-Nitride Hard-Coat malzemesinin kullanılması idi. Boron-Nitride Hard-Coat boya şeklinde sıvı bir malzeme. Uygulanmadan önce karıştırıcıda iyice karıştırılması gerekiyor. Yeterince karıştırıldıktan sonra bir behere alınarak üst kalıp malzemeye daldırılıyor. Daldırma yöntemi bize en temiz yüzeyi sağlayan yöntem, fırça ile uygulama ve püskürtme yöntemleri de denendi ancak yüzeyler istenilen düzgünlükte olmadı.

Döküm sonrası kalıplar sıkıştı. Ancak bu kez kapak cıvataları problem çıkartmadığından kalıplar rahatlıkla açıldı. Kalıplar açıldıktan sonra sıkışmanın alt kalıp kapağının boğaz kısmıyla üst kalıp arasına giren sıvı metal sebebiyle olduğu anlaşıldı ve boğaz kısmına alttan 8 mm dik bölge kaldıktan sonra 2°'lik bir koniklik verilerek tornalandı. Bu işlem sonunda üst çap 1mm genişlemiş oldu. Çıkan parçanın hem iç hemde dış yüzeyleri önceki dökümlere nazaran daha iyi olmasına karşın iç kısmın üst bölgelerinde halen büyük gaz boşlukları bulunmakta idi.

6. deneyde basınç gören parçalarla basınç görmeyen parçalar arasındaki farkı kıyaslamak amacıyla basınç uygulanmadı. Üst kalıp aşağıya indirildi ancak prese yük verilmedi. 20 saniye sonunda üst kalıp yukarı kaldırıldı.

Deney sonunda tüm kalıplar hiçbir sorunla karşılaşmadan söküldü. Parçanın hem iç hemde dış yüzeyi son derece pürüzlü idi ve parçanın uç kısmında bir çekme boşluğu bulunmaktaydı. İç kısımda üste doğru büyükçe gaz gözenekleri bulunuyordu. Boron-Nitride Hard-Coat'un hemen hemen hiç zarar görmeden üst kalıbın üzerinde kalmış olduğu gözlemlendi. Boron-Nitride Lubriccoat ise tamamen parçanın üzerine geçmişti. Üst kalıpta kalan Boron-Nitride Hard-Coat ancak 90 °C sıcaklıkta ultrasonik temizleme cihazıyla temizlenebildi.

7. deneyde kullanılan basınç değeri 20 ton, süre ise 15+5=20 saniye idi. Kalıplarda herhangi bir sıkışma meydana gelmedi. Elde edilen parçanın dış yüzeyi düzgün olmasına karşın iç yüzeyinde gaz gözenekleri bulunuyordu. Üst kalıbın alt kalıba girmesi esnasında sıvı metal püskürmesi gözlemlendi. Bu püskürmenin incelenmesi amacıyla dökümün tekrarına karar verildi.

8. deneyde de 20 ton basınç, 15+5=20 saniye süreyle uygulandı. Deney esnasında bir önceki dökümde gözlenen püskürme tekrarlandı. Bunun sebebinin alt kalıp kapağına verilen koniklik olduğuna karar verildi. Püskürmenin engellenmesi için bir sonraki dökümde üst kalıba bakır bir conta takılmasına karar verildi.

Parça yüzeyinde küçük ama çok fazla miktarda gözenekler bulunuyordu. İç yüzeyde ise daha büyük ve fazla sayıda gözenek mevcuttu. İç kısımdaki gözenekler yine üst kısma doğru büyüme eğilimindeydiler. Kullanılan bakır contanın püskürmeyi engellemeye yönelik bir etkisi gözlenemedi.

