

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVURMA DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN KALAY- BRONZ'A
DÖKÜM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Met ve Malz.Müh. Tolgay Gökmen AKBULUT
506001205**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Niyazi ERUSLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. E.Sabri KAYALI

Prof.Dr. Mehmet KOZ

Mayıs 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesi ve hazırlama dönemi boyunca, çalışmalarında beni yönlendirerek, her konuda bana destek olan Sn. Danışman'ım Prof.Dr. Niyazi ERUSLU'ya öncelikle en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bilimsel ve teknik çalışmalara olan inancın ve geleceğe yönelik ülke menfaatleri doğrultusunda sağlıklı öngörülerinin bir göstergesi olarak, üniversiteler ile sanayi kuruluşlarının işbirliğini destekleyen ve bu aşamada bana deneysel çalışmaları yürütemem için gerekli olan imkanı sağlayan Sarkuysan Gn.Md. Yrd. Sn. Sevgür ARSLANPAY ile İdari İşler Md. Sn. Sabri ATİLLA'ya, buradaki çalışmalarımın planlanıp yürütülmesi için her türlü yardımın sağlanması, mevcut veri, kıymetli görüş ve fikirlerinden yararlandığım, Kontinü Dökümler Md. Sn. Tolga EDİZ, Sn. Candan YAMAN, Sn. Murat MERCİMEK, Sn. Çetin KAYIKÇI'ya ve çalışan tüm personele ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bana döküman katkısında bulunan ve değerli fikirlerini benimle paylaşan Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim görevlisi Sn. Prof. Dr. Fevzi YILMAZ'a ayrıca teşekkürlerimi iletirim.

İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi laboratuvarlarında, deneysel çalışmalarımın yürütülmesi esnasında, değerli fikir ve yönlendirmeleriyle tez çalışmalarıma ciddi katkı sağlayan Sn. Dr. Necip ÜNLÜ ve Sn. Yük. Müh. Akın ODABAŞI'na teşekkürlerimi bildiririm.

Yoğun iş ortamı içinde tez konularını ele alıp olgunlaştırma ve sonuçlandırmamda gerekli olan zaman ve rahatça bir çalışma olanağını yaratıp, kullanmama cömertçe izin veren, çok değerli fikir ve tecrübelerinden yararlanıp, ciddi destek ve yakın ilgi gördüğüm değerli müdürüm Sn. Fatih İNCETAHTACI'ya sonsuz teşekkürler ederim.

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anne ve babama en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2005

T.Gökmen AKBULUT

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. SAVURMA DÖKÜM	3
2.1 Savurma Döküm Yöntemleri	3
2.1.1 Gerçek Savurma Döküm	3
2.1.2 Yarı Savurma Döküm	4
2.1.3 Savurmalı veya Basınçlı Döküm	5
2.2 Savurma Dökümde Kullanılan Makina Tipleri	6
2.2.1 Yatay Eksenli Döküm Makinaları	6
2.2.2 Düşey Eksenli Döküm Makinaları	7
2.2.3 Eğik Eksenli Döküm Makinaları	8
2.3 Savurma Dökümde Kullanılan Kalıpların Seçimi	8
2.4 Savurma Döküm Teorik İlkeleri	10
3. BRONZ	15
3.1 Bakır-Kalay Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkisi	17
3.1.1 Kalay	17
3.1.2 Kurşun	17
3.1.3 Demir	18
3.1.4 Çinko	18
3.1.5 Fosfor	18
3.1.6 Nikel	18
3.1.7 Arsenik, Antimon, Bizmut, Alüminyum	18
4. DÖKÜM PARAMETRELERİ VE HATALARI	20
4.1 Döküm Parametreleri	20
4.1.1. Dönme Hızı	20
4.1.2. Döküm Sıcaklığı	20
4.1.3. Döküm Hızı	23
4.1.4. Kalıp Cinsi ve Sıcaklığı	23

4.2 Döküm Hataları	25
4.2.1 Segregasyon	25
4.2.2 Çekinti Çatlağı (Sıcak Yırtılma)	25
4.2.3 Terleme	26
4.2.4 Yağma	26
4.2.5 Katlanma	26
4.2.6 Çekinti Boşluğu ve Porozite	26
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
6. SONUÇLAR VE İRDELEME	33
GENEL SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61

KISALTMALAR

SAE	: Society American Equivalent
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsche Industrie Norm
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
GZ	: Zentrifugal Guss
SKS	: Sarkuysan

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Kum, Metalik, Reçine ve Grafit kalıpları karşılaştırılması.....	10
Tablo 2.2 : Metal kalıp malzemeleri.....	10
Tablo 3.1: ASTM.B.143'e göre Kalay-Bronzlarının kimyasal bileşimleri.....	16
Tablo 3.2 : DIN 17662' e göre İşlem Kalay-Bronzlarının Kimyasal Bileşimleri.....	16
Tablo 3.3 : DIN 1705' e göre Döküm Kalay-Bronzlarının Kimyasal Bileşimleri....	17
Tablo 3.4 : Türk Standartları TSE 603'e göre kalay bronzlarının sınıflandırılması..	17
Tablo 3.5 : Sarkuysan'da üretilen kalay-bronzlar ile ilgili spesifikasyonlar.....	19
Tablo 4.1 : SKS alaşımlarından bazılarının ergime aralığı, tavsiye edilen döküm sıcaklığı aralığı ve döküm sıcaklığı üst sınırları.....	22
Tablo 4.2 : Döküm parametrelerinin döküm yapısı üzerine etkisi.....	25
Tablo 6.1 : Sarkuysan'da, ergitme fırınının sıcaklığı ve dökülmüş olan parçaların ölçülmüş döküm sıcaklıkları.....	33
Tablo 6.2 : CuSn12 alaşımının, standartlarda belirtilen kimyasal bileşim değerleri ve analiz sonuçları.....	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Gerçek Savurma Döküm prosesinin şematik görünüşü.....	3
Şekil 2.2 : Yarı Savurma Döküm prosesinin şematik görünüşü.....	5
Şekil 2.3 : Savurmalı döküm prosesinin şematik görünüşü.....	6
Şekil 2.4 : Gerçek Savurma Dökümde, düşey ve yatay eksenli döküm cihazlarının ve oluşan iç yüzeyin şematik görünüşü.....	8
Şekil 2.5 : Dönme hızı, çap ve merkezkaç kuvvet arasındaki ilişkiyi belirten abak..	12
Şekil 2.6 : Çap/Devir Sayısı/Çevresel Hız arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.7 : Çap/Devir Sayısı/Merkezkaç Kuvvet arasındaki ilişki.....	13
Şekil 5.1 : Sarkuysan’da, DIN 1716, 1714, 1709 ; ASTM B30, BS 1400 normlarında, çeşitli ebatlarda üretilen bronzlar.....	28
Şekil 5.2 : Kalay-bronzların ergitilmesi esnasında fırının görünümü.....	29
Şekil 5.3 : Döküm işlemi öncesinde, cüruf ve diğer kalıntıların potadan temizlenmesi işlemi.....	30
Şekil 5.4 : Düşey savurma döküm cihazında yapılan dökümün görünümü.....	31
Şekil 5.5 : Dökümden sonra, makro inceleme için dikey eksenle kesilmiş parçaların görüntüsü.....	31
Şekil 6.1 : 1 no’lu parçanın (1222 °C), boyuna kesit görünümü.....	34
Şekil 6.2-6.5 : X2 ve X100 büyütmede, 1222°C ‘de dökülmüş parçanın üst ve orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünüşleri.....	35-38
Şekil 6.6 : 2 no’lu parçanın (1151 °C), boyuna kesit görünümü.....	39
Şekil 6.7-6.10 : X2 ve X100 büyütmede, 1151°C ‘de dökülmüş parçanın üst ve orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünüşleri.....	40-43
Şekil 6.11 : 2 no’lu parçanın (1151 °C), boyuna kesit görünümü.....	44
Şekil 6.12-6.15 : X2 ve X100 büyütmede, 1065°C ‘de dökülmüş parçanın üst ve orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünüşleri.....	45-48
Şekil 6.16 : 2 no’lu parçanın (1151 °C), boyuna kesit görünümü.....	49
Şekil 6.17 : X2 ve X100 büyütmede, 985°C ‘de dökülmüş parçadaki porozite görünümü.....	50
Şekil 6.18 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Ortalama Porozite Boyutu Grafiği.....	51
Şekil 6.19 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Ortalama Porozite Alanı Grafiği.....	51
Şekil 6.20 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Porozite Dağılımı Grafiği.....	52
Şekil 6.21 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Rockwell B Sertlik Ölçüm Değerleri.....	55

SEMBOL LİSTESİ

Cu	: Bakır
Sn	: Kalay
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Fe	: Demir
Sb	: Antimon
S	: Kükürt
μ	: Mikron
F	: Merkezkaç kuvvet
m	: Sıvı metalin kütlesi
V	: Çevresel hız
R	: Döküm kalıbının iç yarıçapı
N	: Newton
n	: devir/dakika
a	: Merkezkaç ivme
g /G	: Yerçekimi ivmesi

SAVURMA DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN KALAY- BRONZ'A DÖKÜM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Kalay-bronzlar; uygulamadaki kullanımını sınırlayan yüksek maliyetine rağmen mükemmel ısı ve elektriksel iletkenlik, iyi korozyon direnci , iyi bir görsel çekiciliğe sahiptir. Bu bakımdan savurma döküm metoduyla üretilen kalay-bronza üretim parametrelerinin etkisinin incelenmesi, üzerinde durulması gereken önemli bir konu olarak görülmüştür.

Savurma döküm (santrifüj döküm) prosesi yüzyıllardır bilinen, özellikle başta silindirik şekiller olmak üzere yüksek kaliteli karmaşık dökümlerin üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Bu proseste, ergimiş metal, dönel kalıp içerisine dökülür. Bu kalıp, döküm en/boy oranına bağlı olarak dikey ve yatay şekilde konumlandırılır. Kısa, basık malzemeler dikey olarak dökülürken, uzun silindirik şekiller yatay olarak dökülürler. Her iki durumdada merkezkaç kuvveti, ergimiş metali kalıp duvarı üzerinde katılaşana kadar tutar. Merkezkaç hareket, yoğunluğu daha düşük metal dışı malzemeleri, iç kısma doğru forse etmek suretiyle, metalin arındırılmasına yardımcı olur. Sonuç olarak, savurma dökümle, ürünler, empurite ve noksanlıklar olmaksızın üretilir. Proses, düşük hata eğilimi, eşsiz kalite, dayanıklılık ve sürekliliği ile kendini kanıtlar.

Bu projenin amacı, mikroyapısal değişkenliklerin oluşum mekanizmasını katılaşmaya etki eden döküm makinası parametreleri bazında ortaya çıkartmaktır.

THE EFFECTS OF PRODUCTION PARAMETERS OF CENTRIFUGAL CASTING PROCESS ON TIN-BRONZE

SUMMARY

Tin bronze is a kind of copper alloy that has excellent thermal and electrical conductivity, good corrosion resistance and good visual appeal though main disadvantage is their high cost which limits their application. In this respect, the effects of production parameters on tin-bronze which is manufactured by centrifugal casting method, are approved to study.

Centrifugal casting process has been known for several hundred years, especially used for cylindrical parts and very high quality castings of considerable complexity .In this process, the molten metal is poured into a spinning mold. The mold may be oriented horizontally or vertically, depending on the casting's aspect ratio. Short, squat products are cast vertically while long tubular shapes are cast horizontally. In either case, centrifugal force holds the molten metal against the mold wall until it solidifies. The centrifugal action assists in the purification of the metal by forcing the less dense non-metallics to the inside. Consequently, centrifugal casting produces products free from any impurities or imperfections. Less prone to defects, the castings have consistently proven themselves by exhibiting unsurpassed quality, strength and durability.

The objective of this study is to investigate the microstructure formation mechanisms and the relation of the occurrence with the casting parameters.

1. GİRİŞ

Döküm parçalarının dökümünde karşılaşılan en büyük zorluk, metalin sıvı durumdan katı duruma geçerken büzülmesinden meydana gelen boşluklardır. Bunları gidermek için gelişen basınç kullanma düşüncesi, bir anlamda savurma döküm yöntemine yol açmıştır. Savurma döküm, dönme yoluyla sıvı metale basıncın uygulandığı döküm yöntemi olarak ta tarif edilebilmektedir. Prensip olarak savurma döküm yöntemi, simetri eksenini olan parçaları (yuvarlak-dolu, boru , dolu poligon veya içi silindirik-dışı poligon parçalar) dökmek için , sıvı metalin kalıp içine merkezkaç kuvvetten yararlanarak gönderilmesi esasına dayanır. Kalıp eksenini düşey, yatay veya eğik konumda olabilir[10].

Savurma dökümünün başlıca üstünleri şu şekilde sıralanabilir:

- (1) Progresif (tedrici artan) katılaşmadan yararlanma olanağını sağlar.(Katılaşma aralığı geniş alaşımların sağlıklı dökümü)
- (2) Oksitler ve metalik olmayan safsızlıklar, daha düşük özgül ağırlıklarından ötürü iç tarafta toplanırlar ve bunlar talaşlı işlem kolayca uzaklaştırılabilirler.
- (3) Döndürme hızına bağlı olarak, yüksek döküm basınçları sağlar. Basınç altında etkili besleme ile ve metal içinde daha az miktarda hapsolan gaz hacmi sayesinde hatasız döküm üretimine olanak verir. Statik dökümlere göre daha sıkı doku ,daha yüksek mukavemet ve performans sağlanır.
- (4) Çekme, sürünme, yorulma dayanımları gibi fiziksel özelliklerde diğer statik döküm yöntemlerine göre %30 oranında artış sağlanır.
- (5) Yüksek döküm hızı (kg/s) uygulanabildiğinden daha düşük sıcaklıklarda döküm yapılabilir. Düşük döküm sıcaklığı da, gaz absorpsiyonunun azalmasına ve tane boyutunun küçülmesine imkan verir.
- (6) İnce taneli ve homojen yapıli hatasız dökümlerin elde edilebileceği kokillerin kullanımına uygundur.
- (7) Boru ve ring şeklindeki döküm parçaları maçasız dökülebilirler.(Yatay savurma döküm) [11].

Buna karşılık;

İlk yatırım masrafları nispeten yüksektir. Dökümler şekil ve boyut bakımından sınırlıdır. Genellikle belli aralıklarda az miktarda sıvı metal gerekir. Bu da bekletme fırınlarını gerektirir ve nihayet ergime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları çok farklı metallerin alaşımları, katılaşmada tabaklaşma nedeniyle zor dökülürler [10].

Bu tez çalışmasında, savurma döküm metoduyla üretilen kalay-bronz'a üretim parametrelerinin etkisi incelenecektir. Bakır-kalay alaşımlarına bronz denmektedir. Kalay bronzlarından başka alüminyum bronzları, silisyum bronzları, kurşun bronzları vb. bronzlarda vardır. Halk dilinde bronz tunç da denmektedir. Dökme kalay bronzları en önemli bronz malzemelerdir. Her cinsten kaymalı elemanlar, kıvrılmış yatak burçları, yaylar, armatürler, dişli çarklar bronzdan yapılabilir. Bakıra göre pahalıdırlar. Kalay-bronz alaşımı uygulamadaki kullanımını sınırlayan yüksek maliyetine rağmen mükemmel ısı ve elektriksel iletkenlik, iyi korozyon direnci, iyi bir görsel çekiciliğe sahiptir [2].

Tez çalışmaları, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2. SAVURMA DÖKÜM

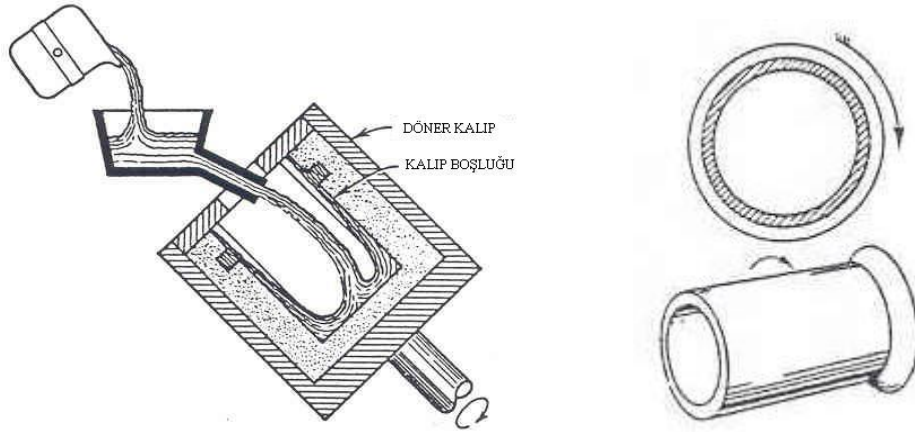
Dönel kalıp içersinde, ergimiş metalin dökülmesi ve katılaşmanın gerçekleşmesi işlemine Savurma Döküm denir. Bu dökümler, dönme işlemi sonucu oluşan santrifüj kuvvet etkisiyle üretilmektedir[3].

2.1 Savurma Döküm Yöntemleri

Bilinen 3 tane savurma döküm yöntemi bulunmaktadır.

2.1.1 Gerçek Savurma Döküm

Bu proses, döküm işleminin kendi ekseninde dönen, içi oyuk/silindirik kalıp içersinde meydana geldiği bir prosestir. Kalıp ile elde edilen döküm, ortak merkezlidirler (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Gerçek Savurma Döküm prosesinin şematik görünüşü [7,9]

- a. Dökme demir ve diğer demir dışı borular, çoğunlukla bu prosesle üretilmektedirler.
- b. Bu proseste, harcanabilir ve kalıcı kalıpların her ikisi de kullanılabilir.
- c. Gerçek savurma dökümde, dönme eksenini, hem yatay, hem düşey, hem de eğimli olabilir.

- d.** Merkezkaç kuvvetin etkisiyle, merkezde kum ve kalıcı maçaların mevcudiyetine ihtiyaç olmaksızın silindirik bir boşluk oluşabilmektedir.
- e.** Katılma dıştan içe doğru gerçekleştiğinden, kusursuz bir yönelmiş katılma ve kolonsal yapıda tane oluşumu meydana gelir.
- f.** Dönme etkisiyle, kir, kum, cüruf, gaz boşlukları ve diğer inklüzyonlar, iç yüzeye doğru ilerleyerek iç cidarlarda toplanırlar ve bunlar kolaylıkla işlenerek kaldırılabilirler.
- g.** Besleyici ve yolluk gerektirmeden, sıvı metal akışı gerçekleşir.
- h.** Dökümün uzunluğu ve dış çapı, kalıbın şekline bağlı olmakla beraber, dış kısmın şekli ne olursa olsun, oluşan iç kısım her zaman daireseldir.
- i.** Dökümün et kalınlığı, dönel kalıp içersine dökülen metalin miktarına bağlıdır.
- j.** Yatay ekseninde dönen kalıba yapılan döküm işlemlerinde, gerçek bir silindirik iç yüzey oluşurken, kalıbın düşey ekseninde döndüğü durumlarda da yerçekimine bağlı olarak, parabolik bir iç yüzey oluşmaktadır.
- k.** Gerçek savurma döküm, simetrik şekilli parçaların üretimi için kullanılırken, en büyük dezavantajı ise, istenilen döküm şekillerini üretmedeki sınırlamadır.
- l.** Yüksek üretim miktarlarında ekonomik olmaktadır[1,3,4].

Gerçek savurma döküm, yatay ekseninde yapıldığında, merkezkaç kuvvetin etkisiyle ergimiş metalin kalıp cidarlarından yayılmasını sağlamak için , yüksek dönme hızlarından yararlanır. Düşey eksenli gerçek savurma döküm ise yeterli derecedeki dönme hızlarında yapılır[7].

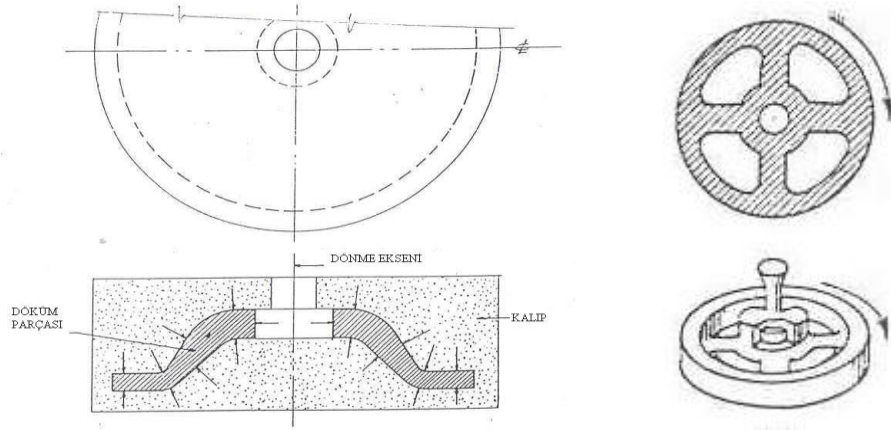
2.1.2 Yarı Savurma Döküm

Bu proses, dökümün iç yüzeyini veya yüzeylerini oluşturmak için maça kullanımı gerekliliği haricinde, genel olarak gerçek savurma döküme benzemektedir[3].

Merkezkaç kuvvet daha çok katılma esnasında yüksek basınç sağlama görevini yapmaktadır (Şekil 2.2) [10].

- a.** Yarı savurma döküm yöntemiyle üretilen dökümlere en iyi örnek olarak, tekerlekli biçimli malzemeler gösterilebilmektedir.
- b.** Bu döküm prosesinde , dönme ekseni her zaman düşeydir.
- c.** Ergimiş metali, düşey ekseninde dönen, merkezi bir döküm deliği vasıtasıyla kalıba dolar.

d. Katılma hem içten dışarıya, hem de dıştan içeriye doğru gerçekleşmektedir. Bu yüzden yönlenmiş katılma elde etmek bazen zordur.



Şekil 2.2 : Yarı Savurma Döküm prosesinin şematik görünüşü [3,9]

e. Verimlilik, gerçek savurma döküm kadar yüksek olmasa da, statik dökümlere kıyasla daha iyidir.

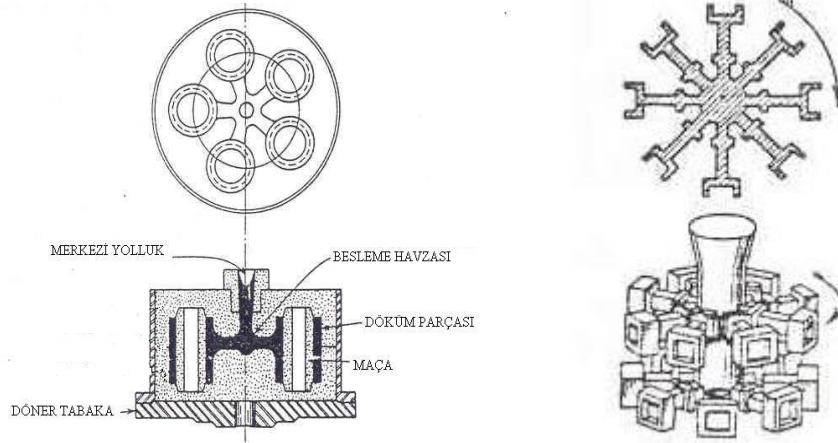
f. Bu döküm yöntemini prensip olarak, iç çapı uniform olmayan ve gayri muntazam cidar kalınlığına sahip üretimi için kullanılmaktadır. Aynı zamanda çok ince cidarlı kısımlara sahip parçaların dökümünde de tercih edilmektedir [1,3].

Kalıp ayrılırken, kalıbın eklem yerlerinden metalin sızma tehlikesi söz konusu olduğu için, Gerçek Savurma Döküm'e göre daha düşük dönme hızları seçilir. Bu düşük dönme hızları da yüksek basınç sağlayamadığı gibi, empuritelerin merkeze doğru yönlenmesini zorlaştırır [10].

2.1.3 Savurmalı veya Basınçlı Döküm

Bu proses, merkezi bir yolluk etrafında, çok sayıda birbirine benzer ya da yakın şekilli dökümlerin kümелendiği dönel kalıp içerisinde yapılan döküm işlemidir. Döküm deliğinden, kalıp boşluklarına bağlanan radyal yolluklar vasıtasıyla ergimiş metal beslenir.

- a. Savurmalı döküm, kendi merkezleri etrafında, döndürülerek savurma döküm yöntemiyle üretilmeyecek kadar küçük veya muntazam olmayan şekle sahip dökümlerin (asimetrik) dökümünde kullanılır.
- b. Bu proses, uygulandığı bakımından yarı savurma döküme benzemektedir. Yalnız, bir döküm yerine, birçok küçük parça üretilmektedir.
- c. Savurmalı döküm, yalnızca düşey ekseninde yapılmaktadır.



Şekil 2.3 : Savurmalı döküm prosesinin şematik görünüşü [1,3]

- d. Merkezkaç kuvvet, yüksek akış basıncı sağlamak suretiyle, ergimiş metali kalıp boşluğuna forse eder [1,3].

Hem Yarı Savurmalı Dökümde, hem de Savurmalı Döküm’de birden fazla istiflenmiş kalıp üst üste konularak ve müşterek bir yolluktan besleme yapılarak, yüksek döküm verimi ve yüksek üretim hızı sağlanabilir [10].

2.2 Savurma Dökümde Kullanılan Makina Tipleri

Savurma dökümde, kullanım amaçlarına bağlı olarak çeşitli döküm makinaları mevcuttur. Bu makinaların seçiminde, değişik kriterler rol oynamaktadır.

2.2.1 Yatay Eksenli Döküm Makinaları

Yatay savurma döküm cihazlarında genellikle silindirik şekilli parçalar dökülmektedir. Dökülen parçaların, değişik dış çaplara sahip olması kabul edilebilir, yalnız iç kısımda uniform bir çapa sahip olmaları gerekmektedir(Şekil 2.1).

Yatay eksenli döküm cihazlarının seçiminde bir diğer önemli kriter boy/çap oranıdır. Eğer uzunluk ölçüsü, iç çapın 2 katından daha yüksekse, yatay eksenli döküm makinaları kullanılır.

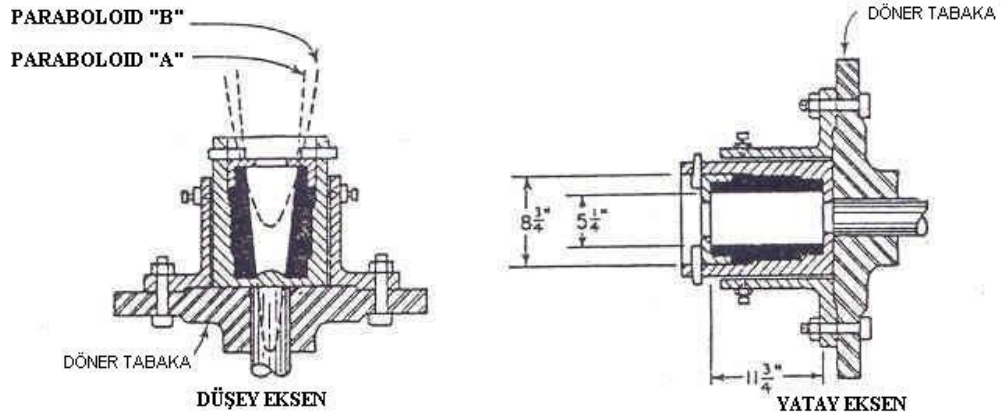
Yatay savurma döküm makinalarında her durumda, kalıp dönme eksenini etrafında döner. Eğer kalıp, dış çapı ile iç çapı konsantrik üretilmişse, üretilen dökümde kesinlikle kalıp ile konsantrik olacaktır. Dolayısıyla, parçanın oluşan et kısmı, her tarafında aynı olacaktır. Tam anlamıyla gerçek silindirik iç kısma sahip dökümler üretmek için yatay eksenli savurma döküm cihazı kullanılır.

2.2.2 Düşey Eksenli Döküm Makinaları

Düşey eksenli döküm makinalarında, ağırlık ve döküm şeklinde bir sınırlama olmaksızın üretim yapılabilmektedir. Büyük dökümlerde ve küçük dökümlerde aynı kriterler mevcuttur. Bu nedenle, düşey savurma döküm cihazları birçok konfigürasyonda üretilmektedir.

Gerçek düşey savurma dökümde, yerçekimi kuvveti nedeniyle, dökümün iç kısmında düşey bir incelme meydana gelir. Bu incelme, dökümün boyu çok uzun olmadığı sürece belirsizdir. Bu nedenle, bu tip makinalarda boy sınırlaması mevcuttur. Boy/çap oranı 2'den daha düşük olduğu durumlarda düşey eksenli döküm makinalarından faydalanılır.

Yatay eksenlilerde silindirik bir iç yüzey oluşurken, kalıbın düşey ekseninde döndüğü durumlarda da yerçekimine bağlı olarak, parabolik bir iç yüzey oluşmaktadır (Şekil 2.4). Düşey savurma makinaları daha çok düzensiz şekilli dökümlerin üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 : Gerçek Savurma Dökümde, düşey ve yatay eksenli döküm cihazlarının ve oluşan iç yüzeyin şematik görünüşü [1]

2.2.3 Eğik Eksenli Döküm Makinaları

Eğik eksenli makinalar, düşey savurma cihazının, 15-30° küçük açı yaparak monte edilmesi ile elde edilir. Bu tarz makinalar, genellikle demir-dışı malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu eğiklik, ergimiş metalin kepçeden (genellikle el yardımıyla) dökülmesini kolaylaştırmaktadır. Döküm başı kabı (kopça) gerekmez, sadece 50 lb'den daha düşük ağırlıkta olan parçalar dökülebilmektedir[2,4,9].

2.3 Savurma Dökümde Kullanılan Kalıpların Seçimi

Savurma Döküm'de kullanılan kalıpları, harcanabilir ve kalıcı kalıplar olmak üzere iki kategoriye ayırabiliriz. Savurma döküm yönteminde kullanılan kalıplar, dökümün kalitesini etkilemektedir. Kalıp seçimi, dökümün şekline, miktarına ve dökümden istenen özelliklere göre yapılır.

Savurma dökümde, harcanabilir kalıplar sınırlı kullanıma sahiptir. Bu kalıplar, esasen metalurjik nedenlerden ötürü soğuma hızının düşük olmasının istendiği durumlarda ve dökümün büyük olduğu, dolayısıyla da kalıcı kalıpların kullanımının ekonomik olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Bu tip kalıplar, geniş ve boru şeklindeki malzemelerin üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılan kalıplardır.

Genel olarak; kalıcı kalıplar tercih edilmektedir. Çünkü harcanabilir kalıpların masrafı, büyük miktardaki üretimler söz konusu olduğunda ekonomik olmamaktadır. Ayrıca, harcanabilen kalıplar ile kalıcı kalıpların kullanılması ile elde edilen dökümlerin kalitesinin karşılaştırılması göstermektedir ki, kalıcı kalıbın ergimiş

metale daha hızlı soğutma etkisi nedeniyle, fark edilebilir şekilde, daha yüksek kalitede ve iyi fiziksel özelliklere sahip dökümler üretilebilmektedir. Fiziksel özelliklerdeki artış, döküme bağlıdır ve genellikle demir-dışı metallerin üretiminde bu artış, en yüksek seviyededir.

Mükemmel saflıkta bir kum kalıp üretmekte karşılaşılan zorluklardan ötürü, döküm içerisinde dağınık bir şekilde kırılan ve döküme saplanan kum astarlarını bulmak olağandır. Bu hem kalitesiz kalıplama uygulamaları, hem de kalıbın döküm esnasındaki erozyonu sonucudur. Bu yüzden, kum kalıpla yapılan savurma dökümlerin kalitesi, kalıcı kalıpla yapılan dökümlere nazaran daha düşüktür.

Savurma dökümde en çok kullanılan kalıp olan kalıcı kalıplar, aynı şekle sahip birçok dökümün üretiminde, defalarca kullanılabilen, dökümden kolaylıkla sıyrılabilen, nispeten daha uniform et kalınlığına sahip parçaların üretimine imkan veren kalıplardır. Kalıcı kalıpların hızlı soğutma etkisi nedeniyle, dökümde ince taneli bir yapı oluşur. Harcanabilir kalıplar, tek bir döküm için kullanılırken, kalıcı kalıpların defalarca kullanılabilme özelliğinden ötürü üretim oranı da yüksektir.

Günümüzde, savurma döküm uygulamalarında, her şey kalıcı kalıplarla mümkündür. Fakat kalıcı kalıpların uygun olmadığı bazı özel durumlarda vardır. Bazı değişik dizayn konfigürasyonlarında, yani girinti ve çıkıntılardan ötürü kalıcı kalıbın çıkarılmasının mümkün olmadığı dökümlerde ve üretim taleplerinin düşük olduğu ve dolayısıyla ekonomikliğin sağlanamadığı hallerde kalıcı kalıplar kullanılmaz.

Dökümden istenilen kalitenin sağlanabilmesi için kullanılan kalıpların düzenli olarak bakımının yapılması, uygun yüzey kaplamalarıyla kaplanması, varsa kusurlarının düzeltilmesi gerekmektedir [1,3,7,9].

Tablo 2.1 : Kum, Metalik, Reçine ve Grafit kalıpların karşılaştırılması [13]

	Kum Kalıp	Metal Kalıp	Reçine Kalıp	Grafit
İlk masraflar	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta
Verimlilik	Tek kullanımlık	Yüksek seri üretim imkanı (saatte 60 döküm)	Günde 10 kere yada daha fazla	İyi
Elastikiyet	Yüksek	Yok	Az	Yüksek
Kalıp ömrü	Uzun	2000-30000 döküm	Orta	5-100 döküm
Soğuma hızı	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek
Uygulama	Kalın etli boru	Her parça için uygun	İnce etli boru	Küçük parça

Tablo 2.2 :Metal kalıp malzemeleri [13]

Malzeme	Elementler						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SAE 4130 De Lavaud Rc 25-30	0,28-0,33	0,20-0,35	0,40-0,60	0,035	0,04	0,80-1,10	0,15-0,20
Yaygın yüksek alaşımlı çelik kalıplar							
SAE 1010	0,08-0,13		0,30-0,60				
SAE 1020	0,18-0,23		0,60-0,90	en yaygını			
SAE 1040	0,37-0,44		0,60-0,90				

2.4 Savurma Döküm Teorik İlkeleri

Gerçek savurma dökümde ergimiş metalin herhangi bir noktasına etki eden merkezkaç kuvvet şu şekilde hesaplanır:

$$F = m.V^2 / R \quad (2.1)$$

Burada;

F = Merkezkaç kuvvet (N)

m = Sıvı metalin kütlesi (kg)

V = Çevresel hız (m/sn)

R = Döküm kalıbının iç yarıçapı (m)

n (devir /dk) = Devir sayısı ile dönen bir kalıpta çevresel hız

$$V = 2R.\pi.n \text{ (m/dk)} = R.\pi.n / 30 \text{ (m/sn)} \quad (2.2)$$

Böylelikle oluşan merkezkaç kuvvet ;

$$F = m.R.\pi^2.n^2 / 900 \approx 0,011.m.R.n^2 \text{ şeklinde bulunur.} \quad (2.3)$$

Merkezkaç kuvvet aynı zamanda kütle ile merkezkaç ivmenin çarpımına eşit olduğundan ($F=m.a$) ivme,

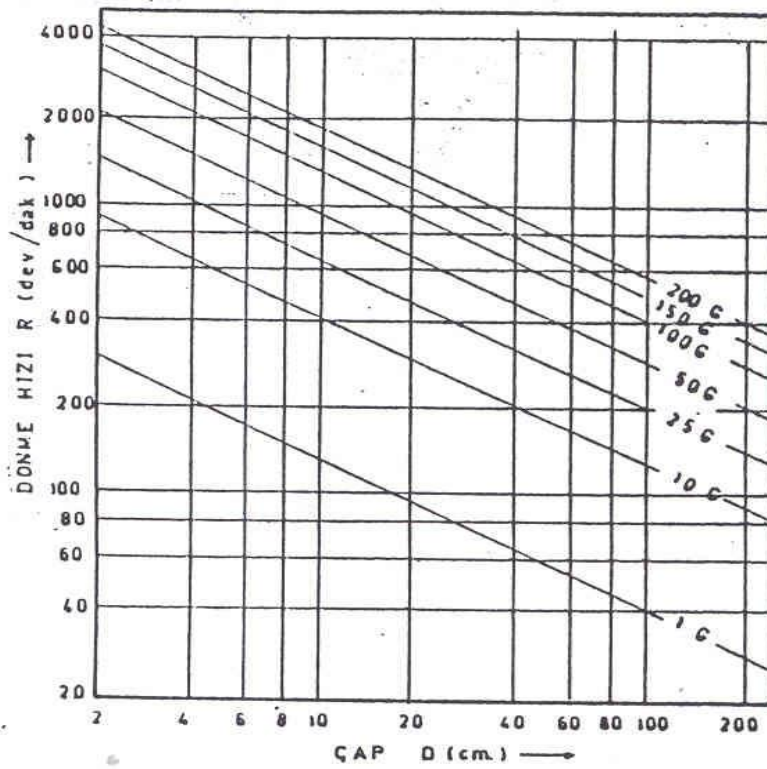
$$a \approx 0,011.R.n^2 \text{ (m/sn}^2\text{)} \text{ olarak bulunur.} \quad (2.4)$$

Yerçekimi ivmesi, $g = 9,81 \text{ m/sn}^2$ olduğundan, istenirse merkezkaç ivme yerçekimi ivmesinin katları olarak da şöyle ifade edilebilir.

$$a \approx 0,011.R.n^2 / 9,81 \approx 0,0011.R.n^2 \text{ (G)} \quad (2.5)$$

Merkezkaç kuvvet ve ivmenin, kokil kalıp çapı büyüdükçe artacağı, dönme hızının artırılması ile çok daha hızla yükselme göstereceği buradan anlaşılmaktadır, yani savurma dökümde basıncı artırma, amacına hizmet eden en iyi etken dönme hızının yükseltilmesidir [11].

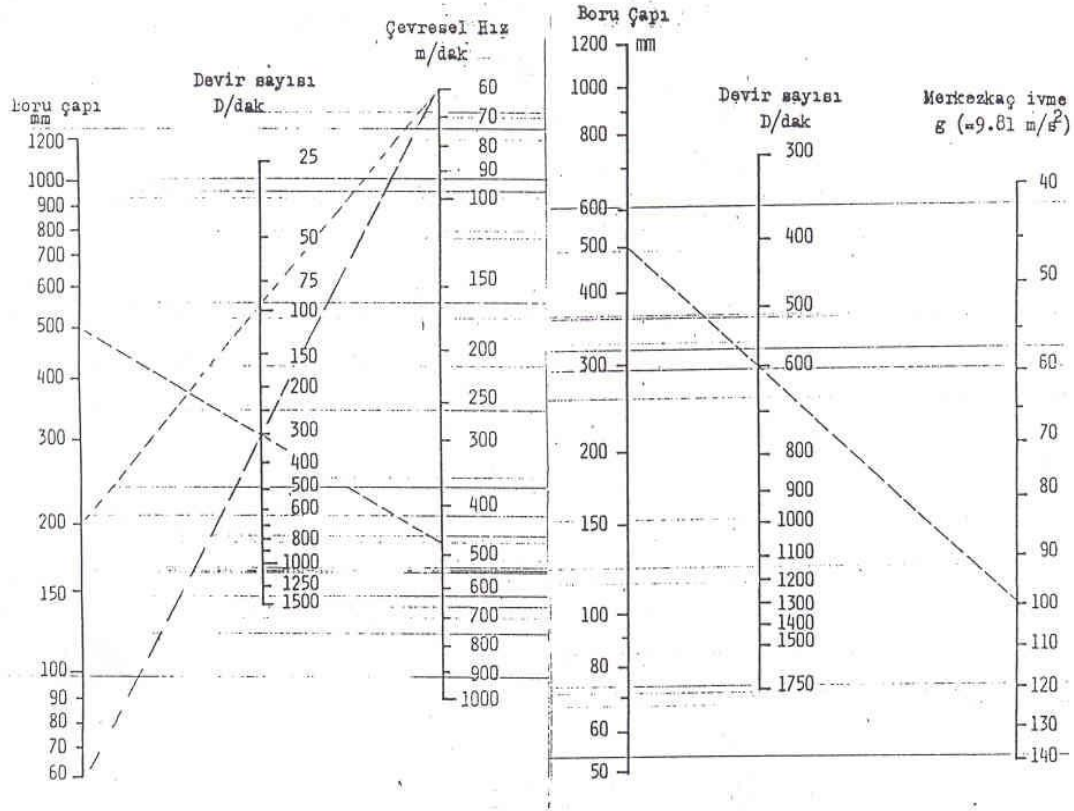
Dönme çapı, hızı ve merkezkaç kuvvet arasındaki ilişki abaklar halinde verilmektedir. İstenen merkezkaç kuvvetin mertebesine göre hız seçimi bu abaklar yardımıyla yapılır (Şekil 2.5). Gerekli kuvvetin seçimi için standart bir kriter yoktur. Ancak bazı araştırmalara göre, minimum sınırın 3-4,5 G mertebesinde olduğu ileri sürülmüştür. Hemen belirtmek gerekir ki, yöntemin bütün avantajlarından yararlanmak için, uygulama da çok daha yüksek kuvvetler kullanılmaktadır. Aşırı düşük hızlarda döküm yapıldığında türbülans oluşması söz konusudur. 160G'ye tekabül eden hızlardan daha yüksek hızlarda ise kalıp ömrünün azalması söz konusudur. Bir genelleme olarak, gerçek savurma döküm uygulamaları için 60-80G, yarı savurma döküm için 15-30G değer aralıkları verilebilir [10].