9. deneyde deney koşulları 40 ton basınç, 15+5=20 saniye süre idi. Döküm sonrasında kalıplar herhangi bir sıkışma olmadan açıldı. Elde edilen parçanın iç ve dış kısmında gaz gözenekleri bulunuyordu. Gaz gözeneklerinin her zaman iç yüzeyde daha fazla ve büyük olması göz önünde bulundurularak gazın sıvı metalden mi yoksa kalıp ayırıcı malzemeden mi kaynaklandığını belirlemek amacıyla bir dizi deney yapılmasına karar verildi.

Boron-Nitride Hard-Coat malzemesi sıkıştırılmalı döküm deneylerimizde hazırlandığı koşullarda hazırlanarak üstü açık "V" şeklinde bir metal kalıba uygulandı. Havada kuruması beklenip etüvde 250 °C'ye ısıtılarak sıkıştırılmalı döküm deneylerinde kullandığımız ergitme ve döküm koşullarında kalıba metal döküldü. Döküm sonunda kalıptan yoğun bir duman ve koku çıkışı belirlendi. Parça üzerinde gazın çıkışı kabarcık kabarcık gözlemlendi. Parçanın Boron-Nitride Hard-Coat ile temas eden yüzeyinde derin gaz boşlukları bulunuyordu. Malzemenin bünyesinde gaz çıkışına neden olan yanıcı maddelerin dökümden önce

uzaklaşmasını sağlamak amacıyla dökümden önce ayırıcı üzerine şaloma ateşi tutularak deneyin tekrarlanmasına karar verildi. Deney sonucunda elde edilen parça şekil 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.5 Hard-Coat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmamış döküm parçasının görünümü.

Boron-Nitride Hard-Coat kalıp ayırıcı malzeme ile yaptığımız 2. deneyimizde malzeme yine sıkıştırılmalı döküm uygulamalarımızda hazırlandığı koşullarda hazırlanarak “V” şeklindeki metal kalıbımıza uygulandı.

Kalıp ayırıcısının havada kuruması beklendikten sonra bu kez üzerine 2 dakika süreyle şaloma alevi tutuldu ve etüvde 250 °C sıcaklığa ısıtıldı. Sıkıştırılmalı döküm deneylerinde uyguladığımız ergitme ve döküm koşullarında kalıba sıvı metal döküldü. Bu kez ilk seferde olduğu gibi gaz ve koku çıkışı olmadı. Elde edilen parçanın yüzeyinde herhangi bir gaz boşluğu bulunmuyordu.

Böylelikle sıkıştırılmalı döküm deneylerimizde iç yüzeydeki derin gaz boşluklarının hangi sebepten kaynaklandığı belirlenmiş oldu. Sonuç olarak Boron-Nitride Hard-Coat’un döküm parçaya gaz vermemesi için uygulandıktan sonra havada kuruması beklenip ardından şaloma alevi tutulması gerektiği belirlendi.

Bu durumun Boron-Nitride Lubriccoat için geçerli olup olmadığının belirlenmesi için aynı deney çiftinin bu malzeme için de tekrarlanmasına karar verildi. Bu deneyin sonucunda elde edilen parçanın görünümü şekil 6.6’da görülmektedir.

Kalıp ayırıcılarıyla ilgili üçüncü deneyimizde Boron-Nitride Lubriccoat önceki 2 deneyde kullanılan metal kalıba uygulanarak havada kuruması beklendi. Etüvde 250 °C sıcaklığa ısıtılarak sıkıştırılmalı döküm deneylerimizde kullandığımız ergitme ve döküm koşullarında sıvı metal kalıba döküldü.



Şekil 6.6 Hard-Coat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmuş döküm parçasının görünümü.

Metal yüzeyinde çok az bir gaz çıkışı gözlemleniyse de bu Boron-Nitride Hard-Coat'ta olduğu gibi yoğun bir duman ve koku çıkışı şeklinde değildi. Parçanın Boron-Nitride Lubriccoat ile temas eden yüzeyinde küçük ve çok az sayıda gaz boşlukları vardı. Deney sonucunda elde edilen döküm parçası şekil 6.7'de görülmektedir.