Şekil 2.5 : Dönme hızı, çap ve merkezkaç kuvvet arasındaki ilişkiyi belirten abak [10]

Aşağıda verilen iki diyagram yardımıyla çap/devir, sayısı/çevresel hız ve çap/devir, sayısı/merkezkaç ivme arasındaki ilişki kolayca tayin edilebilir (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7).

Örneğin 100 mm çapında bir parçanın 1050 devir/dk ile dökümü takriben 330 m/dk'lık bir çevresel hıza tekabül ederken (Şekil 2.6) 60G değerinde bir ivme (basınç) oluşur (Şekil 2.7) . Buna karşın örneğin 900 mm çapında bir parçanın dökümünde gene 60G'lık bir ivme elde etmek için 350 devir/dk'lık bir devir sayısı yeterlidir (Şekil 2.7) ve üstelik bu durumda oluşacak çevresel hız 900 m/dk değerinde olacaktır (Şekil 2.6). 900 mm'lik parçada da 100 mm 'lik de olduğu gibi 330 m/dk'lık çevresel hızın elde edilmesi içinse 125 devir/dk'lık bir dönme hızı yeterlidir[11].



Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 : Çap/Devir Sayısı/Çevresel Hız ve Çap/Devir Sayısı/Merkezkaç Kuvvet arasındaki ilişki [11]

Bu diyagramlardan ayrıca “yeterli bir merkezkaç kuvvet sağlamak için özellikle küçük çaplı parçaların daha yüksek devirde dökülmesi gerektiği” açıkça görülmektedir. Örneğin 300 mm çaplı bir dökümün 50G’lık bir merkezkaç ivme ile üretimi için takriben 550 devir/dk’lık dönme hızına karşın aynı ivme için 50 mm çaplı bir parçada 1320 devir/dk’lık bir dönme hızı gerekli olmaktadır.

200 mm çaplı bir borunun 90 devir/dk dönme hızı ile dökümünde, çevresel hız 60 m/dk’dır. Ancak aynı devir sayısı ve çap değerinden (şekil 2.6) geçirilen bir doğrunun çok küçük bir merkezkaç ivme değeri vereceği görülmektedir. Çap küçüldükçe, merkezkaç ivmenin (=basınç) daha da küçüleceği, döküm yapısının statik dökümdekine benzeyeceği doğal olarak beklenmelidir. Yönlendirilmiş katılaşma sağlanamazsa düşük devirli savurma dökümde, döküm hataları, kuma dökümden daha fazla olabilecek ve faydadan çok sakıncalar ortaya çıkabilecektir.

Savurma dökümün bu üstünlüklerine karşın özgül ağırlık farkı büyük metallerden oluşan alaşımlarda (örneğin kurşunlu alaşımlar) ayrışma sorunu ortaya çıkabilmektedir.(Kurşun dışa doğru ilerleyip katılaştıkça çizgili-bandlı bir yapı oluşur). Kalıp malzemesi, kalıp sıcaklığı , döküm hızı ve sıcaklığı, belirli sınırlar içinde alaşımın bileşimi ayarlanarak bu sorun en alt düzeye düşürülebilir. Yönlendirilmiş katılaşmanın sağlanması esastır. Mikroyapı malzemenin fiziksel özelliklerini belirleyen başlıca etmendir, bu bakımdan bazı hallerde kuma dökülmüş bir bakır alaşımı ile savurma döküm ürünü aynı fiziksel özellikleri gösterebilir.[11]

3. BRONZ

Bakır-kalay alaşımlarına bronz denmektedir. Bakır-kalay alaşımları, en eski ve en önemli bronzlar olarak bilinirler. Halk dilinde bronz, tunç da denmektedir. Çok az miktarlarda fosfor içerdiklerinden ötürü fosfor bronzu da denilmesine rağmen günümüzde bakır alaşımlarından bir grup olarak yer alan bronzlar ailesinin bir üyesidir. Dökme kalay bronzları en önemli bronz malzemelerdir. Kalay bronzlarından başka alüminyum bronzları, silisyum bronzları, kurşun bronzları vb. bronzlarda vardır. Her cinsten kaymalı elemanlar, kıvrılmış yatak burçları, yaylar, armatürler, dişli çarklar bronzdan yapılabilir. Ancak bakıra göre pahalıdırlar [2,12].

Kalay-bronz alaşımı uygulamadaki kullanımını sınırlayan yüksek maliyetine rağmen mükemmel ısı ve elektriksel iletkenlik, iyi korozyon direnci, iyi bir görsel çekiciliğe sahiptir. Bu özellikler, kalay miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir [6].

%0-13 Sn ihtiva eden bronzlar, düşük sıcaklıklarda işlenebilmektedir ve su verme işlemine tabi tutulmazlar, daha fazla (%30'a kadar) Sn içeren alaşımlar, su verilip, yüksek sıcaklıkta işlenebilmektedir. Ancak, %30'dan fazla Sn ihtiva eden bronzların, kırılkan olmalarından dolayı sanayide kullanılmamaktadır

Bronzlar, içerdikleri Sn miktarına bağlı olarak, bakırdan kalaya kadar, kırmızıdan mavimtrak kurşuni renge sahiptir. %5 Sn'ye kadar, bakır gibi kırmızımsı renkte olan alaşım, %13 Sn civarında altın sarısı renginde ve %13-18 Sn miktarlarında da açık sarı renktedir. Daha yüksek Sn oranları için, Cu_3Sn bileşiklerinin beyaz olması nedeniyle alaşımlarda beyazdır; en nihayetinde Cu_3Sn_2 teşekkülü yüzünden renk mavimtrak kurşuniye kaçır [8].

Kalay bronzları değişik ülkelerin standartlarında farklı şekilde yer almaktadır. Temelde birbirlerine benzerler, Fakat bileşim sınırları değişiktir. Örneğin A.B.D'de genel olarak kalay bronzları ; kalay bronzları ve kurşunlu kalay bronzları olarak iki grupta incelenmektedir.

ASTM standartlarına göre kalay bronzları, bakır esaslı alaşımlar olup, %2-20 arasında kalay, kalaydan az çinko, %0,5'den az Pb içeren alaşımlar olarak tariflenir.

Kurşunlu kalay bronzları da aynı şekilde tariflenebilirler. Ancak Pb miktarı, %0,5'ten çok %6'dan azdır. "Dişli bronzları" şeklinde ifade edilen ve çok iyi bilinen "G" ve "M" metalleride kalay bronzu grubuna girerler. ASTM.B.143'e göre, kalay bronzlarının kimyasal bileşimleri Tablo 3,1 'de verilmiştir [12].

Tablo 3.1: ASTM.B.143'e göre Kalay-Bronzlarının kimyasal bileşimleri [12]

Element	Kalay Bronzu				Kurşunlu Kalay Bronzu			
	1A		1B		2A		2B	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Bakır	86	89	86,5	89	86	90	85	89
Kalay	9	11	7,5	9	5,5	6,5	7,5	9
Kurşun		0,3		0,3	1	2		1
Çinko		3	3	5	3	5	2,5	5
Nikel		1		1		1	1	1
Demir		0,15		0,15		0,25		0,25
Fosfor		0,15		0,15		0,25		0,05

DIN normunda %8,5' a kadar Sn içeren, soğuk işlenerek tel, boru, bant vb. gibi yarı mamul haline getirilen ve işlem bronzları adı verilen bu alaşımlar DIN 17662 normunda Tablo 3.2'de verilen kimyasal bileşim limitlerinde yer almaktadır.

Tablo 3.2 : DIN 17662' e göre İşlem Kalay-Bronzlarının Kimyasal Bileşimleri [12]

Kısa İşaret	Kimyasal Bileşim(%)				Empüriteler(%)			
	Sn	Zn	Pb	P(max.)	Cu	Pb	Zn	Diğerleri
SnBz2	12			0,1	kalan	0,05	0,3	0,2
SnBz4	35			0,4	"	0,05	0,3	0,2
SnBz6	57			0,4	"	0,5	0,3	0,2
SnBz8	79			0,4	"	0,5	0,3	0,2
MSnBz4	35	35		0,1	"			0,2
MSnBz6	57	57		0,1	"	0,05		0,2
MSnBz4Pb3	35	35	35	0,1	"			0,2

%8,5'tan daha fazla kalay içeren Cu-Sn alaşımları "Dökme Kalay Bronzları" olarak adlandırılır ve DIN 1705'te yer alır.

Tablo 3.3 : DIN 1705' e göre Döküm Kalay-Bronzlarının Kimyasal Bileşimleri [12]

Kısa İşaret	Kimyasal Bileşim(%)		Empüriteler(%)			
	Sn	Cu	Sb	Fe	Diğerleri	
G-SnBz20	20-22	78-80	0,5	0,3	0,3	
G-SnBz14	13-15	85-87	0,2	0,2	1 Pb ; 0,2 Mn	
G-SnBz12	11-13	87-89	0,1	0,2	0,01 Si ; 0,01 Al	
Gz-SnBz12*	11-13	87-89	0,1	0,2	0,01 Mg ; 0,01 0,5	
G-SnBz12	911	8991	0,1	0,2	0,50 Ni	

* "GZ" (Zentrifugal Guss) işareti alaşımın savurma dökümde kullanılacağını gösterir.

Aşağıda'da TSE'ye göre bronz malzemelerinin sınıflandırılması görülmektedir (Tablo 3.4) [12].

Tablo 3.4 : Türk Standartları TSE 603'e göre kalay bronzlarının sınıflandırılması [12]

Gösterilişi	Alaşım Elementleri (%)			Kalıntı Elementler(%)			
	Sn	P	Cu	Fe	Pb	Zn	Diğerleri
CuSn5	3-5,5	0-0,4	kalan	0,1	0,1	0,5	0,3
CuSn7	5,5-7,5	0-0,4	"	0,1	0,1	0,5	0,3
CuSn9	7,5-10	0-0,4	"	0,1	0,1	0,5	0,3

Sarkuysan A.Ş'de üretilen Kalay-Bronzlar ile ilgili normlar, bu bronzların kimyasal ve fiziksel özelliklerini ve kullanım yerleri Tablo 3,5'de gösterilmiştir.

3.1 Bakır-Kalay Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkisi

3.1.1 Kalay

Alaşıma sertleştirir ve düktilitesini (haddeden çekilebilme özelliğini) azaltır.

3.1.2 Kurşun

Normal halde mikro yapıda çözünmeyen yığıntılar (segragasyonlar) şeklinde bulunur. Bu partiküller alaşıma mükemmel torna ile işlenebilme, yatak malzemesi olarak kullanılabilme ve basınca dayanıklılık özelliği kazandırır.

3.1.3 Demir

Katı çözültide %2 'e kadar bulunabilir. Bunun üzerindeki miktarlar demirce zengin bir faz oluşturur. Bu bölgeler pas rengine çalan görünümündedir. Demirin artması çekme mukavemeti ve sertliği artırır. Fakat düktiliteyi düşürür.

3.1.4 Çinko

Alaşıma sertleşme özelliği verir. Çinko miktarı kalayın %50'sinden fazla olduğu zaman bu etki daha da artar. Akışkanlığı mükemmel olarak artırılması yanında deoksidasyon özelliği de vardır. Fakat kalay-bronz bronzunda deoksidasyon amacıyla fosfor kullanılır. Ayrıca çinkonun, katılaşma aralığını daraltıcı etkisi vardır. Alaşıma çinko ilavesi malzemenin basınç altında sıvı geçirgenliğini azaltır. (Yani malzemenin sıvı sızdırma özelliği azalır.)

3.1.5 Fosfor

En önemli özelliği deoksidasyon amacıyla kullanılmasıdır. Yapıda (Cu_3P) şeklinde bulunur, alaşımı daha sert ve kırılgan yapar. %0,15'in üzerindeki fosfor , ısıtılma işlemi ile sertleşebilen (yaşlanan) alaşımların bu özelliklerin geciktirir. (Aynı zamanda dökümdeki çekilmeyi arttırmaktadır.)

3.1.6 Nikel

Sertliği ve mukavemeti artırır ve %2 'ye kadar kullanılabilir. Yüksek sıcaklıkta bir metal katı ağı oluşturarak donma noktasını, porozite miktarını düşürür ve basınç altında kullanılan malzemelerde sızmayı azaltarak basınca dayanıklılığı artırır ve kurşun segregasyonunu azaltır.

3.1.7 Arsenik, Antimon, Bizmut, Alüminyum

Tane sınırında film şeklinde birikerek mekanik özellikleri azaltırlar. Genelde az miktarda bulunan ve empürite diyebileceğimiz bu metallerin, alaşımda poroziteyi artırıcı etkileri olabilir. Belli limitin üzerinde olmamalıdır [5,12].

Tablo 3.5 : Sarkuysan'da üretilen kalay-bronzlar ile ilgili spesifikasyonlar[11]

CİNSİ		SİPARİŞ KODU	NORMU/KODU	KİMYASAL ÖZELLİKLER	FİZİKSEL ÖZELLİKLER (min.)		
				ANA ALAŞIM ELEMENTLERİ (%)	Çekme Dayanımı (kg/mm2)	Uzama %	Sertlik HB
KALAY BRONZLARI	FOSFORLU	SKS-1	DIN 1705 (1981) G-Cu Sn 10	Cu : 88,0-90,0 Sn : 9,0-11,0	27	18	70
		SKS-2	DIN 1705 (1981) Gz-Cu Sn 12	Cu : 84,0-88,5 Sn : 11,0-13,0	28	5	95
		SKS-3	DIN 1705 (1969) G-Sn Bz 14	Cu : 85,0-87,0 Sn : 13,0-15,0	20	3	85
	NIKELLİ	SKS-15	DIN 1705 (1981) Gz-Cu Sn 12Ni	Cu : 84,0-87,0 Sn : 11,0-13,0 Ni : 1,5-2,5	30	8	100
	KURŞUNLU	SKS-16	DIN 1705 (1981) Gz-Cu Sn 12Pb	Cu : 84,0-87,0 Sn : 11,0-13,0 Pb : 1,0-2,0	28	5	90

4. DÖKÜM PARAMETRELERİ VE HATALARI

Bunların başlıcaları; dönme hızı, döküm sıcaklığı, döküm hızı ve kalıp sıcaklığıdır. Bu faktörlerin etkileri daha çok gerçek savurma döküm için incelenmiştir.

4.1 Döküm Parametreleri

4.1.1 Dönme Hızı

Dönme hızını etkileyen merkezkaç kuvvetin etkisi Savurma Döküm Temel İlkeleri (2.4) kısmında bahsedilmiştir.

Dönme hızının seçimi ile ilgili faktörler, ekipmanın mekanik yetenekleri ve katılaşma sırasında oluşan dairesel gerilmelerdir. En yüksek santrifüj kuvvet düşük çapta açık boşluklu silindirik parçalar üretmek için kullanılır. Dönme hızı, üretilen döküm parçasının kalitesini etkileyen etkenlerden biridir. Düşük dönme hızları, kayma ve kötü bir döküm yüzeyine sebebiyet verebilir, Yüksek dönme hızları titreşimler oluşturabilir. Oluşan bu titreşimler, segregasyon bantlarının oluşumuna sebep olur. Çok aşırı dönme hızları da dairesel gerilmeleri arttırabilir. Bu gerilmeler, metal katılaşırken, merkezden çıkan yarıkların ve dairesel çatlakların oluşması için yeterlidir. Uygun dönme hızlarının, döküm yapısı üzerinde gerek tane boyutunu küçültücü, gerekse mikro bileşenlerin homojen dağılımı sağlayıcı bir etkisi vardır [10,11,13].

4.1.2 Döküm Sıcaklığı

Homojen dağılımının sağlanması için alaşımların ergime noktasının belirli bir miktar üzerindeki sıcaklıklara çıkarılması gerekmektedir. Ancak bu sıcaklığın dökümden hemen önce en uygun seviyeye ayarlanması, genellikle düşürülmesi söz konusudur. Saf metaller ve ötektik alaşımlar belirli bir ergime noktasına sahiptir. Örneğin Cu-Sn alaşımları (bronz), $\sim 820^{\circ}\text{C}$ 'de ergimeye başlar ve ergimesini $\sim 1015^{\circ}\text{C}$ 'de tamamlar. Ergime aralığı bu şekilde geniş olan alaşımlarda iyi sıvı metal besleme ve

uygun yönlendirilmiş progresif katılaşma sağlanamazsa mikroporozite, kaba sünger doku, çekinti boşluğu gibi döküm hataları daha kolay ortaya çıkar.

- Ergitme işlemini hızlı gerçekleştirmek,
- Metali yeterli ölçüde kızdırmak (ergime noktasının 100-150° C üzerine ısıtmak)
- Metali lüzumsuz yere sıcak bekletmemek ,
- En uygun döküm sıcaklığına getirip (ergime noktasının 50-100° C üzerinde) uygun hızla türbülans yaptırmadan dökmek,

gibi önlemler sıcaklık unsuruna bağlı döküm hatalarını en az seviyede tutmak için başlıca önemli noktalardır.

Sıcaklık yükseldikçe sıvı metal daha fazla gaz çözündürür, ayrıca sıcak dökümde çekinti boşluğu (lunker) sorunu daha sık ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıkta yanma kayıpları fazla olur ve buna bağlı olarak döküm parçasının yüzey kalitesi de bozulur; oksitlenme, sıcak yırtılma, tane kabalaşması (sünger doku), kalıp/maça refrakter boyaları ile kimyasal reaksiyonlar(yüzey kalitesi bozulması) gibi pek çok sorun gereğinden yüksek sıcaklıklara bağlıdır.

Döküm sıcaklığın aşırı düşük olması sonucunda ise kalıbın tam dolmaması (eksik döküm) ve katmer sorunu ortaya çıkar.

Döküm hataları nedenleri arasında “döküm sıcaklığı” unsurunun önemli bir yer işgal ettiği görülmektedir.

Dökümcülük kaynaklarında, Cu-Sn alaşımlarının (bronz) için genel bir döküm sıcaklığı aralığı 1010-1120° C olarak verilmektedir. (Kalay Bronz için bu aralık: ~ 1030-1070° C)

Yüzey / hacim oranı döküm sıcaklığı seçimi için önemli bir etkidir. Savurma dökümde bu husus, döküm parçasının şekil ve boyutları (dolu, boru; çap/boy) ile kullanılan kokilin boyutları dolayısıyla bu ikisinin ağırlık oranları ve kokilin dökümden önceki sıcaklığı ile belirlenmiştir. Önemli olan nokta metalin, kokile girmesine müteakip katılaşmaya kadar geçirdiği süredir ki bu ayrıca döküm hızı ile ilgilidir [11].

Aşağıdaki Tablo 4.1’de, Sarkuysan A.Ş.’de üretilen malzemeler için katılaşmanın başladığı noktaya göre idealize edilmiş döküm sıcaklıkları listelenmiştir:

Tablo 4.1 : SKS alaşımlarından bazılarının ergime aralığı, tavsiye edilen döküm sıcaklığı aralığı ve döküm sıcaklığı üst sınırları [11]

Sipariş Kodu	Normu	Ergime Aralığı (°C)	Döküm Sıcaklığı (°C)	Max.°C
SKS-1	G-CuSn10	845-1010	1050-1090	1150
SKS-2	G-CuSn12	820-990	1030-1070	1120
SKS-3	G-CuSn14	798-970	1010-1050	1100
SKS-4	G-CuSn5ZnPb	940-1030	1070-1110	1150
SKS-5	G-CuSn7ZnPb	900-1020	1060-1100	1130
SKS-6	G-CuSn10Zn	840-1000	1040-1080	1110
SKS-7	G-CuPb5Sn	845-1010	1050-1090	1120
SKS-8	G-CuPb10Sn	845-1010	1050-1090	1120
SKS-9	G-CuPb15Sn	845-1025	1060-1100	1140
SKS-10	G-CuPb20Sn	930-1050	1080-1120	1150
SKS-11	G-AlBz9	1030-1040	1100-1150	1200
SKS-12	G-CuAl10Fe	1030-1090	1130-1170	1200
SKS-13	G-CuAl10Ni	1030-1050	1100-1150	1200
SKS-14	G-CuAl8Mn	1030-1050	1100-1150	1180
SKS-15	G-CuSn12Ni	820-990	1030-1070	1100
SKS-17	G-CuAl9Ni	~1050	1100-1150	1200
SKS-18	G-CuAl11Ni	1030-1075	1130-1180	1250

Listenin bu sıcaklık değerleri, döküm sırasında kokile girişte ölçülen hedef değerlerdir. Ergitmenin yapıldığı yerden döküm yerine kadar sıvı metalin taşınması sırasında meydana gelen ısı kayıplarından ötürü sıcaklık düşmesi , pota büyüklüğü, alaşım türü ve dökülecek parça adedine göre tecrübi olarak tespit edilerek gözönünde tutulmalıdır.