Şekil 6.7 Lubriccoat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmamış döküm parçasının görünümü

Boron-Nitride Lubriccoat kalıp ayırıcısıyla yaptığımız ikinci deneyde 2 dakika boyunca kalıba şaloma alevi tutuldu. Döküm esnasında hiçbir gaz çıkışı gözlenmedi. Parçanın kalıp ayırıcısıyla temas eden yüzeyinde bozukluk yada boşluk yoktu. Deney sonunda elde edilen parça şekil 6.8'de görülmektedir.



Şekil 6.8 Lubriccoat kalıp ayırıcısına şaloma alevi tutulmuş döküm parçasının görünümü.

10. sıkıştırılmalı döküm deneyi yapılmadan önce hidrolik pres yukarıdan aşağıya 5 saniyede incek ve ayarlanan basınca 3 saniyede çıkacak şekilde Bursa Mastaş A.Ş. tarafından yeniden yapılandırıldı. Deneydeki bir diğer önemli değişiklik ise her iki kalıptaki kalıp ayırıcılarının uygulandıktan sonra şaloma alevine tutularak bünyelerindeki yanıcı maddelerin uzaklaştırılmasıydı.

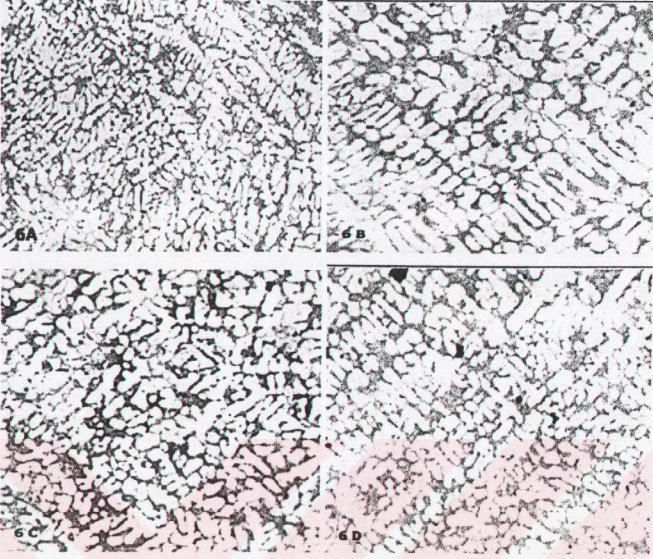
Deneyde 40 ton basınç ve $3+17=20$ saniye basınç süresi koşulları uygulandı (40 ton basınç 17 saniye metal üzerine etkidi). Deney sonunda elde edilen parça daha önceki deneylerde elde edilen tüm parçalardan daha iyi bir yüzeye sahipti. Hem iç hemde dış yüzeylerde deneylerde amaçlanan pürüzsüz ve boşluksuz yüzey elde edildi. Deneyin aynı koşullarda 20 ton basınçta tekrarlanmasına karar verildi.

11. deney 20 ton basınç ve $3+17=20$ saniye basınç süresi koşullarında yapıldı. Kalıp ayırıcı malzemeler yine dökümden önce şaloma alevine tutuldular.

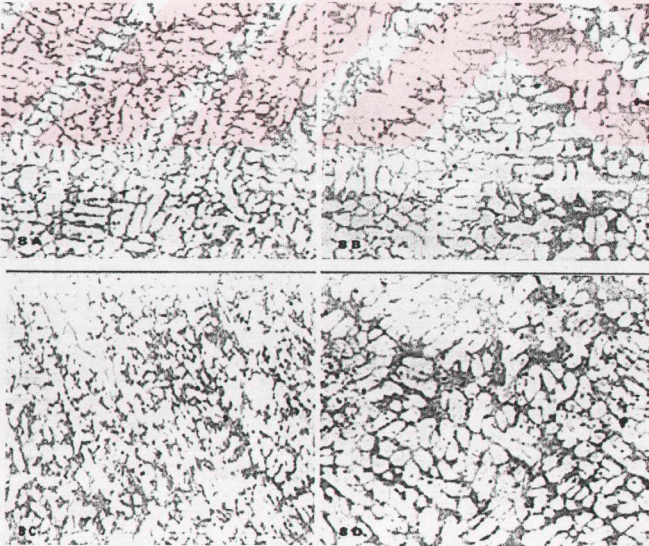
Bu deneyin sonunda da elde edilen parçanın hem iç hem de dış yüzeyleri son derece düzgün özellikler gösteriyordu. Herhangi bir gaz boşluğu bulunmuyordu.

Yapılmış olan 11 sıkıştırılmalı döküm deneyinin ardından 0 basınçta dökülmüş 6 numaralı parça, 20 ton basınçta dökülmüş 8 numaralı parça ve 40 ton basınçta dökülmüş 9 numaralı parça boyu boyunca tam ortalarından kesilmiş ve kesitlerinden boylamasına 1 cm arayıklarla Rockwell B cinsinden sertlikleri ölçülmüştür. 6 numaralı parçanın 49 HRB, 8 numaralı parçanın 50 HRB, 9 numaralı parçanın 48 HRB ortalama sertliklerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda basınç miktarının sertlik değerleri üzerinde bir etkisi saptanamamıştır.

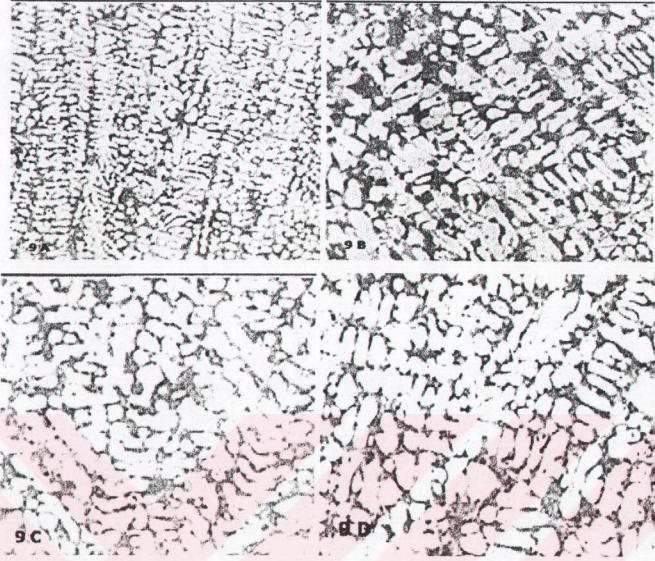
Ayrıca sıkıştırılmalı döküm deneylerinden 6., 8., 9., 10. ve 11. deneylerden elde edilen parçaların herbirinde aynı bölgeler olmak üzere 4 farklı noktalarından mikroyapı incelemesi için numuneler hazırlanmış ve bunların 100x büyütmede mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin isimlendirilmesinde kullanılan harfler A'dan D'ye doğru açık ağızlı taraftan kapalı buruna doğru giden bölgeleri ifade etmektedir. D harfli numuneler tam burun bölgesinden alınan numunelerdir.



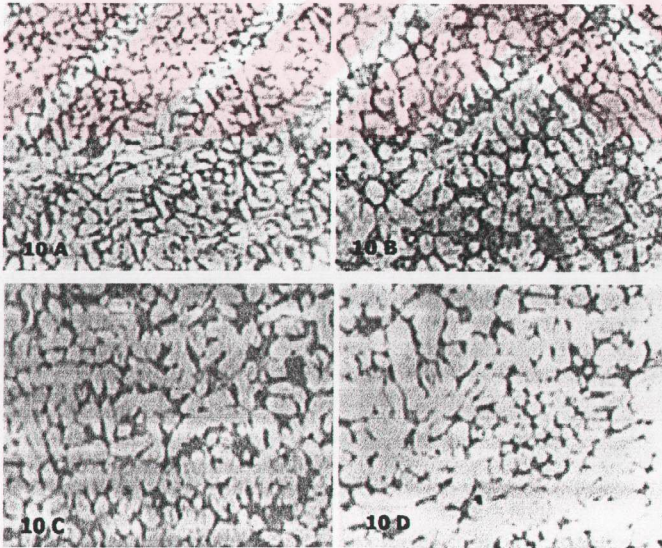
Şekil 6.9 6 numaralı sıkıştırırmalı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri



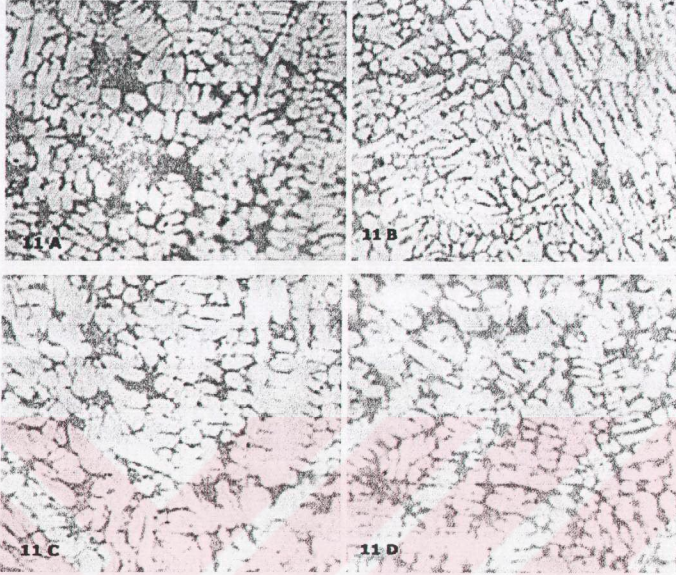
Şekil 6.10 8 numaralı sıkıştırırmalı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri



Şekil 6.11 9 numaralı sıkıştırırmalı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri



Şekil 6.12 10 numaralı sıkıştırırmalı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri



Şekil 6.13 11 numaralı sıkıştırılmalı döküm numunesinden alınmış mikroyapı resimleri

Optik mikroyapı resimlerini incelediğimizde sadece yer çekimi etkisiyle dökülen 6 numaralı parçada 20 ton ve 40 ton basınç altında dökülen diğer parçalara göre daha fazla mikro gözenek bulunmaktadır. 40 ton basınç altında dökülmüş 9 ve 10 numaralı parçalarda dendritik hücre yapısının daha ince olduğu da gözlenmektedir. Ayrıca tüm parçaların optik mikroyapı resimlerinde gözlenen ortak özellik A bölgesindeki numunelerde daha ince bir dendritik hücre yapısı, B bölgesinde ise kalın bir dendritik hücre yapısı görülmekte daha sonra C bölgesinde dendritik yapı tekrar inceliyor D bölgesinde kalınlaşmaktadır. Bu durum söz konusu bölgelerdeki kesit kalınlıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. A bölgesinde kesit kalınlığının ince olmasına karşın B bölgesinde kesit kalınlaşmakta, C bölgesinde tekrar inceliyor D bölgesinde tekrar kalınlaşmaktadır. Sonuç olarak modülü düşük olan katılma hızı düşüktür bunun neticesinde soğuma hızı veya büyüme hızı düşmekte ve buna paralel olarak dendritik hücre boyutu artmaktadır.



Şekil 6.14 Sıkıştırılmalı döküm işlemi sonrası döküm kalıplarının görünümü.