Katılaşma sırasında açığa çıkan ergime ısısının uzaklaştırılması koşullara göre farklı ama belirli bir süreye ihtiyaç göstereceğinden potadaki sıvı metalin katılaşmasından genelde gereğinden fazla korkulması yanlıştır. Ancak sıvı metalin, kütlesi büyük ve üstelik soğuk bir kokile dökülmesi sorunlar yaratır, soğuk dökümün kendine özgü hataları ortaya çıkar. Metal sıcaklığı gereğinden yüksek olduğunda da bu sorunla karşılaşılabilir (oksitlenme, viskozite artışı = akışkanlık azalması). Bu itibarla sıcaklık ölçümü ihmal edilmemelidir. Optik pirometreler yanıltıcı değerler verebilir, daldırma termokupl ile ölçüm yapılması tavsiye olunur [11].

Döküm sıcaklığı, katılaşma şeklini etkilediğinden, bu sıcaklığın seçiminde, dökümden istenen yapıda göz önünde tutulmalıdır. Düşük sıcaklık, maksimum tane küçülmesi ve eş eksenli kristallerin oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklık ise birçok alaşımda kolonsal yapıyı teşvik eder. Genel uygulamada seçilen sıcaklık, yeterli

metal akışını sağlayan, iri tane oluşumuna ve sıcak yırtılmaya sebep olmayacak yükseklikteki sıcaklıklardır [10].

4.1.3 Döküm Hızı

Potadan akıtılan sıvı metal silindirik bir akış kolonu oluşturur. Bu kolonun çapını ayarlamak dökümcünün elindedir. Metal akış kolonu, savurma döküm sırasında ne maçıya, ne de kokil kalıba temas etmeden başlangıçta tabana, hemen akabinde de burada oluşan sıvı metal havuzuna isabet sağlamalıdır ve türbülans oluşturmamalıdır. Savurma Döküm’de metal akışı herhangi bir sürtünme direnci ile karşılaşmadığından (gerçekte hava sürtünmesi mevcut) çok daha hızlı döküm yapılabilir. Küçük parçalarda düşük, büyük parçalarda yüksek döküm hızı uygulanır[11].

Döküm hızını kontrol eden birinci faktör, döküm işleminin sıvı metalin soğuyup hamur haline geçmeden bitirilmesi gereğidir; bununla beraber çok yüksek döküm hızları türbülansa ve hatta sıvı metalin saçılmasına yol açabilir. Oysa yavaş hızda dökümün, yönlendirilmiş katılaşmayı ve beslemeyi teşvik etmek ve sıcak yırtılma eğilimini azaltmak gibi uygulamada büyük önem taşıyan avantajları vardır[10].

Sıvı metalin yüksekten dökülmemesi, mümkün olan en yakın mesafeden türbülans yaratmadan, kesintisiz ve sakin akışla dökülmesi, kalıp ve maçada hep aynı noktaya çarptırılmaması (erozyon, refrakter boya sürüklenme hataları) hatta mümkünse kalıp ve maçıya hiç temas ettirilmemesi dikkat edilmesi gereken önemli noktalardır[11].

4.1.4 Kalıp Cinsi ve Sıcaklığı

Kalıp seçimindeki genel kriterler Savurma Dökümde kullanılan kalıpların seçimi (2.3) kısmında belirtilmiştir. Savurma dökümde en çok kullanılan kalıp olan kalıcı kalıplar, aynı şekle sahip birçok dökümün üretiminde, defalarca kullanılabilen, dökümden kolaylıkla sıyrılabilen, nispeten daha uniform et kalınlığına sahip parçaların üretimine imkan veren kalıplardır. Kalıcı kalıpların hızlı soğutma etkisi nedeniyle, dökümde ince taneli bir yapı oluşur. Daha yüksek kalitede ve iyi fiziksel özelliklere sahip dökümler üretilebilmektedir.

Harcanabilir kalıplar, tek bir döküm için kullanılırken, kalıcı kalıpların defalarca kullanılabilme özelliğinden ötürü üretim oranı da yüksektir [3].

Kokil sıcaklığı genelde 200-425° C arasında olmalıdır. Bu sıcaklık aralığı sağlandığında, dışarıdan içe ve aşağıdan yukarıya doğru yönlendirilmiş bir katılaşma

sağlanacağından daha sağlıklı bir döküm elde edilmesi mümkün olabilecektir. Belirli sınırlar arasında tutulması gereken kokilin sıcaklığı aşırı yükselirse havaya tutularak, yada kalıp boyası karışımı içine daldırma suretiyle soğutulabilir. Kokil, nasıl olsa döküm yapıldıkça ısınır düşüncesi ile yeterli ön ısıtmaya tabi tutulmazsa ilk alınan dökümlerin hatalı olma rizikosu artar ve maliyetler yükselir. Kalıplar ve maçalar, doğalgazla ısıtılır, döküm öncesi ve sonrasında “Antial 7360” boya ile kaplanır.

Kalıp sıcaklığının yapı üzerindeki etkisi ikinci derecededir. Birinci ve en önemli etki, kalıbın sıcaklık etkisiyle genleşebilme kabiliyetidir. Genleşme miktarı ne kadar fazla olursa, özellikle gerçek savurma dökümdeki sıcak yırtılma riski de o kadar az olacaktır.

Yukarda bahsedilmiş faktörlerin yanı sıra, bir diğer önemli sayılabilecek faktörde döküm uzunluğunun çapına olan oranıdır. Bu oranın büyük oluşu iç boşluktan radyasyon ve konveksiyonla ısı kaybını azaltıcı etki gösterir ve %100 döküm verimine yaklaşılabılır. Dökümün kalınlığı arttıkça veya boy/çap oranı azaldıkça radyal sıcaklık gradyanları daha az belirgin konuma geçerler. Isı kaybı fazlalaşır ve yönlenmiş katılaşma bozulabilir. Bunun sonucunda iç cidarları, iç poroziteye sahip bir tabaka içeren dökümler elde edilir ve giderilmesi için talaş kaldırma işlemleri gerekir. Bir genelleme olarak boy/çap oranı 15 ve yukarı olanlar için bu durumun söz konusu olmayacağı söylenebilir [11].

Aşağıda (Tablo 4.2), savurma dökümü etkileyen döküm parametrelerinin, döküm parçasının yapısına olan etkileri gösterilmiştir.

Tablo 4.2 : Döküm parametrelerinin döküm yapısı üzerine etkisi [13]

Değişken	Etki	Yapı
Döküm sıcaklığında artış	Soğuma hızının düşmesi ve çekirdeklemenin engellenmesi	Kolonsal, kaba
	Optimuma yaklaşan sıcaklık gradyanı	Kolonsal
	Optimum sıcaklık gradyanı	Eş eksenli
Kalıp sıcaklığında düşme	Soğuma hızının artması ve çekirdeklemenin teşvik edilmesi	Eş eksenli; ince
	Sıcaklık gradyanının yükselmesi	Kolonsal
Döküm hızında azalma	Sıcaklık gradyanının yükselmesi	Kolonsal
	Mekanik düzensizlikte artış; kristal yapıda ve aşırı soğumada düzensizlik	Eş eksenli; ince kolonsal
Dönme hızında artış	Mekanik düzensizlikte artış; kristal yapıda ve aşırı soğumada düzensizlik	Eş eksenli; ince kolonsal

4.2 Döküm Hataları

Savurma Dökümde (Sık) Karşılaşılan Döküm Hataları :

4.2.1 Segregasyon

Dengesiz katılaşmanın oluşturduğu uniform olmayan kompozisyon, segregasyon olarak bilinir. Katılaşma sırasında kristale çok yakın düşük ergimeli sıvıdan oluşan bir zon vardır. Çekirdekleşme meydana gelir ve eğer titreşimle bozulursa bantlaşma meydana gelir [13].

4.2.2 Çekinti Çatlağı (Sıcak Yırtılma)

Döküm kalıp içinde soğurken parçanın herhangi bir yer yada yerlerinde meydana gelen çatlamlar için kullanılır. Çatlamlar, donmanın son kademesinde meydana gelir ve genellikle parçada soğumanın yarattığı gerilimlerden doğar.

Bu çatlaklar ekseriya dökümün derinliklerine kadar girer ve kenarlarında oksitlenmeden meydana gelmiş bir renk bozukluğu görülür. Genellikle, kesitlerin birleştikleri yerlerde meydana gelir [11].

Eğer santrifüj kuvvet tarafından meydana getirilen dairesel gerilmelerde malzemenin çekme mukavemetini aşarsa dökümde çatlaklar meydana gelir. Birçok metal katılaşmadan hemen sonra oldukça düşük çekme gerilimlerine sahiptir. Çatlakların oluşmasına etki olarak bu da gösterilebilir [13].

4.2.3 Terleme

Yalnızca bakır-kalay ve bakır-kalay-kurşun alaşımlarında oluşmaktadır, yüzeyde beliren bilyacıklar bazen mercimek büyüklüğüne ulaşır. Kalay ve kurşun terlemesinin başlıca nedeni, metal içinde fazla miktarda çözünmüş bulunan gazların, (örneğin hidrojen) katılaşma sırasında basınç oluşturarak, kurşun ve kalayı döküm yüzeyine itmesidir, bu nedenle makroporozite hatası da aynı anda görülebilmektedir. Ayrıca katılaşmış metal bölgelerinin büzülmesi de bu tür terleme hatasının ortaya çıkmasına katkıda bulunabilir [11].

4.2.4 Yağma

Kalıp gerekenden çok düşük hızda dönerse yada metal, kalıba çok yüksek hızda veya çok yüksek sıcaklıkta beslenirse ergimiş metal yerçekiminin etkisinden kurtulacak yeterli dönme hızına ulaşamaz ve böylece metal kalıbın üst kısmından alt kısmına düşer [13].

4.2.5 Katlanma

Santrifüj döküm makinalarında meydana gelen titreşim üretilen dökümlerde kat oluşumuna sebep olabilir [13].

4.2.6 Çekinti Boşluğu ve Porozite

Katılaşma büzülmesi ve yetersiz besleme, çekinti boşluğu porozitesine neden olur. Sıcaklık yükseldikçe sıvı metal daha fazla gaz çözündürür, ayrıca sıcak dökümde çekinti boşluğu (lunker) sorunu daha sık ortaya çıkar.

Porozite, çok yüksek sıcaklıklarda, cürufun yapı içersinde eriyip kalıp dışarıya çıkamaması veyahutta metalin aşırı hızlı soğuması nedeniyle içerde birikmiş olan gazların dışarıya çıkma imkanı bulamaması nedeniyle oluşur. (gaz boşlukları- gaz sıkışması). Gazlar boşlukların büyümesine neden olur; bu tür hatalar, pratikte gaz ve çekinti porozitesi kombinasyonudur [11].

Cüruf hataları hem döküm parçasının içyapısında tane sınırlarında, hemde döküm parçasının yüzeyinde görülür. Akışkan cüruflar hızlıca döküm parçasının yüzeyine çıkabilirler, fakat yüksek türbülans ve hızlı katılaşma durumunda bu cüruflar parça içine hapsolurlar. Sıvı metalin oksit oranının çok yüksek oluşu, döküm sıcaklığının çok düşük yada aşırı yüksek oluşu, döküm hızının çok yavaş oluşu ve de cüruf toplama işleminin iyi yapılamıyor olması neden olarak gösterilebilir [14].

En çok döküm kusurları, küçük çaplı (dolu veya boru) malzemelerde meydana geliyor, çünkü malzeme dökülürken diplik ve döküm ağzı çabuk soğumaktadır.. Ağzın hızlı soğuması da, sıvı metalin kokil kalıba düzgün akışını engelliyor ve özellikle parçanın göbek kısmında porozite oluşumuna sebebiyet veriyor.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, savurma döküm yöntemiyle üretilmiş olan, kalay-bakır (bronz) alaşımlarından DIN 1705(1981) Gz-CuSn12 alaşımına döküm parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş’de ve İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmaların ilk kısmının gerçekleştirildiği Sarkuysan A.Ş, İstanbul'a 40 km mesafedeki Gebze'nin Osmangazi yöresindedir. 1975 yılında faaliyete geçen fabrikada üretilen elektrolitik bakır katodlardan Outokumpu, Southwire ve Contirod gibi modern sürekli döküm teknolojileriyle çubuk/filmaşın dökülür. Daha sonraki üretim kademelerinde ulusal ve uluslararası kalite standartlarına uygun 0.05 mm çapa kadar çıplak tel, kalay ve nikel kaplı tel, değişik ebatlarda yassı tel ve profil çubuk üretilmektedir.

Muhtelif bileşimde, 50-60 cm standart boylarda, içi dolu malzemeler standart 20-350 mm çapta, içi boş malzemeler de aynı dış çaplarda ve iç çapları standart 15-320 mm olacak şekilde istenilen normlarda Bronz, Pirinç alaşım kütükler (içi boş / dolu) üretilmesinin yanısıra, son dönemde bakır boru ve profil imalatı ürün yelpazesine katılmıştır. 65.000 m²si kapalı alan olmak üzere 130.000 m² alanda kurulu tesiste; günümüz teknolojilerine uygun ve yeterli kapasitede her türlü atık ve baca gazlarını arıtan ünitelerle çevreye saygılı ve duyarlı kalınarak üretim yapılmaktadır.



Şekil 5.1 : Sarkuysan’da, DIN 1716, 1714, 1709 ; ASTM B30, BS 1400 normlarında, çeşitli ebatlarda üretilen bronzlar

Mevcut işletme proses şartlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan döküm parametrelerinden, sıcaklık parametresi gözönüne alınarak dökümde oluşabilecek porozite türü hatalar üzerindeki etkinin incelenmesi amacıyla 4 adet (2'si Ø40 x Ø15 mm boyutlarında boru ve diğerleri Ø40 mm çapında mil olmak üzere) CuSn12 alaşımının değişik sıcaklıklarda dökümü yapılmıştır.

Ergitme işlemi, doğalgaz ısı kaynaklı ergitme ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu ocaklarda kullanılan potalar (200 kg), grafit potalardır. Ergitme işlemi sonucunda, döküm işlemi, 6 adet düşey eksenli savurma döküm makinalarında gerçekleştirilmiştir. Genel olarak dökülecek parça adedinin çok olması dikkate alınarak ve de bekletme fırınlarının mevcut olmamasından ötürü, kalay bronzların döküm sıcaklığının, 100-150 ° C üstünde ergitme işlemi gerçekleştirilerek, ergitme fırının sıcaklığı ile dökülecek parçaların sıcaklıkları, termokupl ile ölçülmüştür.



Şekil 5.2 : Kalay-bronzların ergitilmesi esnasında fırının görünümü

Ergitme fırınında yaklaşık olarak, ağırlıkça %87-89 oksijenli veya oksijensiz saf bakır ve %11-13 oranında da saf kalay külçeleri ergitilmiştir. Buna ilaveten çok az miktarda Ni ve P ilavesi de yapılmıştır. Dökülmüş parçaların kimyasal kompozisyonun belirlenmesi amacıyla atomik adsorbsiyon cihazından yararlanılmıştır.

Ergitme işlemi esnasında ve pota fırından çıkarıldıktan sonra, ergimiş metalin gaz kapmaması için potaya gaz giderici tablet ve cüruf yapıcı perlitler ilave edilmiştir. Gaz giderici tablet olarak, Cuprex 14; cüruf yapıcı olarak ta, Slax 20 kullanılmıştır. Cuprex 14, oksijeni tahliye ederek uygun bir örtü sağlayıp ve aşırı fosfor kaybını önlerken, Slax 20’de cürufu toplayıp, gevrek plastik kıvamında bir kabuk teşekkül ettirerek, cürufun potadan kolaylıkla atılımını sağlar. Döküm işlemi başlatılmadan önce, şekildeki gibi ergimiş metalin üzerindeki cüruf kalıntıları kaldırılır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Döküm işlemi öncesinde, cüruf ve diğer kalıntıların potadan temizlenmesi işlemi

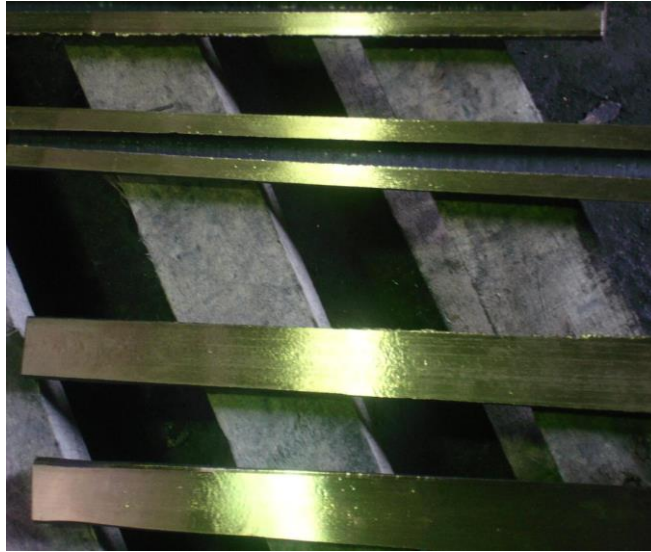
Döküm prosesinde, daha yüksek kalitede ve iyi fiziksel özelliklere sahip dökümlerin elde edilmesini sağlayan, ergimiş metale daha hızlı soğutma etkisi nedeniyle, dökme demirden kokil kalıplar kullanılmıştır. Bunlar parçada, dıştan içeriye doğru bir sıcaklık gradyanı sağlayarak, hızlı ve sağlam döküm elde edilmesini sağlar. Silindirik parçaların üretimi içinde, yine dökme demirden maçalar kullanılmıştır. Kalıplar ve maçalar, yaklaşık 200-425° C’de doğalgazla ısıtılıp, döküm öncesi ve sonrasında “Antial 7360” boya ile kaplanmıştır. Kokil ve maçalar, düşey savurma döküm cihazına, eksantrik olmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

Döküm işlemi esnasında ve parçaların katılaşması esnasında savurma döküm cihazı en hızlı devirde (180 devir/dk) döndürülmüştür (Şekil 5.4). Her döküm işlemi gerçekleştirildikten yaklaşık 3 dk. sonra döküm parçaları kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 5.4 : Düşey savurma döküm cihazında yapılan dökümün görünümü

Parçalar, iç kısımlarının porozite dağılımlarını tespit etmek amacıyla mekanik bakım atölyesinde işlenerek, dikey (boy) olarak ortadan kesilmiştir ve kesilen parçalar gözle muayene edilmiştir. Daha sonra İTÜ laboratuvarlarında incelenmek üzere, atölye de parçanın uç ve göbek kısmından su soğutmalı kesici kullanılarak parçalar kesilmiştir.



Şekil 5.5 : Dökümden sonra, makro inceleme için dikey ekseninde kesilmiş parçaların görüntüsü

İTÜ laboratuvarlarında, parçanın metalografik incelemesi için, döküm yönüne göre konumu göz önünde bulundurularak, dik ve paralel yönlerde numuneler kesilmiştir. Bu kesme işlemi içinde, Buehler Samplmet 2 marka su soğutmalı kesiciden faydalanılmıştır. Kesilen numuneler, Struers Labopol-2 marka döner diskte kaba-ince zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Bunun için 240, 400, 800,

2400 ve 4000'lük zımpara kullanılmıştır. Parlatma işlemi ise 1 µm su bazlı elmas süspansiyon kullanılarak naylon çuhada yapılmıştır.

Metalografik hazırlama işlemi yapılmış olan numunelerin, MG Olympus marka optik mikroskop kullanılarak, X2 ve X100 büyütmede, porozite oluşumları ve yapı içersindeki dağılımları incelenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda, her parçanın ortalama porozite boyutu, alanı ve porozite dağılımı hesaplanmıştır.

Ayrıca, numuneler, teorik değerler ile karşılaştırmak için ZHR Zwick/Roell marka Sertlik ölçme cihazıyla Rockwell B (100kg – 1/16" ball) cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür.

6. SONUÇLAR VE İRDELEME

Savurma döküm ünitesinde en önemli döküm hatası olan porozite türü hataların, döküm parametrelerinden döküm sıcaklığı ile olan ilişkisinin, proses şartları değiştirilmeden incelenmesi adına yapılan bu çalışmada, termokupl cihazıyla ergitme fırınının sıcaklığı ve parçaların döküldüğü sıcaklıklar şu şekilde ölçülmüştür:

Tablo 6.1 : Sarkuysan’da, ergitme fırınının sıcaklığı ve dökülmüş olan parçaların ölçülmüş döküm sıcaklıkları

Ergitme fırının ölçülen sıcaklık değeri : 1250 °C		
Döküm No	Ebatlar (mm)	Döküm Sıcaklığı (°C)
1	Ø40 x Ø15 x 600	1222
2	Ø40 x Ø15 x 600	1151
3	Ø40 x 600	1065
4	Ø40 x 600	985

Gz-CuSn12 bronzunun alaşım elementlerinin ve safsızlıkların, dökümün kalitesine etkisini gözlemlemek ve teorik değerlerle uygunluğunu saptamak için, yapılan kimyasal analiz sonucunda şu değerlere ulaşılmıştır:

Tablo 6.2 : CuSn12 alaşımının, standartlarda belirtilen kimyasal bileşim değerleri ve analiz sonuçları

	%Cu	%Sn	%Pb	%Zn	%Ni	%P	%Fe	%Sb	%S
Normu	84-88,5	11-13	01	1	2	0,4	0,2	0,2	0,05
Analiz Sonucu	87,17	12,43	-	-	0,315	0,028	-	-	-

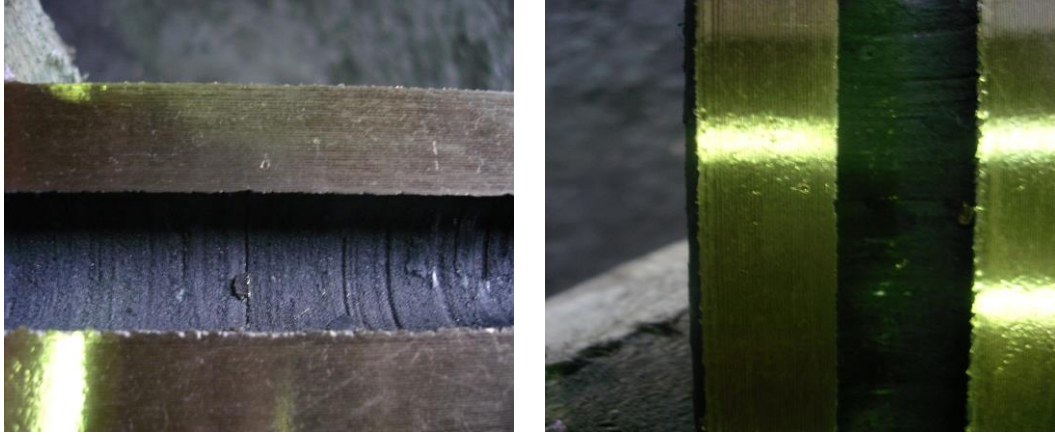
* Cu ve Sn normları dışındaki diğer değerler maks. değerleri göstermektedir.

Yapılan kimyasal analiz sonucu, dökülmüş olan parçaların kimyasal kompozisyonları standartlarda belirtilen değerler aralığında çıkmıştır. Yapı içerisinde ana alaşım elementleri Cu ve Sn dışında mevcut olan Ni, yapıda bağlayıcı görevi görmektedir ve malzemeye tokluk ve süneklik kazandırmaktadır. Fosfor mevcudiyeti de, standartlarda belirtilen değerleri aşmadığı sürece problem oluşturmamaktadır. Fosfor, deoksidasyon özelliğine sahiptir.

Ergitme işlemi tamamlanmış ve ocaktan çıkarılmış olan pota içersindeki sıvı metalin, döküm başlangıcı ile döküm bitişinin çok uzun olduğu gözlemlenmiştir. Ergitme işlemi, grafit potalar içersinde maks. 200 kg olacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu 200 kg'lık sıvı metal ile dökülen parça sayısı, parça boyutlarına göre değişmektedir. Dökülecek olan parça sayısı arttıkça, sıvı metalin transfer süresi artmakta ve döküm sonuna doğru metalin sıcaklığı aşırı derecede düşmektedir. (1222° C'de başlayan döküm, son parçanın dökümü sırasında, pota içersindeki sıcaklığın 980° C'ye kadar düştüğü görülmüştür.)

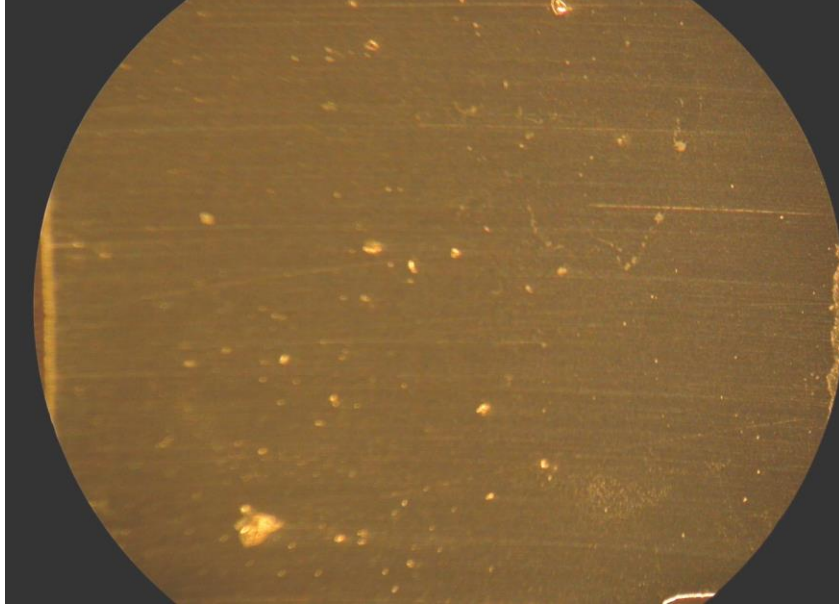
Değişik sıcaklık değerlerinde dökülmüş olan parçaların, öncelikle göz ile porozite mevcudiyetini incelemek amacıyla, parçalar uzun eksen boyunca tam ortadan kesilmiştir. 60 cm'lik uzunluklardaki parçaların en uç kısmıyla, orta kısımlarından alınan numunelerin, metalografik yüzey hazırlama işlemlerinden sonra, döküm yüzeyine dik ve paralel yüzeyleri incelenmiştir.

En yüksek sıcaklıkta (1222 °C) dökülmüş olan parçanın dikine kesit incelemesinde, yüksek sıcaklık etkisine rağmen birkaç noktasal porozite dışında poroziteye rastlanmamıştır (Şekil 6.1).

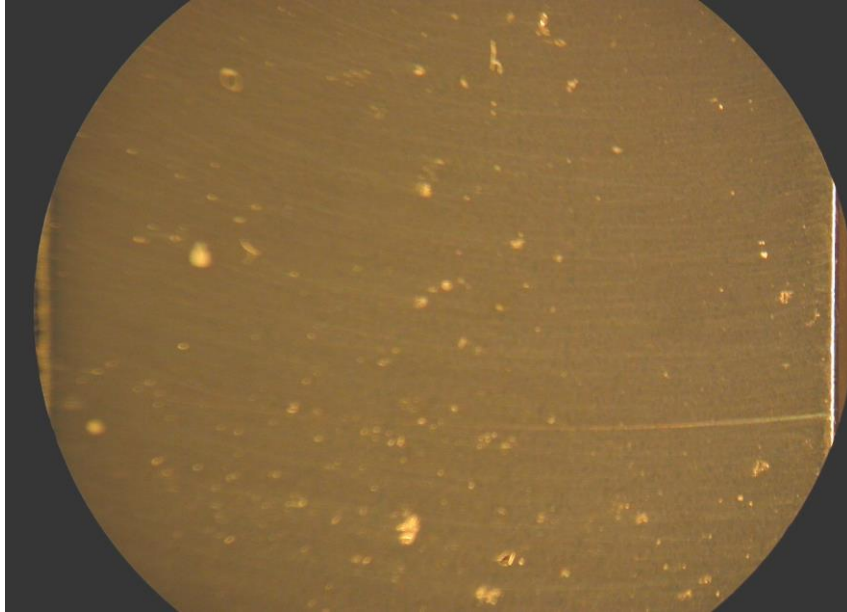


Şekil 6.1 : 1 no'lu parçanın (1222 °C), boyuna kesit görünümü

Ancak 1222 °C'de dökülmüş 1 no'lu parçanın, metalografik numune hazırlama işlemlerinden sonra optik mikroskopta yapılan incelemelerinde, yüksek mertebedeki sıcaklığın, yapı içersinde büyük boyutta porozite oluşumuna sebebiyet verdiği görülmüştür.

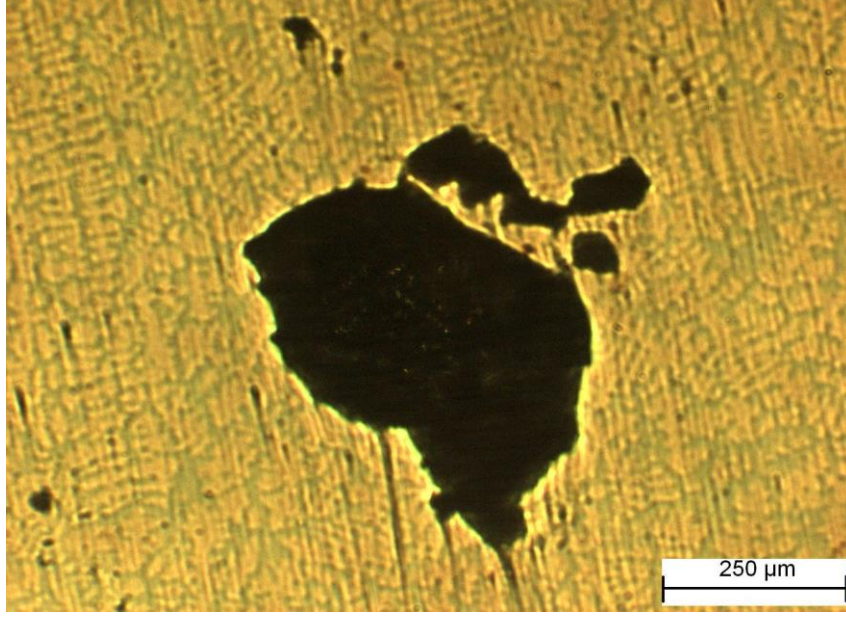


a)

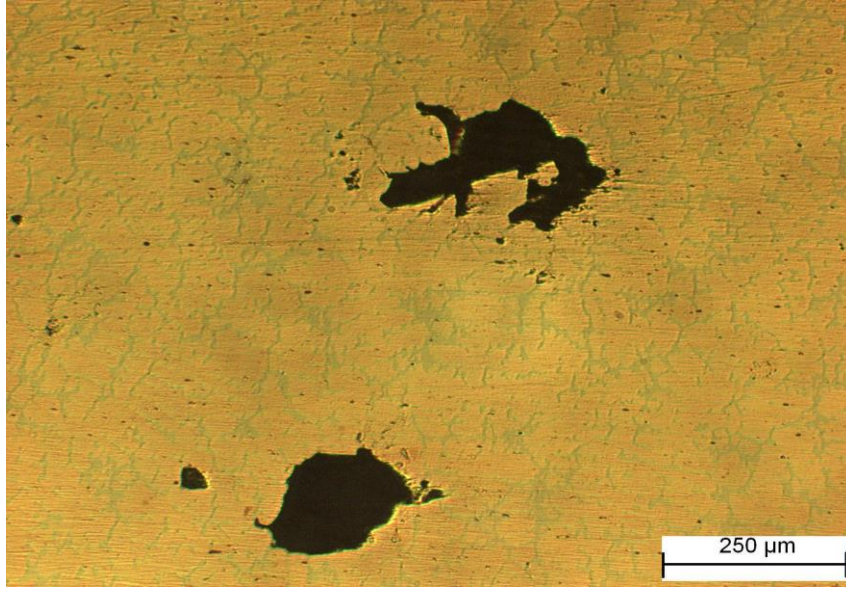


b)

Şekil 6.2 : X2 büyütmede, 1222°C 'de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



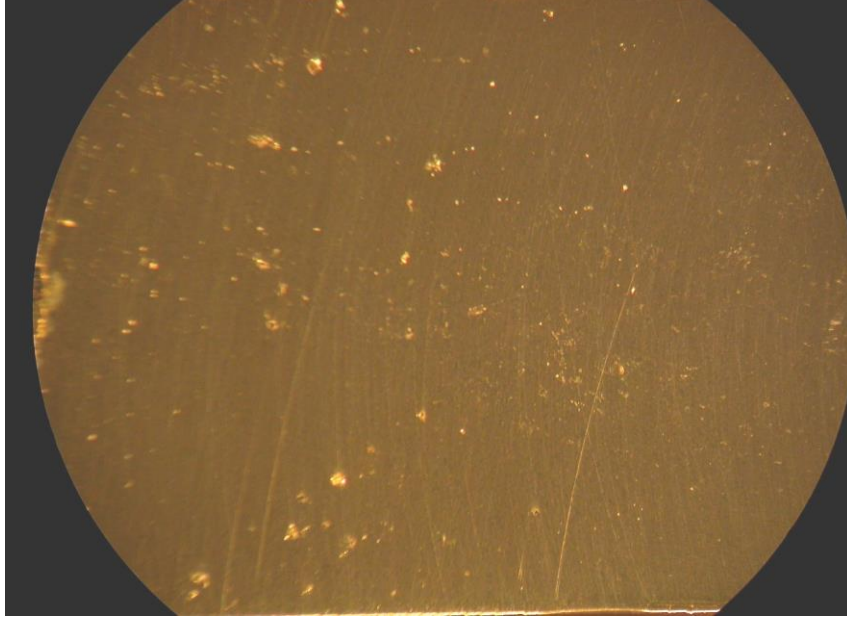
a)



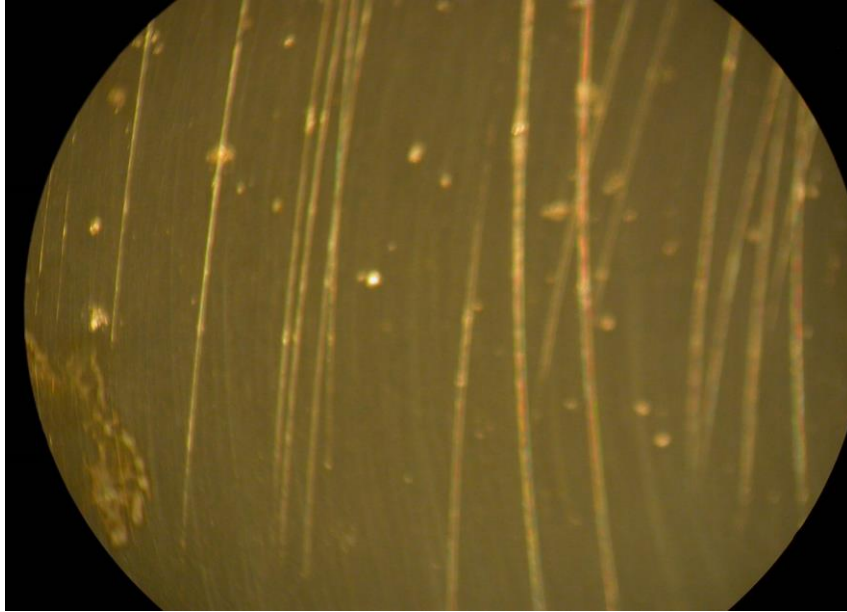
b)

Şekil 6.3 : X100 büyütmede, 1222°C 'de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

Aynı parçanın, orta kısmından alınan numunelerin, döküm yönüne dik ve paralel yönlerdeki yüzeylerinden alınan optik mikroskop görüntülerinde de, benzer porozite oluşumlarına rastlanmıştır (Şekil 6.3).

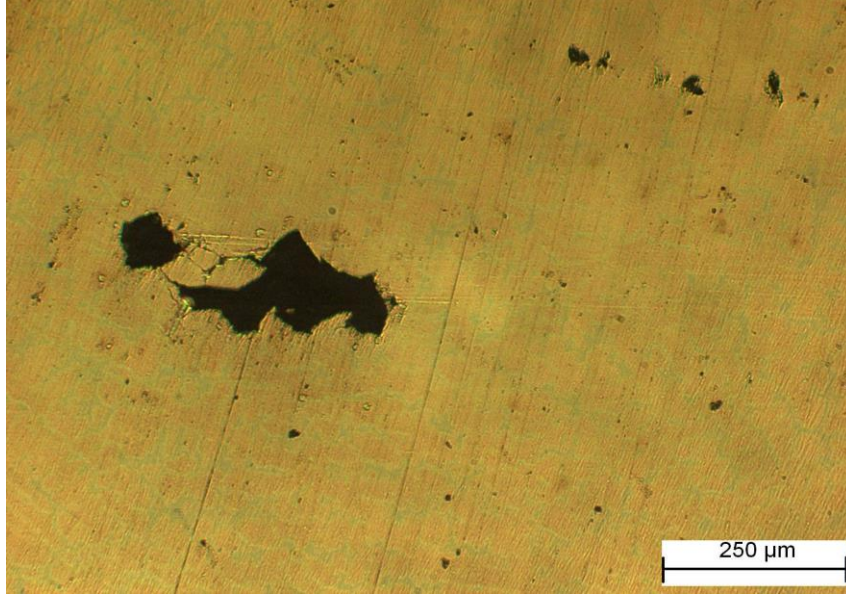


a)

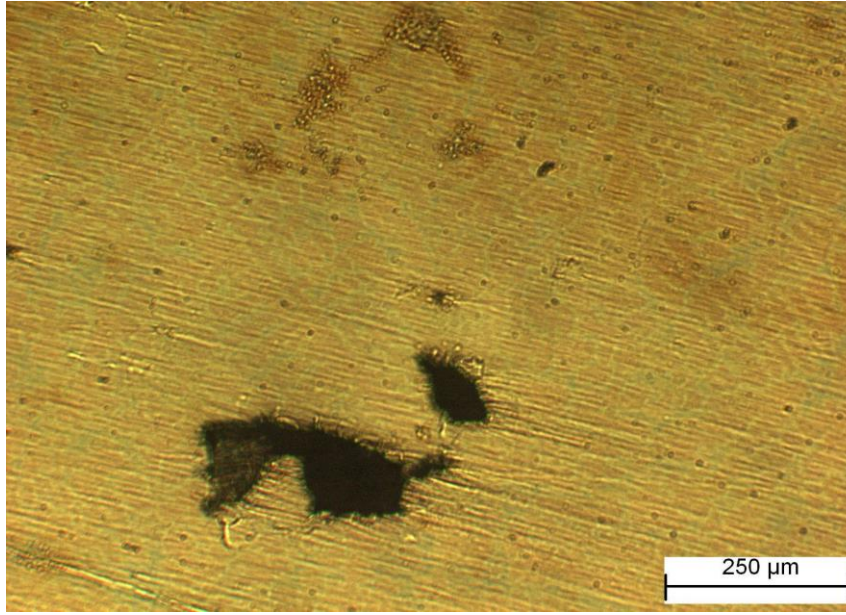


b)

Şekil 6.4 : X2 büyütmede, 1222°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



a)

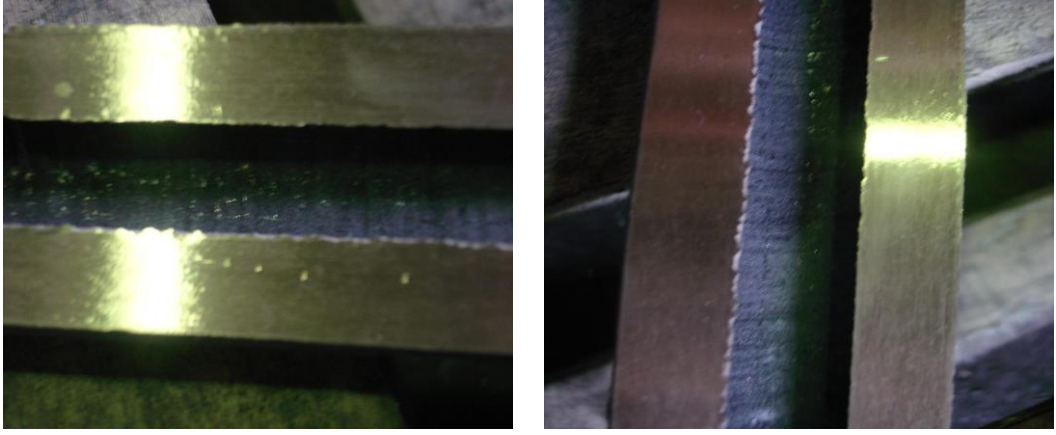


b)

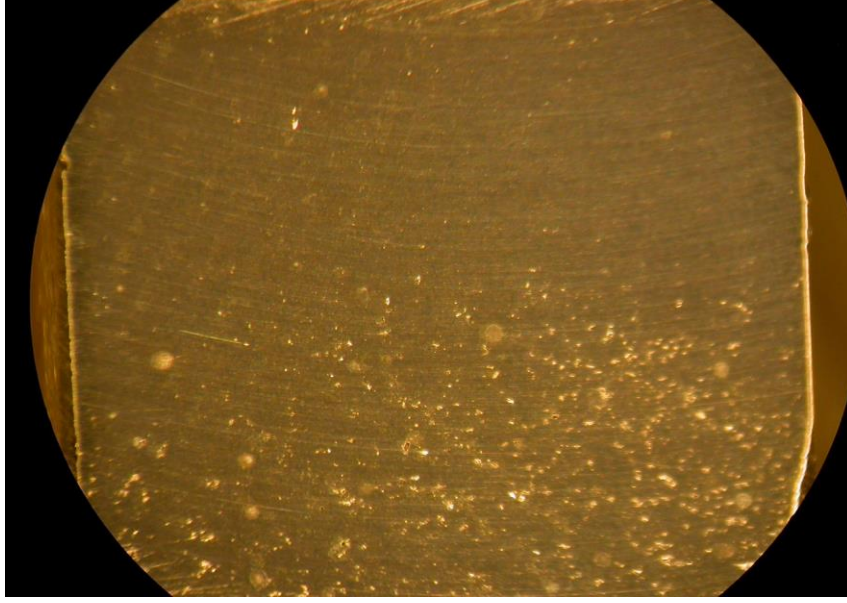
Şekil 6.5 : X100 büyütmede 1222°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

1151°C 'de dökülmüş olan 2 no'lu parçanın boyuna kesitinin gözle muayenesinde yüksek sıcaklık etkilerinin az da olsa olarak gözlemlendiği, daha sağlıklı sonuçların alınması için, aynı parçanın uç ve orta kısımlarından alınan numunelerin, mikroskopta incelenmesinde, gene yüksek sıcaklık etkilerinin yapıda belirdiği görülmüştür. 1222°C 'de dökülmüş 1 no'lu parça ile 1151°C 'de dökülmüş 2 no'lu parça, porozite boyutları (alanı) ve dağılımları bakımından kıyaslandıklarında, 2

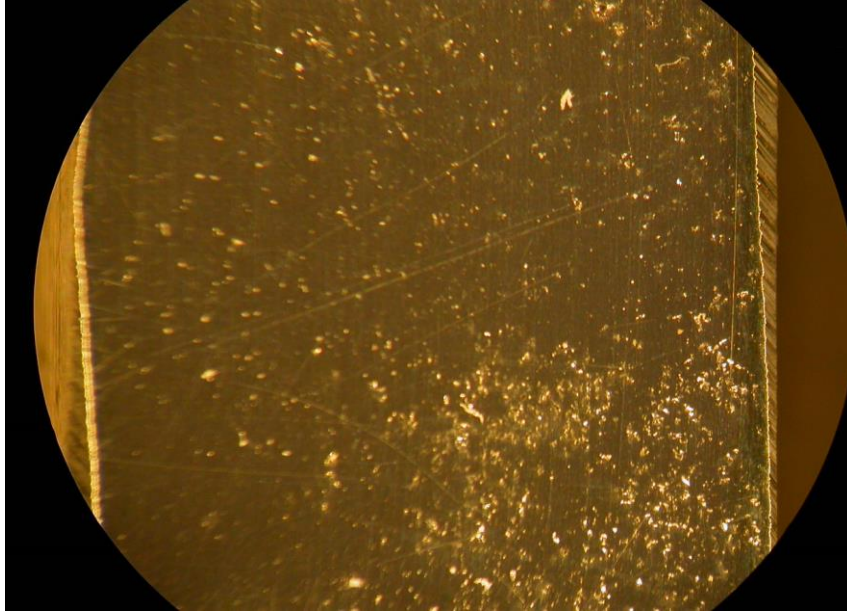
no'lu parçanın, 1 no'lu parçaya göre daha küçük boyutlu poroziteler içerdiği ama porozite dağılımının 1 no'lu parçaya kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.6 : 2 no'lu parçanın (1151 °C), boyuna kesit görünümü

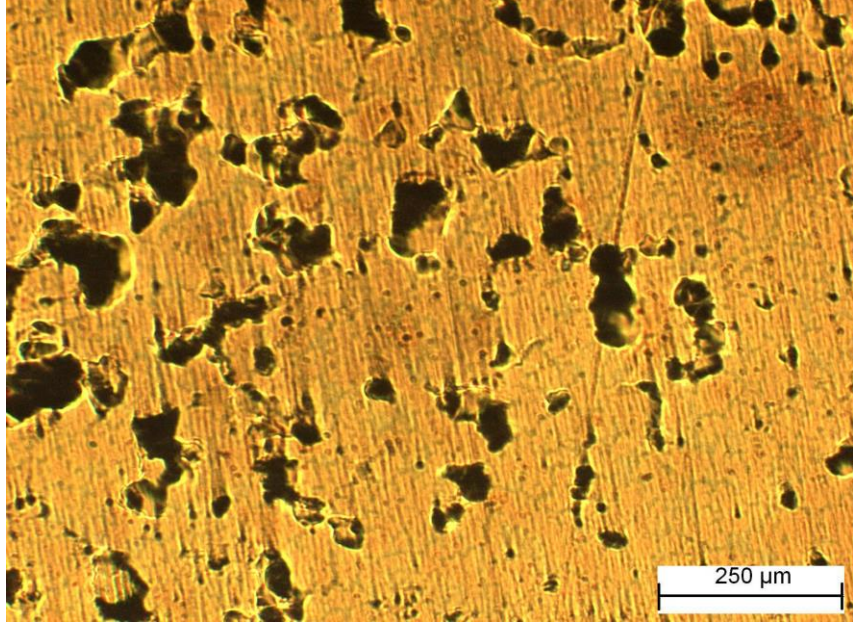


a)

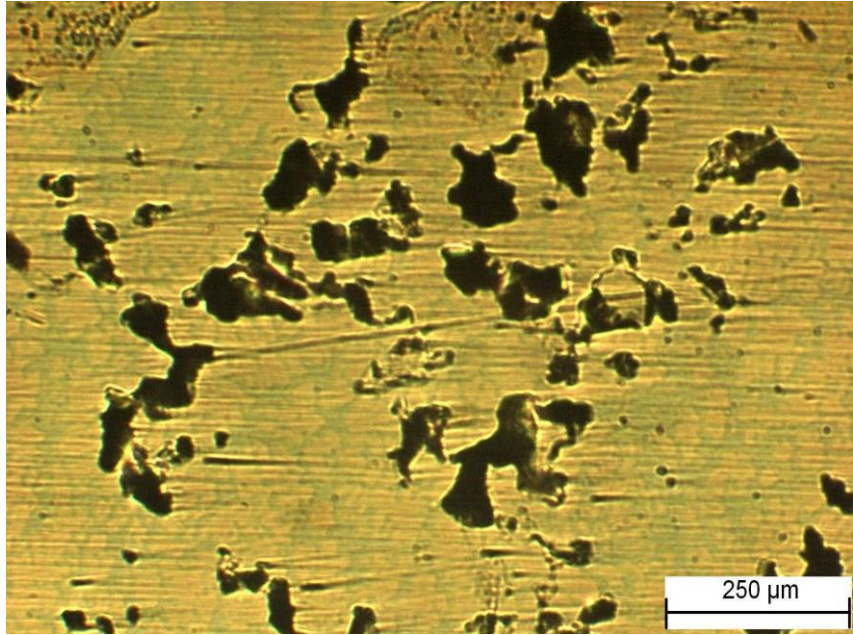


b)

Şekil 6.7 : X2 büyütmede, 1151°C 'de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



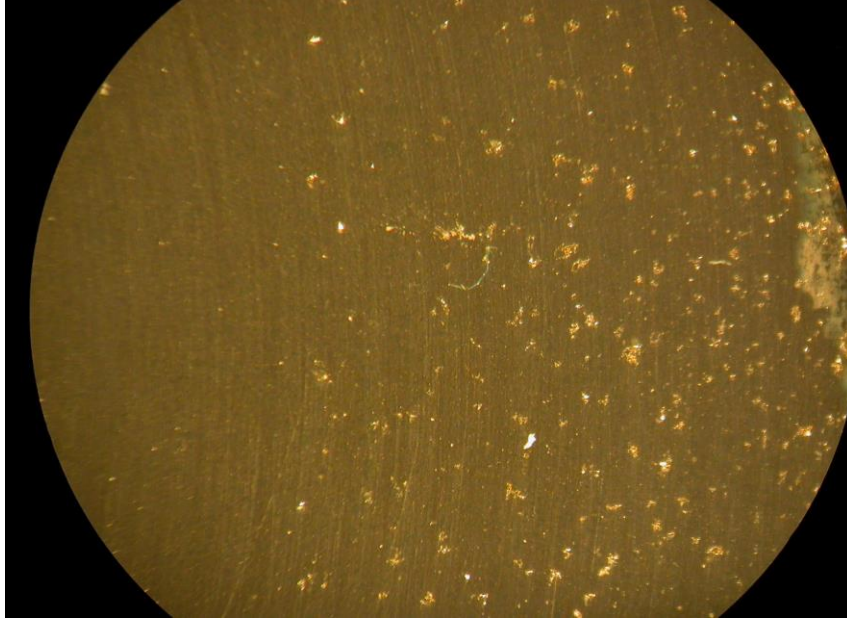
a)



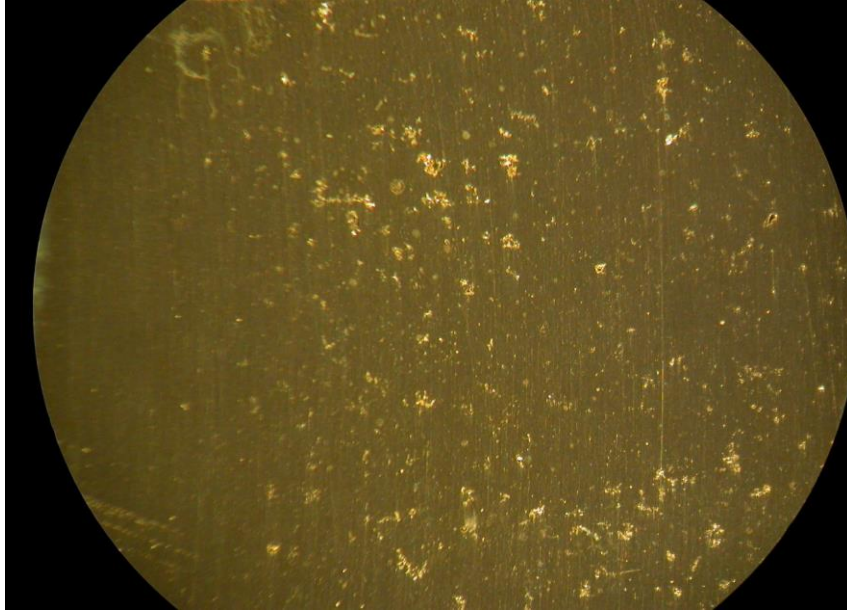
b)

Şekil 6.8 : X100 büyütmede, 1151°C 'de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

2 no'lu parçanın orta kısmından alınan numunelerde de porozite yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

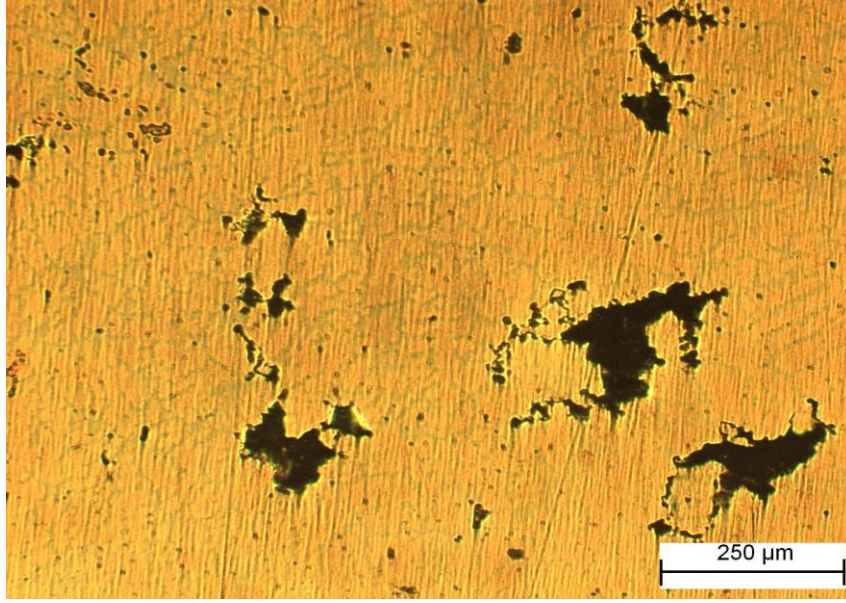


a)

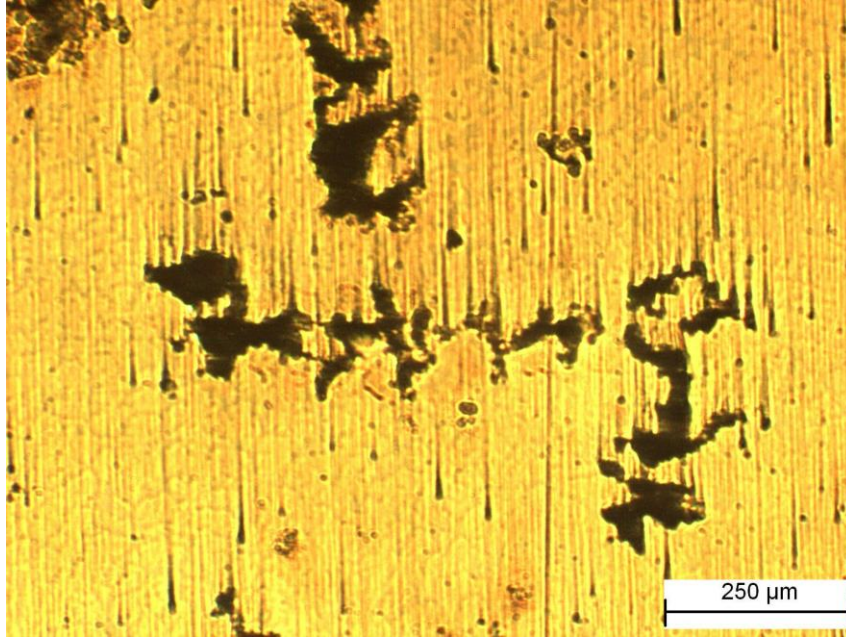


b)

Şekil 6.9 : X2 büyütmede, 1151°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

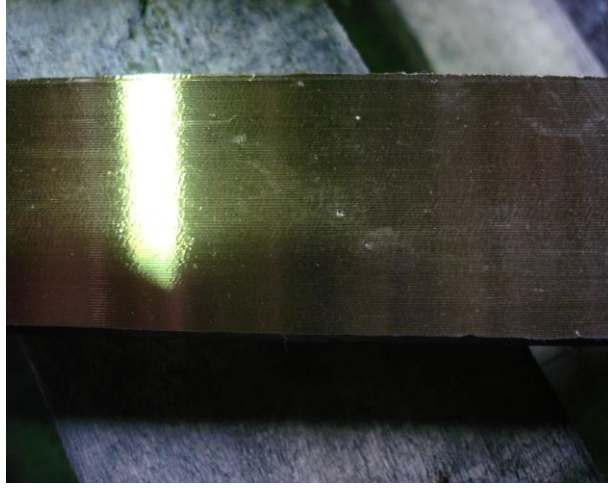


a)



b)

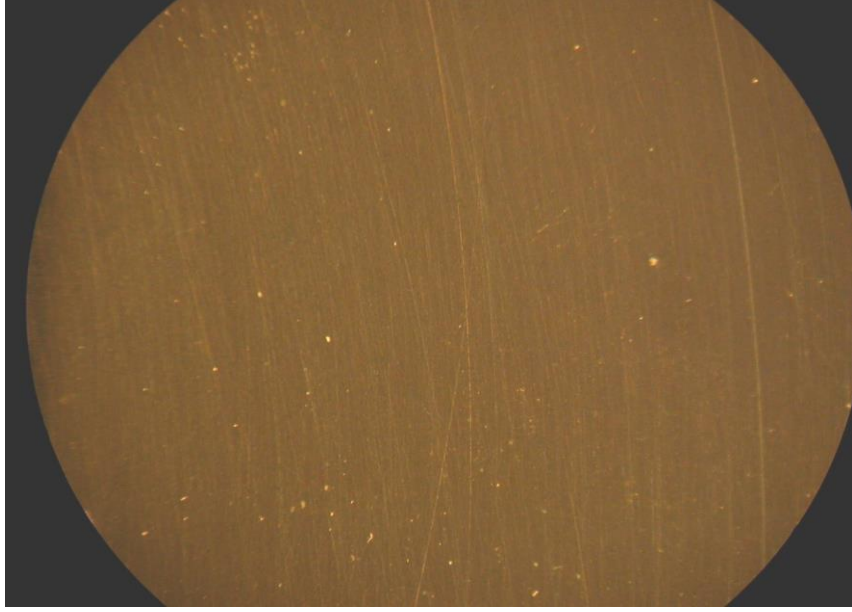
Şekil 6.10 : X100 büyütmede, 1151°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



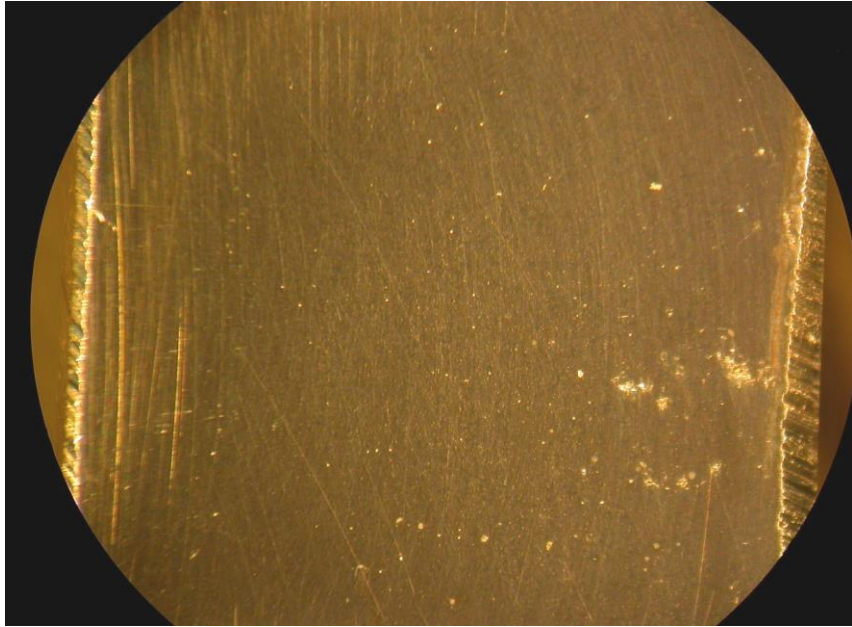
Şekil 6.11 : 3 no'lu parçanın (1065 °C), boyuna kesit görünümü

Yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan en büyük problem, gaz sorunudur. Sıcaklık yükseldikçe gaz çözünürlüğü artar. Yüksek sıcaklıklarda yapılan döküm işlemlerinde hızlı bir katılaşma gerçekleşmesi sebebiyle, yapı içerisindeki mevcut gazların tam anlamıyla atılımı sağlanamadığından, bu gazlar yapı içerisinde hapsolurlar ve porozite denilen boşlukların oluşumuna sebebiyet verirler. Yeterli metal akışını sağlayan çok daha düşük sıcaklıklarda yapılan döküm işlemlerinde bu tarz gaz sorunuyla çok sık karşılaşılmadığı için, çok daha iyi yapıda dökümler elde edilir.

1065 °C'de dökülmüş 3 no'lu parçanın, gerek dikey kesit incelemesinde (Şekil 6.7); gerekse mikroskopta incelemesinde, 1 ve 2 no'lu döküm parçalarına göre porozite boyutu (alanı) ve porozite dağılımının oldukça düştüğü tespit edilmiştir. Bu tespitten, 3 no'lu parçanın, kalay-bronzlar için optimum olan bir döküm sıcaklık aralığında dökülmüş olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

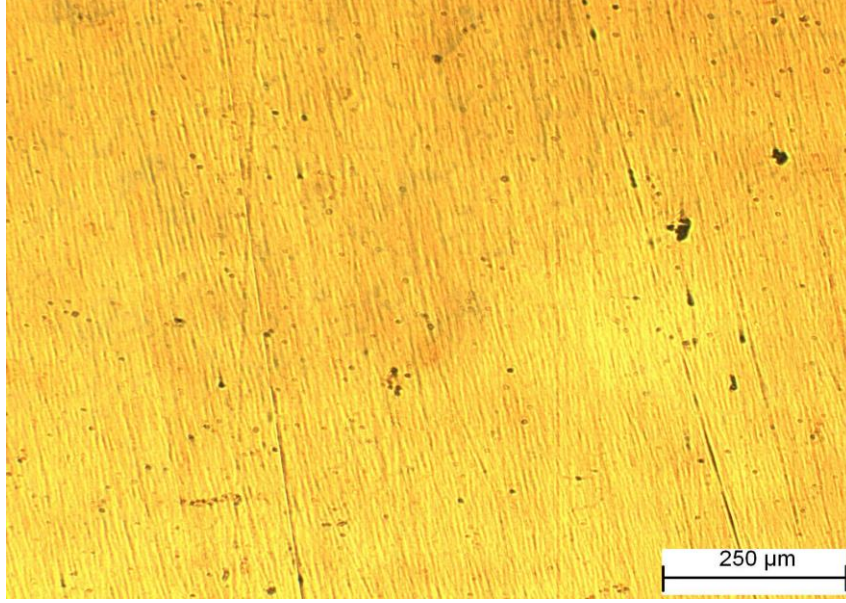


a)

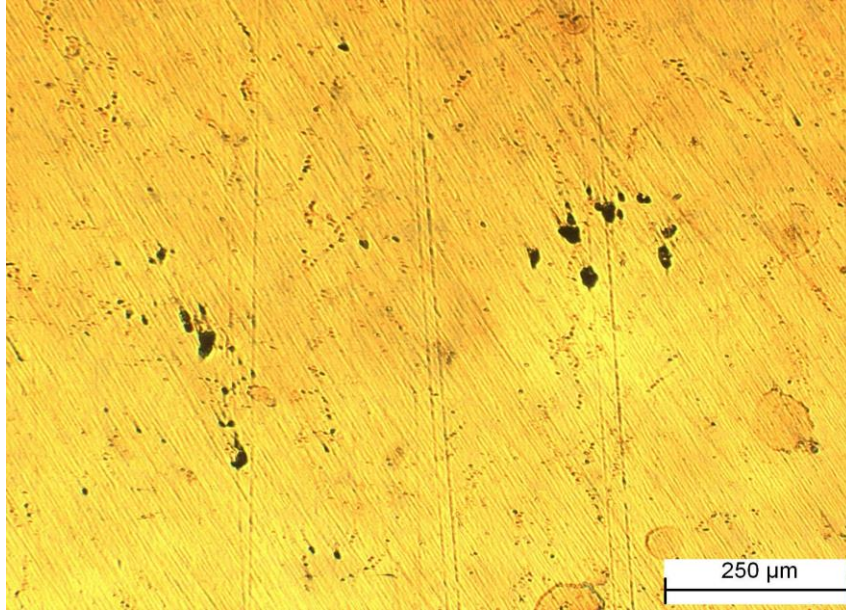


b)

Şekil 6.12 :X2 büyütmede, 1065°C ‘de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



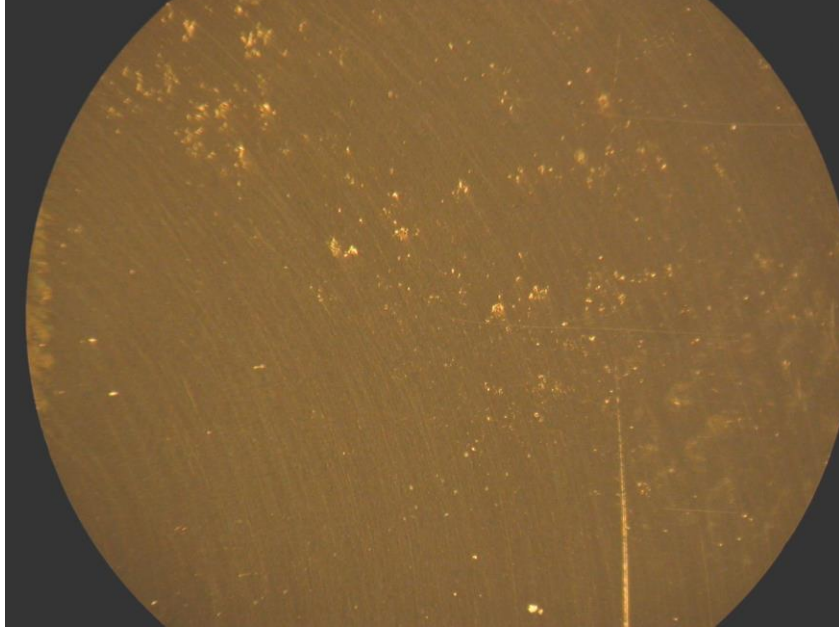
a)



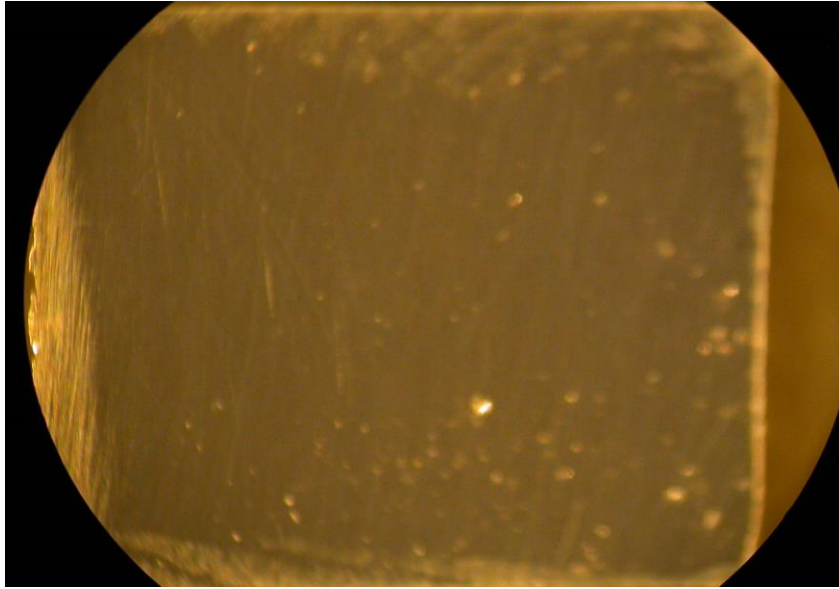
b)

Şekil 6.13 : X100 büyütmede, 1065°C ‘de dökülmüş parçanın üst kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

3 no'lu parçanın orta kısmından alınan numuneler incelendiğinde, parçanın üst kısmına göre porozite yoğunluğu biraz daha yüksek olsa da, 1 ve 2 no'lu parçalara göre yüzey daha temiz olduğu görülmüştür.

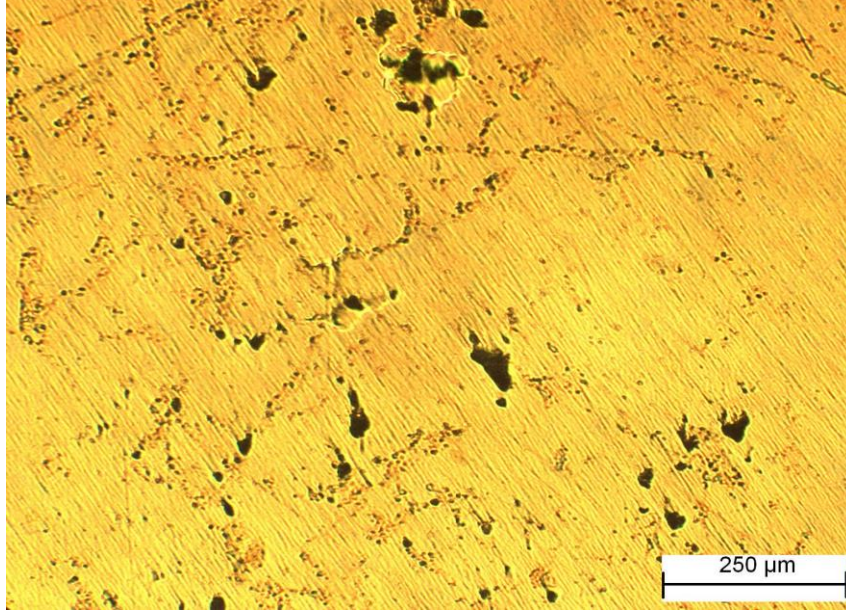


a)

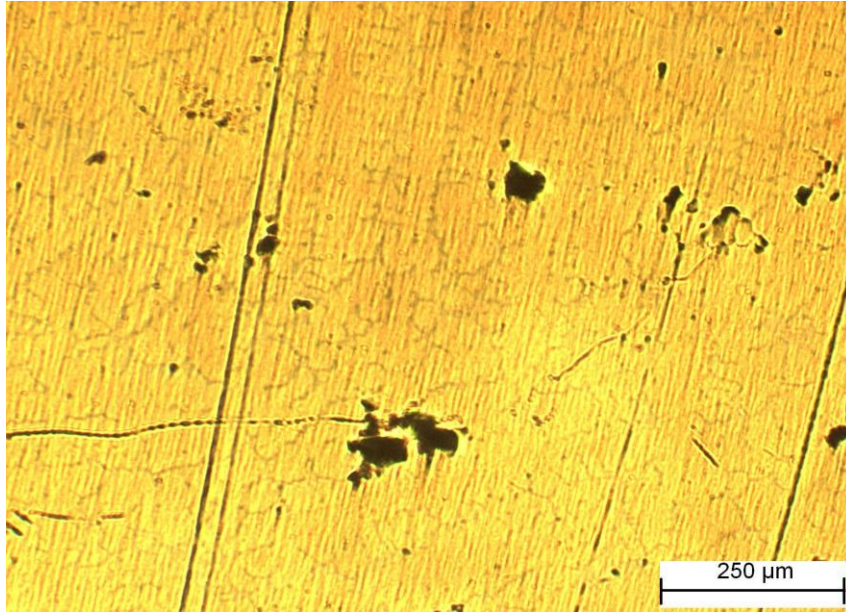


b)

Şekil 6.14 : X2 büyütmede, 1065°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü



a)



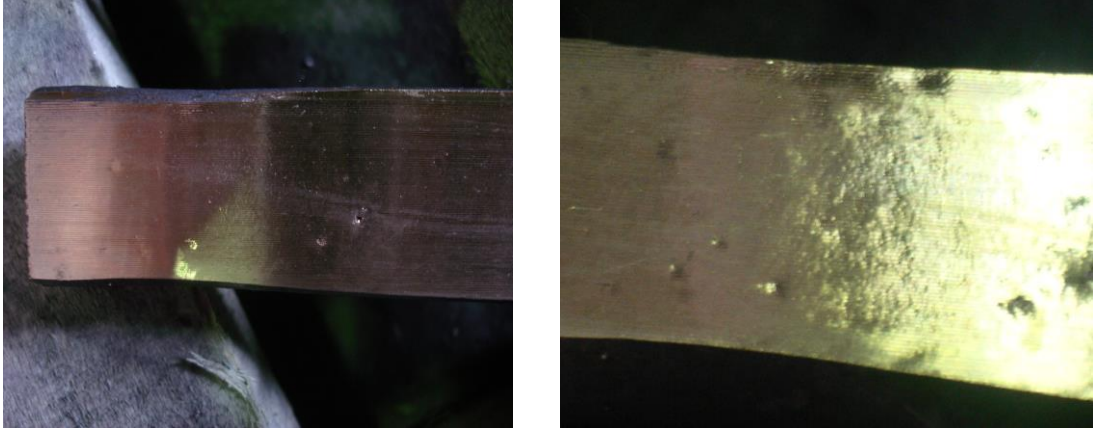
b)

Şekil 6.15 : X100 büyütmede, 1065°C 'de dökülmüş parçanın orta kısmından alınmış numunelerin döküm yönüne a) dik ve b) paralel yüzeylerindeki porozite görünümü

1, 2 ve 3 no'lu malzemelerin boyuna kesitinin gözle incelemesi yapıldığında bariz bir şekilde porozite gözlenmemiş, bunun içinde porozite oluşumları hakkında, optik mikroskopta görüntülerinden faydalanılırken, 985° C'de dökülmüş olan 4 no'lu parçada yapılan boyuna kesit incelemesinde, oldukça büyük miktarda ve sayıda boşluklara rastlanmıştır (Şekil 6.10).

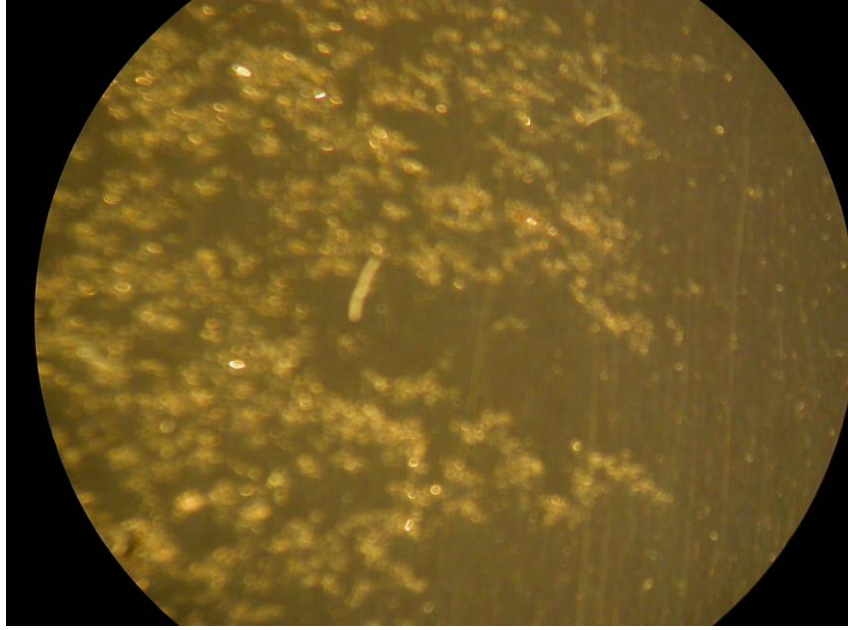
Sağlam bir döküm için kalıbın sıvı metal ile sürekli bir şekilde beslenmesinin sağlanması lazımdır. Durarak döküm yada kesikli döküm diye tabir ettiğimiz döküm şeklide gaz oluşumunu teşvik eder. Ayrıca döküm sırasında (özellikle küçük maçalı işlerde) kalıp ağzının sıvı metal ile kaplanması ortaya çıkan gazın tahliyesini engellemektedir. Tahliye edilemeyen gaz, döküm parçasında hapsolmaktadır. Sonuç olarak, küçük gaz boşlukları (pinhole) eğer pota sonu ise metalin soğuk olması nedeniyle parçadan atılamamaktadır.

4 no'lu parça, bronzun ergime sıcaklığı aralığında döküldüğünden ve dolayısıyla parça dökülürken ergimiş metal çok soğuk olduğundan, bunun yanı sıra yukarda bahsedildiği gibi sürekli bir beslemenin tam anlamıyla gerçekleştirilememesinden ötürü, ciddi anlamda gaz ve curuf kalıntısından kaynaklanan boşluk oluşumları tespit edilmiştir (Şekil 6.10-11). Aynı zamanda 4. no'lu parça için, aynı kalıba 2 kez döküm yapılmıştır. Kalıbın bir önceki dökümden ötürü aşırı sıcak olması sebebiyle, parçanın dışından içeriye doğru düzgün bir sıcaklık gradyanı oluşmadığından, parçanın özellikle uç kısmında normal ölçülerinde sapmaya sebebiyet verecek şekilde büzülmesine neden olmuştur (Şekil 6.10).

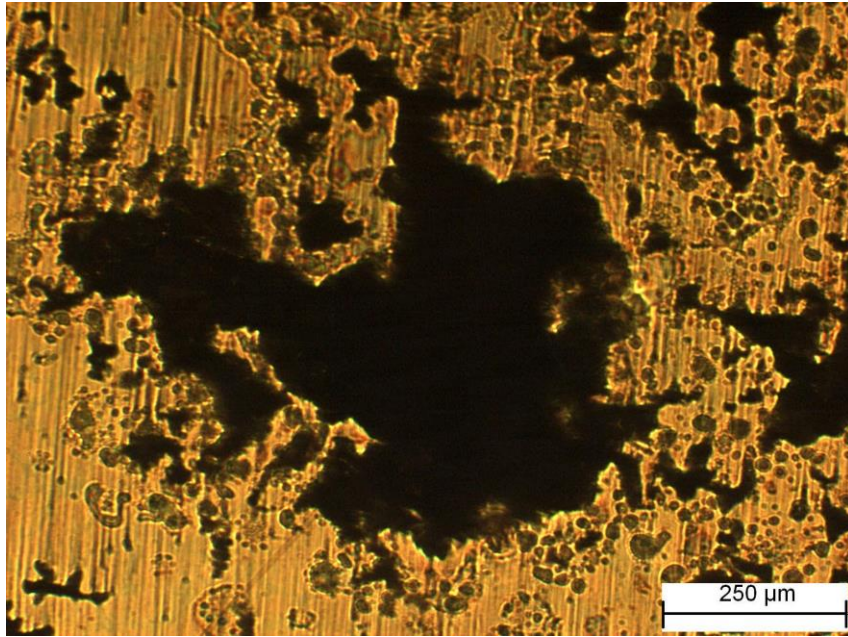


Şekil 6.16 : 4 no'lu parçanın (985 °C), boyuna kesit görünümü

Aşağıda da, 4 nolu parçadan alınmış numunenin mikroskopta değişik büyütmelerde ki incelemesinde diğer sıcaklıklara ait numunelere kıyasla porozite boyutu ve dağılımının önemli derecede büyük olduğu görülmüştür.



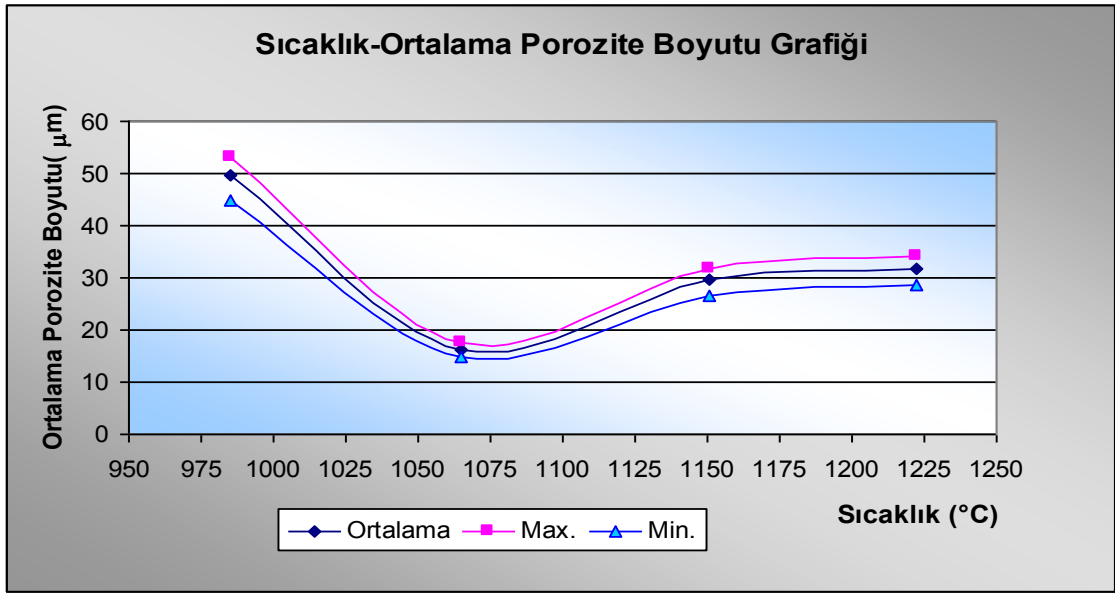
a)



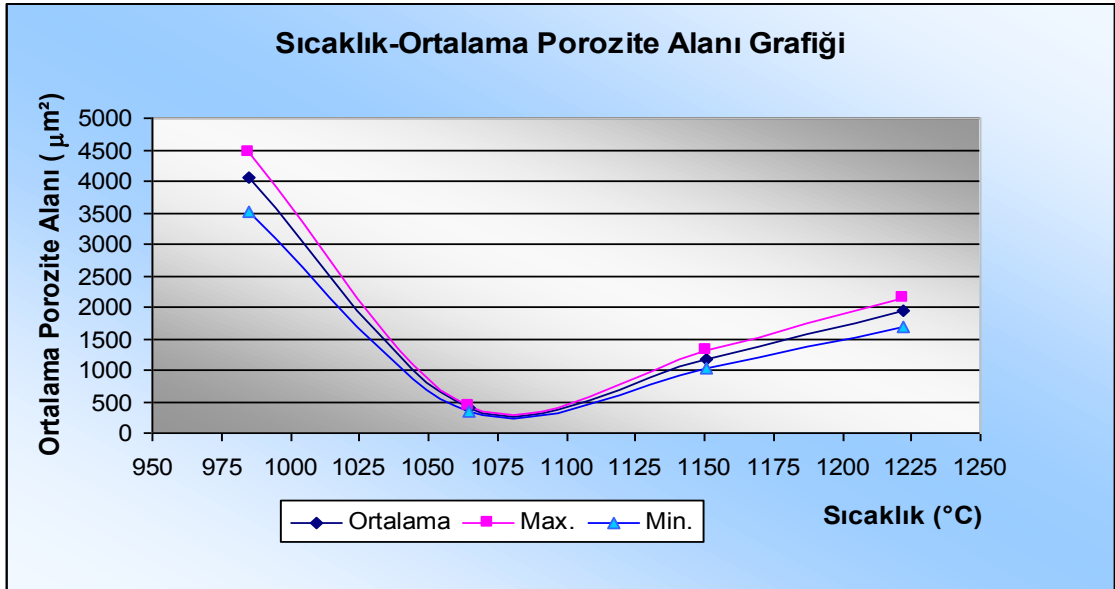
b)

Şekil 6.17 : X2 ve X100 büyütmede, 985°C 'de dökülmüş parçadaki porozite görünümü

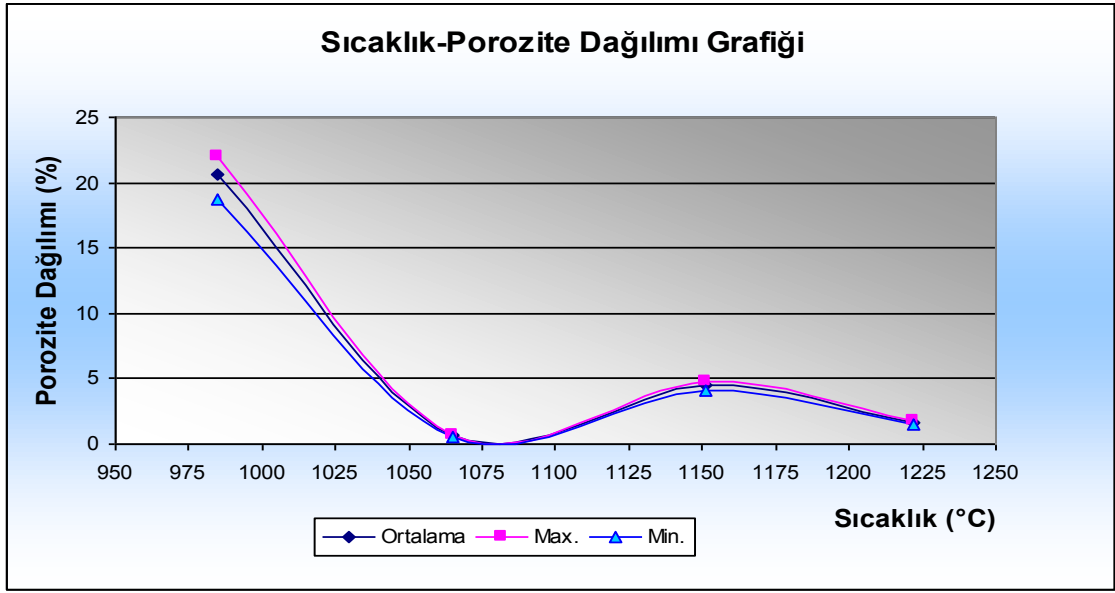
Sıcaklığın porozite oluşumuna etkisinin incelenmesi amacıyla, değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan parçalarda oluşmuş olan poroziteler dikkate alınarak, her parçadaki mevcut porozitelerin ortalama boyutları, ortalama alanları ve dağılımları hesaplanmış ve karşılaştırılmalı incelenmiştir. (Şekil 6.12-14).



Şekil 6.18 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Ortalama Porozite Boyutu grafiği



Şekil 6.19 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Ortalama Porozite Alanı grafiği



Şekil 6.20 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Porozite Dağılımı grafiği

Döküm parçalarının, çeşitli bölgelerinde dengesiz soğuma hızları nedeniyle meydana gelen çekme çatlakları ihmal edilirse; metal dökümlerde görülen porozitenin iki ana nedeni vardır: Birincisi katılaşma sırasında gaz açığa çıkması, diğeri de katılaşma sırasında meydana gelen hacimsel büzölmelerdir.

Birinci nedeni, bronzun katılaşması sırasında, çözünabilirliği süratle azalan hidrojenin açığa çıkma olayıdır. Ancak bu olayın değerlendirilmesi sırasında genellikle gözden kaçan önemli bir faktör de basınçtır. Basınç ta aynı sıcaklık gibi rol oynar, basınç azalırsa gaz çözünabilirliği de azalır, yani gaz açığa çıkar. (Hızlı katılaşma nedeniyle açığa çıkan bu gazlar dışarı çıkamaz). Çok sık rastlanan bir olay da katılaşma nedeniyle sıvı faz üzerindeki basıncın düşmesidir. Böyle bir durum çepeçevre katılaşan bir döküm parçasının orta bölgesinde sıvı faz kalmasıyla söz konusu olabilir. Bu şekilde bir mekanizma sonucu ortaya çıkan gaz habbecikleri, yoğunluk farkı nedeniyle parçanın üst bölgesine doğru yükselebilirler ve üst bölge şayet donmamış ise dışarı atılmış olurlar; aksi taktirde üst yüzeyin hemen altında toplanarak birleşip büyük bir boşluk meydana getirebilirler.

Katılaşma ve tavlanma gibi metalurjik olaylarda olduğu gibi gaz oluşumu (gazın açığa çıkması) da bir çekirdekleşme ve büyüme olayıdır. Gaz çekirdeklerinin büyümesi şayet yavaş ise habbecikler yükselemeden veya birbirleri ile birleşmeden etraflarındaki katı faz tarafından sarılı verirlir ve bu şekilde hapis kalabilirler. Küresele yakın bir şekil arzeden bu boşluklara genel olarak “delik” (blowhole)

denilmektedir. Habbeciklerin büyüme hızı katılaşma hızına eşit olduğu takdirde daha büyük boşluklar oluşur. (wormhole=solucan deliği).

Hacimsel büzülme nedeniyle ortaya çıkan boşluklar aşırı derecede sıcak dökümlerde görülmektedir.

Grafiklerde de görüldüğü gibi çok yüksek sıcaklıklarda yapılan dökümler de oluşan porozite boyutu ve alanının çok yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.12-13). 1222 °C’ de dökülmüş olan 1 no’lu parçanın ortalama tane boyutu 31,84 μm ve alanı 19,41 μm^2 hesaplanmıştır, 1151 °C’ de dökülmüş olan 2 no’lu parçanın ortalama tane boyutu (29,56 μm) ve alanı (1184,52 μm^2), 1 no’lu parçaya göre daha düşük olmasına rağmen, 2 no’lu parçadaki porozite dağılımının (% 4,45), 1 no’lu parçaya (1,67) göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 1 no’lu parçada sıcaklık aşırı yüksek, dolayısıyla yapısında çok miktarda gaz çözündürmüştür, sıcaklık düştüğünde gaz çözünürlüğü azalır ve gaz açığa çıkar. Hızlı katılaşma sebebiyle, açığa çıkan bu gaz boşlukları, dışarı çıkma imkanı bulamaması ve yapı içersinde kalması nedeniyle, 1 no’lu parçada ort. porozite boyutu ve alanı büyükken, 2 no’lu parça da porozite dağılımı çok daha yüksektir.

1065 °C’ de dökülmüş olan 3 no’lu parça da ortalama porozite boyutu 16,3 μm ve ortalama porozite alanı 388,15 μm^2 hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda dökülmüş 1 ve 2 no’lu parçalara göre porozite boyutu ve alanının oldukça düştüğü görülmüştür. Porozite dağılımında da ilk 2 parçaya göre düşük değerlerde (%0,66) olduğu görülmüştür. Aynı kalıba 2.kez döküm yapıldığından ötürü, özellikle parçanın orta kısmında, uç kısmına göre daha çok porozite yoğunluğuna rastlanmıştır.

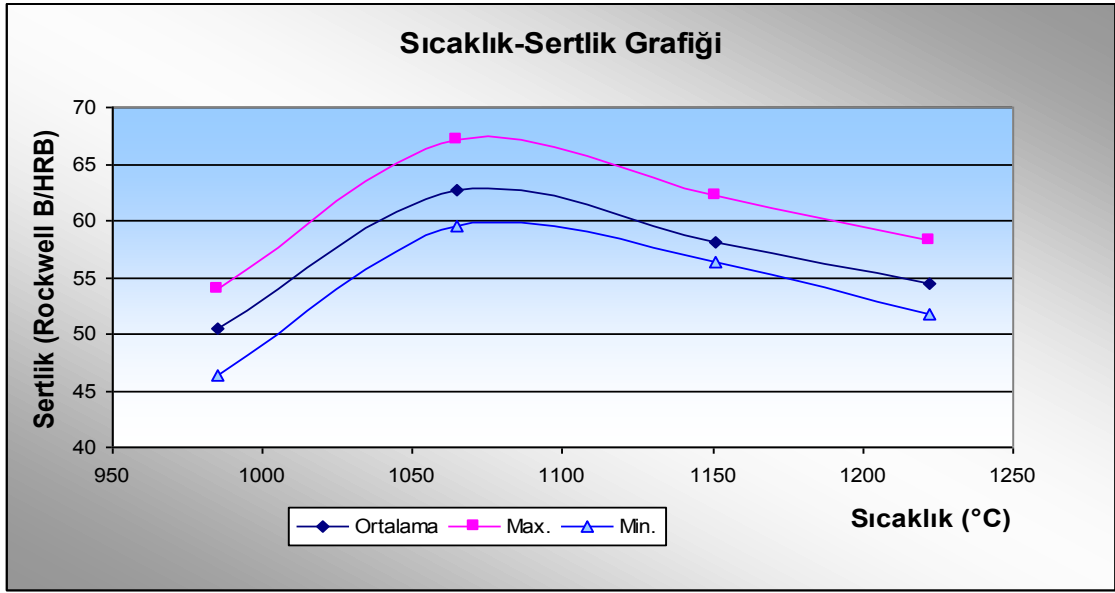
985 °C’ de dökülmüş olan parçanın döküm işlemi de, aynı kalıba 2. kez döküm işlemi yapılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Grafit potanın iyi bir ısı iletkeni olması ve bilhassa çok sayıda döküm söz konusu olduğunda, döküm çıkarma ve kokil-maça hazırlama işinin zaman alması önemli negatif etkenlerdir. Bu yüzden 4 no’lu parça aşırı soğukken dökülmüştür. Düşük sıcaklıklarda da, ergimiş metalin soğuk oluşundan ötürü, gaz ve curuf kalıntılarının parça içinde hapsolup kalmasının yanı sıra, parça ebatlarının küçük olması dökme işini zorlaştırdığından, kesik kesik beslemeninde, özellikle 4 no’lu parçada porozite oluşumuna sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Yapılmış olan hesaplamalarda , aşırı derecede soğuk dökülmüş olan 4.no'lu parçada, ortalama porozite boyutu (49,74 μm) ve ortalama porozite alanı (4047,33 μm^2), ilk 3 parçaya kıyasla önemli derecede yüksek çıkmıştır. Elde edilen porozite dağılımı verisinden de (%20,58), aşırı düşük sıcaklıkların döküm kalitesine ne derece olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir.

Sıcaklığın etkisinin yanı sıra, diğer döküm parametreleri de (dönme hızı döküm hızı, kalıp sıcaklığı ve cinsi), döküm parçalarının kalitesine etki etmiştir. *Kalıp sıcaklığının*, 2. kez kullanımından ötürü aşırı sıcak oluşu ve bu sebeple dıştan içeriye yönelmiş katılaşmayı sağlayacak etkin bir sıcaklık gradyanı oluşmaması nedeniyle ve de parça boyutlarının döküm işlemini zorlaştıracak şekilde küçük olmasından ve potanın büyük oluşu, dolayısıyla ergimiş metalin yüksekte dökülmesi mecburiyetinden ötürü (atmosferden daha fazla gaz alması söz konusu olabileceğinden), *döküm hızının* oldukça yavaş oluşuna bağlı olarak, bazı parçalarda sağlıklı bir besleme yapılamaması nedeniyle, porozite oluşumunda kalıp sıcaklığı ve döküm hızının ayrıca etkin rol oynadıkları düşünülmektedir.

Savurma dökümde, teorik olarak uygulanması gereken merkezkaç kuvvetin, minimum sınırının 3-4,5 G mertebesinde olduğu bilinmektedir. Hemen belirtmek gerekir ki, yöntemin bütün avantajlarından yararlanmak için, uygulama da çok daha yüksek kuvvetler kullanılmaktadır. Bir genelleme olarak, gerçek savurma döküm uygulamaları için 60-80G'ya tekabül edecek bir merkezkaç kuvvetin(basıncın) uygulanması gerekmektedir. Yani savurma dökümde basıncı arttırma amacına hizmet eden en iyi etken dönme hızının yükseltilmesidir. “Yeterli bir merkezkaç kuvvet sağlamak için özellikle küçük çaplı parçaların daha yüksek devirde dökülmesi gerektiği” bilinmektedir (Şekil 2.6-2.7).

Yalnız deneysel çalışma sürecinde, dökülmüş olan bu 4 parça, düşey savurma döküm cihazının en yüksek devri olan 180 devir/dk 'da dökülmüştür. Gerekli hesaplamalar yapıldığında (2.5), 180 devir/dk'lık hız, ergimiş metalde 0,71G'lık bir basınç oluşturmaktadır ki, bu değer teorikte belirtilen optimum değerlerden oldukça düşüktür. Dönme hızının aşırı derecede düşük olması da, parçalarda ki porozite oluşumlarında rol oynadığı beklenebilir.



Şekil 6.21 : Değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Rockwell B Sertlik Ölçüm Değerleri

ZHR Zwick/Roell marka Sertlik ölçme cihazıyla, değişik sıcaklıklarda dökülmüş olan CuSn12 alaşımının Rockwell B (100kg – 1/16" ball) cinsinden elde edilen sertlik verilerinden, sıcaklığın , parçaların sertlik değerlerine de önemli derece de etki ettiği görülmüştür. En yüksek sertlik değerine optimum sıcaklık aralığında dökülmüş 3. parçada ulaşılırken(62.7), aşırı düşük sıcaklıkta dökülmüş 4.parçada, en düşük sertlik değeri (50,45) hesaplanmıştır. 1 no'lu ve 2 no'lu parçalarda da sertlik değerleri sırasıyla 54,41 ve 58,15 olarak bulunmuştur. Yapı içerisindeki porozite oluşumlarının, malzemenin sertliklerine de olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

GENEL SONUÇLAR

Savurma Döküm yöntemiyle döküm parçalarının üretimi esnasında; döküm sıcaklığı, dönme hızı, döküm hızı, kalıp cinsi ve sıcaklığı mevcut prosesi etkileyen ana parametreler olmaktadır. Bu tezin amacı, kalay bronzun üretiminde, döküm parametrelerinden özellikle döküm sıcaklığının, yapıda oluşan porozite türü hatalar üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Bunun için, kalay-bronzlardan, DIN 1705(1982) Gz-CuSn12 alaşımı incelenmiştir. Mevcut proses şartlarında bir değişiklik yapılmadan, 2 adet Ø40 x Ø15 x 600 mm boru ve 2 adet Ø40 x 600 mm dolu mil değişik sıcaklıklarda dökülmüştür. Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde elde edilen sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Ergitme işlemi tamamlandıktan ve pota ocaktan çıkarıldıktan sonra, pota içersindeki sıvı metalin, döküm başlangıcı ile döküm bitişinin çok uzun olduğu gözlemlenmiştir. Ergitme işlemi, grafit potalar içersinde maks. 200 kg olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Dökülecek olan parça sayısı çok olduğu için, sıvı metalin transfer süresinde artış olduğu saptanmış ve döküm sonuna doğru metalin sıcaklığının aşırı derecede düştüğü görülmüştür. (1222° C’de başlayan döküm, son parçanın dökümü sırasında, pota içersindeki sıcaklığın 980° C’ye kadar düştüğü tespit edilmiştir).
- 2) Parça adetinin çok olması nedeniyle, ergitme işlemi, kalay-bronzların teorik döküm sıcaklığının yaklaşık 200°C daha yüksek sıcaklıklarına kadar sürdürülmüş, bu da yüksek sıcaklığın sebep olduğu gaz problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda dökülmüş olan 1 no’lu (1222°C) ve 2 no’lu (1151°C) parçada önemli derecede porozite türü hatalara rastlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda, 1 no’lu parçanın ortalama tane boyutu ve alanının, 2 no’lu parçaya göre daha büyük olduğu görülmüş, ama 2 no’lu parçada porozite dağılımı daha yüksek mertebelerde çıkmıştır.

- 3) 4 no'lu parçanın düşük sıcaklıklarda yapılmış döküm işleminde de (985°C), ergimiş metalin aşırı derecede soğuk oluşundan ötürü, parçada hapsolmuş gaz ve curuf kalıntıları sebebiyle, 1 ve 2 no'lu parçalara kıyasla daha yüksek porozite boyutu/alanına ve porozite dağılımına sahip dökümün elde edildiği görülmüş ve aşırı düşük sıcaklıkların, döküm kalitesine ne derece olumsuz etki yaptığını anlaşılmıştır.
- 4) 1065°C'de dökülmüş olan 3 no'lu parçanın ortalama boyutu/alanı ve porozite dağılımı verilerinden, 3 no'lu parçanın kalay-bronzların için en uygun döküm sıcaklık aralığında döküldüğü tespit edilmiştir.
- 5) Bu tespitlerden yola çıkarak, genel uygulamada seçilecek sıcaklığın, yeterli metal akışını sağlayan, porozite türü hatalara sebep olmayacak yükseklikteki sıcaklıkların olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Bunun için de, metali aşırı ısıtmamak, metali uzun süre sıcak bekletmemek, aşırı soğumasına da izin vermeden, döküm alaşımı için öngörülen sıcaklık aralığında döküm işlemini gerçekleştirmek gerekmektedir.
- 6) Yapılan deneysel çalışmalarda, diğer döküm parametrelerinin de, döküm kalitesinde etkin rol oynadığı tespit edilmiştir. Kullanılan kalıbın sıcaklığının, kalıbın 2. kez kullanımından ötürü aşırı sıcak oluşu, parça boyutunun küçük ve potanın büyük oluşu nedeniyle oldukça yukardan döküm işleminin yapılması ve bu nedenle yavaş bir döküm hızında döküm işleminin gerçekleştirilmesi ve bu sebepten tam bir beslemenin sağlanamaması nedeniyle, porozite türü hataların oluşumunda kalıp sıcaklığı ve döküm hızının etkili olduğu anlaşılmıştır.
- 7) Yeterli bir merkezkaç kuvvet sağlamak için özellikle küçük çaplı parçaların daha yüksek devirde dökülmesi gerektiği bilinmektedir. Ancak yapılan döküm işlemleri, düşey savurma cihazının en yüksek devri olan 180 devir/dk'da gerçekleştirilmiştir. Bu da yaklaşık 0,71G'lik basınç oluşturmaktadır ki, bu değer teorikte belirtilen optimum değerlerden (60-80G) oldukça düşüktür. Dönme hızının aşırı derecede düşük olması da, parçalarda ki porozite oluşumlarında rol oynadığı düşünülmüştür.
- 8) Sonuç olarak; porozite oluşumunu yok edecek yada azaltacak tedbirlerin alınmasında, temiz hammadde kullanımı, gaz giderici tabletlerin kullanımı,

döküm sıcaklığının hassas takibi ve sıvı metalin atmosferden korunması, iyi bir cüruf pratiğinin sağlanması önemli bir yer tutmaktadır.. Savurma dökümün avantajlarını gerçekleştirmedeki temel kavram, sıvı metali katılaşmaya kadar, ‘uygun’ merkezkaç kuvvetin etkisi altında tutmak olmalı, yapılacak yaklaşımlar bu temel üzerine oturtulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Campbell, James S.** ,1950. Casting and Forming Processes in Manufacturing, Rensselaer Polytechnic Institute, Mc Graw-Hill Book Company, INC. New York/ Toronto/ London
- [2] **Şen, A. E., Şen Y.** , 1978. Genel Döküm, Ofset Matbaacılık Ltd.Şti.
- [3] **Ekey, D. C., Winter, W. P.**, 1958. Introduction to Foundry Technology, Mc.Graw Hill Book Company, INC. New York/ Toronto/ London
- [4] **Edwin, W. D.**, 1951. Foundry Work, Cooperation with the Textbook Committee of the Education Division, American Foundrymen's Society, Chicago. New York, John Wiley & Sons,INC. London, Chapman & Hall, Limited
- [5] **Webster, P.D.**, 1980. Fundamentals of Foundry Technology, M.Met, C.Eng. M.I.M., M.I.B.F., Portcullis Pres, Redhill
- [6] **Casting Design Handbook**, Prepared from the contributors of 18 committee, sponsored by the United States Air Force and American Society for Metals, Metalspark, Ohio. Export Sales Distributer, Reinhold Publishing Corporation.
- [7] **Marek, C. T.**, 1950. Fundamentals in the Production and Design of Castings, John Wiley & Sons,INC., New York, Chapman & Hall, Limited London.
- [8] **Tören, H. N.**, 1965. Metallurgi, Şirketi Mürettibiye Basımevi.
- [9] **Kotzin, E.L.**, 1981. Metal Casting & Molding Processes, American Foundrymen's Society Publication Copyright, Des Plaires, Illinois 60016.
- [10] **Çavuşoğlu, E. N.**, 1981. Döküm Teknolojisi 1 Döküm Yöntemleri-Dökme Demirler, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu
- [11] **Sarkuysan Araştırma Notları**

- [12] **Eruslu, N., Taptık, Y., Altmışoğlu, A.**, Alaşımlar Ders Notu.
- [13] **Yılmaz, F., Akıncı, A., Yücel, A.** 2004. Ductile Iron Pipes in Water Mains, *66th World Foundry Congress*, İstanbul.
- [14] **InoTec Kurumsal Bilgi Merkezi**, <http://www.inotecbilgimerkezi.com/ccastingcenter/dokumhatalari/kumkalip/curufkalintisi.asp>

ÖZGEÇMİŞ

11 Nisan 1978 tarihinde İstanbul'da doğdum. Lise tahsilimi, Kartal İstek Uluğbey Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladım ve 2000 yılında mezun oldum. 2001 yılında başlamış olduğum Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Programı'nda halen yüksek lisans eğitimim devam etmektedir.