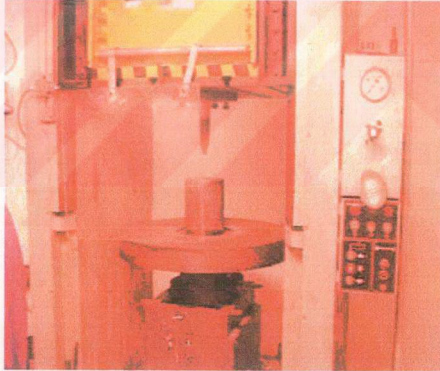


Şekil 6.15 Sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiş basınç görmüş ve basınç görmemiş parçalar.

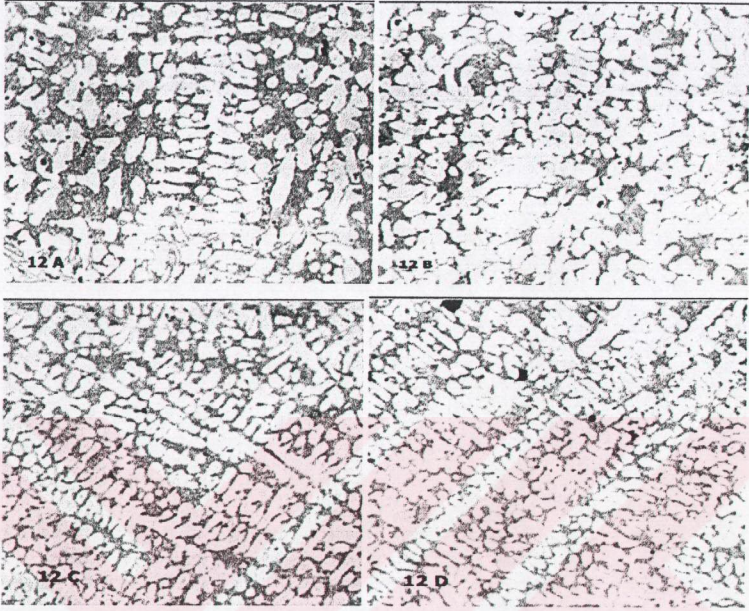
6.2 Sıvama Döküm

Sıvama döküm deneyi için sıkıştırılmalı döküm deneylerinde kullanılan alt kalıp Tülomsaş A.Ş. tarafından üretilmiş merkezkaç döküm makinesi üzerine yerleştirilmiştir. Kalıbın çevresine de basınç uygulandıktan sonra dönmenin bir süre daha devam edebilmesi için gerekli gerekli torku sağlayabilmesi amacıyla 500 kg ağırlığında bir çember geçirilmiştir. Tüm sistem merkezlelendikten sonra hidrolik presin altına yerleştirilerek merkezlenmiştir. Şekil 6.16'da sistemin döküm öncesi görüntüsü verilmektedir.

Sıkıştırılmalı döküm deneylerinde yapılan döküm hazırlıkları aynen yapıldıktan sonra merkezkaç döküm makinesi 120 devir/dakika dönme hızına ayarlanıp döküm yapılmıştır ve 20 ton basınç uygulanmıştır. Ancak makine 40 ton basınç kuvvetine dayanacak şekilde tasarlanmış olmasına rağmen bu yük miktarı merkezkaç döküm makinası için fazla gelmiş ve makinede çökmeler olmuştur. Bu yüzden basınç ilk uygulandıktan 6 saniye sonra deney yarıda kesilmiştir. Deney sonucunda elde edilen parçanın mikroyapı resimleri şekil 6.17' de görülmektedir.



Şekil 6.16 Sıvama döküm sistemi



Şekil 6.17 Sıvama döküm deneyi sonrası elde edilen parçadan alınmış mikroyapı resimleri

7. SONUÇLAR

Tez çalışması sonunda elde edilmiş olan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Yöntemde kullanılacak alaşım çeşidi, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklıkları ve basınç değerleri belirlenmiştir.

Yöntem için tasarlanmış hidrolik presin eksiklikleri belirlenmiş ve üzerinde değişiklikler yapılarak (İniş hızı, basınç süresi, geri dönüş gücü) deneylerin sağlıklı yapılabilceği bir düzenek kurulmuştur.

Daha önceden tasarlanmış olan kalıplarda; sıkışmaları önlemeye ve sıkışma durumunda kolaylıkla açılmalarına yönelik değişiklikler yapılmıştır.

Yöntem için gerekli kalıp ayırıcılar temin edilmiş ve bunların parçaya gaz vermelerini önleyecek tedbirler belirlenmiştir.

Çeşitli basınç değerlerinde sıkıştırılmalı dökümde düzgün bir parça çıkartılabilmesi için deneyler yapılmış, istenilen biçimde elde edilen parçaların mikroyapıları ve sertlik değerleri incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

Daha önceden tasarlanmış olan merkezkaç döküm makinasında sıvama dökümün gerektirdiği torku sağlayacak değişiklikler yapılmış, ilk sıvama döküm deneyi gerçekleştirilmiş, döküm makinesindeki çökme nedeniyle tek bir deneyle yetinilmiştir. Bu ilk sıvama döküm numunesinde istenilenden kısa süren kesme hareketi nedeniyle istenilen mikroyapı değişikliği elde edilememiştir.

KAYNAKLAR

- American Foundrymen's Society Database (1994), "Compendium of Squeeze Casting Information", May, 50-53.
- Campell, J., (1970) "Rheocasting and Thixocasting-Areview of Progress To Date", Foundry Trade Journal.
- Clegg, A.J. (1991), Precision Casting Processes, Pergamon Press, United Kingdom, 200-207.
- Franklin, J.R. ve Das, A.A. (1984) "Squeeze Casting – A Rewiew of the Status", British Foundrymen, 150-158.
- Kınıkoglu, N.G., (1999) "Özel Döküm Yöntemleri Dersi Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü (yayınlanmamış), İstanbul, 227-242.
- Luş, M., (1999) "Dövme (Sıkıştırılmalı) Döküm", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lynch, R.F., Olley, R.P. ve Gallagher, P.C.J. (1975) "Squeeze Casting of Aluminum", AFS Transactions, 220-226.
- Matsumoto, N., Young, R.P., Mehrabian, R., Flemings, M.C., et. al., (1975) "Rheocasting of Ferrous Alloys – Ferrous Die Casting Economics", GT75-153, Cambridge.
- Morton, J.R. ve Barlow, J. (1994) "Squeeze Casting: From a Theory to Profit and a Future", The Foundrymen, January, 23-28.
- Okada, S., Fujii, N., Goto, A., Morimoto, S. ve Yasuda, T. (1982) "Development of a Fully Automatic Squeeze Casting Machine", AFS Transactions, 135-146.
- Riek, R.G., Young, K.P., Flemings, M.C., (1976) "Rheocasting Processes", AFS International Cast Metals Journal, Septembre.
- Suzuki, S. (1989) "Vertical Squeeze Casting of Aluminum Components", Modern Casting, October, 38-40.
- The North American Die Casting Association, (1999), "Product Specification Standarts for Semi-Solid And Squeeze Casting Processes", Rosemont, Illionis, 2-9.
- Undey, M., Sarıdikmen, H., Kuşkonmaz, N., (2002) "Yarı-Katı Metal Dökümü", Metal Dünyası, Ocak, sayı:103, 19-26.
- Williams, G., (1984) "Squeeze Form Combines Casting With Forging", Foundry Trade Journal, February 2, 66-71.
- Williams, G. ve Fisher, K.M. (1981) "Squeeze Casting of Aluminum-Alloy Components", Metals Technology, July, 263-267.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	22.03.1976	
Doğum yeri	Karşıyaka	
Lise	1987-1994	Özel İzmir Tevfik Fikret Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fak. Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh. Anabilimdalı, Malzeme Programı

Çalıştığı Kurumlar

1992-1997	Pacha Tours A.Ş.
1999-Devam ediyor	YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi