

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK KAMARALI BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİNDE PROSES
OPTİMİZASYONU VE ALAŞIM MODİFİKASYONU

Cem KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmal Usulleri Programı

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK KAMARALI BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİNDE PROSES
OPTİMİZASYONU VE ALAŞIM MODİFİKASYONU

Cem KARAKAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 23.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Derya DIŞPINAR, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç Dr. Anıl AKDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Sıcak Kamaralı Basıncılı Döküm Yönteminde Proses Optimizasyonu ve Alaşım Modifikasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Cem KARAKAYA

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında göstermiş olduğu çok değerli öneri ve tecrübelerinden faydalandığım çok saygıdeğer hocam Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez olarak hazırlamış olduğum bu çalışmanın başından sonuna hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan değerli fikir ve tecrübeleriyle bana ışık tutan ve beni yönlendiren, hakkını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim saygıdeğer hocam Dr. Ali Serdar VANLI' ya sonsuz teşekkür eder, hürmet ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmam sırasında fabrikanın her türlü imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve şahsıma sonsuz değer veren değerli patronlarım Sn. Rıdvan MERTÖZ ve Sn. Mustafa MERTÖZ başta olmak üzere, yardımları ile hep yanımda bulunan Makine Yüksek Mühendisi Tezer KARAYOL ve Makine Yüksek Mühendisi Uğur BÜYÜK' e ve MESAN KİLİT A.Ş. bünyesinde çalışan tüm fabrika personeline gösterdikleri ilgi ve alaka ile vermiş oldukları emeklere karşılık teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak tüm bu süreçte tezimin gerçekleşmesinde her türlü imkanı seferber etmekten kaçınmayan maddi ve manevi her konuda destek olan başta ailem olmak üzere tüm dost ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Cem KARAKAYA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 Çinko Metali	3
2.1 Tarihçe.....	3
2.2 Çinko Üretim Yöntemleri	5
2.3 Çinko Kimyasal ve Mekanik Özellikleri.....	10
2.4 Çinkonun Kullanım Alanları.....	11
3 Basınçlı Döküm (HPDC)	16
3.1 Tarihçe.....	16
3.2 Basınçlı Döküm Yöntemi	17
3.2.1 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Yöntemi	19
3.2.2 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Yöntemi	23
3.3 Basınçlı Döküm Yönteminin Avantaj/Dezavantajları	27
3.4 Basınçlı Döküm Yönteminin Getirdiği Sınırlamalar.....	29
4 Basınçlı Döküm Alaşımları	30
4.1 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Alaşımları.....	30
4.1.1 Alüminyum Basınçlı Döküm Alaşımları.....	30
4.1.2 Magnezyum Basınçlı Döküm Alaşımları	33
4.1.3 Bakır Basınçlı Döküm Alaşımları.....	34
4.2 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Alaşımları	35

4.2.1 Kurşun Basınçlı Döküm Alaşımları.....	35
4.2.2 Kalay Basınçlı Döküm Alaşımları	36
4.2.3 Çinko Basınçlı Döküm Alaşımları.....	37
5 Çinko Alaşımlarının Basınçlı Dökümde Kullanımı	39
5.1 Çinko Döküm Alaşımlarının Gelişimi.....	39
5.2 Zamak Döküm Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri.....	40
5.3 Zamak Döküm Alaşımlarının Mekanik Özellikleri.....	41
5.4 Zamak Döküm Alaşımlarının Kimyasal Özellikleri.....	44
6 Zamak Alaşımlarının Modifikasyonu	46
6.1 Zamak Alaşımlarının Faz Denge Diyagramları	46
6.1.1 Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı	46
6.1.2 Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı	48
6.2 Zamak Alaşımlarına Etki Eden Başlıca Alaşım Elementleri.....	49
6.2.1 Bakır	49
6.2.2 Magnezyum.....	50
6.2.3 Mangan	50
6.2.4 Titanyum.....	51
6.2.5 Lityum.....	51
6.2.6 Silisyum	51
6.2.7 Krom.....	52
6.2.8 Diğer Alaşım Elementleri	52
7 Proses Optimizasyonu	53
7.1 Besleme Sistemi ve Kalıp Tasarımı	53
7.2 İşlem Parametreleri.....	62
7.2.1 Döküm ve Kalıp Sıcaklığı	62
7.2.2 Dolum Süresi	63
7.2.3 Yolluk Giriş Hızı.....	64
7.2.4 Kalıp İçi Spesifik Basınç	65
7.2.5 Kalıp Kapama/Kilitleme Kuvvetlerinin Hesaplanması.....	67
7.3 Proses Değişkenlerine Bağlı Karşılaşılan Hatalar.....	70
7.3.1 Geometrik Hatalar.....	71
7.3.2 İç Yapı Hataları	72
7.3.3 Yüzey Hataları.....	74
8 Deneysel Çalışma ve Bulgular	77
8.1 Hammadde.....	77

8.1.1 Kimyasal Analiz.....	77
8.1.2 Yoğunluk Ölçümleri.....	78
8.2 Numune Dökümü	79
8.3 Uygulanan Testler	84
8.3.1 Ağırlık Kontrolü	84
8.3.2 Kimyasal Analiz.....	85
8.3.3 Ürün Bazlı Çekme Testi.....	86
8.3.4 Standarda Uygun Çekme Testi	88
8.3.5 Çentik Darbe Testi.....	89
8.3.6 Sertlik Ölçümleri.....	90
8.4 Bulgular.....	92
9 Sonuçlar ve Öneriler	95
Kaynakça	96
A 1.Kalıp	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
B 2.Kalıp	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
C 3.Kalıp	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
D 4.Kalıp	101
Tezden Üretilmiş Yayınlar	102

SİMGE LİSTESİ

±	Tolerans işareti
°C	Sıcaklık birimi - Santigrat derece
µm	Mikrometre
Å	Angström, 1x10 ⁻¹⁰ metre
Ag	Yolluk giriş kesit alanı
Al	Alüminyum
A _{proj}	Kalıp boşluğunun iz düşüm alanı
A _{pt}	Pistonun sıvı metalle temas yüzey alanı
A _{tb}	Kolon dikey temas yüzey alanı
atm	Atmosfer basıncı
bar	Basınç birimi (100.000 Pascal)
C	Karbon
Cd	Kadmiyum
cm ³	Santimetreküp
Cu	Bakır
dk	Dakika
E	Elastisite modülü
ε	Malzeme gerinim değeri
Fe	Demir
Fe	Katılaşma sonrası kalıp açma kuvveti
F _{lock}	Kalıp kilitleme kuvveti
F _{tb}	Kolon kilitleme kuvveti
g	Gram
G _f	Güvenlik değişkeni
GPa	Gigapascal
H	Hidrojen
HB	Brinell sertlik birimi
İACS	Elektrik iletkenliği birimi
J	Joule
K	Sıcaklık birimi – Kelvin
kg	Kilogram
kj	Enerji ölçü birimi – kilojoule
L ₀	İlk boy
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
Mn	Mangan
MPa	Megapascal
MPa.m ^{1/2}	Kırılma tokluğu birimi
N	Newton

n	Serbest elektron yoğunluğu
N/mm ²	Mukavemet birimi
Na	Sodyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Kalıp içi spesifik basıncı
Pb	Kurşun
Q	Doldurma debisi (m ³ /s)
S	Kükürt
s	Saniye
S	Yüzde olarak besleme akış hızına engel teşkil etmeyen azami katılaşma oranı
Si	Silisyum
Sn	Kalay
sn	Saniye
T	Cidar kalınlığı (mm)
t	Dolum süresi (saniye)
T _d	Kalıp yüzey sıcaklığı
T _{dök}	Döküm Sıcaklığı (°C)
T _{erg}	Malzeme ergime sıcaklığı (°C)
T _f	Asgari debi sıcaklığı
V _g	Sıvı metalin yolluktan giriş hızı
V _{pt}	Piston hızı
W	Watt
Zn	Çinko
ZnS	Sfalerit
ΔL	Toplam uzama
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
π	Pi sayısı
Ω	Ohm

KISALTMA LİSTESİ

HB	Brinell sertliği – Hardness Brinell
HPDC	Yüksek basınçlı döküm (High Pressure Die Casting)
ILZRO	Uluslararası Kurşun-Çinko Araştırma Birliği – International Lead-Zinc Research Organization
İACS	Uluslararası Tavlanmış Bakır Standardı – International Annealed Copper Standard
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
NADCA	Kuzey Amerika Basınçlı Döküm Derneği – North American Die Casting Association
SPH	Hegzagonal sıkı paket kristal yapı
YMK	Kübik yüzey merkezli kristal yapı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Köpüklü flotasyon prosesi şeması	6
Şekil 2.2	Kavurma prosesi şeması	7
Şekil 2.3	Liç işlemi prosesi akış şeması	8
Şekil 2.4	İmperial İzabe Prosesi akış şeması	9
Şekil 2.5	Vurtzitin hekzagonal kafes yapısı ve kafes parametreleri.....	10
Şekil 2.6	Yıllara göre çinko tüketim miktarları (x1000 ton)	12
Şekil 2.7	2017 yılına ait çinko kullanım alanları ve oranları	12
Şekil 2.8	2017 yılına ait çinkonun sektörel kullanım alanları ve oranları	13
Şekil 2.9	Galvanizleme prosesi şeması	13
Şekil 3.1	Sıcak kamaralı döküm prosesinin çevrimi	20
Şekil 3.2	Pistonlu sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi şematik gösterimi ..	21
Şekil 3.3	Havalı sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi şematik gösterimi	22
Şekil 3.4	Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi	23
Şekil 3.5	Soğuk kamaralı basınçlı döküm yönteminde prosesi çevrimi	24
Şekil 3.6	Yatay kalıplı düşey soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi	26
Şekil 3.7	Düşey kalıplı soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi	27
Şekil 5.1	Sıcaklık-Darbe Dayanımı ilişkisi	43
Şekil 5.2	Zamak alaşımlarında Çekme Mukavemeti-Sıcaklık ilişkisi	43
Şekil 5.3	Zamak alaşımlarında sıcaklık-uzama yüzdesi ilişkisi	44
Şekil 6.1	Zn-Al faz diyagramı	47
Şekil 6.2	350°C'de Zn-Al-Cu üçlü faz diyagramının izotermal kesiti	48
Şekil 6.3	Alaşımanın bakır içeriğinin çekme mukavemeti ve kopma uzamasıyla olan ilişkisi	49
Şekil 7.1	Yalın bir basınçlı döküm kalıbı ve parçaları	54
Şekil 7.2	Yolluk tiplerine bağlı kesitler (A uygun, B uygun olmayan)	55
Şekil 7.3	İnce et kalınlığına sahip geniş yüzeyli döküm parçalarının yolluk tipleri	56
Şekil 7.4	Yolluk kanal tipleri ve giriş kesitleri	58
Şekil 7.5	Hava cebi ve boşaltım kanalı tasarımı	61
Şekil 7.6	Kalıp soğutma sistemi	62
Şekil 7.7	Döküm yöntemlerine göre döküm basıncının yolluk giriş hızıyla ilişkisi	64
Şekil 7.8	Magnezyum alaşımlarına ait basınçlı döküm enjeksiyon eğilim grafiği	66
Şekil 7.9	Çevrim değişkenlerinin belirlenmesinde kullanılan P-Q ² grafiği	67
Şekil 7.10	Basınçlı döküm makinelerinde iz düşüm alanı ile piston basıncı gösterimi	68
Şekil 7.11	Kolon uçlarına bağlanmış manyetik gerinim ölçer göstergeler	69
Şekil 7.12	Basınçlı dökümde karşılaşılan bazı hataların görselleri	70
Şekil 7.13	Basınçlı döküm alaşımlarının cidar kalınlığına bağlı çekme miktarı	73
Şekil 8.1	Bruker-Q4 Tasman kimyasal analiz cihazı.....	78
Şekil 8.2	RADWAG PS 750.R2 yoğunluk test cihazı	79

Şekil 8.3	SİMHÖPE marka SH-100 model sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi şematik gösterimi	79
Şekil 8.4	Ergimiş ZA 8'in potada karıştırma işlemi.....	81
Şekil 8.5	Döküm sonucu elde edilen döküm numunelerine ait görsel.....	82
Şekil 8.6	Çekme numunelerinin çekme cihazına bağlanma görselleri.....	87
Şekil 8.7	Çekme numunelerinin kopması/kırılmasına dair görseller	87
Şekil 8.8	TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun çekme numunesi ölçüleri.....	88
Şekil 8.9	Çekme numuneleri ve meydana gelen porozitelere ait görseller.....	89
Şekil 8.10	Standarta uygun V çentik darbe testi numune ölçüleri	90
Şekil 8.11	AFFRİ SYSTEM marka 206 TD model sertlik ölçüm cihazı ile elde edilen sertlik değerleri.....	91
Şekil 8.12	(Sol) Zamak 5 ve (sağ) ZA 8 döküm parçalarından elde edilen sertlik ölçüm numuneleri (her döküm parçasının altında).....	92

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Ülkelere göre yıllık çinko üretim miktarları (x1000 ton)	5
Tablo 2.2	Çinko cevherleri, kimyasal bileşimi ve yüzdesel çinko miktarları	6
Tablo 2.3	Kurşun ve Çinko ait Ergime ve Buharlaştırma Sıcaklıkları	9
Tablo 2.4	Çinko elementinin fiziksel özellikleri	11
Tablo 3.1	Alüminyum alaşımlarının dökümünde kum, kokil ve basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması	28
Tablo 4.1	Alüminyum basınç döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ve kimyasal analizleri.....	32
Tablo 4.2	Magnezyum esaslı basınçlı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	33
Tablo 4.3	Bakır esaslı pirinç basınçlı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ve kimyasal bileşim oranları	35
Tablo 4.4	Günümüzde kullanılan kurşun alaşımlarının kimyasal bileşimleri	36
Tablo 4.5	Günümüzde kullanılmakta olan kalay esaslı basınçlı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimleri	37
Tablo 4.6	Basınçlı döküm sektöründe en çok kullanılan çinko alaşımlarının mekanik özellikleri ile kimyasal analizleri	38
Tablo 5.1	Farklı ana alaşım elementli alaşımların fiziksel özellikleri	41
Tablo 5.2	Zamak ve ZA alaşımlarının mekanik özellikleri	42
Tablo 5.3	Zamak ve ZA alaşımlarının kimyasal kompozisyonu	45
Tablo 6.1	Çinko oranına bağlı dönüşümlerin gerçekleştiği sıcaklıklar	47
Tablo 6.2	Üçlü faz diyagramında meydana gelen dönüşüm ve sıcaklıkları	49
Tablo 7.1	Zamak 5'e ait döküm parametreleri	63
Tablo 8.1	Hammadde kimyasal analiz sonuçları	77
Tablo 8.2	Külçe yoğunluk ölçüm sonuçları	78
Tablo 8.3	Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi özellikleri	80
Tablo 8.4	Zamak 5 ve ZA 8 Numune Döküm parametreleri.....	81
Tablo 8.5	Döküm öncesi potalardan alınmış ergimiş metal numunelerinin kimyasal analizi	83
Tablo 8.6	Pota numuneleri yoğunluk ölçüm sonuçları	83
Tablo 8.7	Ağırlık kontrolleri sonuçları	85
Tablo 8.8	Döküm numunelerinin kimyasal analiz sonuçları	86
Tablo 8.9	Kalitest KT-AS cihazı teknik özellikleri	86
Tablo 8.10	3. Kalıp numunelerinin çekme testi sonuçları.....	88
Tablo 8.11	TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun yapılan çekme testi sonuçları.	89
Tablo 8.12	Çentik darbe testi sonucu elde edilen değerler.....	90
Tablo 8.13	Zamak 5 ve ZA 8 sertlik ölçüm değerleri ortalamaları.....	92

Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Yönteminde Proses Optimizasyonu ve Alaşım Modifikasyonu

Cem KARAKAYA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN

Zamak, saf çinkoya alüminyum, bakır ve magnezyum ilavesiyle elde edilen, adını da bu elementlerin Almanca baş harflerinden alan, dünya endüstrisinde en çok kullanılan 4. metal olan çinko alaşımına verilen ticari isimdir. Otomotiv başta olmak üzere, ev eşyaları endüstrisi, hırdavat, büro ekipmanları, ziraat ve madencilikte kullanılan cihazlar, elektronik aletler, mutfak ve banyo armatürleri, endüstriyel kilit ve bağlantı elemanları gibi pek çok alanda kullanılan Zamak alaşımının şekillendirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi gelmektedir. Bu yöntem, düşük ergime sıcaklığına sahip demir dışı metallerin seri üretimi için uygun maliyetli bir proses olup; boyutsal mükemmellik, yüzey kalitesi ve yüksek üretim hızı gibi avantajlara sahiptir. Bu yöntemde kullanılan döküm ve kalıp sıcaklığı, dolum süresi, piston ve yolluk giriş hızları ile katılma sırasında uygulanan ütüleme basıncı gibi proses parametreleri, ürün kalitesini ve mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, optimize edilmiş proses parametreleri uygulanarak, daha düşük yoğunluğa sahip bir alaşım ile döküm denemeleri yapılmış; bu sayede nihai ürünlerde hafifletme elde edilmesinin yanı sıra, uygulanan alaşım modifikasyonu ile mekanik dayanımın geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı döküm yöntemi, proses optimizasyonu, alaşım modifikasyonu

Process Optimization and Alloy Modification in Hot Chamber Die Casting Process

Cem KARAKAYA

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Zamak is the trade name given to pure zinc by the addition of aluminum, copper and magnesium and named after the German initials of these elements and is the 4th most commonly used metal alloy in the world industry. Hot chamber die casting is one of the most preferred methods for shaping Zamak alloy which is used in many areas such as automotive, household goods industry, hardware, office equipment, agricultural and mining equipments, electronic tools, kitchen and bathroom fixtures, industrial locks and fasteners. This method is a cost-effective process for mass production of non-ferrous metals with low melting temperatures; It has advantages such as dimensional perfection, surface quality and high production speed. The process parameters such as casting and die temperature, filling time, piston and gating inlet speeds and ironing pressure applied during solidification directly affect product quality and mechanical properties. In this study, with the application of optimized process parameters, an attempt was made to cast a alloy with a lower density; In this way, besides the lightening of the final products, it is aimed to improve the mechanical strength with the applied alloy modification.

Keywords: Die casting method, process optimization, alloy modification

1.1 Literatür Özeti

Çinko, yeryüzünde en çok bulunan elementler arasında 23. sırada olmasına rağmen dünyada yıllık 13 milyon tonluk kullanım miktarı açısından demir, alüminyum ve bakırdan sonra 4. sırada gelmektedir. Çinko doğada %95'i, sfaleritin (ZnS) bakır, kurşun ve demir sülfürleri ile karıştığı sülfürlü cevher yataklarından çıkarılmaktadır [1]. Çinko maden yatakları açısından küresel üretimin %38'lik üretimi ile başta Çin olmak üzere Avustralya ve Peru çinko madenlerine sahip ülkeler arasında üst sıralarda yer almaktadır [2]. Antik çağlardan bu yana kullanılan çinko cevherleri, saf çinkonun keşfinden binlerce yıl önce çinko-bakır alaşımı olan pirinç yapmak için kullanılmaktaydı.

1900'lü yılların başlarında aktif olarak kullanılmaya başlayan çinko esaslı Zamak alaşımları genellikle dekoratif ve yapısal amaçlı kullanılmaktadır. 1950'li yıllardan sonra Amerika'da alüminyumca daha zengin ve Zamak alaşımlarından türetilmiş ZA olarak bilinen yeni nesil Zn-Al esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. 2000'li yıllardan günümüze en yaygın olarak kullanılan Zamak alaşımları Zamak 3, Zamak 5 ve Zamak 7 olmakla beraber, en yaygın kullanılan ZA alaşımları ise ZA 8, ZA 12 ve ZA 27 olarak bilinen alaşımlardır [3].

Zamak alaşımları ile ZA alaşımları kıyaslandığında, ZA alaşımlarının daha iyi mekanik özelliklere sahip ve yüksek dayanım/ağırlık oranı ile iyi aşınma ve döküm kabiliyeti gibi karakteristik özelliklere sahip olması, birçok yapısal uygulamada, pirinç, bronz, alüminyum ve diğer döküm alaşımlarının yerine kullanılmasını sağlamıştır. Başlıca kum kalıba döküm, basınçlı döküm gibi birçok döküm yöntemiyle üretilebilen çinko esaslı alaşımların üretiminde, çoğunlukla karmaşık şekilli parçaların üretiminde sıklıkla tercih edilen basınçlı döküm yöntemi ön plana çıkmaktadır [3,4]. Yüksek basınçlı döküm yöntemlerinden olan soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemleri Zamak ve ZA alaşımları için en çok tercih edilen

Üretim yöntemleridir. Özellikle Zamak 5 ve ZA 8 görece daha düşük ergime sıcaklıkları nedeniyle günümüzde sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemiyle üretimi oldukça öne çıkmaktadır [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmayla, proses optimizasyonu sağlanmış Zamak 5 yerine %8 Al içeren ve nispeten daha düşük yoğunluğa sahip ticari bir ZA alaşımı olan ZA 8 kullanımı ile sıcak kamaralı basınç döküm yöntemi kullanılarak döküm denemeleri gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilen parçaların çekme mukavemetleri, darbe dayanımı, sertlik gibi mekanik özellikleri incelenerek nihai ürünlerin hafifletilmesiyle birlikte mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Sektörel olarak yaygın olarak kullanılan Zamak 5 alaşımının yerine mevcut proses parametreleriyle daha yüksek dayanım ve daha düşük ağırlığa sahip ZA 8 alaşımının kullanımına bağlı daha kaliteli kilit sektöründe yarı mamul ürünler elde edilebilir.

2.1 Tarihçe

Çinko, eski çağlardan bu yana kullanılmaktadır. Fakat imalatı ve kullanımı tam olarak çözülemediğinden gümüş rengi pek çok diğer metalle karıştırılmaktaydı. Pirinç imalatında bakır ile birlikte çinko cevherleri, çinkonun ayrı bir element olarak keşfinden binlerce yıl önce kullanılmıştır.

M.Ö. 14. yüzyıllarda kullanımına rastlanılan Yahudi pirinci olarak adlandırılan alaşımın içeriğinde %23 oranında çinko bulunmaktaydı. M.Ö. 7. yüzyıla ait Antik Yunan kalıntıları arasında %80-90 oranında çinko yanı sıra kurşun, demir ve antimon elementlerinden oluşan alaşımlardan yapılmış süslere ve heykelciklere rastlanmıştır. M.Ö. 140 yılına ait enkaz halinde bulunan bir Roma gemisinden çıkarılan ve bilinen en eski haplar yine çinko cevherleri olan; çinko karbonat, hidrozitit ve doğal çinko silikatlardan elde edilmiştir. M.Ö. 30 yılına kadar yine Romalıların silah yapımı için pirinç ürettikleri bilinmektedir. Çinkonun tarihte ilk tarifi M.Ö. 1. yüzyılda Strabo tarafından yazılan Mysia adlı eserde “Sahte gümüş damlalar” olarak yapılmıştır [6].

M.S. 4. yüzyıla ait olduğu düşünülen Hindistan’ın Udaipur çevresindeki Zawar çinko madenleri bölgesinde çinko oksitten üretildiği tahmin edilen bir metalden bahseder. Bu bölgede 12. ve 16. yüzyıllar arasında milyonlarca ton çinko cevheri çıkarıldığı düşünülmektedir [7,8].

Metalin adı ilk olarak 16. yüzyılda aslen İsviçreli olan bir Alman simyacı Paracelsus tarafından Liber Mineralium II adlı kitabında “zincum” veya “zinken” olarak nitelendirilmiştir. Bu kelime Almanca diş benzeri, sivri anlamına gelen zinke ile kalay anlamını taşıyan zink kelimesinden türetilmiş olduğu düşünülmektedir [9].

Flaman metalürji ve simyacı P.M. de Respour, 1668’de çinko oksitten çinko elde ettiğini bildirdi. Bu gelişme 18. yüzyılın başlarındaki çalışmalara hız kazandırmış oldu. Etienne Francois Geoffroy, eritilen çinko cevherinin demir çubuklarda çinko oksidin yoğunlaşmasıyla ilgili çalışmasını yayınladı. 1726’da İngiltere’de John

Lane'in çinkoyu ergitmek için çalışmalar yaptığı söylenmektedir. Bundan 12 sonra Büyük Britanya'da William Champion, sulu çinko silikattan çinko çıkarmak için tasarladığı izabe fırına patent aldı.

İsveçli kimyager Anton von Swab, Alman kimyager Andreas Marggraf'dan dört yıl önce kalaminden çinkoyu saflaştırmış olmasına rağmen, Marggraf bu uygulama için kredi alır. Marggraf 1746'da kapalı bir kapta bakır içermeyen kalamın ve kömür karışımını ısıtarak yaptığı deneyle çinkoyu elde eder. Bu uygulama, 1752 yılında ticari olarak kullanılabilir hale gelir [10].

1758'de William Champion'un kardeşi John daha öncesinde sadece kalaminden elde edilebilen çinkoyu üretebilmek için çinko sülfitten faydalanarak tasarladığı dikey izabe ocağına patent aldı. Bundan 40 sene sonra, Johann Christian Ruberg tasarımı yatay olarak kurdu. Jean-Jacques Daniel Dony, Belçika'da bu tasarımı yüksek kapasitede ergitme sağlayabilecek duruma getirdi. 1836' Dony ve Ruberg'in tasarımlarının kombinasyonu olan Renisch fırını tasarlandı. Bu fırından dışarıdan ısıtmalı, dikey izabe hazneli ve tek yoğunlaştırıcı ile çalışıyordu.

1805 yılında Sheffield'da çinkonun 100-150°C'de tavlanmasıyla sac halinde kullanılabilceği anlaşıldı. 1812'de Liege'de, 1857'de Philadelphia'da ilk hadde sac üretildi.

1835 yılında Amerikan hükümeti tarafından Washington'da açılan tesise Belçika'lı eğitimciler çağrılarak, çinko metal ve alaşımlarının standartlaştırılması sağlanmıştır. New Jersey'de 1850 yılında ilk ticari üretim gerçekleştirilmiştir.

1880'lerde sülfürlü cevherleri kavurma ve asidik liç çözeltisine alma çalışmaları yapılmaya başlandı. Bu anlamda kavurma, liç ve elektroliz yöntemleriyle çinko üretimini amaçlayan ilk tesis 1914'te gerçekleştirildi. 1917'de sinterleyici kavurma yöntemiyle çinko üretim kapasitesi arttı. 20. yüzyılın başında flotasyon yöntemi devreye girdi ve sfaleritten (ZnS) seçici flotasyonu uygulandı.

I. Dünya Savaşıyla birlikte bu sektöre yapılan teşvik arttı. 1920'den sonra Fransa, İtalya ve Japonya'da düşük üretim hacmine sahip, Norveç, Kanada ve Almanya'da yüksek üretim hacmine sahip elektrolitik çinko fabrikaları kuruldu.

1925'ten sonra Almanya ve İngiltere'de dikey izabe hazneli ve sürekli damıtma işlemi uygulandı. II. Dünya Savaşı sonrasında çinko üretimindeki en önemli gelişmeler kavurmada akışkan yatak ve üretimde imperial izabe süreci uygulamalarıydı. 1960-1980 yılları arasında ise nötr liç artıklarının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar tamamlandı [11].

Günümüzde en yüksek üretim kapasitesine sahip ülkeler; Avustralya, Kanada, Çin, Peru ve ABD'dir. Bu üreticileri Avrupa'da Belçika, İrlanda ve İsveç takip etmektedir. Son on yıla ait ülkelere göre yıllık çinko üretim miktarları Tablo 2.1'de gösterilmiştir [12].

Tablo 2.1 Ü ülkelere göre yıllık çinko üretim miktarları (x1000 ton) [12]

Ülkeler	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Çin	2550	3330	3700	4050	4860	5190	5120	4750	4800	4400	4300
Peru	1202	1513	1470	1256	1281	1351	1315	1421	1334	1470	1600
Avustralya	1367	1290	1479	1515	1520	1526	1475	1722	965	842	940
A.B.D.	748	736	748	769	738	784	831	825	805	774	790
Kanada	667	699	649	623	641	427	352	277	322	344	340
Hindistan	477	695	719	747	758	793	706	822	682	833	800
Meksika	476	490	570	632	660	643	660	677	670	674	650
Bolivya	159	431	411	427	390	407	449	442	490	473	520
Kazakistan	364	398	405	377	370	362	345	343	340	330	390
İsveç	216	193	199	194	188	177	222	247	257	251	220
Tüm ülkeler	10000	11600	12300	12500	13300	13700	13600	13500	12600	12500	13000

2.2 Çinko Üretim Yöntemleri

Çinko, yeryüzünde bakır, kurşun ve demir sülfür cevherleriyle birlikte sfalerit olarak bilinen çinko sülfür cevheri olarak maden yataklarından çıkarılmaktadır. Tablo 2.1.'de gösterildiği üzere en önemli çinko sülfür maden yatakları Avustralya, Peru ve dünya üretiminin %33'lük kısmını karşılayan Çin'e aittir. Çinko, cevherler halinde doğada sfalerit, marmatit, smithsonit, kalamın, zinkit, villemmit, franklinite ve hidrozoinkit olarak bulunabilmektedir. Tablo 2.2'de bu cevherlerin kimyasal bileşimleri ile yüzdesel olarak barındırdığı çinko miktarları yer almaktadır [13].

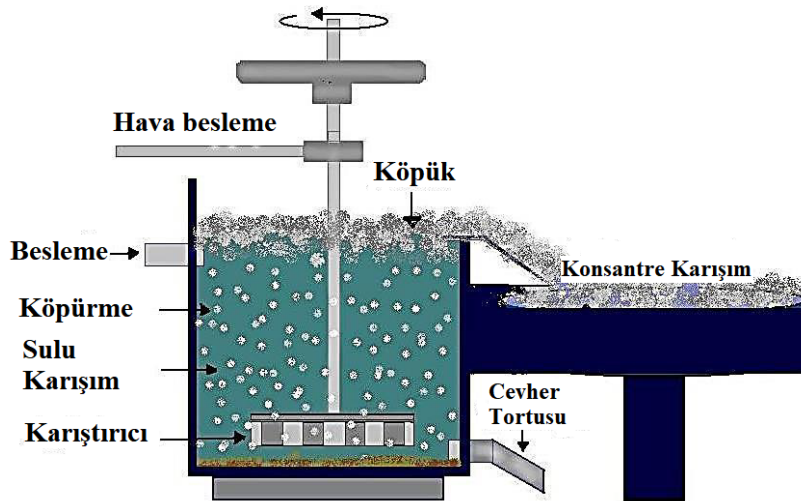
Çinko cevherinden saf çinko eldesi için temel olarak hidrometalurjik ve pirometalurjik olmak üzere iki yöntem mevcuttur. Çinko maden yataklarından

çıkarılan cevherler yeterince yüksek çinko konsantrasyonuna sahip olmadıkları için, yoğunlaştırıcılarda konsantre olmaları sağlanır.

Tablo 2.2 Çinko cevherleri, kimyasal bileşimi ve yüzdesel çinko miktarları [13]

Cevher	Kimyasal Bileşimi	% Çinko Miktarı
Sfalerit	$Zn_{0,9}Fe^{+2}_{0,05}S$	64
Smithsonit	$Zn(CO_3)$	52,1
Kalamin	$Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot (H_2O)$	54,3
Villemit	$Zn_2(SiO_4)$	58,68
Franklinit	$Zn_{0,6}Mn^{+2}_{0,3}Fe^{+2}_{0,1}Fe^{+3}_{1,5}Mn^{+3}_{0,5}O_4$	16,59
Zinkit	$Zn_{0,9}Mn^{+2}_{0,1}O$	73,25
Hidrozinkit	$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$	59,6
Sauconit	$Na_{0,3}Zn_3Si_3AlO_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$	33,8

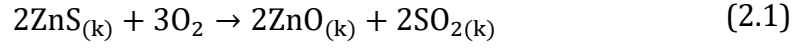
%3-12 arasında çinko içeren cevherlerin diğer minerallerden ayrılması için uygun şekilde öğütülürler. Günümüzde kullanılan çinko cevher konsantreleri genellikle %50-55 aralığında çinko içermektedir. Bu yoğunlaştırma işlemleri genellikle maliyetleri düşürmek amaçlı maden yataklarında yapılmaktadır. Konsantrasyon işlemleri için öğütme işlemleri sonrasında köpüklü flotasyon ya da kavurma ve sinterleme işlemleri uygulanmaktadır. Şekil 2.1’de köpüklü flotasyon proses şeması Şekil 2.2’de ise kavurma ve sinterleme proses şeması gösterilmektedir [14].



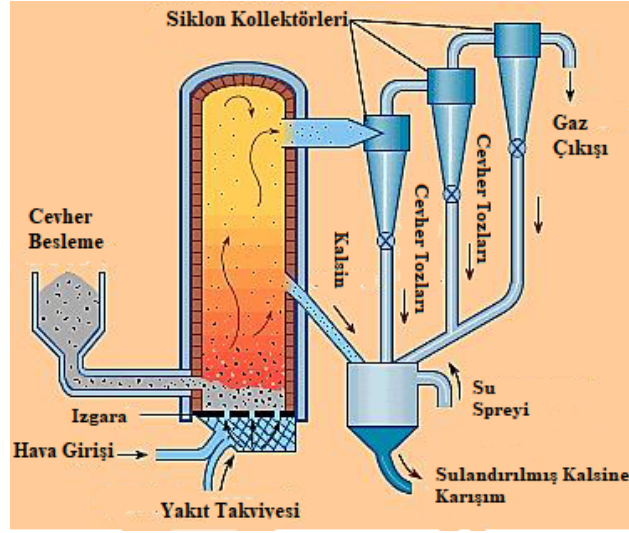
Şekil 2.1 Köpüklü flotasyon proses şeması [14]

Flotasyon işlemiyle dipten cevher tortusu olarak kurşun bileşikler ve silika gibi mineraller cevherden uzaklaştırılarak yoğunlaştırılmış karışım elde edilir.

Kavurma işlemi akışkan yataklarda 1000-1100°C sıcaklığa sahip havayla gerçekleştirilmektedir. İşlem esnasında Denklem 2.1’de gösterilen çinko reaksiyonu gerçekleşmektedir.

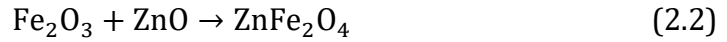


Kavurma işleminde açığa çıkan SO₂, sülfürik asit üretiminde kullanılmaktadır.



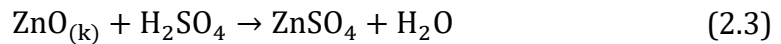
Şekil 2.2 Kavurma proses şeması [14]

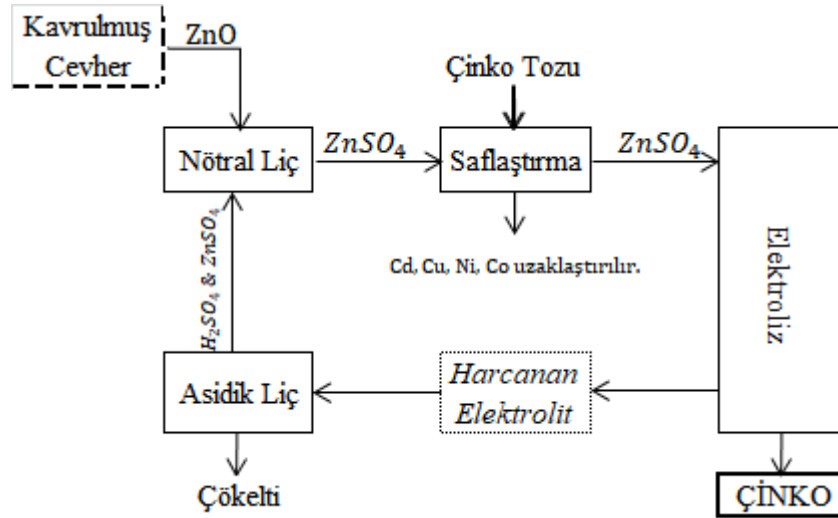
Cevher içeriğinde bulunan demir sülfür de tıpkı çinko oksit gibi demir oksit hale geçer. Bunun sonucunda ise çinko oksitle reaksiyon verir ve çinko ferrit oluşumuna neden olur. Düşük maliyetli basit liç proseslerinde bu bileşik çözünmeden kalır. Bu yüzden kullanılan cevherlerde demir açısından düşük tenörlü cevherler tercih edilmektedir. Denklem 2.2’de meydana gelen reaksiyon verilmiştir.



Kavurma işleminden elde edilen çinko oksit nötral liç işlemine sokularak saflaştırılarak elektrolize edilerek yaklaşık %99,5 oranında saf çinko elde edilir. Şekil 2.3’de liç prosesinin akış şeması gösterilmiştir [14].

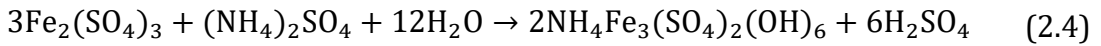
Liç çözeltisinde çinko oksidi çözmeye yetecek miktar sülfürik asit bulunmaktadır. Burada gerçekleşen reaksiyon Denklem 2.3’de gösterilmektedir.





Şekil 2.3 Liç işlemi proses akış şeması [14]

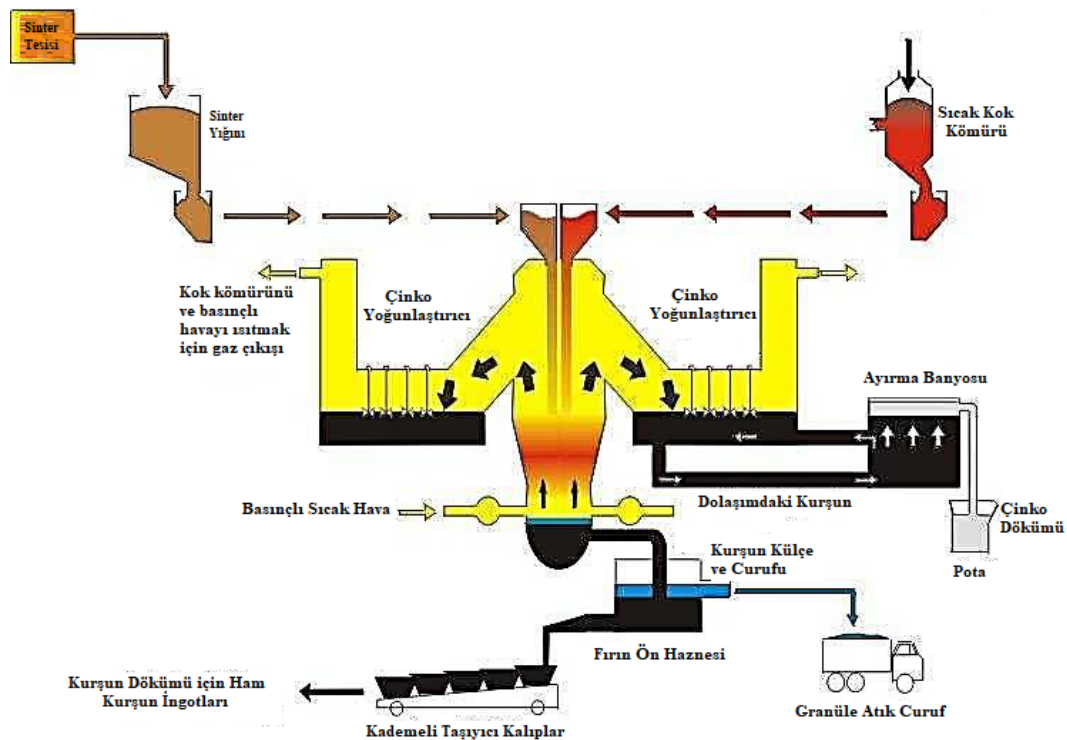
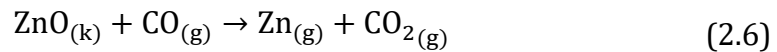
Kavrulmuş cevherde demir oksit bulunması durumunda asidik liç işlemi sıcak asidik liç olarak uygulanır. Sıcak asit liç yardımıyla çinko ve demir sülfatlar oluşturulur. Sonrasında demir sülfat uzaklaştırılır. Burada demir jarosit $(\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6)$ ya da $\text{NH}_4\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ olarak çöktürülerek uzaklaştırılır. Jarositin çöktürülme işleminde amonyum ve sodyum kullanılmaktadır. Böylece sülfürik asit meydana gelmektedir. Ortam asitliğini düzenleyebilmek için ortama kavrulmuş çinko cevher ilavesi yapılır. Denklem 2.4’de jarosidin çöktürülme işleminde meydana gelen reaksiyon gösterilmiştir.



Son olarak liç işleminden sonra elde edilen çinko sülfat çözeltisi elektroliz işlemine tabi tutularak %99,995 saflıkta Special High Grade olarak nitelendirilen özel yüksek kalite çinko elde edilir. Elektroliz işlemi sırasında alüminyum katotlar üzerinde toplanan çinko her 24-72 saat aralığında bir periyotta katotlardan sıyrılarak alınarak ergitilerek ingotlar şeklinde dökümü gerçekleştirilir.

Günümüzde yaygın olarak uygulanan bir diğer yöntemde pirometalurjik yöntemlerden biri de İmperial Smelting Process olarak nitelendirilen İmperial izabe yöntemidir. Bu yöntem hidrometalurjik yöntemlerle kıyaslandığında daha yüksek enerji gerektiren bir prosestir. Proseste aglomere oksitlerden yani sinterden kurşun ve çinko elde edilmektedir. Prosese ait akış şeması Şekil 2.4’de gösterilmiştir [15].

Sinter içeriğinde kavrulmuş çinko ve kurşun konsantreleri ile birlikte eritici madde olarak silisyum oksit ile kalsiyum oksit kullanılmaktadır. Yöntemde izabe fırınlarına sinter ile birlikte sıcak kok yüklenir. İzabe fırınlarına tüyerlerden 1000-1100°C'de sıcak hava uygulanır. İzabe fırınında Denklem 2.5, Denklem 2.6 ve Denklem 2.7'de belirtilen reaksiyonlar gerçekleşir [14].



Şekil 2.4 İmperial izabe proses akış şeması [15]

Tablo 2.3 Kurşun ve Çinko ait Ergime ve Buharlaşma Sıcaklıkları [14]

Elementler	Kurşun	Çinko
Ergime Sıcaklığı (°C)	330	420
Buharlaştırma Sıcaklığı (°C)	1750	910

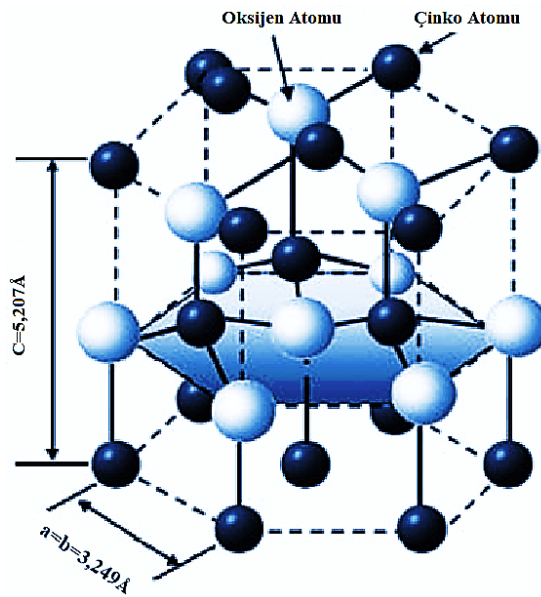
Tablo 2.3’de gösterildiği üzere izabe fırınındaki sıcaklık 1000-1100°C’de iken çinko buhar fazında, kurşun ise sıvı fazda bulunmaktadır. Buhar fazındaki çinko yoğunlaştırıcılarda biriktirilirken, kurşun püskürtme yapılarak yüzeye tutunması

sağlanarak yoğunlaştırılmaktadır. Oluşan karışım ayırma banyosuna basınçla transfer edilir. Ergiyik banyosuna daldırılan soğutucular yardımıyla ergiyik soğutulur. Bu sırada çinko yüzeyde toplanır. Bu yöntemde elde edilen çinkoda %0,9-1,4 oranında kurşun bulunabilmektedir [14].

2.3 Çinko Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

M.Ö. 20. yüzyılda çinko Yunanlılar ve Romalılar tarafından kullanılmaktaydı. 1746'da Alman bilim adamı Andreas Marggraf tarafından ilk defa element olarak tanımlanan çinkonun ismi, Almanca diş anlamına gelen "zinc", Farsça da taş anlamına gelen "sing" kelimesinden gelmektedir. Çinkonun %95'lik üretimi cevherlerden, %5'i ise hurda parçaların geri dönüşümü yöntemiyle elde edilmektedir [9].

Çinko, periyodik cetvelde geçiş elementleri arasında 4. periyot d blok 12. grup elementlerinin ilk sırasında (IIB) yer almaktadır. Atom ağırlığı 65,38 g/mol, atom numarası 30 olup, Zn sembolüyle gösterilmektedir. Çinkonun elektron dizilimi Argon ile benzer olup $3d^{10}4s^2$ şeklindedir. Doğada cevherler halinde bulunan çinko, en dış enerji seviyesindeki 2 elektrondan dolayı +2 değerlik alır ve bileşiklerinde genellikle iyonik bağ yapar. Atom yarıçapı 2,01 Å, kovalent yarıçapı ise 1,2 Å'dur. Kristal yapısı, hekzagonal sıkı pakettir. Çinko cevheri olan vurtzitin hekzagonal kristal yapısı ile kafes parametreleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir [13].



Şekil 2.5 Vurtzitin hekzagonal kafes yapısı ve kafes parametreleri [13]

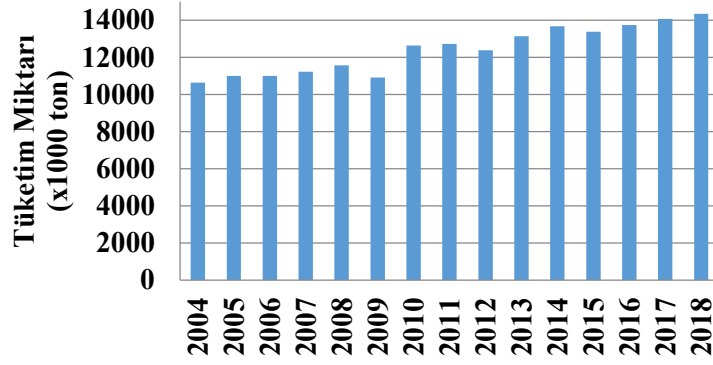
Çinkonun fiziksel özellikleri Tablo 2.4.'de gösterilmiştir [13].

Tablo 2.4 Çinko elementinin fiziksel özellikleri [13]

Fiziksel Özellikleri	Değerler
Ergime Sıcaklığı	419,53 °C
Buharlaşma Sıcaklığı	907 °C
Yoğunluk	7,14 g/cm ³
Sıvı Haldeki Yoğunluğu	6,57 g/cm ³
Ergime Gizli Isısı	7,32 kJ/mol
Buharlaşma Gizli Isısı	123,6 kJ/mol
Molar Isı Kapasitesi	25.470 J/(mol.K)
Elektrik Direnci(20°C)	59 nΩ.m
Isıl İletkenlik(25°C)	116 W/(m.K)
Isıl Genleşme(25°C)	30,2 µm/(m.K)
Ses Hızı (25°C)	3850 m/s
Mohs Sertliği	2,5
Brinell Sertliği	412 MPa
Young Modülü	108 GPa
Kayma Modülü	43 GPa
Sıkışma Modülü	70 GPa
Poisson Oranı	0,25
Basma Dayanımı / Esneklik Limiti	75-160 MPa
Çekme Dayanımı	90-200 MPa
Süneklik	0,2-0,9

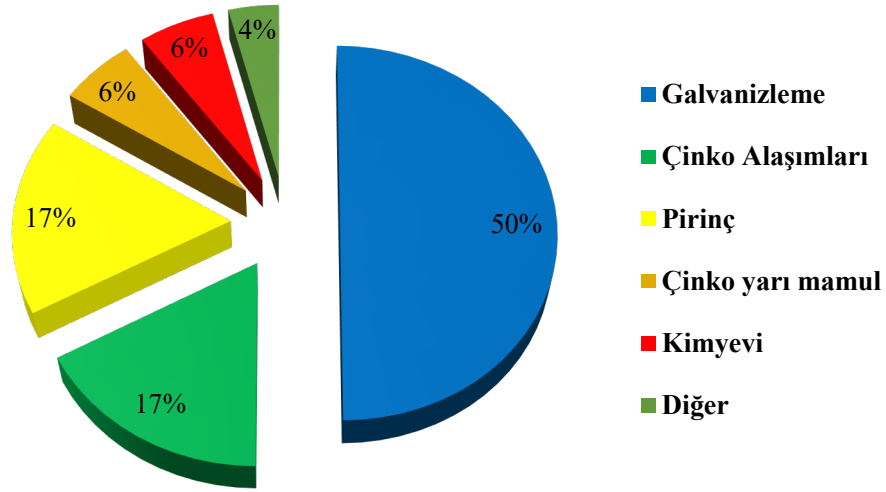
2.4 Çinkonun Kullanım Alanları

2018 verilerine göre dünyada 14 milyon tona yakın çinko tüketimi gerçekleşmiştir (Şekil 2.6) [12]. Bu tüketimin yaklaşık olarak yarısını çeliklere korozyon direnci kazandırmak için uygulanan galvaniz işlemi oluşturmaktadır. Galvanizleme işlemini %17'lik tüketim oranlarıyla basınçlı döküm çinko alaşımları başka bir deyişle Zamak alaşımları ile pirinç üretimi takip etmek etmektedir.



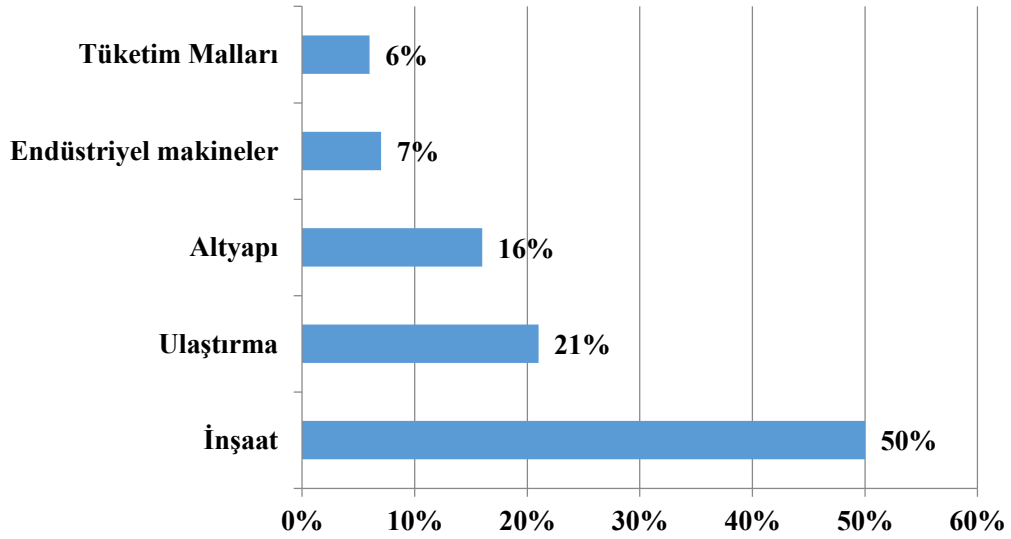
Şekil 2.6 Yıllara göre çinko tüketim miktarları (x1000 ton) [12]

Çinko üretiminde elde edilen yarı mamuller olan çinko oksit ve diğer çinko bileşenleri ve çinko içeren kimyevi ürünlerin üretiminde kullanılan çinko tüketimin %6'lık kısımlarını oluşturmaktadır. %4'lük kısmı ise çeşitli diğer alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 2.7).



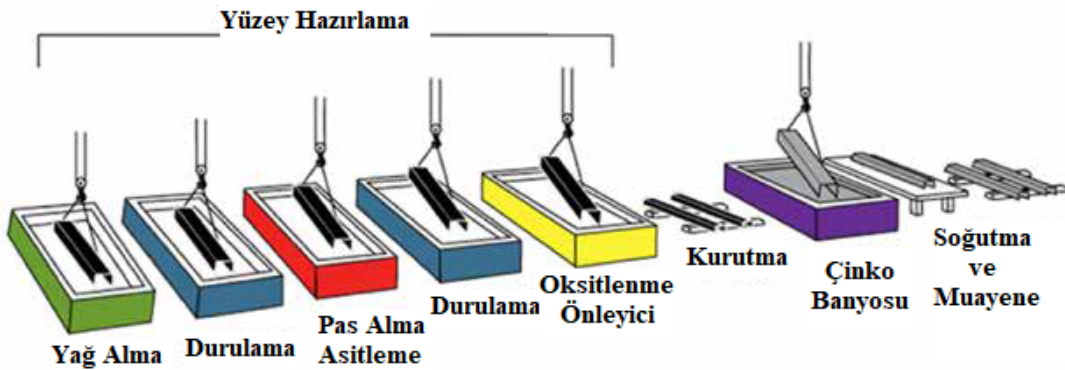
Şekil 2.7 2017 yılına ait çinko kullanım alanları ve oranları [16]

Çinko ürünlerin sektörel olarak en büyük kullanıcısı inşaat ve yapı sektörüdür. İnşaat sektörünün %50'lik tüketimini takip eden diğer sektörler arasında, %21 tüketim ile ulaştırma sektörü, %16'lık oranla altyapı sektörü, %7'lik tüketimle endüstriyel makineler, %6'lık oranla tüketim malları (beyaz eşya, elektrikli ve elektronik aletler) gelmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 2017 yılına ait çinkonun sektörel kullanım alanları ve oranları [16]

İtalyan kimyager mucit Luigi Galvani tarafından keşfedilen galvanizleme, günümüzde üretimi gerçekleştirilen çeliklerin yarısına uygulanmaktadır. Çelikler, korumasız olduğu hemen her ortamda korozyona uğrayarak paslanabilmektedir. Dünyada korozyon kaynaklı hasarlar yaklaşık olarak 2,2 trilyon dolara mal olmaktadır. Ayrıca bu hasarların bakımı zaman alıcıdır ve iş gücü gerektirir. Erimiş çinko banyolarına daldırma metoduyla daldırılarak çelik kirişler, çatı elemanları, teller, çiviler, ev aletleri, araba gövdeleri ve direkler kaplanabilmektedir.



Şekil 2.9 Galvanizleme proses şeması [16]

Galvanizleme işlemi (Şekil 2.6.), çeliğin nemle direk temasını engelleyerek bariyer vazifesi sağlamaktadır. Açık hava kullanımlarında çinko çeliğe göre daha yavaş bozunmaktadır. Bu nedenle bariyer koruma ömrü, uygulanan kaplama kalınlığıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu ömrü uzatmak için galvaniz üstüne boya

uygulanması yapılabilmektedir. Demir-çelik ürünlerini korozyona karşı dirençli hale getirmek için yapılan galvanizleme işleminde kullanılan çinko kendi korozyon direnci dışında, yüzeyde demir ile reaksiyona girerek korozyona daha dirençli oksit ve karbonat tabakaları oluşturarak katodik koruma sağlamaktadır.

Galvanizleme elektrik dağıtım direkleri, sulama boruları ve otoyol bariyerleri gibi nihai ürünlere uygulanabildiği gibi, beyaz eşyalar ve araba gövdeleri gibi nihai ürünlerin yarı mamulü olan rulo saçların sürekli üretiminde de uygulanmaktadır.

Çivi, vida ve küçük bağlantı elemanları çinko tozu ve kuvars tanecikleri ile tamburda çevrilerek Sherardizing yöntemiyle galvanizlenebilmektedir.

Çinkonun bir başka kullanım alanı da pirinç alaşımlarıdır. Yoğrulabilir/işlenebilir bir alaşım olan pirinç, antik çağlardan bu yana kullanılan en eski alaşımlardan biridir. Dilimize Farsça “birinç” kelimesinden uyarlanmıştır. Antik çağlarda kullanılan pirinç alaşımlarında çinkonun kütleli oranı %5 ila %15 arasında değişkenlik göstermekteyken günümüzde standart pirinç alaşımlarında çinko oranı %35’tir ve alaşımına göre bu oran %67’lere kadar çıkabilmektedir. Minimum %12’lik çinko katkısıyla pirince özgü sarı-altın rengi yakalanabilmektedir. Pirinç, bu rengin kazandırdığı görünüm nedeniyle daha çok dekoratif amaçla, kapı kolları, vida bağlantıları, armatür ve armatür bağlantı elemanları, kilit, rulman, mermi kovanları, fermuar, dişliler ve sıhhi tesisat gibi yüksek işlenebilirlik ve yüksek dayanım gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Standart pirincin yanı sıra;

- Alfa pirinç (%65’ten fazla bakır, %35’ten az çinko)
- Alfa-beta pirinç (%55-65 bakır, %35-45 çinko)
- Beta pirinç (%50-55 bakır, %45-50 çinko)
- Gama pirinç (%33-39 bakır, %61-67 çinko)
- Beyaz pirinç (%50’den az bakır, %50’den fazla çinko) kullanılmaktadır.

Çinko, Alman gümüşünde %20’lik, tunçta ise %2’lik kullanımıyla da bilinmektedir.

Çinkonun bir diğer kullanım alanı ise kimyasallardır. Çinko oksit bu pazarda %62’lik kullanım oranına sahiptir ve lastik ve kauçuk endüstrisinde vulkanize edici aktivatör olarak rol oynar. Bunun yanı sıra, emaye, frit ve gözlük üretiminde, seramik karo, tencere ve sofraya eşyalarının dayanıklılığı arttırmada, boyaya korozyon koruması kazandırmada, kozmetik ve ilaç endüstrisinde bazı

merhemlerde ve ilaçlarda da kullanılmaktadır. Çinko klorür ise deodorant ve ahşap koruyucu yapımında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çinko sülfat enerji absorbe ederek ışığı yayma özelliğine sahip olmasıyla ışıldayan saat ve karanlıkta parlayan oyuncakların yapımında kullanılır. Çinko metil organik madde sentezinde, çinko borat ise alev geciktirici ve duman bastırıcı özelliği nedeniyle plastik, selüloz elyafı, kağıt, tekstil ve kauçuk sektöründe kullanılmaktadır.

Elektron oluşturma fonksiyonu nedeniyle pil üretiminde kullanılan çinko, elektronik alet, çinko-karbon pil, oyuncak ve el feneri gibi uygulamalarda yer etmiştir.

Elektroliz sürecinde katot halinde elde edilen ergimiş saf çinkoya kullanım amacı doğrultusunda belirli miktarlarda bakır ve titanyum ilavesine ek olarak haddelenerek istenilen kalınlık seviyelerine indirilmesi sağlanan levhalar daha sonrasında istenilen boyalarda kesilerek rulo olarak sarılır. Bu şekilde elde edilen ürünler çatı kiremitleri, oluk, saçak ve çatı kaplama uygulamalarında yer edinmiştir. 7 kg/m²'lik yoğunluğuyla en hafif çatı örtülerinden biridir. Bunun yanı sıra sağladığı korozyon direnciyle birlikte yağmur sesini soğurabilmektedir.

Çinko, sanayide büyük bir öneme sahip olması dışında insan ve canlıların sağlığı için de kullanılmaktadır. Tüm canlıların hayatta kalabilmeleri çinkoya ihtiyacı vardır. Çinko sülfat, çinko oksit ve çeşitli formları genellikle diyetlerde ve tedavilerde kullanılabilir. Meyveler, fındık, et ve kabuklu deniz ürünleri çinko açısından zengin besinlerdir. Yeni hücrelerin çoğalması, kemik ve organların gelişimini hızlandırır, hafıza ve beyin fonksiyonlarını güçlendirir. Bunun yanı sıra bağışıklık sistemini güçlendirici etkiye de sahiptir.

Çinkonun yüksek korozyon direncine rağmen, yetersiz mekanik özelliğe sahip olması kullanımını sınırlandırmıştır. Bu nedenle magnezyum, alüminyum ve bakır ilavesiyle basınçlı endüstrisinde sıkça kullanılan Zamak alaşımları elde edilmiştir [16].

3.1 Tarihçe

En ilkel üretim metotlarından biri olan kum kalıba döküm yönteminde ergimiş metalin yer çekimine olan etkisi kullanılarak kalıpların içine aktarılması sağlanmıştır. Kum kalıba döküm yöntemi halen kullanılabilir bir yöntem olmasına karşın, zaman içerisinde nihai ürünlerden beklenen yüzey özelliklerinin artışıyla birlikte bu yöntemden türetilen alçı kalıp, seramik kalıp ve kuyumculukta kullanılan hassas döküm kalıpları ortaya çıkmıştır. Fakat bu yöntemler büyük bir işçilik gerektiren bir yöntem olmakla birlikte nihai ürünlerin kalıptan çıkarılmasıyla birlikte kalıplar bir daha kullanılamaz hale gelmektedir. Bu nedenle hem çok sayıda parça dökmeye uygun hem de uzun bir ömre sahip kalıp ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Orta çağ dökümcüleri mutfak gereçlerini demir kalıplara dökmeyi başarmışlardı. Dönemi takip eden süreçte, menteşeli kalıplar üzerinde çalışılmış ve içleri boş olan şekiller üzerinde kalıp oluşturulması denenmiştir, şekillerin içine oluşturulan sıvı metaller, demir kalıplara aktarıldıktan sonra istenilen bir şekle ulaşıldığı görülmüştür. Bu gelişmeler yer çekimine dayanmak yerine ergimiş metali basınç altında kalıba dökerek daha kısa zamanda iyi görünüş ve kaliteli döküm üretme çabalarına ışık tutmuştur [17].

1850'li yıllarda geliştirilen el tipi döküm makinalarının patentleri alınmıştır. Bunu Ottmar Mergenthaler'in Linotip makineyi geliştirmesi ile takip etmiştir. Bu makinede, ergimiş metal içine daldırılmış silindir içine dolan sıvı metal, bir piston yardımıyla kalıp içine basılmaktaydı. 20. yüzyılın başlarında ise ilk basınçlı döküm makinesi patenti, H.H. Doehler tarafından alınmıştır. Bu makine Linotip makinesinin çalışma prensibine dayanmaktaydı.

Linotip makinesi ile birlikte basınçlı döküm çalışmaları hızlanmış ve ilk olarak kurşun ve kalay alaşımlarının motor yataklarına basılması gerçekleştirilmiştir. Bunu takip eden süreçte uygulama, metal parça üretiminde önemli bir rol

üstlenerek daha iyi mekanik özelliklere sahip alaşımların dökümlerine adapte edildi.

Çinko alaşımları, kalay-kurşun alaşımlarına yakın ergime sıcaklığına sahip olduğu için ikinci olarak denenen alaşım sınıfı oldu.

Hız kazanan çalışmaları Birinci Dünya Savaşında kullanılan alüminyum teçhizatlar izledi. Günümüzde de alüminyum alaşımlarının üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden birisi de basınçlı döküm yöntemidir [18].

Gelişmelerin bu denli hızlı ilerleyişi ile makinaların kullanılması ve uygulamaların artması da oldukça hızlı gerçekleşti, makinaların kullanımının artması ile birlikte insan gücünde azalmaya gidildi. En az 3-4 işçiye ihtiyaç durulan basınç döküm makinaların yerine 1 kişi ile çalışılabilir ve bir saat içerisinde, yüzlerce döküm ortaya çıkarabilen otomatik makinalara geçiş yapıldı. Günümüzde birçok demir harici metalden oluşturulan parçaların talebinin artması ile birlikte döküm makinaları hızla geliştirilerek; hidrolik çalışan, otomatik, elektronik kontrol sistemi olan makinaların üretimi yaygınlaştırıldı.

3.2 Basınçlı Döküm Yöntemi

Geleneksel döküm yöntemlerinden biri olan basınçlı döküm yöntemi, ergiyik sıvı metalin, hidrolik presli bir makinede, yüksek bir basınçta ve ergiyik metale hız kazandırarak alaşımlı çelik kalıp boşluğuna enjekte edilmesiyle şekilli parça üretimi sağlanan döküm yöntemidir. Kalıp; enjeksiyon esnasında oluşan mekanik gerilimi sönümler, ergiyik metalin ısını homojenize şekilde dağıtır ve kalıp boşluğuna uygun katılaşmış parçanın çıkarılmasını sağlar ve sonraki çevrim için hazırlık yapılmasını yardımcı olur. Hidrolik pres sistemi, ergiyik metalin hızını, ivmelenmesini ve pozisyonunu kontrol ederek, debi ve güç işlevlerini optimize eder. Bu sayede ergiyik kalıp boşluğunu son derece iyi bir şekilde doldurur ve katılaşma gerçekleşir. [19].

Basınçlı döküm makinelerinde kalıplar iki yarımdan oluşur. Bu iki yarım kalıp kapatılarak kilitlenir. Kalıp boşluğuna metali enjekte eden hazne soğuk ya da ergimiş metal sıcaklığında olabilir. Hazneye dolan ergiyik metal hidrolik sistemde yer alan pistonla kalıp boşluğuna yüksek basınç ve hızla kalıp boşluğuna aktarılır.

Kalıp içerisinde kalan havanın ergimiş metal enjeksiyonu ile atılması kalıpta yer alan hava cepleriyle sağlanmaktadır. Pres işlemini sağlayan piston katılaşma tamamlanana kadar ve sonrasında büzülme ve gözenekliliği önlemek için boşluk tamamen doldurulduktan sonra bile sıkıştırmaya devam eder. Katılaşma işlemi tamamlandıktan sonra iki yarımdan oluşan kalıp eksenel olarak açılarak katılaşmış parça içinden ya manuel olarak ya da kalıpta yer alan itici olarak adlandırılan kalıp ekipmanı sayesinde kalıptan uzaklaştırılır. Sonrasında yine kalıp halen açık durumdayken manuel ya da otomatik olarak kalıp yüzeylerinin temizlenmesi ve parçaların kalıptan kolayca ayrılmasını sağlayan kalıp ayırıcılarla yağlanması işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemden sonra kalıp bir sonraki döküm için hazır hale gelmiş olur. Bir döküm başlangıcından diğerinin başlangıcına kadar uygulanan tüm işlemlerin uygulanmasına çevrim, bu sırada geçen süreye çevrim süresi denilmektedir.

Amerikan literatüründe yöntem Die Casting, Avrupa'da ise Pressure Die Casting olarak isimlendirilmekteydi. Son yıllarda gelişen diğer teknolojiler sebebiyle, kavram çatışmasını önlemek için yöntem, High Pressure Die Casting ismiyle anılmaya başlanmıştır. Basıncı döküm yöntemleri, yerli literatürde ergime dereceleri düşük kurşun (Pb), kalay (Sn) ve çinko (Zn) esaslı alaşımların, ergime sıcaklıklarının oldukça üzerindeki bir sıcaklıkta, sıvı metalin hava basıncıyla veya bir piston düzeneği ile memeden kalıp içine püskürtülerek kalıbın doldurması yöntemi olan **püskürtme döküm yöntemi** ve ergime sıcaklıkları yüksek olan alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve bakır (Cu) alaşımlarının ergitme fırınından alınarak döküm makinesinin haznesine doldurularak bir piston aracılığıyla püskürtme döküm yöntemine nazaran daha düşük döküm sıcaklığında ve döküm hızında kalıp içerisine basılması yöntemi olan **pres döküm yöntemi** olarak ikiye ayrılmaktadır.

Basıncı döküm makineleri başlıca üç ana kısımdan meydana gelmektedir;

1. Gövde; hareketli kısımları ve kalıbı taşıyan, onları en uygun pozisyonda tutarak her birinin fonksiyonunu yerine getirmesini sağlayan kısımdır.
2. Hareketli kısım; kalıbı açma ve kapama mekanizmasıdır. Bütün modern makinalarda bu açma kapama işlemi hidrolik olarak yapılmaktadır.

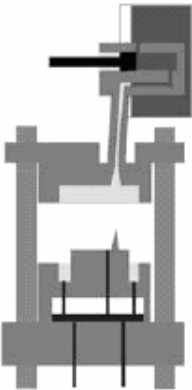
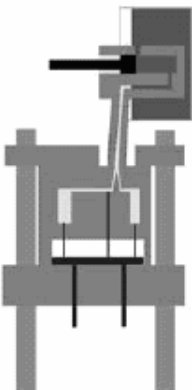
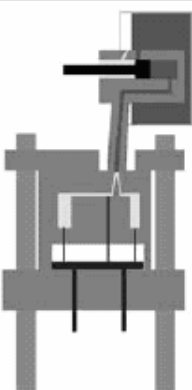
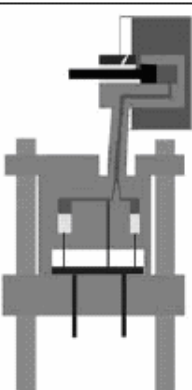
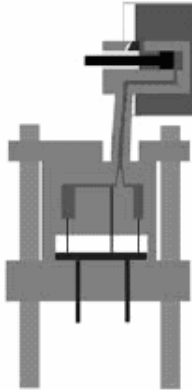
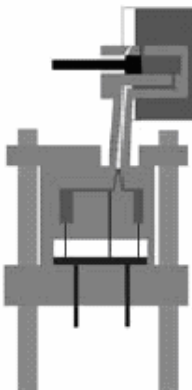
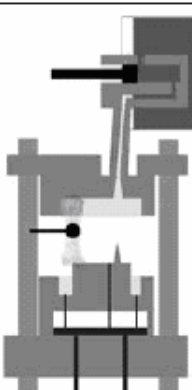
3. Enjeksiyon (makinenin ön kısmı); ergimiş metali yüksek hız ve basınç altında kalıp boşluğuna gönderir [20].

Basınçlı döküm makineleri, kalıp boşluğuna enjekte edilecek ergiyik metalin bulunduğu hazneye göre **sıcak kamaralı** ve **soğuk kamaralı** olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri püskürtme döküm yönteminde olduğu gibi düşük ergime sıcaklıklarına sahip alaşımlar için kullanılırken, soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri ise pres döküm yönteminde olduğu gibi yüksek ergime sıcaklıklarına sahip alaşımların şekillendirilmesinde kullanılmaktadır [18].

3.2.1 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Yöntemi

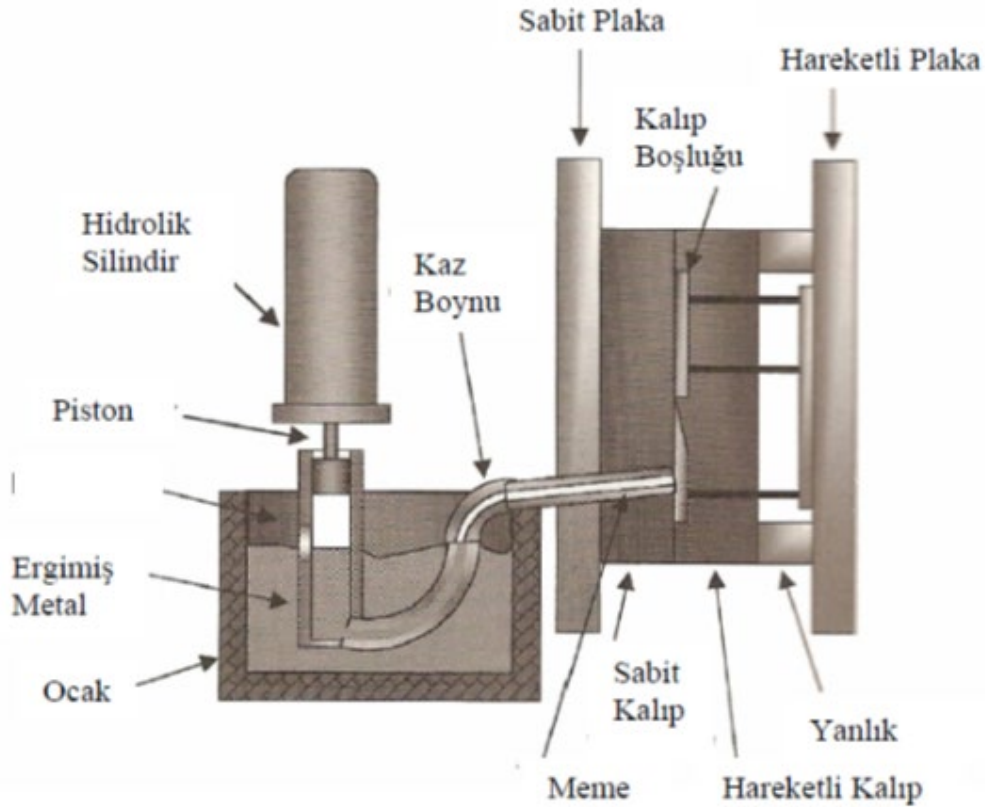
Sıcak kamara veya diğer deyişle “dalma silindiri” basınçlı döküm yöntemi, ergime sıcaklıkları düşük olan, çinko (420°C), kurşun (327°C) ve kalay (232°C) gibi alaşımların dışında son yıllarda kullanımı artan ve ergime sıcaklığı diğer alaşımlara göre nispeten yüksek olan magnezyum (650°C) gibi alaşımların dökümünde tercih edilmektedir. Bu yöntemde kullanılan makinelerin ön tarafında ergiyik metali döküme hazır sabit sıcaklıkta tutan bir pota bölümü yer almaktadır. Bu bölümde yer alan ve kaz boynu olarak adlandırılan silindir piston sayesinde ergiyik metalin kalıba enjeksiyonu sağlanmaktadır. Ayrıca sıcak kamaralı makinelerde enjeksiyon için sağlanan basıncın, basınçlı hava yardımıyla sağlandığı tip makineler de vardır. Bu tip makinelerde enjeksiyon sırasında ergimiş metale kayda değer miktarda hava nüfus etmesi sorun olabilmektedir.

Sıcak kamaralı döküm prosesine ait çevrim Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Gösterildiği üzere döküme hazır pozisyonda iken makinenin kalıpları kapanır, pistonun hareketiyle kazboynu ergiyik ile dolar, piston sonraki hareketi daha hızlı olur ve ergimiş metal nozülünden geçerek kalıp boşluğu tamamen doldurur. Metalin katılaşması sona erene kadar pistonun ergimiş metale yaptığı basınç devam eder. Katılaşma sona erdiğinde kalıp açılır ve hareketli maçalar geri çekilir. Pistonun geri hareketi ile nozül ve kazboynunda kalan metali geri sıcak potaya çeker. İtici yardımıyla hareketli yarı kalıpta kalan parça kalıptan uzaklaştırılır. Kalıp yağlanarak bir sonraki çevrime hazır hale getirilir.

			
Döküm makinası hazır pozisyonunda	Kalıp kapatılır	Kazboynu, ergimiş metal ile doldurulur	Piston, ergimiş metali kazboynu ve nozülünden geçirerek, kalıp boşluğuna süratle enjekte eder
			
Metal, katılaşmaya kadar basınç altında tutulur	Kalıp açılır ve varsa maçalar geri çekilir. Piston, nozüldeki (meme) ve kazboynundaki sıvı metali çekerek geri döner	İtici pimler, parçayı hareketli kalıp yarısından dışarı iter. Piston giriş deliğini açtıktan, ergimiş metal kazboynunu doldurur	Kalıp temizlenir, kalıp yağlayıcısı uygulanır

Şekil 3.1 Sıcak kamaralı döküm prosesinin çevrimi [21]

Sıcak kamaralı makinalar, enjeksiyon sistemlerinde piston veya hava basıncı kullanılmasına göre ikiye ayrılmaktadır. Pistonlu sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi, şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilmektedir [21]. Bu yöntemde ergiyik metalle hava teması oldukça az olduğu için meydana gelebilecek türbülanslar en aza indirgenmiş olup döküm iç yapısı da o denli daha kusursuz olacaktır.



Şekil 3.2 Pistonlu sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi şematik gösterimi [21]

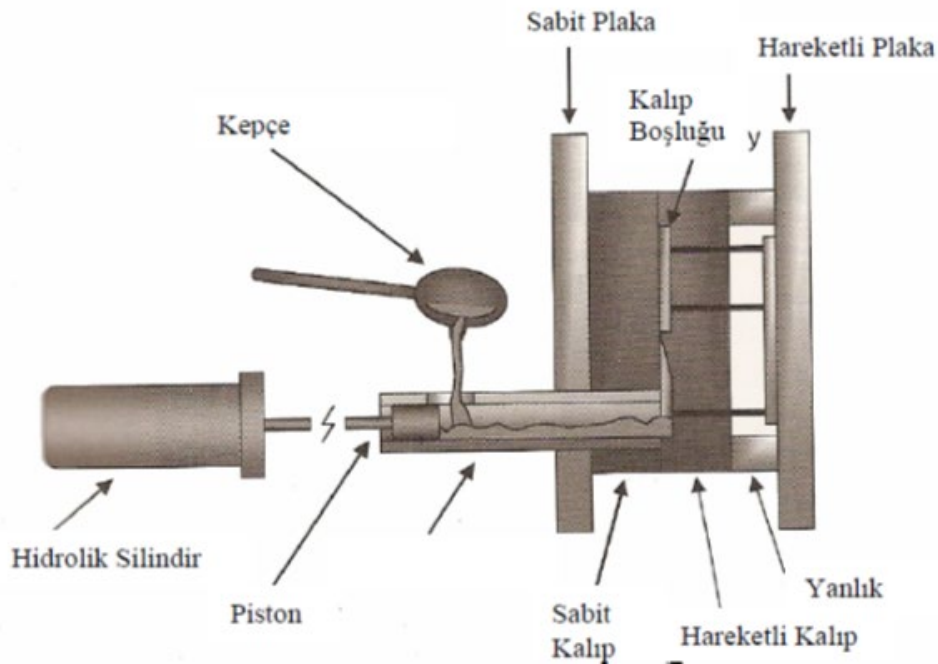
Kurşun, kalay, çinko gibi bahsedilen alaşımlar hazırlandıktan sonra, makinenin ön kısmında yer alan potada ya ergitilir ya da ergitilerek bu potaya aktarılır. Ergimiş metalin içine dolabileceği şekilde bir silindir ve bu silindirin içerisinde de çalışan bir piston bulunur. Kalıbın kilitlenmesiyle birlikte, pistonun aşağı yönlü hareket etmesi, silindir içerisindeki ergimiş metali kaz boynundan geçirerek kalıp boşluğuna dolumunu gerçekleştirmiş olur. Sıvı metal, kalıptaki boşluğa yüksek basınç uygulayarak nüfuz eder ve böylece kalıptaki boşlukları doldurmuş olur. Dolum süreci bittikten sonra metalin katılaşma aşamasına geçilmiştir, metalin katılaşması tamamlandığında piston mekanik olarak geriye doğru hareketle çekilir ve kalıbın açılmasını sağlar. Böylece parça alıma hazır hale gelir. Bu yöntem ile $\pm 0,01$ mm

Havalı sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi, şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

3.2.2 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Yöntemi

Soğuk kamaralı makinelerin gelişimi sıcak kamaralı makinaların ergime derecesi yüksek alaşımlı metallerin dökümü işlemleri sırasında yetersiz kalmasıyla hız kazanmıştır. Soğuk kamaralı makinelerde dökümü söz konu olan alaşımlar genel olarak alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarıdır. Soğuk kamaralı makinelerde, pota sistemi sıcak kamaralı makinelerden farklı olarak enjeksiyondan bağımsızdır.

Ergimiş metal otomatik ya da manuel olarak hazneye aktarılır. Aktarılan metal sıcak kamaralı makinelerde olduğu gibi kalıp içerisine hidrolik olarak çalışan bir piston ile enjekte edilir. Dolma işlemi tamamlandıktan sonra piston harekete geçer ve doldurma deliği kapatılır böylece ergimiş metali aşağı yukarı 200 MPa (N/mm²) basınç ile birlikte kalıba boşluğuna aktarılmış olur.



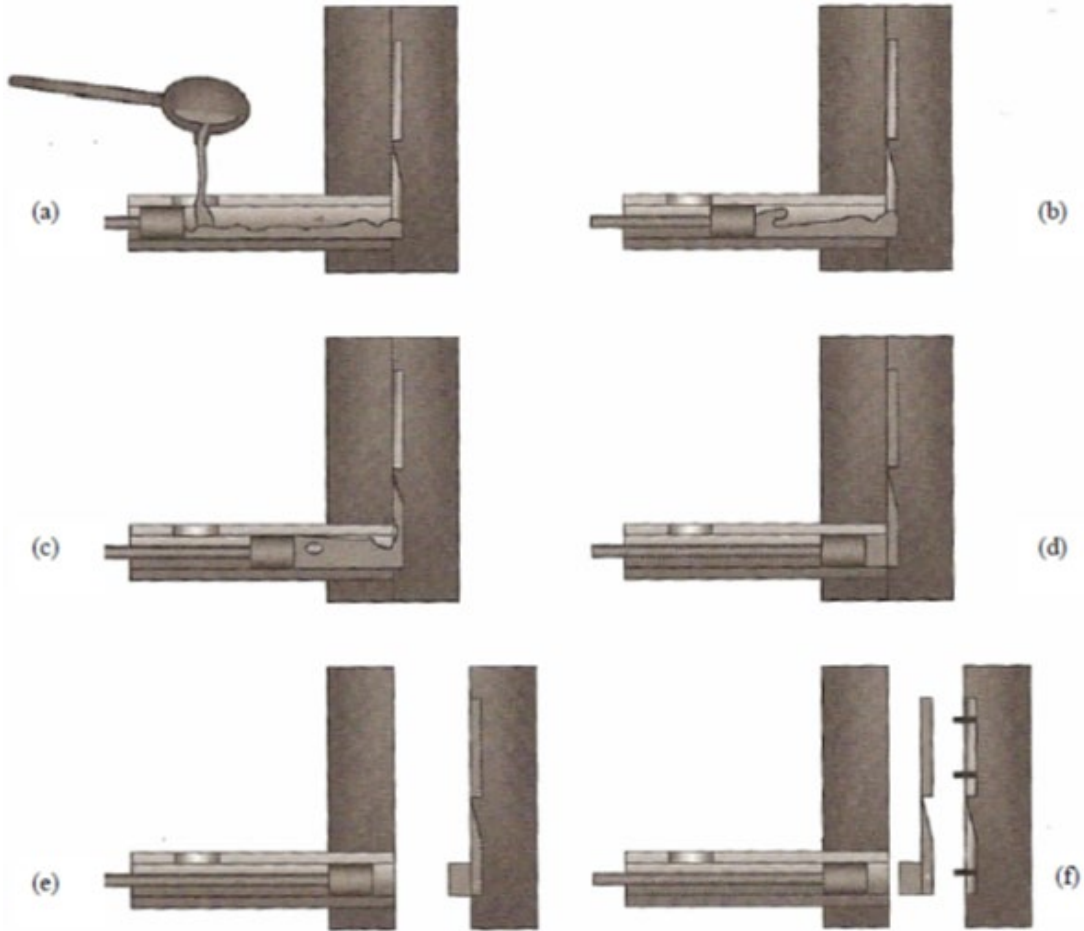
Şekil 3.4 Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi [21]

Bu işlem birkaç milisaniye süren bir işlemdir. Hidrolik pistonun, ergitilen metal ile olan temas süresi kısalarak neredeyse en aza indirgenmiş olur. Fakat enjeksiyonun gereğinden fazla olması durumunda ise ergiyik ile ortamda bulunan hava karışmasıyla birlikte türbülansın oluşması söz konusu olabilmektedir. Bu yöntem, alüminyum ve bakırın yanı sıra çelik gibi ergime noktaları daha yüksek metallerin basınçlı dökümle üretilmesine olanak sağlamaktadır. Döküm işleminin yinelenebilirliği, tutarlılığı,

yüzey özellikleri ve görünümü iyi bununla birlikte dayanıklılığı orta düzeyde olmaktadır [22].

Soğuk kamaralı basınçlı döküm yönteminde kullanılan makinelere ait şema Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Katılaştıran metalin kalıptan kolayca ayrılabilmesi için kalıp boşluğuna ve pompa ucuna kalıp ayırıcı yağlayıcı özelliğe bir madde homojen olarak püskürtülür. Böylece katılaştıran malzemenin kalıp yüzeylerine yapışması engellenirken kalıp ömrü de uzar.

Tüm basınçlı döküm proseslerinde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemine ait proses çevrime ait Şekil 3.5’de gösterildiği gibi bir proses çevrimi söz konusudur [21]. Ergimiş metal enjeksiyon haznesine doldurulması (a) sonrasında aktarım sistemi (b) yardımıyla yüksek basınçla kalıp boşluğuna (c) yüksek hızla çok kısa sürede enjekte edilir. Yüksek basınç altında alaşımın katılaşması sağlanır (d). Katılaşma sona erdikten sonra, kalıp açılmasıyla (e) parça kalıptan itici pimler vasıtasıyla ayrılır (f).



Şekil 3.5 Soğuk kamaralı basınçlı döküm yönteminde proses çevrimi [21]

Normal çalışmada kamaraya bir döküme yetecek miktardan fazla metal koyulur. Dökümden artan donmuş metal fazlalık, parça ile birlikte makinadan çıkarılır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımların silindir ve pistonla uzun süre temas halinde olduğu sıcak kamaralı makinalarda hem alaşımın karakteri değişir hem de pistonla silindirin kullanım ömrü azalır. Soğuk kamaralı makinada ergimiş metal piston ve silindirle çok kısa süre temas halinde olduğu için bu sorunlar ortadan kalkmaktadır [21].

Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde olduğu gibi soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri metal enjekte yöntemine göre pistonun makinedeki pozisyonuna göre yatay ve düşey tip soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri olarak ikiye ayrılırlar.

3.2.2.1 Yatay Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makineleri

Ergime dereceleri yüksek olan alaşımların dökümü için kullanılan makinelerdir. Ergimiş metalin aktarıldığı enjeksiyon haznesi sadece ergiyik etkisiyle ısınır. Yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi Şekil 3.4'de prosesin çevrimine ait görsel ise Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Bu tip makineler basınçlı döküm yöntemiyle üretilebilecek hemen her alaşımın üretiminde kullanılabilmektedir. Yine de bakır, alüminyum ve magnezyum için tercih edilmektedir.

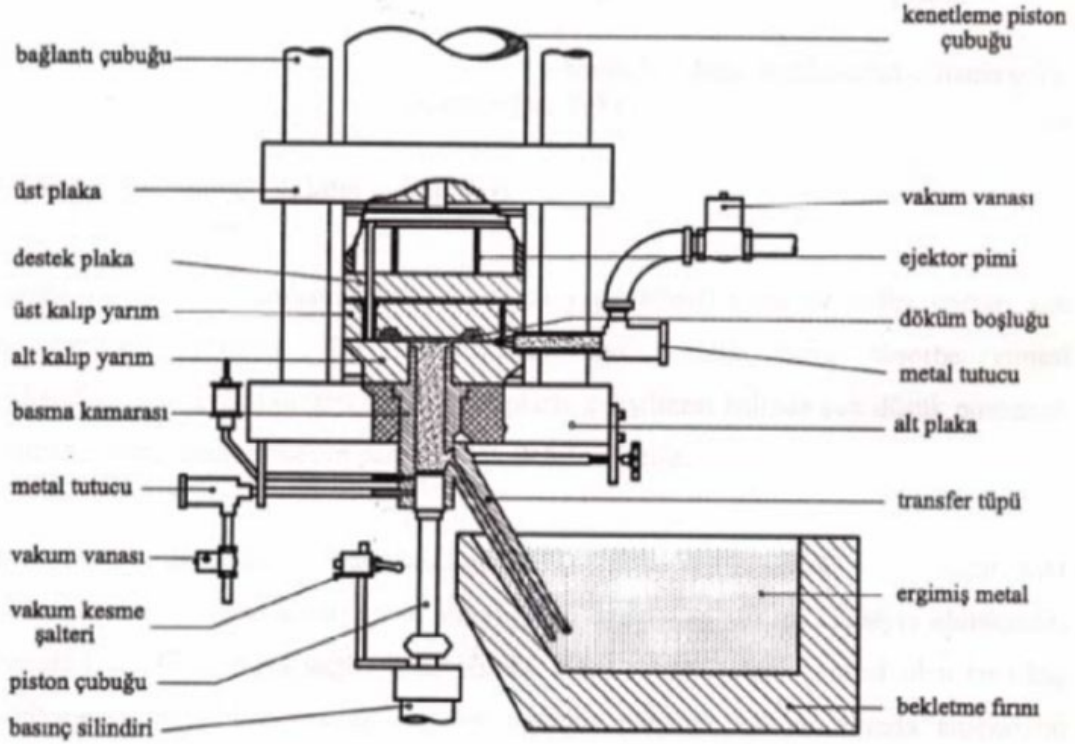
Kalıp dizaynı, alaşım ve parça büyüklüğüne bağlantılı olarak piston çalışma hızı 45-270 m/dk, uyguladığı basınç ise 30-210 MPa aralığında olabilmektedir.

Makine ekipmanlarının malzeme seçiminde aşınmaya karşı direnç gösteren ve yüksek ısı direnç gösteren öne çıkmaktadır. Bu nedenle piston malzemesi seçiminde alaşımlı çelikler ya da berilyum-bakır alaşımları tercih edilirken, kamarasında ise sıcak kamaralı makinelerde olduğu gibi nitrasyon çelikleri ve H13 takım çelikleri tercih edilmektedir [21].

3.2.2.2 Düşey Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makineleri

Bu tip makineler de kendi içerisinde kalıp pozisyonuna bağlı olarak düşey ve yatay olarak ikiye ayrılmaktadırlar.

Yatay kalıba sahip olan makinelerde ergimiş metal kalıbın alt kısmında yer alan kamaraya vakum ile beslendikten sonra piston yardımıyla, kalıp boşluğundaki hava vakum ile tahliye edilmesi işleminden sonra enjekte edilir. Yatay kalıplı düşey soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesine ait görsel Şekil 3.6'den gösterilmiştir [22].



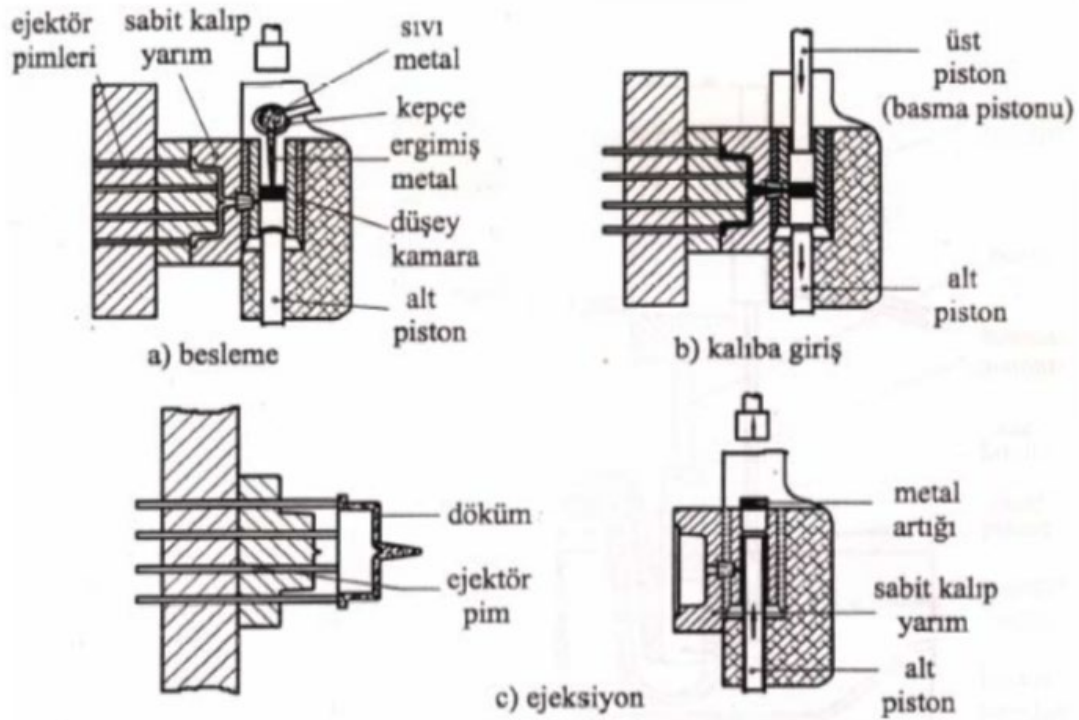
Şekil 3.6 Yatay kalıplı düşey soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi [22]

Düşey kalıplı makinelerde ise alt ve üst piston olmak üzere çift piston bulunmaktadır. Alt piston metal girişini kapamış pozisyondayken ergimiş metal hazneye doldurulur. Sonrasında üst pistonun kapanmasıyla oluşan basınçla alt piston aşağı hareket eder ve metalin kalıba girişine olanak sağlar ve ergimiş metal kalıp boşluğuna üst pistonun basıncıyla dolar. Katılma sonrasında üst piston tamamen açılır ve alt piston katılmış artık metali dışarı atar. Hareketli kalıp yarımında kalan parça kalıbın açılması sonrasında itici pimler yardımıyla kalıptan uzaklaştırılarak kalıp yüzeyi kalıp ayırıcıyla yağlanarak yeni çevrime hazır hale getirilir. Düşey kalıplı soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesine ait görsel Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Bu yöntemin düşey kamaraya sahip olması nedeniyle türbülans oluşumu oldukça azdır. Bu sayede üretilen parçalarda porozite oluşumu en aza indirgenmiş olmaktadır.

Yatay tip makinelerde üretilmesi zor olan parçaların üretiminde bu yöntemle başvurulmaktadır.

Şu günlerde piyasada en çok kullanılan pistonlu sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri ile yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinin gövdeleri ile kalıplama sistemleri bire bir aynıdır. Enjeksiyon sistemleri aradaki tek farkı oluşturmaktadır.



Şekil 3.7 Düşey kalıplı soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi [22]

3.3 Basınçlı Döküm Yönteminin Avantaj/Dezavantajları

Basınçlı döküm makinalarının kullanımı ile ilgili avantajlar olduğu gibi dezavantajları olması da kaçınılmazdır. Basınçlı döküm yönteminin avantaj ve dezavantajlarını anlayabilmek için Tablo 3.1’de alüminyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ve diğer seri döküm yöntemleriyle karşılaştırılması verilmiştir [17].

Avantajları;

- Yüksek üretim hızının olması, birkaç saniyelik süre ile tek seferde birçok parça elde edilebilir olması ile seri üretime ve çok sayıda parça üretimine olanak sağlamaktadır.

- Diğer seri döküm yöntemlerine nazaran daha karmaşık şekilli parçaların dökümü mümkündür.
- Yüksek basıncında yardımıyla et kalınlığı düşük parçalarda dahi yüksek boyutsal hassasiyete sahip parçaların üretimine imkân sağlamaktadır.
- Uzun ömürlü kalıp malzemeleri kullanımıyla tek kalıpla binlerce basım yapılması mümkündür.
- Dökümü yapılan parçaların yolluk ve çıkıcılarının kesilmesi dışında hemen hemen hiçbir yüzey bitirme işlemi gerekliliği yoktur.
- Diğer döküm yöntemlerine nazaran bu yöntemle üretilen parçalarda sağlanan mekanik dayanımlar daha yüksektir.
- Seri üretime uygunluğu nedeniyle parça başı maliyeti oldukça düşüktür.
- Birbirinden farklı yoğunluklara sahip alaşımların aynı kalıpta dökümü mümkündür.

Tablo 3.1 Alüminyum alaşımlarının dökümünde kum, kokil ve basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması [17]

Özellik	Kum Döküm	Kokil Döküm	Basınçlı Döküm
Yatırım	Düşük	Basınçlıdan daha düşük	En yüksek
Döküm hızı	En düşük	11 kg/sn	4,5 kg/sn
Parça geometrisi	Boşluklu parçalar için uygun	Boşluklar basit değilse maça gereksinimi vardır	Metal maça kullanımı ile boşluklar kolayca oluşturulur
Minimum et kalınlığı	3-5 μm	3-5 μm	1-2,5 μm
Üretim hızı	En düşük	Kumdan daha iyi	En yüksek
Maçalar	Kum	Kum ya da metal	Basit biçimli metal
Tolerans	300 mm/m	10 mm/m	4 mm/m
Yüzey pürüzlülüğü	7-12 μm	4-10 μm	1,5 μm
Gözeneklilik	Özenli çalışma gerektirir	Özenli çalışma gerektirir	Gözeneklilik oldukça azdır
Soğuma hızı	0,1- 0,5 $^{\circ}\text{C}/\text{sn}$	0,3 - 1 $^{\circ}\text{C}/\text{sn}$	50 - 500 $^{\circ}\text{C}/\text{sn}$
Tane büyüklüğü	Kaba	İnce	Çok ince
Dayanım değerleri	En düşük	İyi	Mükemmel
Aşınma dayanımı	İyi	İyi	Mükemmel

Dezavantajları;

- Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin oldukça yüksek olmaktadır.
- Parça üretim ebatları tezgah boyutları ve özelliklerine kısıtlanmaktadır.
- Hammadde, sarf malzemeleri ve makine yedek parçalarının maliyetleri yüksektir.
- Seri üretim için uzun ömürlü malzemelerden yapılması gereken kalıpların malzeme ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir.
- Bu yöntemde kullanılan ekipmanların kullanımı konusunda eğitilmiş ve tecrübeli kişilere ihtiyaç duymaktadır.

3.4 Basınçlı Döküm Yönteminin Getirdiği Sınırlamalar

- Parça boyutları makine tezgah boyutlarıyla sınırlıdır. Bu nedenle nihai ürünlerin ağırlığı 2 g ile 23 kg arasında olabilmektedir.
- Dökümü yapılacak parçanın tasarımına uygun yolluk, meme, maça ve hava ceplerinin dizaynı büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde döküm parçaların içerisinde porozite oluşumu gözlenebilmektedir.
- İlk yatırım maliyeti yüksek olduğu için düşük miktarda dökümler için ekonomik değildir.
- 1000°C'den yüksek ergime sıcaklıklarına sahip alaşımlar bu yöntemle dökülemezler. Bu nedenle basınçlı döküm yöntemiyle genel olarak alüminyum, çinko, magnezyum ve bakır gibi oldukça sınırlı temel alaşımlar dökülebilmektedir.

Basınçlı Döküm Alaşımları

Basınçlı dökümde kullanılan alaşımlarla üretilen parçalar çok geniş yelpazede ve çok çeşitli kullanım alanına sahip malzemelerdir. Bu nedenle her uygulamada kullanılan alaşım çeşidi birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılık basınçlı döküm yönteminde kullanılan malzemelerin çeşitliliğine neden olmuştur. Üretim yöntemine, kullanım amacına, mekanik özelliklerine ve üretim miktarlarına bağlı olarak basınçlı döküm alaşımlarının özelliklerini irdelemek gerekmektedir. Buna göre;

- Üretim yöntemi ve üretim sayısı göz önüne alınarak parça başı fiyatı,
- Üretimde kullanılacak makine özelliklerine göre parça ağırlığı,
- Üretimi yapılacak parçanın tasarımı,
- Korozyon ve aşınma dayanımı,
- Yüzey bitirme işlemlerine (kaplama, boyama, polisaj... gibi) elverişliliği,
- Parçanın talaşlı imalata uygunluğu,
- Kullanım alanına göre parçanın ısıl direnci ve sıcaklıklara karşı dayancı,
- Basınçlı döküm yöntemiyle dökülebilirliği,
- Dökümü yapılacak parçanın mukavemet, sertlik ve boyutsal stabilite gibi mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır.

4.1 Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Alaşımları

Genel olarak ergime sıcaklıkları yüksek olan alaşımlar soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde üretilmektedir. Bu alaşımların başında alüminyum, magnezyum ve bakır gelmektedir.

4.1.1 Alüminyum Basınçlı Döküm Alaşımları

Basınçlı döküm denilince akla ilk gelen alaşımlardan biri alüminyumdur. %30'luk bu sektördeki payı ile de dikkat çeken alüminyum basınçlı döküm yöntemi ile üretimi de gün geçtikçe artmaktadır. Alüminyumun basınçlı dökümde tercih edilme sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

- Düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle hafifliği,
- Termal ve elektrik iletkenlik katsayısının çok iyi olması,
- Yüksek işlenebilirlik özelliği,
- Yüksek korozyon direnci,
- Fiyatlandırma bakımından diğer alaşımlarla yarışabilmesi,
- Mekanik özelliklerini çok düşük sıcaklıklarda dahi koruyabilmesi,
- Yaşlanma bağlı olarak ölçüsel ve mekanik özelliklerini muhafaza edebilmesi.

Alüminyumun basınçlı döküm yönteminde kullanılan alaşımlarında, alaşımlandırma elementleri ve yüzdesel miktarları; %1 çinko, %4-10 bakır, %12'ye kadar silisyum, %4-6 nikel, %8'e kadar magnezyum, %1-5 kalay ve safi miktarda bizmut olarak Tablo 4.1'de olduğu gibi karşımıza çıkmaktadır. Alaşımdırılması yapılan alüminyum pota, fırın ya da endüksiyon fırınlarında ergitme işlemine tabi tutulur.

Elektriksel iletkenliğin ön plana çıktığı kullanım alanlarında saf alüminyum tercih edilirken, mekanik özelliklerini ve dökülebilirliğini iyileştirmek için alaşımlandırma yapılmaktadır. Alüminyumun başlıca alaşım elementleri, Silisyum, Magnezyum, Nikel, Bakır, Zirkonyum, Titanyum, Fosfor, Demir olarak sıralanabilir.

Bakır, alaşımın mukavemeti ve aşınma direncini arttırmada görev almaktadır. Böylece işlenebilirlik, dayanım, dökülebilirlik ve sertlik kazandırılmış olur.

Silisyum, alaşıma akışkanlık, kaynaklanabilirlik kazandırırken mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. %7 – 12 aralığında alaşıma ihtiva eden silisyum oranına sahip alüminyum alaşımları yüksek sıcaklıkta aşınma direnci istenen yüksek mukavemet gerektiren kullanım alanlarında yer bulmuştur.

Korozyon direnci, kaynak kabiliyeti, yüksek dayanım ve iyi süneklik özelliği istenen alaşımlarda ise magnezyum vazgeçilmez alaşım elementlerindendir.

Çinko ise alaşıma işlenebilirlik özelliğini arttırmaktadır.

Mangan ile de alüminyum alaşımların sertliği arttırılmaktadır.

Tablo 4.1 Alüminyum basınç döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ve kimyasal analizleri [23]

Dynacast Alaşımları	A380	A383	B390	A413	413	K-Alloy	A360
Çekme Dayanımı (MPa)	324	310	317	290	295	295	317
Akma Dayanımı (MPa)	160	150	250	130	145	172	170
Darbe Dayanımı (J)	4	4	-	-	-	-	-
Kesme Dayanımı (MPa)	190	-	-	170	170	-	180
Sertlik-Brinell (HB)	80	75	120	80	80	80	75
Yoğunluk (g/cm ³)	2,71	2,74	2,71	2,66	2,66	2,63	2,63
Ergime Sıcaklığı (°C)	566	549	580	578	578	680	577
Termal İletkenlik (W/m.K)	96	96	134	121	113	113	113
Termal Genleşme Katsayısı (µm/m°K)	21,8	21,1	18	21,6	20,4	-	21
Elektriksel İletkenlik Katsayısı (%IACS)	23	23	27	31	31	32	29
Alüminyum	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı
Bakır	3.0-4.0	2.0-3.0	4.0-5.0	1	1	0.05-0.08	0,6
Magnezyum	0,1	0,1	0.45-0.65	0,1	2	0.35-0.50	0.4-0.6
Demir (maksimum)	1,3	1,3	1,3	1,3	2	0.8-1.0	1,3
Kalay (maksimum)	0,35	0,15		0,15	0,15	0,03	0,15
Nikel (maksimum)	0,5	0,3	0,1	0,5	0,5	0,03	0,5
Çinko (maksimum)	3	3	1,5		0,5	0,2	0,5
Mangan	0,5	0,5	0,5	0,35	0,35	0.50-0.60	0,35
Silisyum	7.5-9.5	9.5-11.5	16.0-18.0	11.0-13.0	11.0-13.0	9.0-11.5	9.0-10.0

Demir, alüminyum alaşımlarında %1'den fazla oranda istenmemektedir. Alaşım içinde bulunan silisyum bileşik oluşturarak sert inklüzyonlar oluşturmaktadır. Bu da talaşlı imalata tabi tutulan parçalar da takım uçlarını bozabilmekte ve takım maliyetlerinin artmasına neden olabilmektedir.

Titanyumun, alüminyum alaşımlarında zirkonyum gibi tane inceltme rolünü üstlenmektedir.

Alüminyum alaşımlarından üretilen parçalar, elektronik ev eşyaları, motorlu araç aksesuarları ve ekipmanlarında, birçok makine ekipmanında kullanılabilir. Alüminyumun %95'lik geri dönüşüm oranı ile sektörde çok kullanıma sebeplerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.1.2 Magnezyum Basınçlı Döküm Alaşımları

Magnezyum yapı malzemeleri içerisinde en hafif olan metaldir. Ağırlık açısından plastik kadar hafif fakat metal kadar da dayanıma sahiptir. Yoğunluğu alüminyuma kıyasla %75, çeliğe kıyasla %25 kadardır. Bu nedenle hafifliğin istendiği alanlarda, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen magnezyum esaslı alaşımlar kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımlarını oluşturan elementler ve bu elementlerin yüzdesel miktarları basılacak parçaların özelliklerine istinaden seçilmektedir. Magnezyum alaşımlarında kullanılan başlıca elementler, çinko, kalsiyum, silisyum, kalay, alüminyum, zirkonyuma ek olarak nikel, bakır ve demirdir. Tablo 4.2'de Magnezyum alaşımlarının kimyasal analizleri ile oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri gösterilmektedir [42].

Tablo 4.2 Magnezyum esaslı basınçlı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [42]

Malzeme	Al	Mn	Zn	Diğer	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama	Sertlik
					(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	HB
AE42	4,0	0,1	...	2,5 RE	145	230	11	60
AM20	2,1	0,1	...	...	90	210	20	45
AM50	4,9	0,3	...	...	125	230	15	60
AM60	6,0	0,1	...	...	130	240	13	65
AS21	2,2	0,1	...	1,0 Si	120	220	13	55
AS41	4,2	0,2	...	1,0 Si	140	240	15	60
AZ91	9,0	0,1	0,7	...	160	250	7	70

Alaşıma ilave edilen alüminyum, sertlik ve mukavemet artırır. Çinko ise döküm kabiliyetini iyileştirirken, mekanik özellikleri güçlendirmesinin yanı sıra mangan gibi korozyon direnci kazandırır.

4.1.3 Bakır Basınçlı Döküm Alaşımları

Aşınma direncinin yüksek olması istenildiği uygulamalarda bakır alaşımları ön plana çıkmıştır. Bakır alaşımlarından basılan parçaların aşınma direnci çok iyi olmasının yanı sıra korozyona karşı dayanıklıdır. Kalay, arsenik, alüminyum, mangan, demir antimon, kükürt, silisyum ve nikel, bakır esaslı basınçlı döküm alaşımlarında rol oynayan elementlerdir.

Bakır esaslı basınçlı döküm pirinç alaşımlarını A, B ve C tipi alaşım olmak üzere üç grupta incelemek gerekirse, A tipi alaşımlar genellikle düşük maliyetli parça üretiminde, B tipi alaşımlar dökülebilirlik ve mekanik özellikleri yüksek olması beklenen parçaların üretiminde, C tipi alaşımlar ise sert ve aşınmaya karşı dirençli olması parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu alaşımların kimyasal bileşimi ile mekanik özelliklerine ait tablo Tablo 4.3'de gösterilmektedir [24].

Bakır alaşımları saf bakıra oranla; yüksek mukavemete sahiptirler, mekanik özellikleri daha iyidir, talaşlı imalata elverişliliği artmıştır, döküm kabiliyeti arttırılmıştır, korozyon direnci kazanmıştır, çinko ile yaptığı pirinç alaşımları ucuz ve yüksek dayanım özelliklerine sahiptir.

Basınçlı döküm bakır alaşımları araç aksesuarları olan dişliler, vites ekipmanları, fren takımlarında, bağlantı parçalarında, yataklamalarda, pompalar, beyaz eşya parçalarında, musluk, valf gibi armatür parçaları ve namlu yataklarında kullanılmaktadır.

Tablo 4.3 Bakır esaslı pirinç basınçlı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ve kimyasal bileşim oranları [24]

Mekanik Özellikler	A Tipi Alaşım	B Tipi Alaşım	C Tipi Alaşım
Çekme Dayanımı, N/mm ²	32	40	63
Elastikiyet, N/mm ²	17,5	24,5	21
Uzama, %	10	15	25
Çarpma Dayanımı, kg.m	4,14	5,5	5,5
Sertlik, HB	120	130	170
Ergime Sıcaklığı, °C	950-1083		
Elementin Cinsin	Kimyasal Analizi, %		
Bakır	Min. 57,00	63,00-67,00	80,00-83,00
Silisyum	Max. 0,25	0,75-1,25	3,75-4,25
Kurşun	Max. 1,50	Max. 0,25	Max. 0,15
Kalay	Max. 1,50	Max. 0,25	Max. 0,25
Mangan	Max. 0,25	Max. 0,15	Max. 0,15
Alüminyum	Max. 0,25	Max. 0,15	Max. 0,15
Demir	Max. 0,25	Max. 0,15	Max. 0,15
Magnezyum	-	Max. 0,10	Max. 0,01
Çinko	Min. 30,00	Geri Kalanı	Geri Kalanı
Diğerleri	Max. 0,50	Max. 0,50	Max. 0,25

4.2 Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Alaşımları

Genel olarak ergime sıcaklıkları düşük olan alaşımlar sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde üretilmektedir. Bu alaşımların başında kurşun, kalay ve çinko gelmektedir.

4.2.1 Kurşun Basınçlı Döküm Alaşımları

Kurşun esaslı basınçlı döküm alaşımları diğer alaşımlara nazaran ağır olmasına karşın yüksek korozyon direncine sahip olmasıyla birlikte 327 °C gibi düşük bir sıcaklıkta ergimektedir. Döküm tarihinde ilk kullanılan alaşımlardan biri de kurşun alaşımlarıdır. Yüksek mekanik özelliklere sahip olmaması nedeniyle çok tercih edilen bir alaşım olmadığı için, mekanik özelliklerin önem arz etmediği uygulamalarda düşük ergime derecesi ve döküm kabiliyeti nedeniyle ön plana çıkmıştır.

Günümüzde kurşun antimonla yaptığı alaşımlarla; yüksek korozyon direnci, sertlik, yalıtım ve görsellik istenen; iletişim, silah, yapı, mimari, güvenlik ve fotoğraf sektörlerinde yer edinmiştir.

Tablo 4.4’de günümüzde kullanılan kurşun alaşımlarına ilişkin kimyasal bileşimler gösterilmiştir [24].

Tablo 4.4 Günümüzde kullanılan kurşun alaşımlarının kimyasal bileşimleri [24]

No	% Kurşun	% Kalay	% Antimon	% Bakır
1	83	-	17	-
2	90	-	10	-
3	80	10	10	-
4	93	3	4	-
5	74	8	18	-
6	58	25	15	1
7	82	5	13	-
8	91	1,5	7,5	-

4.2.2 Kalay Basınçlı Döküm Alaşımları

Kalay 232°C’lik ergime sıcaklığıyla, basınçlı döküm alaşımları içinde en düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlardan biridir. Kalay alaşımları yüksek dökülebilirlik ve korozyona karşı gösterdiği direnç nedeniyle tercih edilmektedir. $\pm 0,0005$ mm gibi yüksek hassasiyette döküme elverişli olmasıyla birlikte yüksek maliyeti nedeniyle uygulamalarda kullanımını kısıtlamaktadır. Elektrikli eşya uygulamalarında öne çıkmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan kalay esaslı basınçlı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimleri Tablo 4.5’de gösterilmiştir [24].

Tablo 4.5 Günümüzde kullanılmakta olan kalay esaslı basınçlı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimleri [24]

No.		1	2	3
% Kalay	Min	90	80	64
	Maks	92	84	66
% Kurşun	Min	-	-	17
	Maks	0,35	0,35	19
% Antimon	Min	4	12	14
	Maks	5	14	16
% Bakır	Min	4	4	1,5
	Maks	5	6	2,5
% Diğerleri (Maks.)	Demir	0,08	0,08	0,08
	Arsenik	0,08	0,08	0,15
	Çinko	0,01	0,01	0,01
% Alüminyum		0,01		
Çekme Dayanımı, N/mm ²		7,25	9,5	8,3
Uzama Miktarı, %		45	29	7,5
Ergime Sıcaklığı, °C		232	232	185
Sertlik, HBN		4-5	4-5	4-5

4.2.3 Çinko Basınçlı Döküm Alaşımları

Basınçlı döküm sektöründe üretimin yaklaşık %60'lık kısmı çinko alaşımları ile sağlanmaktadır. Yüksek döküm kabiliyeti ve düşük maliyeti, çinko alaşımlarının tercih edilmesindeki en önemli faktörlerdendir. Düşük ergime sıcaklığına bağlı olarak düşük enerji tüketimine olanak sağlamakla birlikte kalıpların daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kalıp maliyeti ve kalıp bakım maliyetleri de düşük olmaktadır. Talaşlı imalata elverişli, yüksek mekanik dayanım özelliklerine sahip ve yüzey bitirme işlemleri düşük maliyetlidir.

Zamak alaşımlarının alüminyum yüzdesi %3,5-4,3 arasında iken ZA alaşımlarında bu oran %8-28 arasında olabilmektedir. Alüminyumun yanı sıra alaşımlarında bakır, magnezyum, kurşun, demir ve safi miktarda kadmiyum elementi de bulunmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan çinko alaşımlarının kimyasal bileşimleri ile mekanik özellikleri Tablo 4.6'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Basınçlı döküm sektöründe en çok kullanılan çinko alaşımlarının mekanik özellikleri ile kimyasal analizleri [24]

Mekanik Özellikler ve Elementler	Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	Zamak 7	ZA 8	ACuZinc5	EZAC	ZA 27
Çekme Dayanımı (MPa)	359	283	328	283	374	407	414	425
Akma Dayanımı (MPa)	283	221	228	221	290	338	393	376
Darbe Dayanımı (J)	47	58	65	58	42	-	-	12,8
Kesme Dayanımı (MPa)	317	214	262	214	275	-	-	325
Sertlik-Brinell (HB)	100	82	91	80	103	115	-	119
Uzama (50 mm'de %)	7	10	7	13	10	3	5	1
Yoğunluk (g/cm ³)	6,6	6,6	6,6	6,6	6,3	6,85	6,49	5
Ergime Sıcaklığı (°C)	385	384	383	384	390	452	396	431
Termal İletkenlik (W/m.K)	105	113	109	113	115	106	-	123
Termal Genleşme Katsayısı (µm/m°K)	27,7	27,4	27,4	27,4	23,3	24,1	-	26
Elektriksel İletkenlik Katsayısı (%IACS)	25	27	26	27	27,7	26,9	-	29,7
Alüminyum, %	3.5-4.3	3.5-4.3	3.5-4.3	3.5-4.3	8.0-8.8	2.8-3.3		25.0-28.0
Bakır, %	2.5-3.0	0,25	0.75-1.25	0,25	0.8-1.3	5.0-6.0		2.0-2.5
Magnezyum, %	0.02-0.05	0.02-0.05	0.03-0.08	0.005-0.02	0.015-0.03	0.025-0.05		0.01-0.02
Demir, % (maksimum)	0,1	0,1	0,1	0,075	0,075	0,075		0,075
Kurşun, % (maksimum)	0,005	0,005	0,005	0,003	0,006	0,005		0,006
Kadmiyum, % (maksimum)	0,004	0,004	0,004	0,002	0,006	0,004		0,006
Kalay, % (maksimum)	0,003	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003		0,003
Çinko, %	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı

Başta otomotiv ve yapı sektörleri olmak üzere, oyuncaklar, dekoratif parçalar, beyaz eşya parçaları, elektrikli ev eşyaları parçaları, hırdavat, endüstriyel kilit ve aksesuarları, ara bağlantı elemanları, spor ekipmanları gibi oldukça geniş bir alanda mamül ve yarı mamüllerin üretiminde çinko alaşımları kullanılmaktadır [23].

Çinko Alaşımlarının Basınçlı Dökümde Kullanımı

5.1 Çinko Döküm Alaşımlarının Gelişimi

Çinko döküm alaşımları 1920'li yıllarda aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. Zamak alaşımları olarak bilinmekte olan çinko basınçlı döküm alaşımları çinkonun yanı sıra ana alaşım elementleri olarak alüminyum, bakır ve magnezyum içermektedir. 1960'lı yıllardan sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde daha yüksek oranda alüminyum ihtiva eden Zamak alaşımlarından türetilmiş ZA alaşımları olarak bilinen yeni nesil çinko-alüminyum esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. Günümüzde en çok kullanılan Zamak alaşımları Zamak 2, Zamak 3 ve Zamak 5, ZA alaşımları ise ZA 8, ZA 12 ve ZA 27'dir [3].

ZA alaşımları içerdiği yüksek alüminyum oranıyla Zamak alaşımlarına nazaran daha yüksek mukavemet/ağırlık oranı ile birlikte yüksek aşınma direnci ve iyi döküm kabiliyeti gibi karakteristik özelliklere sahiptirler. Yapısal uygulamalarda daha düşük ağırlığı nedeniyle, pirinç, bronz ve diğer döküm alaşımlarının yerine kullanılmaktadırlar [3,4].

Zamak ve ZA alaşımları düşük ergime sıcaklığı, yüksek dökülebilirlik ve düşük maliyetli üretim özellikleri nedeniyle basınçlı dökümde tercih edilmektedir. Bu nedenlerden dolayı ticari olarak kullanımı her gün daha da artmaktadır.

ZA alaşımları 1960'lı yıllarda ortaya çıkan ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen plastik malzemeler nedeniyle geliştirilmiştir. Uluslararası Kurşun-Çinko Araştırma Birliği'nin (ILZRO-İnternational Lead-Zinc Research Organization) önderliğinde sürünme dayancı yüksek olan iki alaşım ILZRO-12 ve ILZRO-16 geliştirilmiştir. Fakat ILZRO-16'nın yüksek dayanım özelliklerine sahip olmasına rağmen sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemine elverişli olmamasına bağlı olarak maliyetinin yüksek olması nedeniyle kullanımını sınırlandırmıştır. Bununla birlikte geliştirilen ILZRO-12 ise Zamak alaşımlarına göre yüksek mekanik özelliklere sahip olması ve

sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemine elverişliliği nedeniyle geliştirilmeye devam etmiştir [3].

Bu bilgiler ışığında 1980'lerde Noranda Research Center ZA 8 ve ZA 27'i geliştirmiştir. Geliştirilen bu alaşımlar basınçlı döküm yöntemine uygunluğunun yanı sıra kum kalıba döküm, savurma döküm ve kokil kalıba döküm yöntemlerine uygunluğu ile de geniş bir yelpazede kullanılabilir. Çinko döküm alaşımlarına kıyasla ZA alaşımlarının yüksek çekme ve sürünme mukavemetine sahip olması bu alaşımların kullanımını ön plana çıkarmıştır [25].

Çinko döküm alaşımları, alüminyum alaşımlarından daha düşük ergime sıcaklığına sahip olması ve bu sıcaklıklarda dahi yüksek akışkanlığa sahip olmasının yanı sıra döküm öncesi alüminyum gibi herhangi bir gaz giderme ya da cüruf giderme işlemine ihtiyaç duymaması nedeniyle de kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Sertlik, sürünme dayancı ve soğuk işlenebilirlik gibi özellikleri ile de alüminyum alaşımlarına göre daha yüksektir [26].

5.2 Zamak Döküm Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Zamak ve ZA alaşımlarında fiziksel özellikleri etkileyen en büyük faktörlerden biri içerdiği alüminyum miktarıdır. Alaşımlar içerisinde bulunan alüminyum miktarı arttıkça elektrik iletkenliği, ısı iletkenlik ve katılma sıcaklığı aralığı artarken, yoğunluk, ısı genleşme katsayısı ve elektriksel direnç azalmaktadır. Tablo 5.1'de çinko döküm alaşımları ile farklı ana alaşım elementli alaşımların fiziksel özellikleri gösterilmiştir [27].

Tablo 5.1 Farklı ana alaşımlı elementli alaşımların fiziksel özellikleri [27]

Ana Alaşım Elementi	Alaşım	Döküm Yöntemi	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (μm/mK)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Elektrik İletkenliği (IACS)	Elektriksel Direnç (μ/cm)
Çinko	Zamak 3	Basınçlı	6,6	381-387	27,4	113	27	6,37
	Zamak 5	Basınçlı	6,7	380-386	27,4	100	26	6,54
	ZA8	Basınçlı	6,3	375-404	23,2	115	27,7	6,2
	ZA12	Basınçlı	6,3	377-432	24,1	116	28,3	6,1
	ZA27	Basınçlı	5	375-484	26	125,5	29,7	5,8
Alüminyum	A383	Basınçlı	2,74	525-575	21,1	96	23	6,4
	380	Basınçlı	2,71	540-595	21,8	96,2	27	4,4
	A413	Basınçlı	2,66	553-601	21,6	121	27	6,4
Pirinç	SAE 40	Kum	8,83	855-1010	18	72	15	11,5
	SAE 600	Kum	8,93	855-975	18	59	12	14,4
Bronz	SAE 64	Kum	8,88	762-928	18,5	46,9	10,1	17,1

5.3 Zamak Döküm Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Zamak alaşımlarının yüksek dayanım özellikleri sayesinde çok geniş yelpazede kullanılmakta olup geleneksel alaşımların yerine kullanılmaya başlanmıştır. Zamak ve ZA alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 5.2’de gösterilmektedir [23].

2. Dünya Savaşı yıllarında geliştirilen %35 alüminyum içeren Alzen adı verilen alaşım yüksek aşınma direnci nedeniyle yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Sonrasında gelişen kalıp tasarımları sayesinde düşük yoğunluğa sahip daha karmaşık şekilli parçaların dökümüne olanak sağlamıştır.

Zamak alaşımlarına etki eden alaşım elementleri bakır, alüminyum ve magnezyumdur. Bu elementlerin katkısı dayanımı arttırmaktadır. Ayrıca bu elementlerin varlığı sayesinde taneler arası korozyona sebep olan inklüzyon kurşun, kalay ve kadmiyumun zarar verici etkileri en aza indirilmektedir [26].

Tablo 5.2 Zamak ve ZA alaşımlarının mekanik özellikleri [23]

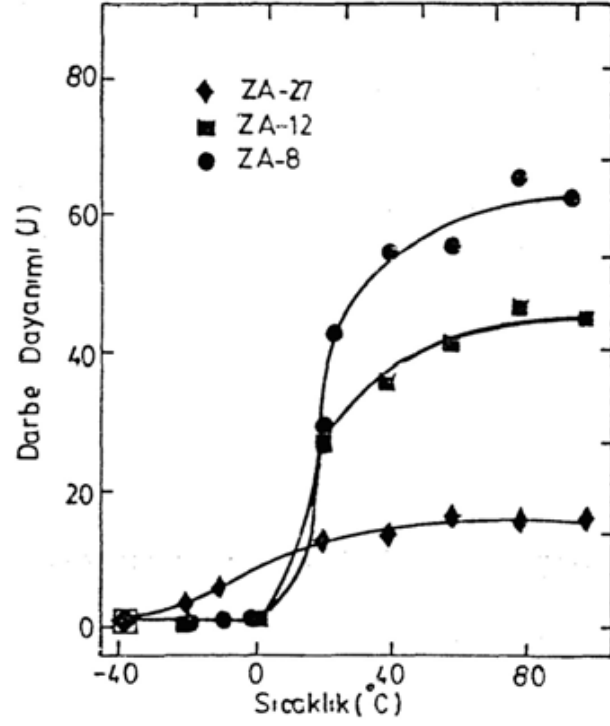
Özellik	Zamak 3	Zamak 5	ZA8	ZA12	ZA27
Elastisite Modülü, GPa	-	-	85,5	82,7	77,9
Kopma Uzaması, %	10	7	8	5	2,5
Akma Dayanımı, MPa	-	-	290	320	371
Çekme Dayanımı, MPa	283	331	374	404	426
Sertlik, HB	82	91	103	100	119
Basma Akma Dayanımı, MPa	414	600	252	269	359
Kırılma Tokluğu, MPa.m ^{1/2}	12,3	-	12,6	14,4	20,2
Darbe Direnci, J	58	65	42	29	12
Yorulma Dayanımı, 5x10 ⁶ Çevrim, MPa	48	56,5	103	117	117
Kayma Dayanımı, MPa	214	262	275	296	325

Görüldüğü üzere %4 alüminyum içeren Zamak 3 alaşımı yüksek darbe direncine ve boyutsal stabiliteye sahiptir. Zamak 3'den farkı %1'lik bakır ilavesi olan Zamak 5 alaşımı daha iyi çekme mukavemetine ve yorulma dayanımına sahiptir.

ZA8, ZA12 ve ZA27 alaşımlarının içerisinde 426 MPa ile en yüksek çekme dayancına ve 119 HB ile en yüksek sertliğe sahip alaşım ZA27'dir. ZA8 ise aralarında en yüksek kopma uzamasına sahip alaşımdır.

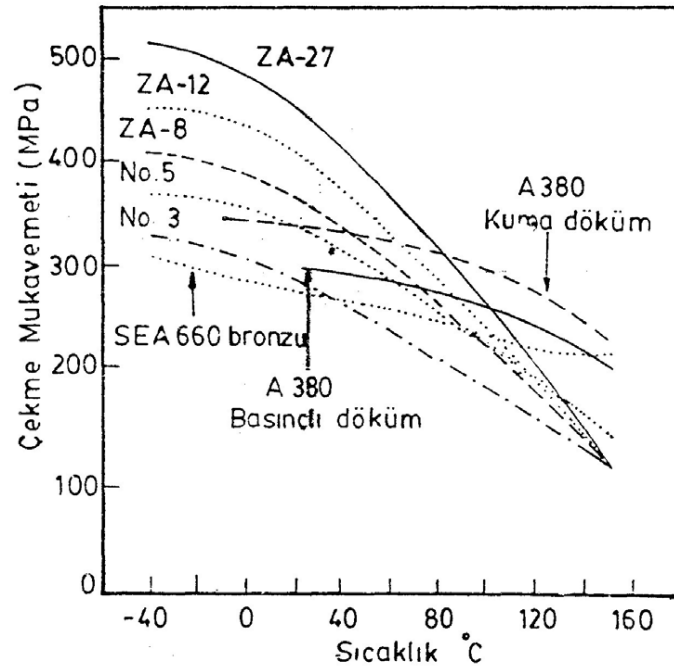
Şekil 5.1'de sıcaklık ile darbe dayanımları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Buna göre ZA8 65 J'lük darbe direnci ile en yüksek, ZA27 ise 19 J'lük darbe direnciyle en düşük değere sahiptir. Darbe dayanımları göz önüne alındığında ZA alaşımlarının gevrek-sünek geçiş sıcaklığı değerleri, ZA8 için 20°C, ZA12 için 15°C ve ZA27 için -5°C olarak belirlenmiştir [28].

Üstün avantajlara sahip olan Zamak alaşımlarının mekanik özelliklerine sıcaklığın çok büyük bir etkisi vardır. Bu alaşımlarda artan sıcaklığa bağlı olarak mekanik özellikler kayda değer miktarda gerilemektedir.



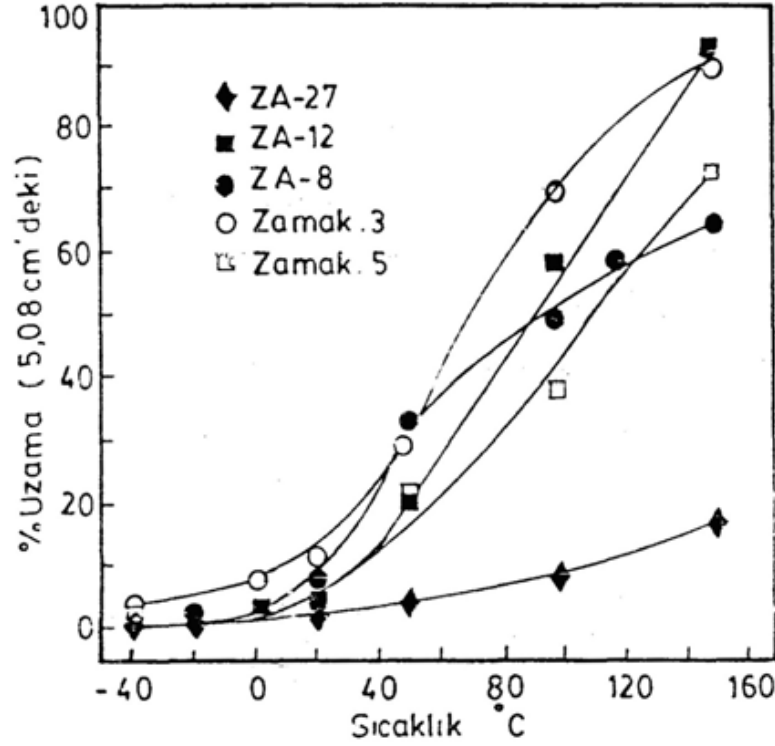
Şekil 5.1 Sıcaklık-Darbe Dayanımı ilişkisi [29]

Artan sıcaklık sonucu, çekme ve akma dayanımı ile sertlik değerleri düşerken, kopma uzamaları artmaktadır. Şekil 5.2'de Zamak alaşımlarının çekme dayanımına sıcaklığı etkisi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere -40°C'de, ZA27'nin sahip olduğu çekme mukavemeti Zamak 3'ün yaklaşık olarak 1,5 katıdır.



Şekil 5.2 Zamak alaşımlarında Çekme Mukavemeti-Sıcaklık ilişkisi [29]

Sıcaklığın alaşımların sünekliği üzerine de büyük bir etkisi söz konusudur. Şekil 5.3'de sıcaklığın alaşımların yüzde uzamasına etkisi gösterilmiştir. Gösterildiği üzere ZA27 dışındaki alaşımların kopma uzamaları -40°C'de yaklaşık %18 değerindeyken 160°C'de bu oran %80-90'a kadar çıkmaktadır.



Şekil 5.3 Zamak alaşımlarında sıcaklık-uzama yüzdesi ilişkisi [29]

5.4 Zamak Döküm Alaşımlarının Kimyasal Özellikleri

Geçtiğimiz yüzyılın başlarında %84 çinko, %10 kalay, %4 bakır, %1 antimon ve %1 kurşun bileşiminden meydana gelen ve Solge bronzu adıyla tanınan çinko alaşımları, genellikle süs eşyalarının üretiminde kullanılmaktaydı. Sonrasında alüminyum alaşımlarının gelişmesi ile bu gibi çinko alaşımlarında kullanılan kalaya olan rağbeti azaltıp, bakır ve alüminyumlu yeni alaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır [30].

New Jersey Çinko Şirketi (New Jersey Zinc Corporation) tarafından Zamak ticari adıyla piyasaya sürülen alaşımın kimyasal içeriğindeki alüminyum miktarı %3,8-4,1 aralığındaydı. Daha sonrasında geliştirilen ve alaşımlandırma miktarı artan Zamak ve ZA alaşımlarının kimyasal kompozisyonu Tablo 5.3'de gösterilmektedir.

Buna göre Zamak alaşımlarında sabit yaklaşık %4 oranında alüminyum bulunmakla beraber, Zamak 2 alaşımında %2,7 bakır, %0,003 magnezyum, Zamak 3 alaşımında %0,2 bakır, %0,04 magnezyum, Zamak 5 alaşımında %1bakır, %0,3 magnezyum içerirken, ZA 8 alaşımı ise %8 alüminyum, %1'e yakın bakır, eser miktarda magnezyum bulunmaktadır. Alaşımlar %0,075 demir, %0,003 oranında kalay, %0,006'dan düşük miktarda ise kadmiyum ve kurşun içermektedir.

Tablo 5.3 Zamak ve ZA alaşımlarının kimyasal kompozisyonu [23]

Elementler	Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	Zamak 7	ZA 8	ZA 27
Alüminyum, %	3.5-4.3	3.5-4.3	3.5-4.3	3.5-4.3	8.0-8.8	25.0-28.0
Bakır, %	2.5-3.0	0,25	0.75-1.25	0,25	0.8-1.3	2.0-2.5
Magnezyum, %	0.02-0.05	0.02-0.05	0.03-0.08	0.005-0.02	0.015-0.03	0.01-0.02
Demir (maksimum), %	0,1	0,1	0,1	0,075	0,075	0,075
Kurşun (maksimum), %	0,005	0,005	0,005	0,003	0,006	0,006
Kadmiyum (maksimum), %	0,004	0,004	0,004	0,002	0,006	0,006
Kalay (maksimum), %	0,003	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003
Çinko, %	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı	Geri Kalanı

Zamak alaşımlarının mekanik dayanımları kullanım alanlarına göre ufak farklılıklar göstermektedir. Düşük sürtünme katsayısı sayesinde düşük ortam sıcaklıklarında çalışan yatakların hammaddesi olarak tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek basma dayancı ve düşük maliyeti Zamak alaşımlarını öne çıkarmıştır. Alaşımlara ihtiva eden bakır, malzemelerin boyutsal stabilitesini sağlamadığı halde düşük darbe dayancına neden olmaktadır.

Zamak 3, yüksek dayanım, süneklik, düşük maliyet ve boyutsal stabilite gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Zamak 5 ise Zamak 3'ten türetilmiş olup daha yüksek dayanım ve sertliğe sahiptir [31]. Bu sayede daha geniş bir kullanım alanı vardır. ZA 8 alaşımı diğer iki alaşımın sahip olduğu sertliğin yaklaşık olarak 1,15 katı sertliğe sahiptir. Bunun yanı sıra sürünme direnci daha yüksektir.

Zamak Alaşımlarının Modifikasyonu

Zamak alaşımlarının modifikasyonunu anlayabilmek için öncelikle ana alaşım elementleriyle yaptığı fazların anlaşılması gerekmektedir.

6.1 Zamak Alaşımlarının Faz Denge Diyagramları

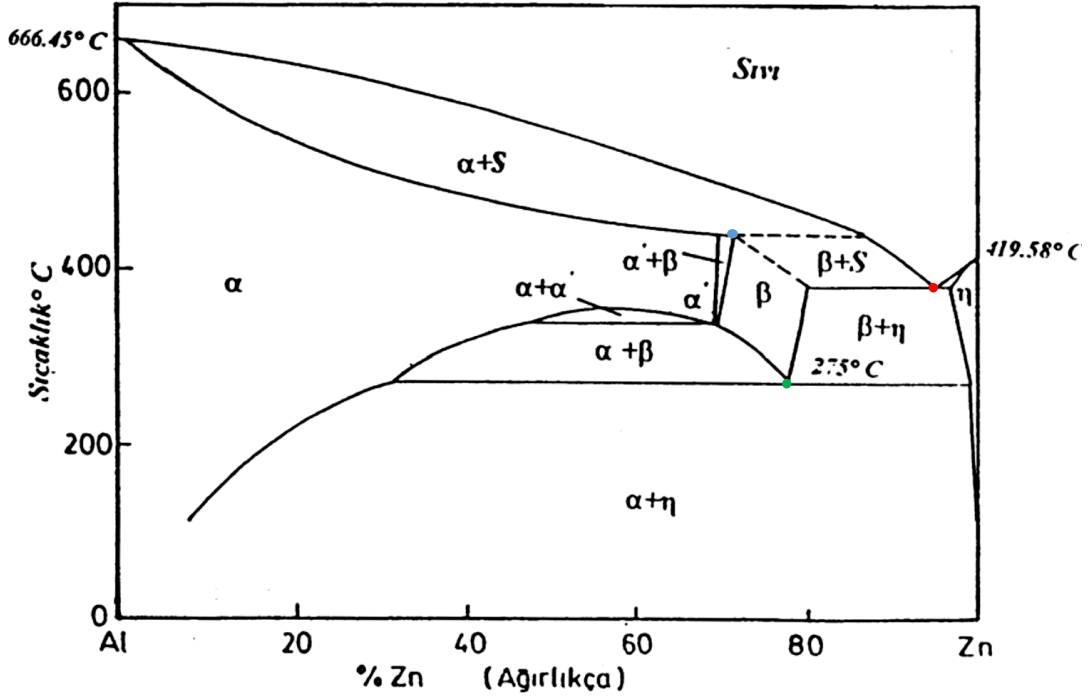
6.1.1 Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı

Çinko-Alüminyum faz diyagramı üzerine çalışmalar 80 yıl kadar önce Prensyaşkov ve arkadaşları [32] tarafından başlatılmış, günümüzde kullanılan son haline ise Goldak ve Parr'ın yaptığı çalışmalar sonucunda ulaşılmıştır [33]. Şekil 6.1'de çinko-alüminyum faz diyagramı verilmiştir [28]. Burada alüminyum içerisinde çözünen çinko α , α' ve β fazlarını oluşturmaktadır. α ile ifade edilen bölge alüminyumca zengin katı ergiyiği, α' ile ifade edilen bölge monoötektoidin çinkoca zengin kısmını, η ile ifade edilen bölge çinkoca zengin katı ergiyiği ve β ile ifade edilen bölge ise çinkoca zengin peritektik fazı göstermektedir [34].

Denge diyagramı incelendiğinde peritektik, ötektik ve ötektoid dönüşümlerinin gerçekleştiği sıcaklıklar ile çinko oranları Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Bunun yanı sıra 340-351°C sıcaklıkları arasında farklı miktarlarda çözünmüş çinko içeren alüminyumca zengin katı ergiyikler, farklı kafes parametrelerine sahip olmaları nedeniyle α ve α' olarak iki farklı grup olarak meydana gelmektedirler. 340°C'de bu bölge ($\alpha+\alpha'$) dengede olduğu görülmektedir. Peritektik noktasından sonra β fazı oluşmaya başlar. $\alpha'+\beta$ fazı, %69,5 çinko içeren ötektoid noktadan, peritektik noktaya kadar çok dar bir alanda oluşmaktadır. 275°C'de ötektoid dönüşüm noktasından sonra β fazı, %0,6 alüminyum içeren çinkoca zengin hekzagonal sıkı paket kristal yapıya sahip η katı ergiyiğine ve %68,4 alüminyum içeren kübik yüzey merkezli (YMK) kristal yapıya sahip α katı ergiyiğine dönüşür [28].

Tablo 6.1 Çinko oranına bağlı dönüşümlerin gerçekleştiği sıcaklıklar [28]

Dönüşüm	Çinko (%)	Sıcaklık (°C)
• Peritektik	70	443
• Ötektik	94,9	382
• Ötektoid	78	275



Şekil 6.1 Zn-Al faz diyagramı [28]

Artan sıcaklığa bağlı olarak çinko içerisindeki alüminyum çözünürlüğü de artmaktadır.

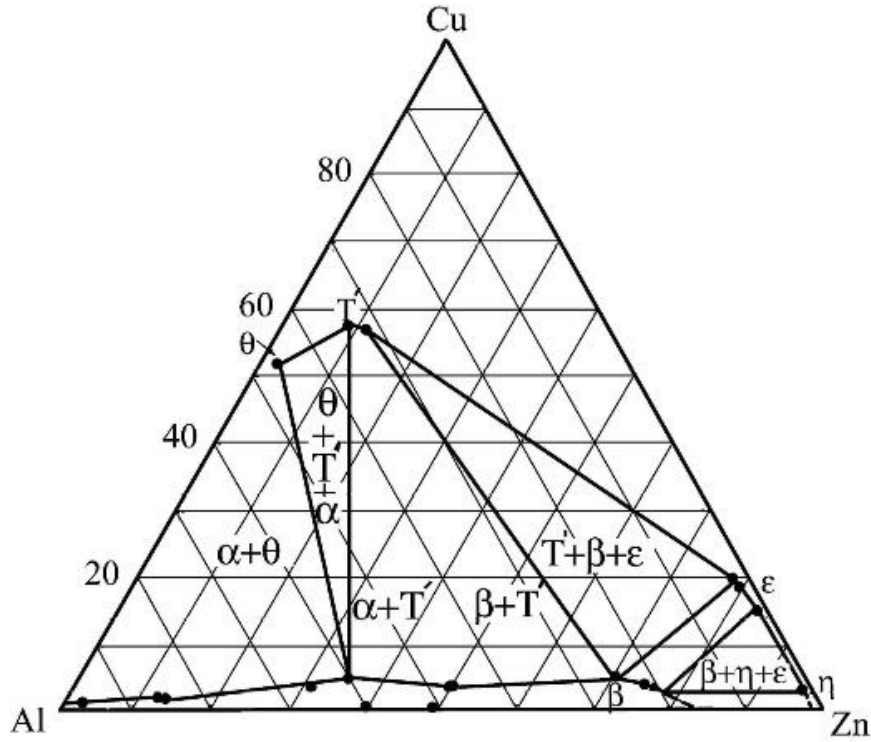
340°C'de %70 oranında çinko içeren YMK kristal yapıya sahip β fazının kafes parametresi 4,04 Å iken, %76 oranında çinko içeriğine sahipken bu kafes parametresi 4,03 Å değerine düşmektedir.

Hekzagonal sıkı paket (SPH) kristal yapıya sahip saf çinkonun kafes parametreleri; $a = 2,6595$ Å, $c = 4,9368$ Å'dür. Çinkoda çözünen alüminyum miktarı en üst seviyesindeyken bu değerler; $a = 2,665$ Å, $c = 4,987$ Å olmaktadır.

Normal şartlar altında saf alüminyumun kafes parametresi 4,0414 Å iken, %65 oranında çinko içeren α bölgesinde bu değer 4,0 Å'dür.

6.1.2 Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı

Çinko-bakır-alüminyum üçlü faz diyagramı üzerine Murphy'nin yaptığı çalışmalar ışığında bu diyagramın 350°C'deki izotermal kesiti Şekil 6.2'de gösterilmiştir [32]. Oluşturulan bu diyagram düşük bakır oranına sahip bir alaşımın diyagramıdır. Bu diyagramda α , β ve η çinko-alüminyum faz diyagramında olduğu gibi sırasıyla alüminyumca zengin fazı, çinkoca zengin fazı, çinkoca zengin katı ergiyik fazı temsil etmektedir. ϵ (CuZn_4) ile bakırca zengin metastabil fazı, θ (CuAl_2) ile bakır ile alüminyumun oluşturduğu intermetalik fazı, T' ($\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$) ile de bakırca zengin kararlı faz gösterilmektedir. Bu alaşımda meydana gelen intermetalik ϵ , θ ve T' fazları nedeniyle çinko-alüminyum faz diyagramına nispeten oldukça karışıktır. Çinko-alüminyum-bakır alaşımında meydana gelen katı hal dönüşümleri Tablo 6.2'de ifade edilmiştir [28].



Şekil 6.2. 350°C'de Zn-Al-Cu üçlü faz diyagramının izotermal kesiti [32]

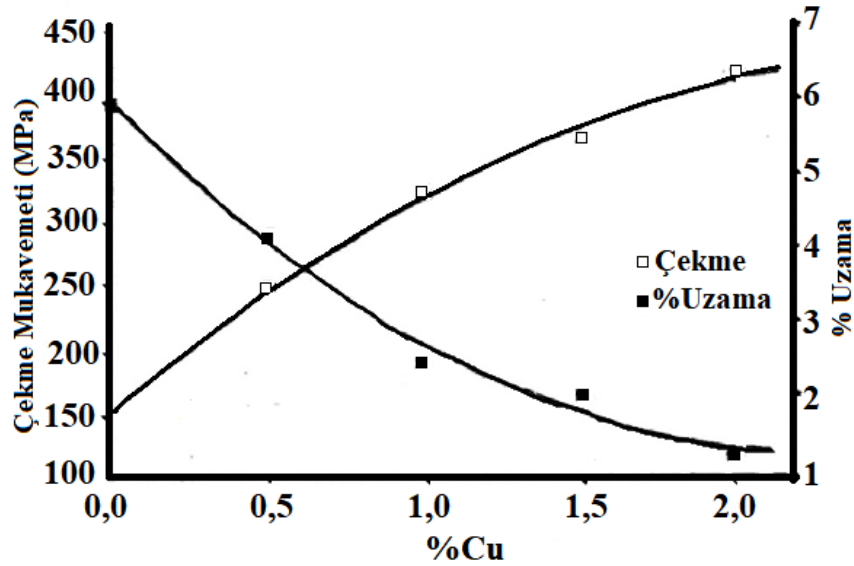
Tablo 6.2 Üçlü faz diyagramında meydana gelen dönüşüm ve sıcaklıkları [28]

Dönüşüm	Sıcaklık (°C)
$\alpha + \varepsilon \rightarrow T' + \eta$	268
$\beta \rightarrow \alpha + \eta$	275
$\beta + \varepsilon \rightarrow \alpha + \eta$	276
$T' + \beta \rightarrow \alpha + \varepsilon$	288

6.2 Zamak Alaşımlarına Etki Eden Başlıca Alaşım Elementleri

6.2.1 Bakır

Çinko ve alüminyumdan sonra Zamak alaşımlarında önem arz eden bir diğer element de bakırdır. Çekme mukavemetini ve sertliği yükseltici özelliği nedeniyle bakır, Zamak alaşımlarına ilave edilmektedir. Mikro yapıda bulunan bakır, çekme mukavemetini arttırırken, kopma uzamasında düşüşe neden olmaktadır. Diğer bir deyişle süneklikleri azalmaktadır. Şekil 6.3’de bakır oranının alaşımın yüzde uzaması ve çekme mukavemetine etkisi gösterilmiştir [28].



Şekil 6.3 Alaşımın bakır içeriğinin çekme mukavemeti ve kopma uzamasıyla olan ilişkisi [28]

Artan bakır oranıyla birlikte ötektik yapı da alüminyumca zenginleşerek artmaktadır. Bu durum artan ötektikte CuZn_4 içeriğine sahip yarı kararlı ε fazının çökmesine imkan tanıyan η matrisini oluşturmayı sağlar. Bu çökelmenin mekanik

özellikleri arttırdığı düşünülmektedir. 268°C'nin altındaki sıcaklıklarda ϵ fazı kararlı bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle T' ($\text{Al}_4\text{Zn}_3\text{Cu}$) fazına geçmesi gerekmektedir. %30 alüminyum, %12 çinko ve %58 bakır içeren bu faza geçiş alüminyumun ϵ fazına difüzyonu sonucu oluşmaktadır [31].

6.2.2 Magnezyum

Magnezyumun Zamak alaşımlarındaki çözünmesi oldukça sınırlıdır. Magnezyumun ötektoid alaşım içerisinde çözünürlüğü %0,025'dir. Bu nedenle Zamak alaşımlarına magnezyum takviyesi ancak %0,025-0,1 seviyelerinde yapılabilir. Magnezyum, Zamak alaşımlarında η matris fazında kristal yapıya sahip $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ bileşiminde bulunmaktadır.

Zamak alaşımından bulunan magnezyum bileşimleri yapının, %0,07 oranına kadar çekme mukavemetini arttırmakta sonrasında ise düşmesine neden olmakla beraber magnezyum ilavesi yapılan tüm oranlarda sürünme mukavemetini ve sertlik değerini arttırmaktadır. Magnezyumun bir diğer işlevi ise tanelerarası korozyona neden olabilecek kurşun, kalay ve kadmiyum elementlerinin oluşturduğu etkiyi azaltmaktır. Ayrıca Zamak 3 dışındaki Zamak alaşımlarının sünek-gevrek geçiş sıcaklığını düşürmektedir. Alaşım içeriğinde magnezyum oksit oluşumu akışkanlığın düşüşüne neden olmaktadır [35].

6.2.3 Mangan

Manganın da aynı magnezyum gibi çinko içerisindeki çözünürlüğü oldukça düşüktür. 400°C'de manganın çinko içindeki oranı ancak %0,8 seviyelerindedir. Çinko alaşımları içerisinde çözünen mangan miktarı ise daha da düşüktür. Zamak 3 üzerinde yapılan çalışmaya göre artan sıcaklıklara bağlı olarak alaşım içinde çözünen mangan miktarı da artmaktadır. 390°C'de %0,0006'lık bir değere sahipken 420°C'de bu oran %0,013'e kadar çıkmaktadır. Mangan çinko alaşımlarının yapısında, ortorombik kristal yapıya sahip Al_3Mn ve Al_6Mn metallerarası bileşikler şeklinde bulunmaktadır.

Kanada’da ZA 8 üzerine yapılan bir çalışma sonucuna göre, yapıda %0,05 oranına kadar manganın varlığı çekme mukavemetini arttırdığı, bu değerin üstündeki değerler de ise dayanımın azalmasına neden olduğu görülmüştür [35].

6.2.4 Titanyum

Titanyum, çinko içerisinde yaklaşık %0,11 oranında çözünmektedir. Ötektik yapıda çinko ile oluşturduğu Al_5Ti_2Zn metallererarası bileşiklerin, alaşımların mikroyapısında tane inceltici etkiye sahip olduğu görülmüştür. Tane boyutundaki düşüşe bağlı olarak sünekliği artmaktadır. ZA alaşımlarında %0,01-0,2 aralığında titanyumun sertliğe bir etkisi olmazken, %0,1 üzerindeki oranlarda çekme mukavemetini düşürmektedir [28].

6.2.5 Lityum

Lityum, düşük alüminyum içeren çinko alaşımlarına %0,07-0,19 oranlarında eklenmektedir. Lityum, alaşımların sertlik, çekme mukavemeti ve sürünme mukavemetini arttırmaktadır. ZA27 üzerine yapılan bir araştırma sonucuna göre %0,1 oranındaki lityumun alaşımda, sertlik ve dayanımı arttırdığı, çekilme boşluklarını ise azalttığı görülmüştür [27].

6.2.6 Silisyum

Saf çinko içerisinde çinkonun çözünürlüğü yok denecek kadar azdır. Zamak alaşımlarında da düşük çözünürlüğü nedeniyle faz değişimlerine etkisi olmamaktadır. Zamak alaşımlarında %0,02’ye kadar bulunan silisyumun, çekme dayancını arttırdığı halde sünekliliği, darbe dayanımını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür.

%25 oranında alüminyum içeren çinko alaşımı üzerine Savaşkan ve Murphy tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, alaşıma %2,1-5,6 oranlarında ilave edilen silisyumun, sertlik ve aşınma direncini sürekli arttırdığı, %2,7 silisyum oranının üstündeki değerlerde ise çekme dayanımında düşme gerçekleşmiştir [27].

6.2.7 Krom

Krom, alaşım içerisinde intermetalik CrAl_4 ve CrAl_7 bileşikler halinde bulunmaktadır. Bu bileşikler alaşımın sürünme dayanımını arttırmaktadır. Kromun alaşımlardaki varlığı katılaşmayı hızlandırarak döküm kabiliyetini düşürmektedir [37].

6.2.8 Diğer Alaşım Elementleri

Yapılan araştırmalar sonucu periyodik tabloda IA grubunda yer alan lityum, sodyum, potasyum ve sezyum elementleri ile IIA grubunda yer alan berilyum, kalsiyum, stronsiyum ve baryum elementlerinin Zamak alaşımlarının mekanik özelliklerini etkilediği bulunmuştur. Bu gruplarda yer alan elementlerin alaşıma %0,02 ila %0,1 aralığında ilave edilmesiyle, alaşımda meydana gelen çekilme boşluklarının önüne geçilmiştir. Bu araştırmalarda, berilyum, sodyum ve kalsiyum elementlerinin alaşıma katılması durumunda çekme dayanımının değişmediği, darbe direncinin düştüğü grlmştir [3].

Fluks maddelerle birlikte nadir toprak elementlerinin tanelerarası korozyon dayanımı ve mukavemeti yükselttiği grlmştir. Alaşımlarda intermetalik FeAl_3 bileşikleri halinde bulunan demir, alaşımın darbe dayanımını ve sünekliğini düşürmektedir. Bu yüzden alaşım içerisindeki demirin %0,075 oranını aşmaması tavsiye edilmektedir [38].

Proses Optimizasyonu

Zamak basınçlı döküm alaşımlarının döküm prosesinde, nihai ürünlerin kalitesini ve mekanik dayanımlarına etki eden birçok etken parametre mevcuttur. Bu etkenlerin başında besleme sistemi ve kalıp tasarımı gelmektedir. Bunun yanı sıra döküm prosesinde kullanılan tercih edilen enjeksiyon parametreleri de parça kalitesi ve mekanik dayanımları doğrudan etkilemektedir. Besleme sistemi ve kalıp tasarımı doğru tasarlansa dahi dökümde seçilen parametreler kötü kalitede ve düşük dayanımlara sahip parçaların üretimine neden olabilmektedir. Besleme sistemi ve kalıp tasarımı dışında; döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, dolum süresi, piston ve nozül giriş hızları, enjeksiyon basıncı ve katılaşma esnasında uygulanan yoğunlaştırma basıncı göz önüne alınması gereken parametrelerdir.

7.1 Besleme Sistemi ve Kalıp Tasarımı

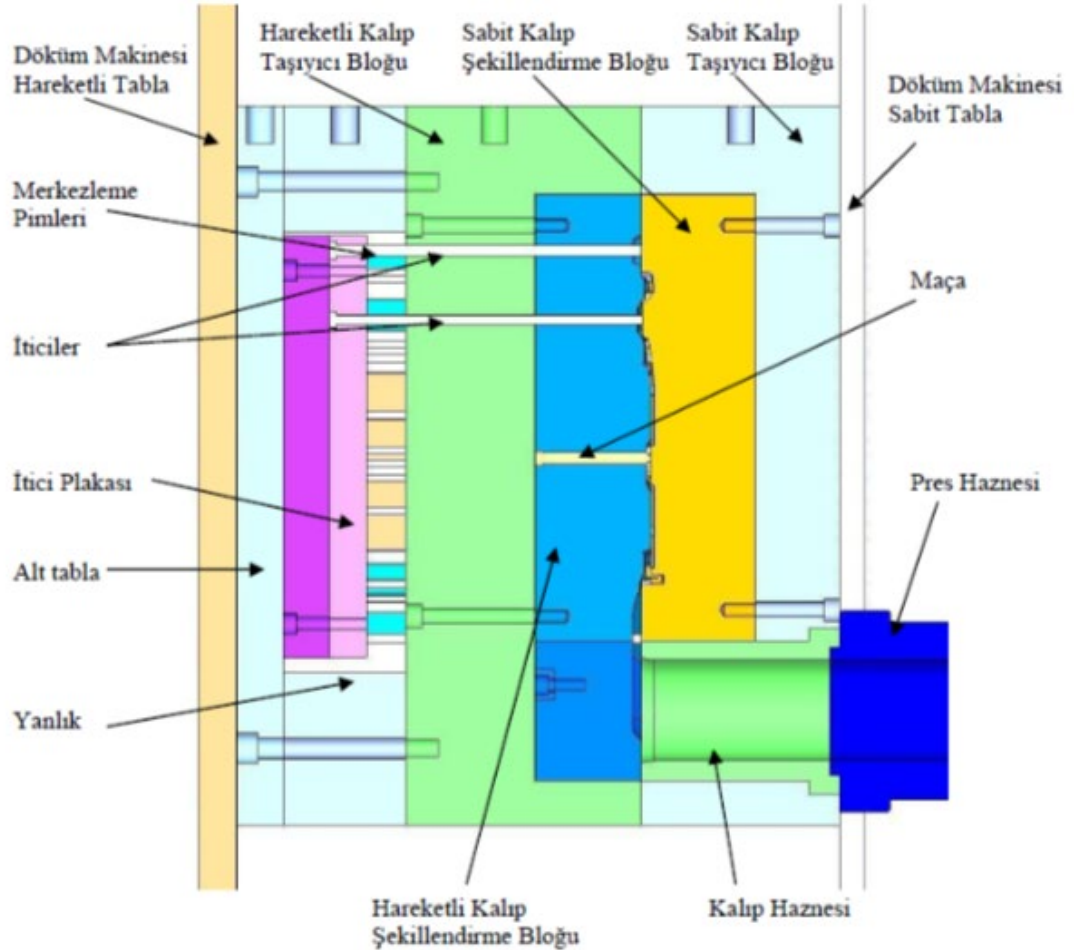
Basınçlı döküm yönteminde kullanılan kalıplar parçanın kalıptan kolayca çıkarılabilmesi için hareketli ve sabit iki parçadan oluşmaktadır. Sabit kalıp parçası çevrim esnasında hareket etmezken, hareketli kalıp parçası dolumdan önce kapanır, katılaşma sona erdiğinde ise açılarak hareket etmektedir.

Kalıp boşluğu üretimi yapılacak parçanın negatifi olarak düşünülebilir. Genellikle bu boşluğun yarısı hareketli, diğer yarısı ise sabit kalıpta yer almaktadır. Fakat yine de her zaman buna gerek kalmayabilir. İki kalıbın birleşme yüzeyi, ayırma yüzeyi olarak adlandırılır ve parçanın en geniş yüzeye sahip alanı bu ayırma yüzeyinden geçmelidir. Ayırma yüzeylerinin iyi işlenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca kalıplar kapandığında bu yüzeyde boşluk kalmaması gerekmektedir. Aksi takdirde üretimi yapılan parçada çapak olarak adlandırılan fazla metal oluşmasına neden olabileceği gibi iş güvenliğini de riske atabilir.

Dökümü yapılan parçanın kalıptan uzaklaştırılması itici pimler yardımıyla gerçekleştirilir. İtici pimler, sıcak parçanın üzerinde deformasyona neden olmaması

amacıyla hava cepleri ve yolluk kanalları üzerine temas etmesi tercih edilir. İtici pimler, itici plakası üzerindedir ve kalıbın açılması ile birlikte çalışırlar.

İtici pimlerin dışında kalıp üzerinde maçalar bulunabilir. Maçalar, dökümü yapılacak parçada istenilen deliklerin oluşturulmasını sağlar. Maçaların geometrik yapısı istenilen deliğe göre, yuvarlak, dikdörtgen, kare, çokgen, kanallı diş açılmış, kama kanalı veya çeşitli tipte kanallı olabilmektedir. Maçaların tasarımına bağlı olarak, döküm sonrası işçilik, talaşlı imalat gereksinimi ve ağırlık azaltılabilir. Buna bağlı olarak da maliyetleri düşürebilmektedir. Maçalar da sabit veya hareketli olabilmektedir. Maçalar ayrılma yüzeyine dik ise sabit, ayrılma yüzeyine paralel ya da açılysa hareketlidir. Basınçlı dökümde kullanılan kalıp ve parçaları Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

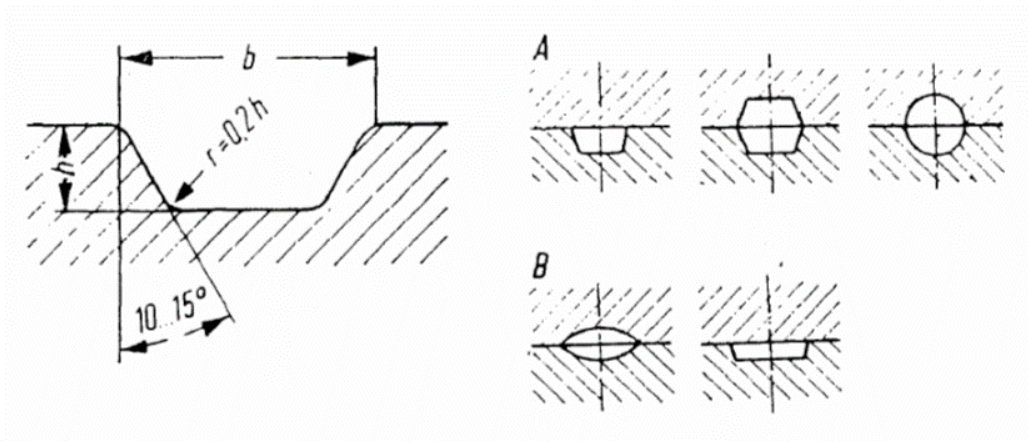


Şekil 7.1 Yalın bir basınçlı döküm kalıbı ve parçaları [24]

Bunlar dışında kalıp üzerinde yolluk, hava kanalları ve hava cepleri bulunmaktadır. Parça içerisinden porozitelerin oluşmaması ve dolumun sağlıklı gerçekleştirilmesi

adına bu parçaların kalıp üzerindeki konum ve şekilleri çok büyük önem taşımaktadır.

Yollukların tasarımı yapılırken döküm yöntemi göz önüne alınması gereken en önemli unsurlardan biridir. Yolluk tipine göre istenilen yüzey hassasiyetini sağlayabilecek kesit hesabı yapılır. Şekil 7.2’de yolluk tiplerine bağlı kesitler gösterilmiştir. Çinko alaşımları için yolluklar tasarımında $h=1/b=4$ oranı tavsiye edilmektedir [39]. Yolluk meme aralığı parça et kalınlığından fazla olmamalıdır. Meme aralığı istenilen yüzey kalitesine doğrudan etki etmektedir.

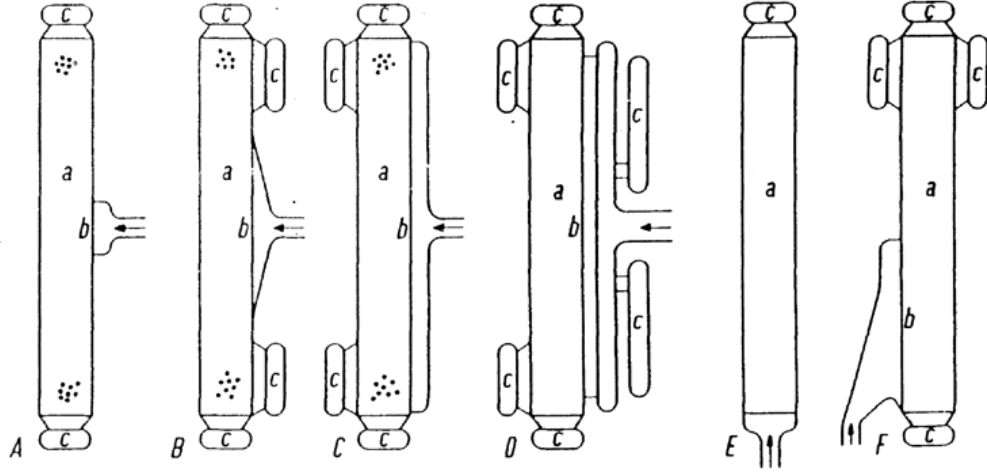


Şekil 7.2 Yolluk tiplerine bağlı kesitler (A uygun, B uygun olmayan) [39]

Ergimiş metalin kalıp boşluğuna taşındığı kısma yolluk girişi, yolluk kanalının parça ile birleştiği kısma ise meme adı verilmektedir. Meme kesiti, yolluk kanalından gelen ergimiş metali yüksek hızda ve kısa sürede kalıbı doldurabilmesi için yolluk kanalına göre daraltılır. Memeler kalıpta metalin dolaşımını en rahat sağlayabilecek konumlarda olmalıdırlar. Yolluk girişleri genellikle en kalın et kalınlığına sahip bölgeden verilse bile bazen en ince et kalınlığına sahip noktalardan da verilebilmektedir. Basınçlı döküm kalıplarında tercih edilen yolluk girişleri aralıkları; geniş tiplerde 1,25 mm, dar tiplerde ise 0,625 mm kadardır. Çok büyük hacme sahip parçalar için bu ölçü 2,25 mm’den fazla olabileceği gibi düşük et kalınlığına sahip parçalarda ise önerilen ölçülerden daha küçük olabilmektedir.

Geniş aralığa sahip yolluk girişlerinde metal püskürmeden stabil bir akışla kalıbı doldurmaktadır. Düşük enjeksiyon hızına sahip ve kalıp sıcaklığının kontrol altında tutulması gereken üretimlerde bu tip yolluklar tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra

yolluğun parçadan ayrılması için ekstra işlem gerekebilmektedir. İnce kesitli parçalarda yüksek yüzey kalitesi için kullanılan ince kesitli yolluk girişleri ise püskürtme nedeniyle kalıbı deforme edebildiği gibi ergimiş metalin kalıba yapışmasına da neden olabilmektedir.



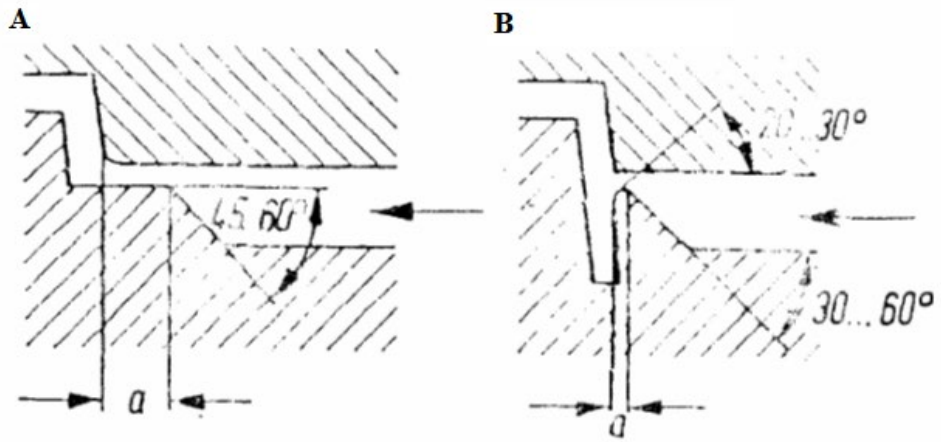
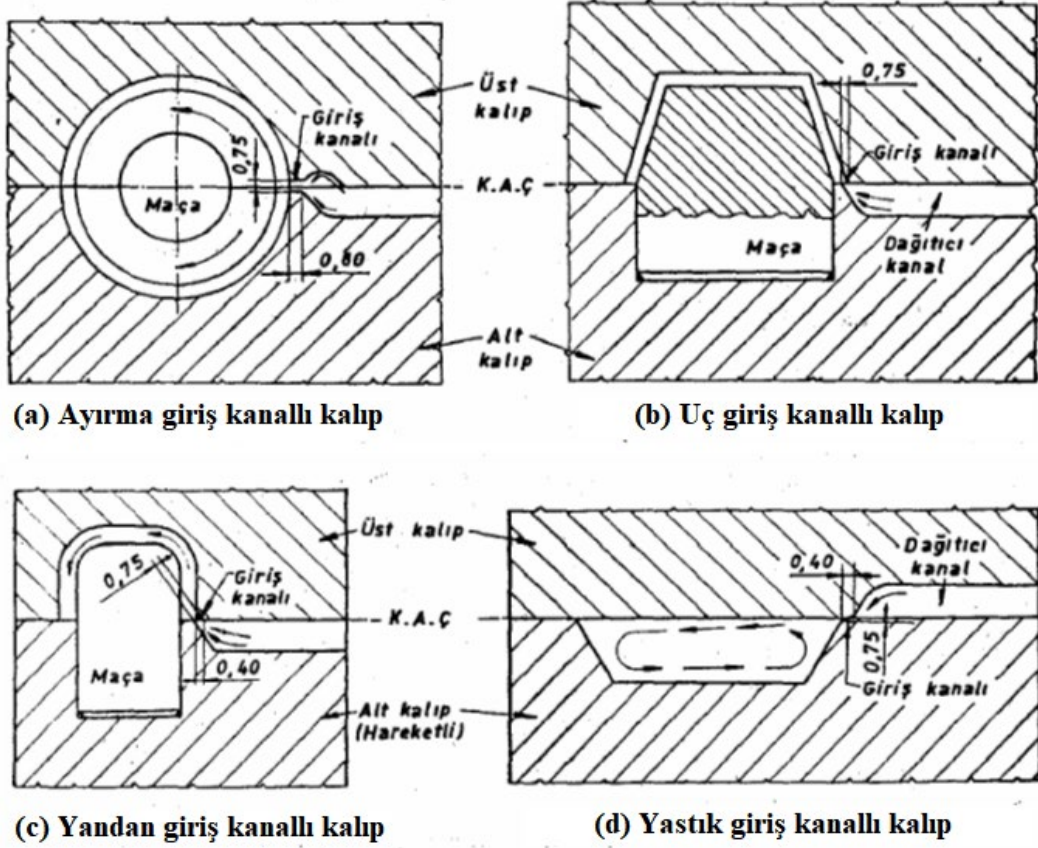
Şekil 7.3 İnce et kalınlığına sahip geniş yüzeyli döküm parçalarının yolluk tipleri [39]

Şekil 7.3’de gösterilen yolluk girişlerine sahip parçaların dökümünü incelemek gerekirse;

- A. Dolum tam gerçekleştirilemez, yüzey hatalarına rastlanabilir.
- B. Dolum iyi gerçekleşmez. Hava boşaltımı düzgün gerçekleşirse A’dan daha iyi yüzey elde edilebilir.
- C. A ve B’ye göre daha iyi yüzey elde edilebilir fakat porozite oluşumu kaçınılmazdır.
- D. Hava boşaltımı iyi gerçekleştirilmiş özellikle ince cidarlı çok iyi döküm parçaları elde edilebilir.
- E. Yolluk girişlerinin ergimiş metalle temas süresi fazla olduğu için iyi bir soğutma ile en iyi döküm parçaları elde edilebilir.
- F. Yolluk giriş genişliğinin daraltılmasıyla yüksek kalitede iyi döküm parçaları elde etmek mümkündür.

Şekil 7.3’de, (a) Kalıp boşluğunu, (b) yolluk girişlerini ve (c) hava ceplerini ifade etmektedir.

Yolluk kanalları mümkün olabildiği kadar kısa ve genişliği düşük olmalıdır. Ayrıca metal sıcaklığını koruyarak kalıp boşluğunu en kısa sürede kusursuz şekilde dolduracak geometrik yapıya sahip olmalıdır. Ergimiş metal olabildiğince yumuşak yani türbülansa neden olmayacak yön değişimleriyle kalıp boşluğuna tek bir doğrultuda girmelidir. Giren bu ergimiş metalin kalıp parçalarını deforme edecek etkileri olabildiğince önlenmelidir. Katılaşma sonrası üretimi gerçekleştirilen üründen parça koparmadan kolayca ayrılabilmelidir. Şekil 7.4’de yolluk kanal tipleri ve (A) normal ve (B) yüksek hızda akışlar için yolluk giriş kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Yolluk kanal tipleri ve giriş kesitleri [18]

Yolluk tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar şöyledir;

- Tek yolluk girişi tavsiye edilmekle birlikte, birden fazla yolluk girişi mevcutsa metal girişlerinin birbirlerini engellemesi sağlanmalıdır.
- Ergimiş metalin mümkün olduğunca sabit doğrultuda yayılımı sağlanmalıdır.

- Özellikle büyük parçalarda, metalin homojen dağılımı için yolluk girişleri parça ortasına yerleştirilmelidir.
- Hava cep ve kanallarının dolumu kalıp dolumundan sonra gerçekleşmelidir.
- Yolluk kanallarının tamamen dolumu sonrasında kalıp boşluğuna dolumu gerçekleşmelidir.
- İnce yolluk girişi ince cidarlı, kalın yolluk girişleri ise kalın cidarlı döküm parçalarında kullanılmalıdır.
- Parçada açılar varsa, metalin dağılımına yön vermek için kullanılmalıdır.
- Yolluk girişi ergimiş metalin karşı yüzeye çarpıp dağılmasına engel olacak şekilde konumlandırılmalıdır.
- Yolluk giriş kesiti, yolluk kanal kesitinden küçük olmalıdır. Aksi takdirde türbülansa ve hava boşluklarına neden olabilmektedir.
- Yolluk giriş kesiti ne kadar büyükse katılma süresi o kadar uzun zaman alır. Ayrıca yolluktan döküm parçasına basınç kaybı artar ve yolluk-parça arasındaki sıcaklık farkı azalır.
- Yolluk girişleri yüksek akış hızları için çok fazla inceltilmemelidir. Düşük kalınlığa sahip bölgede katılma erken olacağı için beslemeyi tamamlayabilir.
- Taraklı malzemelerin dökümünde birden fazla yolluk girişi kullanılmalıdır.
- Et kalınlığı düşük olan parçaların dökümünde, yolluk kanallarının kalınlığı, cidar kalınlığından %50 daha büyük ve yolluk genişliğinin ise yolluk derinliğinin 3 ila 5 katı kadar olması tavsiye edilmektedir. Parça boyutuna bağlı olarak yolluk girişlerinin kalınlıklarının ise 0,5-1,5 mm arasında olması tercih edilmektedir.

Kalıp boşluğunda bulunan hava ve metalin hareketi ile meydana gelen gazların basınçlı döküm parçalarının içine nüfuz etmesini engellemek amacıyla hava boşaltım kanalları ve cepleri kullanılmaktadır. Hava boşaltımı kalıp ayırım yüzeyine işlenen hava kanalları dışında, yolluk girişlerinin yanında veya karşısında ya da metal akış yönüne bağlı belirlenen noktalara uygulanır. Genellikle hava boşaltım kanallarının yolluk girişlerinin yanına konumlandırılması tavsiye edilmektedir. Kanallar kalıp dolumundan sonra ergimiş metal ile dolar. Kanal ve ceplerin tasarımında sıvı metalin havanın önüne geçmemesine dikkat edilmelidir. Bu durum

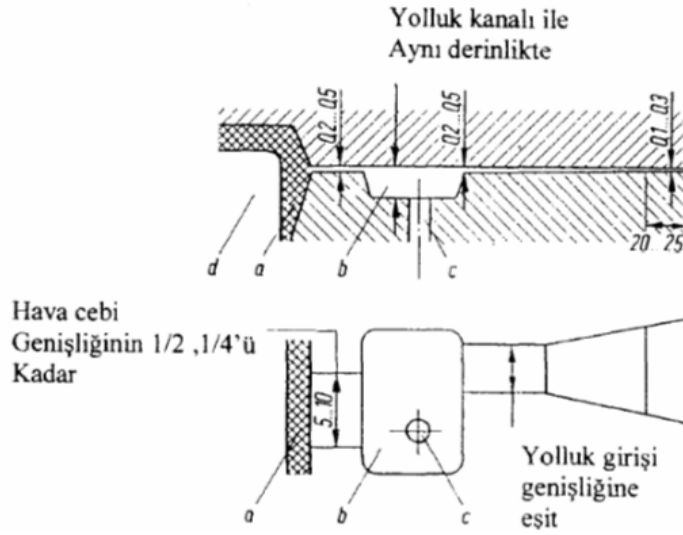
ergimiş metal debisinin artması ya da viskozitenin azalmasıyla da ortaya çıkmaktadır.

Hava boşaltımında kalıp elemanlarında da faydalanabilir. İtici pimler üzerine çizikler açılabilceği, kalıp üzerindeki önemi noktalar 0,3-0,8 mm çaplarında delikler de açılabilir. Seramik ve sinter metal filtrelerin kalıp boşluğuna yerleştirilmesiyle de hava boşaltımı gerçekleştirilebilir.

Hava kanalları genellikle, 0,05-0,12 mm derinliğinde ve 10-20 mm arasında genişliğe sahiptir. Kalıp boşluğundan 20-30 mm'den daha uzakta olan hava kanalları için derinlik %50'ye varan oranlarda arttırılabilmektedir.

Hava kanalları dışında porozitesiz döküm sağlayabilmek amacıyla hava cepleri tasarlanmıştır. Hava cepleri ilk enjeksiyon sırasında oluşan köpüksü metali tutarak, parça yüzey kalitesini ve dayanım özelliklerini artırır. Hava cepleri, yolluk girişinin karşısında kalan çerçeveli tasarıma sahip parçaların iç kısmına, kalıp boşluğunun dış kısmına konumlandırılabilir. Ceperin derinliği, en az yolluk kanallarının sahip olduğu derinliğe sahip olmalıdır. Bazı durumlarda bu derinlik, yolluk kanal derinliğinin 3-4 katına kadar çıkarılabilmektedir. Döküm parçası ile hava cepleri birbirlerine 0,2-0,5 mm derinliğe sahip kanallarla bağlanır.

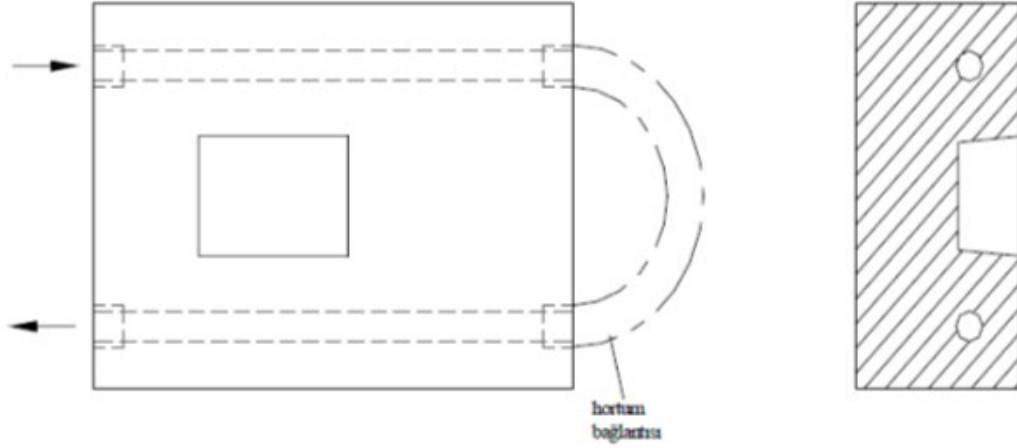
Hava cebinin büyüklüğü, döküm parçasına oranla 1/8'i kadar olmalıdır. Ayrıca kalıptan çıkarılırken deforme olup kırılarak kalıp üzerinde kalması engellenmelidir. Bu nedenle gerekirse itici pimler hava cepleri içinde kullanılmalıdır. Şekil 7.5'de hava cebi ile hava boşaltım kanalı tasarımı gösterilmiştir. Buna göre (a) döküm parçasını, (b) hava cebi, (c) itici pim, (d) çekirdektir. Hava cebinin derinliği yolluk derinliği ile aynı, genişliği ise yolluk genişliğinin 2-4 katı kadardır.



Şekil 7.5 Hava cebi ve boşaltım kanalı tasarımı [18]

Basıncılı döküm yönteminin avantajlarından biri de yüksek çevrim sayısına bağlı seri üretime olanak sağlamasıdır. Bu avantaj göz önüne alınarak kalıp tasarımları gerçekleştirilse dahi kalıbın bazı bölgeleri diğer kısımlarına oranla daha fazla ısıya maruz kalmaktadır. Bu nedenle bu kısımların soğutulması gerekmektedir. Soğutulması gereken bölgeler, su kalıp bloğuna işlenen soğutma kanallarından geçirilen soğutma suyu ile soğutulmaktadır. Gerekli durumlarda kalıp içerisinde hareket eden maça, itici pimler gibi parçalar da hareketlerinin engellenmemesi adına soğutma işlemine tabi tutulabilmektedir.

Soğutma kanalları ve bağlantıları çok iyi konumlandırılmalıdır. Herhangi bir sızıntıya neden olmamalıdır. Aksi takdirde ergimiş metalle temas eden soğutma suyu patlamalara neden olabilmektedir. Çelik kalıp malzemelerinin ısı şok sonucunda kırılma ve çatlak oluşumlarının önüne geçmek amacıyla su kanalları kalıp boşluğuna 20 mm'den fazla yaklaştırılmaması gerekmektedir. Çinko esaslı basıncılı döküm kalıplarında genellikle bakır borulardan yapılmış tek dönüşlü doğrusal su kanalları kullanılmaktadır. Bu sayede kalıp içerisinden geçen su miktarı artarken, soğutma suyundaki sıcaklık artışı en aza indirgenmiş olur. Şekil 7.6'de basıncılı döküm kalıplarında kullanılan soğutma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 7.6 Kalıp soğutma sistemi [18]

7.2 İşlem Parametreleri

7.2.1 Döküm ve Kalıp Sıcaklığı

Basıncılı dökümde, döküm sıcaklığı dökümü gerçekleştirecek alaşımın cinsine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Zamak 5'in döküm sıcaklığı 415-430°C aralığında iken artan alüminyum oranıyla birlikte ZA 27'nin döküm sıcaklığı da 530-580°C'lere kadar çıkabilmektedir. Döküm sıcaklığının alaşımın ergime sıcaklığıyla da doğrudan ilgisi vardır. Örneğin, Zamak 5 alaşımının ergime sıcaklığı 380-390°C olmasına karşın döküm sıcaklığı 415-430°C'dir. Genel olarak çinko alaşımlarının basıncılı dökümünde, döküm sıcaklığının belirlenmesinde aşağıdaki belirtilen Denklem 7.1'den faydalanır.

$$T_{dök} = T_{erg} + \Delta T \quad (\Delta T=30-90^{\circ}\text{C}) \quad (7.1)$$

Burada $T_{dök}$ döküm sıcaklığını, T_{erg} alaşımın ergime sıcaklığını, ΔT ise döküm kolaylığının sağlanması amacıyla seçilen sıcaklık farkını ifade etmektedir.

Basıncılı dökümde her çevrimde aynı kalite de ürün alabilmek için kalıp yüzey sıcaklıklarının eşit dağılım göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle kalıpların ısıtılması ya da soğutulması gerekmektedir [40].

Çinko alaşımları için tercih edilen kalıp sıcaklıkları estetik parçalar için 150-200°C iken, mekanik parçalar için 100-150°C aralığındadır.

Uygun olmayan kalıp sıcaklıklarında çalışılması, sıcak yırtılma ve soğuma esnasında yüksek çekme oranlarına sebebiyet vermektedir.

7.2.2 Dolum Süresi

Kalıp boşluğunun ergimiş metal ile doldurulması için geçen süreye dolum süresi denmektedir. Dolum süresi, kalıp ve besleyici sisteminin tasarımında ve döküm sıcaklığının saptanmasında önemli bir role sahiptir. Dolum sürelerinin doğru ayarlanmasıyla, birçok hatanın oluşumu en aza indirgenebilmektedir. Bu doğrultuda North American Die Casting Association tarafından dolum süresinin hesaplanması için geliştirilen denklemden yararlanılmaktadır (Denklem 7.2).

$$t = 0,0346T \frac{T_{dök}-T_f+2,5S}{T_f-T_d} \quad (7.2)$$

Denklemde, dolum süresini saniye (s) cinsinden “t” ifade edilmektedir. “T_{dök}” santigrat (°C) cinsinden döküm sıcaklığını, “T_f” santigrat (°C) cinsinden asgari debi sıcaklığını, “S” yüzde (%) olarak besleme akış hızına engel teşkil etmeyen azami katılaşma oranını, “T_d” santigrat (°C) cinsinden kalıp yüzey sıcaklığını ve “T” milimetre (mm) cinsinden et kalınlığının ortalamasını ifade etmektedir [41].

Eşitliğin kullanımı için örneğin, Zamak 5 için et kalınlığı ortalaması 3 mm olan bir parçanın dolum süresini belirleyelim. Zamak 5 döküm sıcaklığı 415-420 °C’dir ve kalıp sıcaklığı genellikle 150°C olarak seçilir. En düşük akış sıcaklığı ise Zamak 5’in ergime sıcaklığı olan 380°C ve azami katılaşma oranı %5 alınırsa, Denklem 7.2’den yararlanılarak, kalıp boşluğunun dolum süresi 0,023 s ya da 23 ms olarak belirlenir. Tablo 7.1’de Zamak 5 alaşımının işlem parametreleri gösterilmektedir.

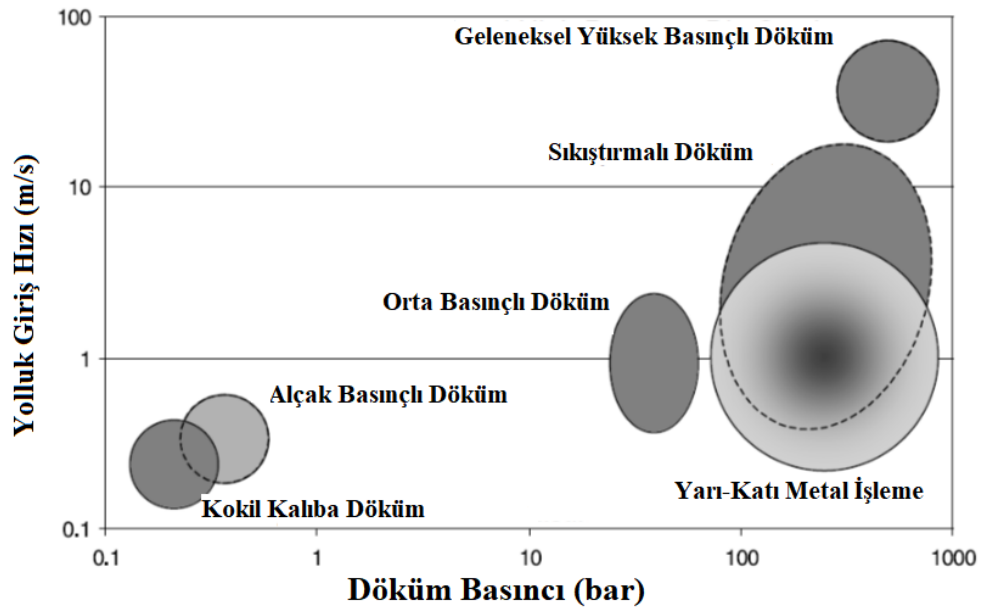
Tablo 7.1 Zamak 5’e ait döküm parametreleri [16]

Parametreler	Kalıp Yüzey Sıcaklığı (°C)	Kalıp Doldurma Süresi (ms)	Sıkıştırma Zamanı (s)	Döküm Sıcaklığı (°C)
Estetik Parçalar	150-200	<20	0,5-1	420-425
Mekanik Parçalar	100-150	<30	1-2	415-420

Dolum süresinin Zamak alaşımlarının basınçlı dökümünde önemli bir etkisi vardır. Belirlenen dolum süresi, alaşım içeriğine, kalıp yüzey ve döküm sıcaklığı ile et kalınlığına bağlı olarak 20'den düşük olması tavsiye edilmektedir. Yolluk giriş hızları, tatbik edilecek basınç ve piston hareket hızları tayin edilebilmektedir.

7.2.3 Yolluk Giriş Hızı

Yolluk giriş hızları tercih edilen döküm yöntemine ve kullanılan alaşıma göre farklılık göstermektedir. Şekil 7.7'de farklı döküm yöntemlerinde tavsiye edilen döküm basınçlarıyla yolluk giriş hızları arasındaki ilişki gösterilmiştir [21]. Görüldüğü üzere geleneksel yüksek basınçlı döküm yönteminde 500-900 bar aralığında uygulanan basınç sonucunda 30-90 m/s hızlarında yolluk giriş hızları elde edilmektedir. Çinko alaşımları için en yaygın kullanılan hız değerleri yaklaşık olarak 30-60 m/s aralığındadır. Bu değer, et kalınlığı düşük parçaların üretiminde 60 m/s'den yüksek değerlere çıkabilmekle birlikte, et kalınlığı daha yüksek parçalar da ise 30m/s'den düşük değerlere inebilmektedir. Yüksek yolluk giriş hızlarında kalıp aşınmasının oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak, yolluk giriş hızları döküm kalitesini kötü yönde etkilememesi adına olabildiğince düşük tutulmalıdır. Yolluk giriş hızlarının belirlenmesinde en unsurlardan birisi dolum süresidir.



Şekil 7.7 Döküm yöntemlerine göre döküm basıncının yolluk giriş hızıyla ilişkisi [21]

Yolluk giriş hızı, uygulanan piston basıncı dolayısıyla piston hızıyla bağıntılıdır. Fakat yolluk giriş hızı, her zaman uygulanan piston hızından daha fazladır. Bunun nedeni pistonun ergimiş metale uyguladığı basıncın yüzey alanının, yolluk giriş alanından yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Piston hızı, yolluk giriş hızı ve dolum süresinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitliklerden (7.3) (7.4) faydalanılmaktadır [41]. Burada “Q” m³/s biriminde sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurma debisini, “A_{pt}” m² biriminden pistonun sıvı metalle temas yüzey alanını, “V_{pt}” m/s biriminden piston hızını, “A_g” m² biriminden yolluk giriş kesit alanını, “V_g” m/s biriminden yolluk giriş hızını ifade etmektedir. Üretimi yapılacak döküm parçasının hacmi (Vol,m³) bilindiği takdirde, hacmin debiye bölümüyle dolum süresi (t) hesaplanabilmektedir.

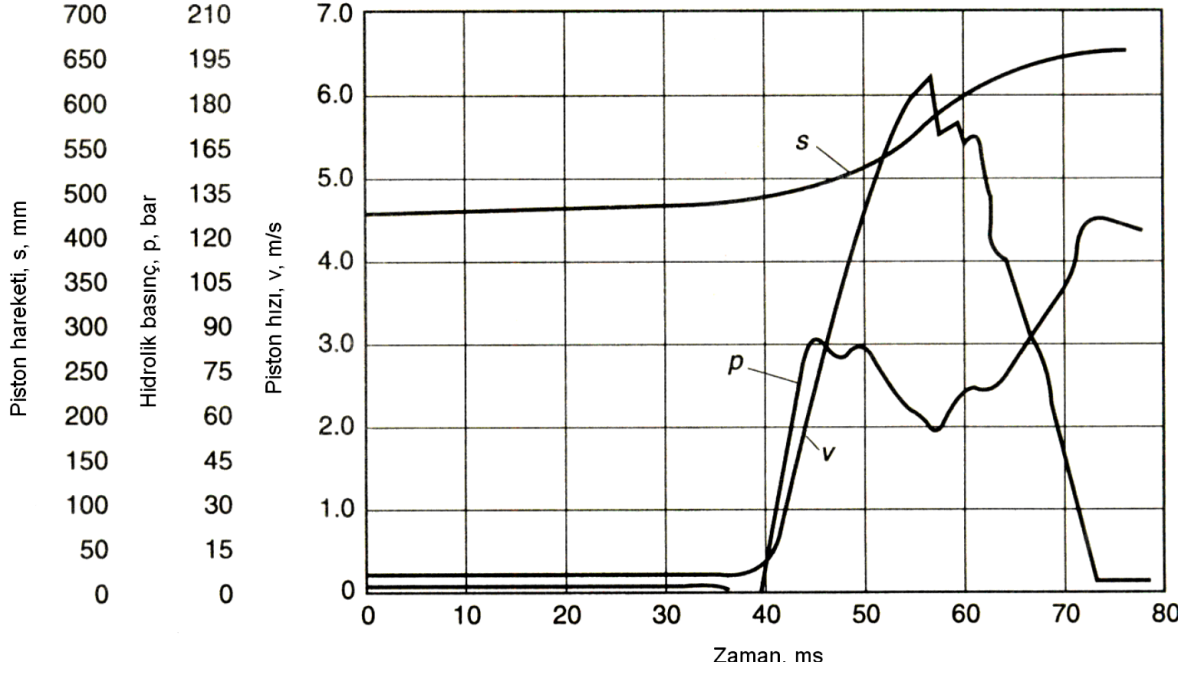
$$Q = A_{pt} \cdot V_{pt} = A_g \cdot V_g \quad (7.3)$$

$$t = \frac{Vol}{Q} \quad (7.4)$$

7.2.4 Kalıp İçi Spesifik Basınç

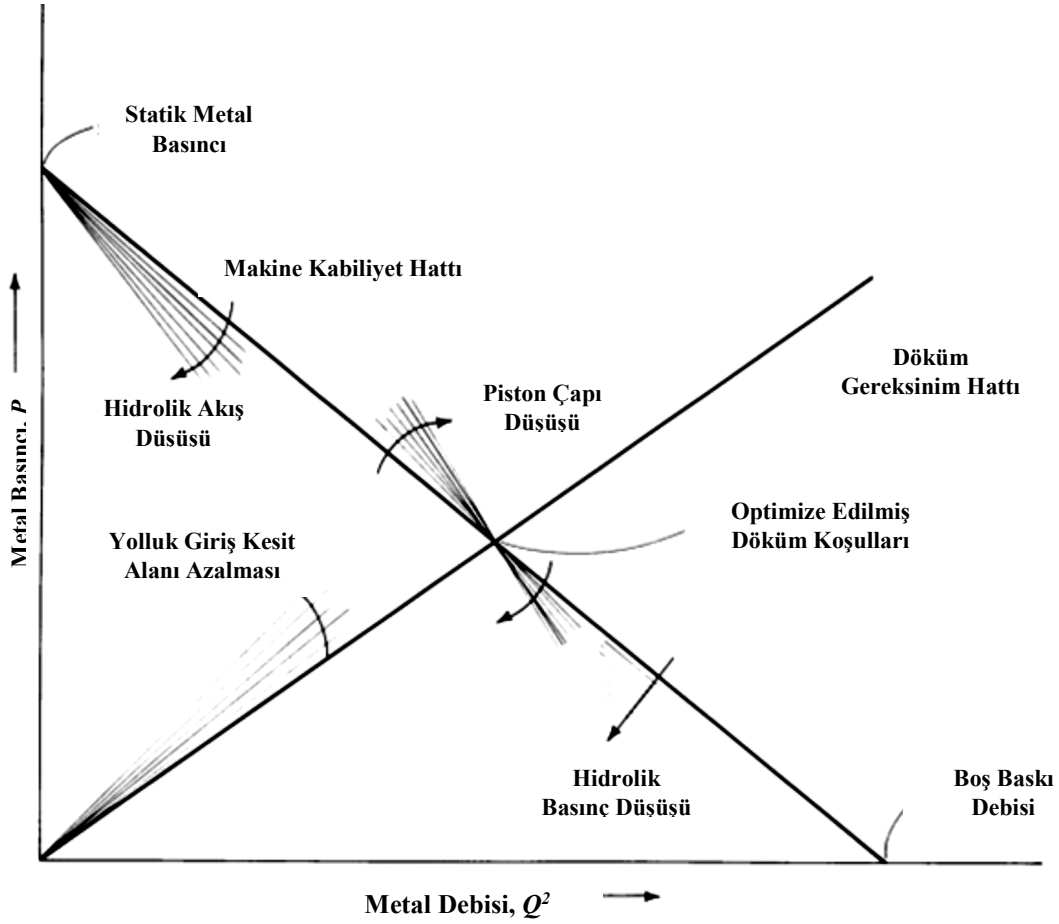
Yüksek basınçlı dökümde tercih edilen basınçlar Şekil 7.8’de gösterilmişti. 1 bar= 0,1 MPa olduğuna göre, yüksek basınçlı dökümde 20-100 MPa aralığında basınç uygulanmaktadır. Çinko ve alaşımlarının dökümünde sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi kullanılmaktadır. Sıcak kamaralı basınçlı dökümde tercih edilen döküm basıncı bu kadar üst seviyelere çıkmamaktadır. Bu yöntemde tercih edilen enjeksiyon basıncı 15 ila 40 MPa aralığında değişkenlik göstermektedir. Ayrıca bu yöntemde, soğuk kamaralı basınç döküm yönteminde, katılaştırma için kullanılan ekstra bir sıkıştırma işlemi bulunmamaktadır. Bu nedenle genellikle 25 MPa’ı aşmayan basınçlar altında parçaların katılaşması gerçekleştirilir.

Günümüzde kullanılan basınçlı döküm makineleri, enjeksiyon çevrimi için ihtiyaç duyulan dataların ayarlanabilmesine ve hafızaya alınmasına imkan tanımaktadır. Çevrimlerde, basınç ve hız değişimleri üretimin kontrol altında tutulabilmesi için en gerekli iki değişkendir. Şekil 7.8’de bu verilere ait enjeksiyon eğiliminin grafiği gösterilmiştir [40].



Şekil 7.8 Magnezyum alaşımlarına ait basınçlı döküm enjeksiyon eğilim grafiği [40]

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere sıvı metalin pistondaki debisi ve piston hızlarının bulunmasıyla enjeksiyon basıncı hesaplanabilmektedir. Uygun enjeksiyon basıncının bulunmasında, tatbik edilen basıncın (P), debinin karesi (Q^2) ile olan ilişkisinden yararlanılmaktadır. Şekil 7.9’de gösterilen P - Q^2 grafiği yardımıyla, yüksek kalitede ürünler elde edilebilmesi amacıyla yolluk giriş kesit alanı, piston çapı ve hidrolik basınç değerlerini optimumlaştırmaya olanak sağlayarak en uygun koşullarda döküm yapılmasını mümkün kılmaktadır [19].



Şekil 7.9 Çevrim değişkenlerinin belirlenmesinde kullanılan P-Q² grafiği [19]

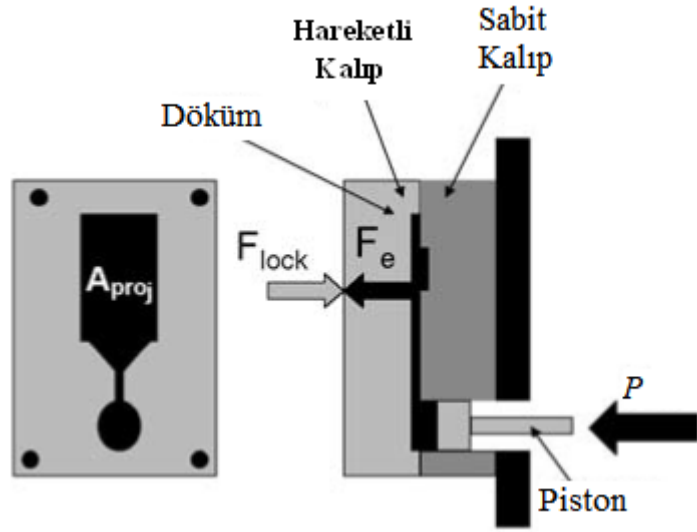
7.2.5 Kalıp Kapama/Kilitleme Kuvvetlerinin Hesaplanması

Basıncılı döküm yönteminde kalıp kilitleme kuvvetlerinin doğru hesaplanması hem parça kalitesini hem de iş güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Uygun kilitleme yapılmadığı takdirde parça üzerinde çapak oluşumu gözlenebileceği gibi, ergimiş metalin kalıp dışına basınçla çıkmasıyla yaralanma veya kazalara neden olabilmektedir. Bu nedenle kilitleme kuvvetleri dikkatlice irdelenmeli ve hesaplanmalıdır.

Basıncılı döküm yönteminde kalıp kilitleme kuvvetlerini hesaplamak için iki farklı yöntem kullanılabilmektedir. Bunlardan ilki E. Friedrich ve L. Mordike'in [42] ikincisi ise North American Die Casting Association [41] tarafından oluşturulan eşitliklerdir.

E. Friedrich ve L. Mordike kalıp kilitleme kuvvetlerinin hesaplanmasında kalıp boşluğunun izdüşüm alanı ile enjeksiyon basıncı arasında bir bağıntı elde

etmişlerdir. Bağintıyı anlayabilmek adına Şekil 7.10'de izdüşüm alanı ve enjeksiyon basıncı gösterilmiştir.



Şekil 7.10 Basıncı döküm makinelerinde iz düşüm alanı ile piston basıncı gösterimi [42]

Bu bağintıya göre, ilk olarak kalıp boşluğunun, yolluk ve hava cepleri de dahil olmak üzere izdüşüm alanı (A_{proj} , cm^2) hesaplanmaktadır. Bu projeksiyon alanının hesaplanmasında kalıp boşluğunun oluşturduğu yüzey alanının 1,75 katı da alınarak yolluk ve hava cepleri de alana dahil edilebilmektedir. Sonrasında kalıp içi spesifik basınç (P) göz önünde bulundurularak, katılma sonrası kalıbı açmak için gerekli kuvvet (F_e , kN) hesaplanır (Denklem 7.4). Kalıp açma kuvveti ile güvenlik değişkeninin (G_f) çarpılması ile kalıp kitleme kuvveti (F_{lock} , kN) bulunur (Denklem 7.5). Güvenlik faktörü, soğuk kamaralı basıncı döküm yönteminde 1,1 ile 1,3 aralığında seçilirken, sıcak kamaralı basıncı döküm yönteminde 1,3 ile 1,6 aralığından seçilmektedir [42].

$$F_e = A_{proj} \cdot P \quad (7.4)$$

$$F_{lock} = F_e \cdot G_f \quad (7.5)$$

Kitleme kuvvetinin hesaplanmasında diğer yöntem NADCA tarafından oluşturulmuş, kalıp kitleme kolon malzemesinin gerinim, elastisite modülü ve kolon yüzey alanı bağintısıdır. Bu yöntemde, öncelikle kullanılan malzemenin gerinim miktarı (ϵ), toplam uzamanın (ΔL , cm) ilk boya (L_0 , cm) bölünmesi ile hesaplanır (Denklem 7.6). Bu toplam uzamayı bulabilmek için iki farklı yöntem

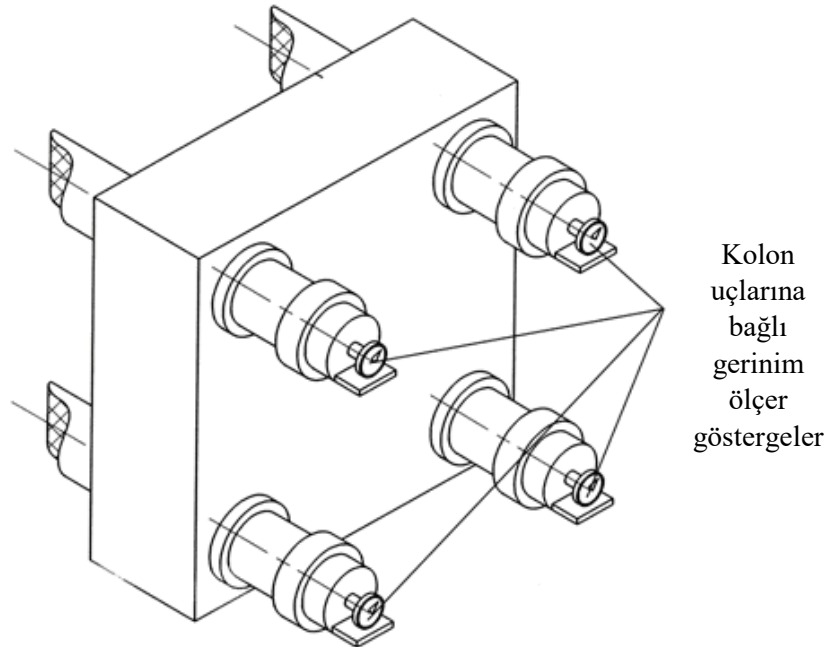
uygulanabilmektedir. Kolon çubuk üzerine bir delik açılarak çekme uygulanarak malzemenin kalıcı şekil değişikliğine kadar toplam uzama (ΔL) ölçülür. Diğer yöntemde ise, bağlantı çubuğuna kenetlenen ve mıknatıslar arasındaki gerginlik miktarını ölçen kadran göstergeli geçici bir manyetik cihaz kullanmaktır. Bulunana gerinim değerinin, kolon malzemesinin elastisite modülü (E) ve kolon dikey temas yüzey alanı (A_{tb}) (Denklem 7.7) ile çarpımı ile kolon kilitleme kuvveti (F_{tb}) bulunur (Denklem 7.8).

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (7.6)$$

$$A_{tb} = \pi \cdot D_{tb}^2 / 4 \quad (7.7)$$

$$F_{tb} = \varepsilon \cdot A_{tb} \cdot E \quad (7.8)$$

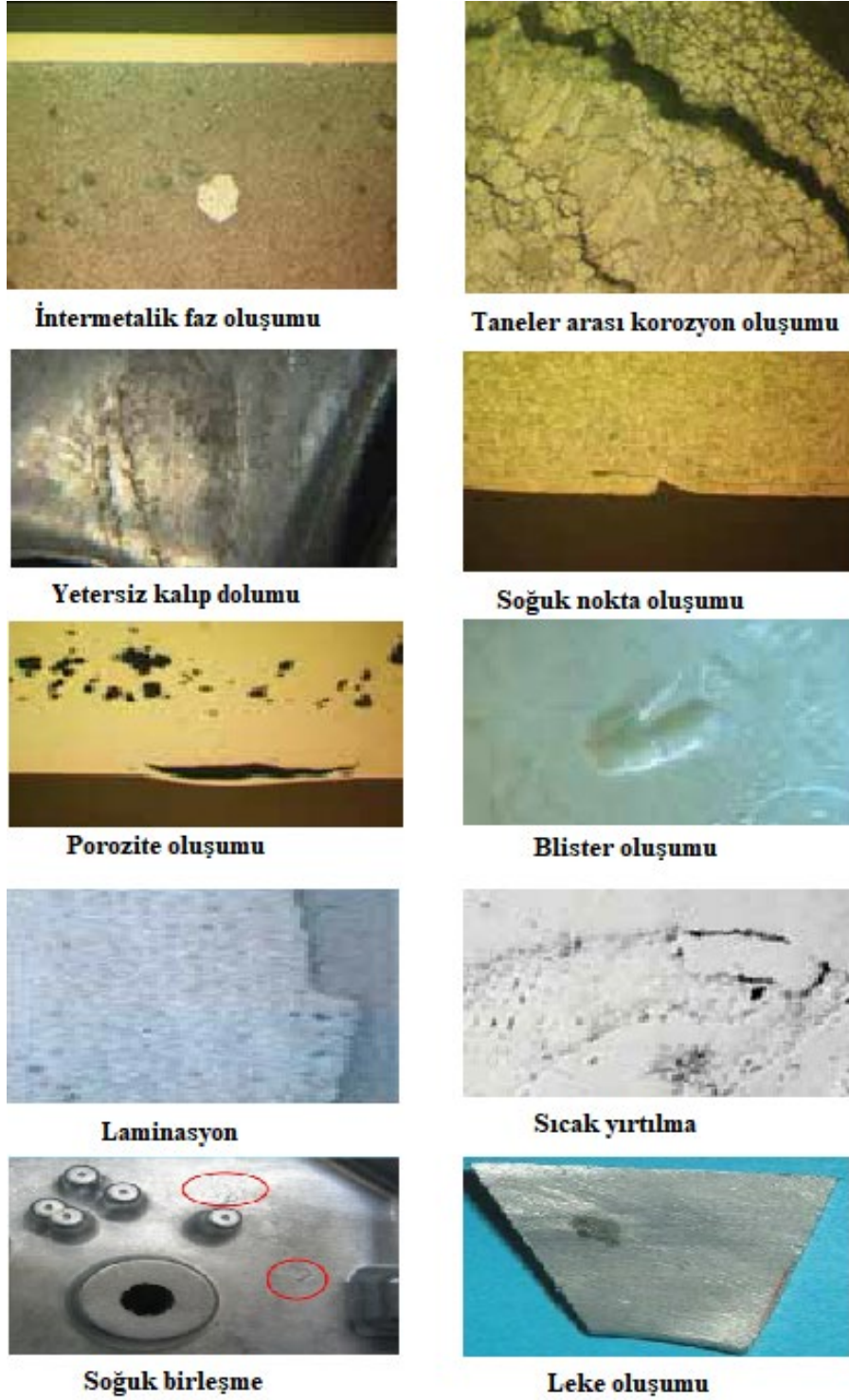
Bulunan değer tek kolon için gerekli olan kuvvettir. Basıncılı döküm yönteminde kullanılan kalıplar da Şekil 7.11’de gösterildiği üzere dört adet kolon bulunmaktadır. Bu nedenle F_{tb} değeri dört ile çarpılarak kalıbın kilitleme kuvveti hesaplanmaktadır.



Şekil 7.11 Kolon uçlarına bağlanmış manyetik gerinim ölçer göstergeler [41]

7.3 Proses Değişkenlerine Bağlı Karşılaşılan Hatalar

Yüksek basınçlı dökümde karşılaşılan hataları üç ana başlık altında incelemek mümkündür. Şekil 7.12’de dökümde karşılaşılan birkaç hata tipi gösterilmiştir.



Şekil 7.12 Basınçlı dökümde karşılaşılan bazı hataların görselleri [16]

7.3.1 Geometrik Hatalar

7.3.1.1 Yetersiz Kalıp Dolumu

Kalıp boşluğunun yeterince ergimiş metal ile doldurulamaması sonucu oluşan hatalardır. Parça olması gereken geometrik şekilde üretilmez, eksik çıkar. Bu duruma pistonun hazneden yetersiz miktarda ergiyiği enjekte etmesi, düşük döküm sıcaklıklarının seçilmesi, 2. faz hız ve basıncının yetersizliği ya da kalıp tasarımında yolluk ve memelerin yanlış tasarımından dolayı dolum gerçekleşmeden sıvı metalin katılaşması sebep olabilmektedir.

7.3.1.2 Çapak Oluşumu

Katılaşmış parçanın kalıp ayırım yüzeylerinde olması gereken şekli dışında ince biçimsiz fazlalıkların oluşumudur. Bu hata nedeniyle hurda miktarı, kullanılan hammadde miktarı ve döküm sonrası son işlem gerekliliği artar. Kalıp kilitleme kuvvetlerinin doğru hesaplanmaması ya da uygulanmaması, kalıp deformasyonu, 2. faz basıncının çok yüksek seçilmesi ya da hava ceplerinin yetersiz kalması durumunda bu hataya rastlanılmaktadır.

7.3.1.3 Çökme

Dökülen parçaların yüzeylerinde çukura benzer görünümler oluşmaktadır. Yüzey altında oluşan çekme boşluklarının oluşumu, tasarımda büyük yüzeyli ve keskin geçişlere sahip olan parçalarda ve iyi soğutma yapılamamış kalıplarda gözlenebilmektedir.

7.3.1.4 Kalıp Çökmesi

Kalıp malzemesinin seçiminde uygun olmayan çelik kullanımına bağlı olarak kalıbın bölgesel çökmesi sonucunda parça olması gerekenden farklı bir geometriye sahip olarak çıkmasıdır. Parça üzerinde istenmeyen pürüzler, tekrar işleme sokulmasını gerektirir. Kalıp deformasyonu, kalıp malzeme kalitesinin yetersiz olması ya da kalıba uygulanan ısıl işlemin yetersiz olması bu soruna neden olmaktadır.

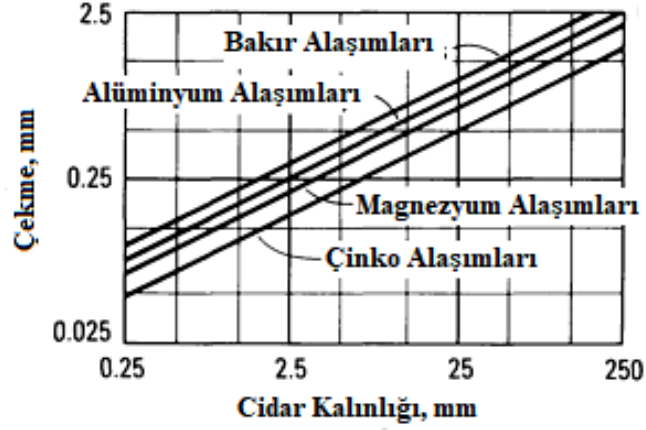
7.3.2 İç Yapı Hataları

7.3.2.1 Gaz Boşluğu-Porozite

Dökümü yapılan parçaların içinde gaz oluşumu ya da havayı hapsedmesidir. Oluşan bu hata sonucunda döküm sonrası talaşlı işlemlerde kullanılan takıma zarar verebilmektedir. Bunun yanı sıra döküm sonrası talaşlı imalat sonrasında yüzeyler de boşluklar estetik olarak kötü bir görünüm oluşturmaktadır. Dökümü yapılan parçaların yüksek sıcaklıklarda kaplama ya da boyanmasında parça içerisindeki poroziteler şişerek estetik görünümünde hatalara sebep olmaktadır. Yüksek döküm sıcaklığı, ergimiş metal içerisinde çözünmüş hava miktarı, kalıp tasarımında yolluk girişlerinin ve hava kanallarının yetersiz gelmesi ya da yanlış konumlandırılması ve kalıp yüzeyinde kullanılan kalıp ayırıcılar nedeniyle bu hatalar oluşabilmektedir.

7.3.2.2 Çekme Boşluğu

Ergimiş metalin katılaşması sonrası büzülmesi ile yapıda mikro ve makro seviyede oluşan boşluklardır. Bu hata sonucunda mekanik dayanım isteyen parçalarda dayanım özellikleri düşmektedir. Alaşımın katılaşma aralığı, döküm sıcaklığı, döküm hızı, kalıp sıcaklığı ve kalıp tasarımı bu hataya neden olabilecek değişkenlerdir. Bunun yanı sıra, yetersiz besleme ve katılaşma koşullarına bağlı sıcak bölgelerin çekilmesi sonucu taneler arasındaki boşlukların birleşmesi bu hataya sebep olmaktadır. Bu hatalar, hasarsız muayene tekniklerinden radyoskopi ya da metalografik numunelerin mikroskop altında incelenmesiyle tespit edilebilmektedir. Şekil 7.13’de alaşımlara bağlı çekme boşlukları gösterilmektedir [19].



Şekil 7.13 Basınçlı döküm alaşımlarının cidar kalınlığına bağlı çekme miktarı

7.3.2.3 İnküzyon Oluşumu

Parçada olması gerekli alaşım haricinde yapıda bulunan çözünmemiş ve istenmeyen partiküllerdir. Parça içine hapsolmuş bu safsızlıklar, mekanik dayanımları kötü etkileyebileceği gibi talaşlı imalatla kullanılan takım uçlarına zarar vererek kalitesizlik maliyetini arttırmaktadır. Ergimiş metalin yetersiz rafinasyonu, cüruf veya pota refrakterlerinin, döküm aparatlarının metalik ya da metalik olmayan fazlarının ergimiş metalde çözünmeden kalması bu hataya neden olmaktadır.

7.3.2.4 Sert Nokta Oluşumu

Katılaştıran parça iç yapısında yüksek yoğunlukta ve keskin köşeli sert intermetalik fazların oluşumudur. Bu hataya bağlı olarak dökülen parçalar gevrekleşebilir, kırılganlaşabilir, parçaların mekanik özelliklerinde düşük gözlenebilir ve talaşlı imalatla takım uçlarının kırılmasına neden olabilir. Döküm sıcaklığı ve alaşım içerisinde istenmeyen elementlerin fazlalığı buna neden olabilmektedir. Zamak alaşımları içerisinde alüminyum ile demirin reaksiyona girmesi sonucu Fe_3Al intermetalik fazı meydana gelir. Bu faz ekipmanların aşınımına yol açmakla birlikte yapıdaki alüminyum ve magnezyum miktarı azalır, cüruf artar.

7.3.2.5 Taneler Arası Korozyon

İkincil Zamak kullanım oranı artışına bağlı olarak yapıda kurşun, kadmiyum ve kalay miktarı da artmaktadır. Bunun sonucunda taneler arası korozyon meydana gelir.

Buna bağı olarak stoklanan parçaların zamanla dayanımları azalır. Hatanın önüne geçebilmek için potanın boşaltılıp temizlenmesi gerekmektedir.

7.3.2.6 Soğuk Çatlak

Katılma sonrası soğuma sırasında gerçekleşen çekilmelere bağı oluşan tane içinde ilerleyen hata tipidir. Bu hataya bağı olarak keskin ve sivri ayrılmalar gözlenmektedir. Hızlı katılma ve iç gerilmeler bu hataya yol açmaktadır.

7.3.3 Yüzey Hataları

7.3.3.1 Kazıntı

Döküm sonrası parça yüzeyinde görülen yapışma benzeri çizgisel hatalardır. Basınç uygulanması sırasında parçanın oynaması, kalıp ve maçalardaki çarpılmalar, kalıpta meydana gelen deformasyonlar ile enjeksiyon sırasında sıkıştırma basıncının yetersiz olması bu hataya neden olmaktadır.

7.3.3.2 Şişme-Blister Oluşumu

Parça içinde yüzeye yakın bölgede kalan gaz boşluklarının yüzeyde kabartı oluşturmasıdır. Bu hata sonucunda parça estetik görünümünü kaybedebilir. Basınç uygulanırken parçanın hareket etmesi, kalıp ve maçaların çarpılması, kalıp deformasyonu ve sıkıştırma basıncının yetersizliği su soruna neden olmaktadır.

7.3.3.3 Çatlak Oluşumu

Döküm sonrası ya da dökümden sonraki mekanik işlemler sebebiyle parçanın bölgesel olarak birbirinden keskin olarak ayrılmasıdır. Gaz boşluğunun yüzeyde peş peşe oluşması, soğuk birleşme ya da inklüzyonlara bağı çatlak oluşumları meydana gelebilmektedir. Kalıp yüzeyinin yeterince kalıp ayırıcı ile yağlanmamasına bağı olarak parçanın kalıp yüzeyine yapışması sonucu kalıptan ayrılırken çatlaklar oluşabilmektedir. Kalıp tasarımı, döküm sıcaklığı ve kalıp yüzey sıcaklıklarına bağı katılma hızlarında meydana gelebilecek dengesizlik sonunca iç gerilmelerin

oluşması da çatlaklara yol açar. Bazı çatlaklar ise döküm sonrası yolluk ayırma, çapak alma ya da işleme sırasında meydana gelebilmektedir.

7.3.3.4 Leke

Kalıp yüzeyine uygulanan yağlama işlemi sonrası yüzeyde oluşan birikimlerin katılan parçaya nüfuz etmesine bağlı oluşur. Parça yüzeylerinde bölgesel renk değişimleri görülmektedir. Kalıp yüzeyindeki artık karbon, yağın seyreltilmesinde kullanılan su içeriğindeki kalsiyum, magnezyum gibi su sertliğini yükselten element kalıntıları bu hataya yol açmaktadır.

7.3.3.5 Laminasyon – Katmanlaşma

Kalıp yüzeyi ile temas sonrası yüksek katılma hızlarıyla ergimiş metalin kalıp yüzeyinde bölgesel katılma ile oluşan filmimsi yapıların yüzeyde oluşmasıdır. Kalıp sıcaklığının homojen soğutulamaması, kalıp yağlamasının homojen yapılamaması ya da kalıp deformasyonuna bağlı bu hatalar ortaya çıkabilmektedir.

7.3.3.6 Soğuk Birleşme

Soğuk metalin kalıp içindeki akışında birleşme noktasına yakın noktalarda katılmasıdır. Bu hataya bağlı olarak mikro ve makro boyutlarda açıklıklar oluşmaktadır. Sıvı metalin akışında meydana gelen girdap oluşumu, kalıp sıcaklık dağılımı, piston hız ve basıncındaki düzensizlik bu hatanın nedenleri arasındadır.

7.3.3.7 Soğuk Nokta

Katılma koşulları nedeniyle ergimiş metalin içerisinden küçük bir miktarın hızla katılarak ince mikroyapıya sahip film tabaka oluşturmasıdır. Bölgesel kabartılara neden olmaktadır. Kalıp ısı dağılımı, piston hızı ve basıncı bu hataya neden olmaktadır.

7.3.3.8 İtici İzleri

İtici pimlerin kırılması ya da mesafe ayarının doğru ayarlanmamasına bağlı oluşurlar. Bu hata sonucunda parça yüzeyinde pim çapında artık maden kalabileceği

gibi çok ileride ayarlanmış pimler sıcak parçayı deforme ederek geometrik şeklini bozabilmektedir.

7.3.3.9 Sıcak Yırtılma

Kalın cidarlı bölgelerden parçanın içine doğru oluşan çatlaklardır. Sıcak yırtılma yüzey morfolojisi dentritik yapıdadır. Geniş katılaşma aralığına sahip alaşımlarda, dengesiz soğuma koşulları sonucunda, sert nokta oluşum bölgelerinin sıvı fazının katılaşması sırasında meydana gelebilmektedir.

7.3.3.10 Erozyon

Ergimiş metalin kalıbı deforme etmesidir. Buna bağlı olarak kalıp yüzeyinde pürüzleşme görülür. Döküm sıcaklığı, ergimiş metalin kalıba giriş açısı, ergiyik hızı, kalıp sertliği ve kalıp yüzeyine yapılan işlemler bu hataya neden olabilmektedir.

Deneysel Çalışma ve Bulgular

8.1 Hammadde

Bu deneysel çalışmada hammadde olarak Zamak 5 ve ZA 8 alaşımları kullanılmıştır. Hammaddelerden Zamak 5 Brock Metal, ZA 8 ise Cem Metal'den temin edilmiştir.

8.1.1 Kimyasal Analiz

Temin edilen hammaddelerin kimyasal analizi için paletlerin farklı konumlarından alınan üç farklı külçenin üç farklı bölgesinden üç farklı ölçüm yapılmıştır. Alınan ölçümlerin ortalaması alınarak aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır. Her iki hammaddenin kimyasal analizleri Tablo 8.1'de gösterilmiştir.

Tablo 8.1 Hammadde kimyasal analiz sonuçları

Malzeme	Zamak 5				ZA 8			
Numune	1.Külçe	2.Külçe	3.Külçe	Ortalama	1.Külçe	2.Külçe	3.Külçe	Ortalama
Al (%)	4,214	4,101	4,092	4,136	8,027	8,294	8,007	8,109
Cu (%)	0,942	0,939	0,992	0,958	1,141	1,215	1,041	1,132
Mg (%)	0,042	0,041	0,049	0,044	0,025	0,021	0,023	0,023
Pb (%)	0,0067	0,007	0,0082	0,007	0,0055	0,012	0,0052	0,008
Fe (%)	0,016	0,012	0,0092	0,012	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Cd (%)	0,00037	0,00035	0,00036	0,000	0,0015	0,0016	0,0015	0,002
Sn (%)	0,0026	<0,0020	0,0024	0,003	0,0032	0,0076	<0,0020	0,005
Si (%)	0,0057	0,0067	0,0055	0,006	0,0058	0,008	0,0049	0,006
Ni (%)	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,0057	<0,0020	0,0057

Hammadde külçelerin kimyasal analizleri Bruker marka Q4 Tasman model ileri düzey ısıya duyarlı hücrelere sahip optik emisyon spektrometresi ile ölçülerek elde edilmiştir (Şekil 8.1).



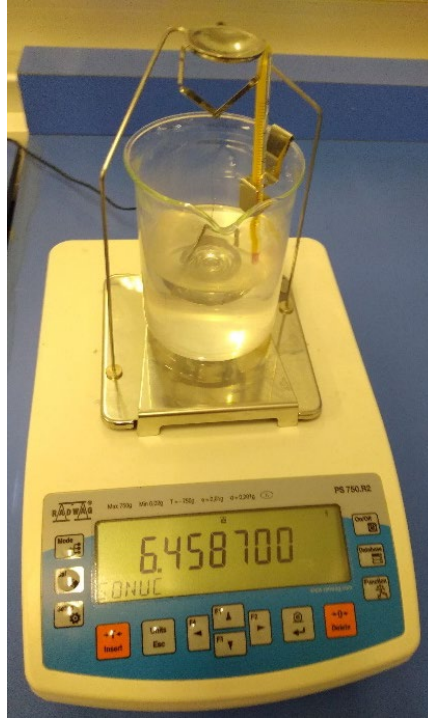
Şekil 8.1 Bruker-Q4 Tasman kimyasal analiz cihazı

8.1.2 Yoğunluk Ölçümleri

Temin edilen külçelerden kimyasal analiz için alınan her numune için birer tane de yoğunluk testi için numune alındı. Alınan numunelerin yoğunlukları RADWAG marka PS 750.R2 model hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 8.2). Ölçüm sonuçlarına ait değerler Tablo 8.2’de gösterilmektedir.

Tablo 8.2 Külçe yoğunluk ölçüm sonuçları

Malzeme	Zamak 5	ZA 8
Test (gr/cm ³)		
1. Külçe	6,62	6,03
2. Külçe	6,53	6,15
3. Külçe	6,54	6,03
Ortalama	6,56	6,07

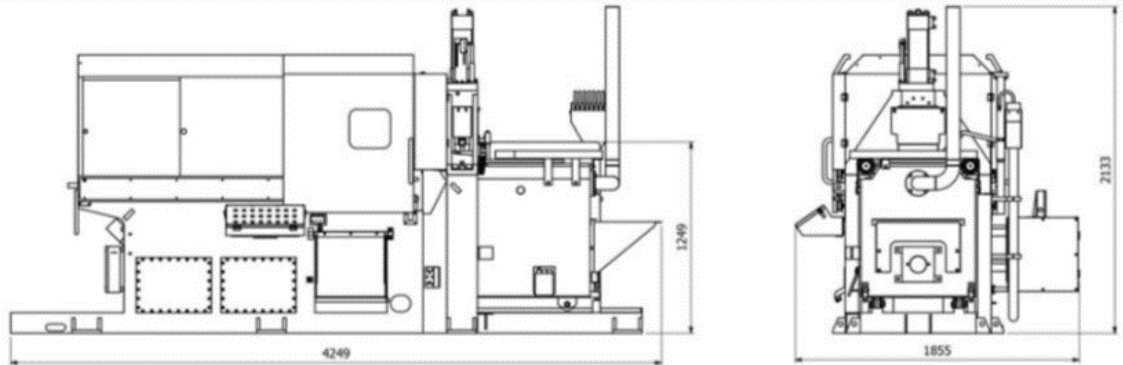


Şekil 8.2 RADWAG PS 750.R2 yoğunluk test cihazı

8.2 Numune Dökümü

Zamak 5 ve ZA 8 dökümü için SİMHOPe marka SH-100 model sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi kullanılmıştır. Makinenin teknik özellikleri Tablo 8.3’de makine şeması ise Şekil 8.3’de gösterilmiştir.

Numune dökümünde hali hazırda Zamak 5 ile sağlıklı parçalar alınabilmiş baskı parametreleri kaydedilmiştir. Bu baskı parametreleri Tablo 8.4’de gösterilmektedir. Dört farklı kalıpta dört farklı numuneden ilk beş baskı elenerek ellişer baskı alınmıştır.



Şekil 8.3 SİMHOPe marka SH-100 model sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi şematik gösterimi

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra pota içerisindeki ergimiş Zamak 5 metali boşaltılıp temizlenerek ZA 8 külçesi ile doldurulmuştur. ZA 8 döküm için Zamak 5 numune dökümünde kaydedilen parametrelerin aynısı kullanılmıştır. Fakat ZA 8'in ergime sıcaklığı dolayısıyla döküm sıcaklığı yüksek olduğu için pota sıcaklığı 10°C arttırılmıştır.

Tablo 8.3 Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi özellikleri

Özellik		Birim	SH-100	
Kilitleme Kuvveti		ton	110	
Kolon Çapı		mm	70	
Kalıp Plaka Ölçüsü		mm	585×585	
Kolon Boşluğu		mm	385×385	
Kapama Stroğu		mm	285	
Kalıp Kalınlığı		mm	150~500	
Nozül Kesme Stroğu		mm	200	
Ejeksiyon Kuvveti		ton	7,5	
Ejeksiyon Stroğu		mm	75	
Enjeksiyon Kuvveti		ton	8,6	
Enjeksiyon Kuvveti		mm	150	
Piston Uç Çapı		mm	55	60
Maks. Döküm Basıncı		kgf/cm ²	362	304,3
Maks. Döküm Alanı		cm ²	303,8	361,5
Maks. Döküm Ağırlığı		g	1600	1800
Meme	Merkez	mm	0	
	Standart	mm	-80	
	Ayarlanabilir	mm	0 ; -80	
Pota Kapasitesi		kg	400	
Hidrolik Pompa Basıncı		kg/cm ²	100	
Subap İğnesi		adet	1	
Yağ Tankı Kapasitesi		l	280	
Motor		hp	20	
Makine Ağırlığı		ton	5,5	
Makine Ebatları		cm	429×185×213	

ZA 8'in kimyasal kompozisyonunda mevcut olan ve Zamak 5'e nazaran yüksek alüminyum miktarı nedeniyle, ZA 8 ile gerçekleştirilen numune dökümünde, basınçlı döküm makinesinin potasında karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karıştırma işleminin amacı maliyete etki eden sıcaklığı olabildiğince düşük tutarak alüminyumun ergimiş metal içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktır. Bu

karıştırma işlemi Bosch marka bir matkap ve bor nitrür ile boyanmış bir karıştırıcı sayesinde gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemine ait görsel Şekil 8.4.'de verilmiştir. Karıştırma her kalıp bağlama işleminden sonra dökümden hemen önce 2 dakika boyunca uygulanmıştır.

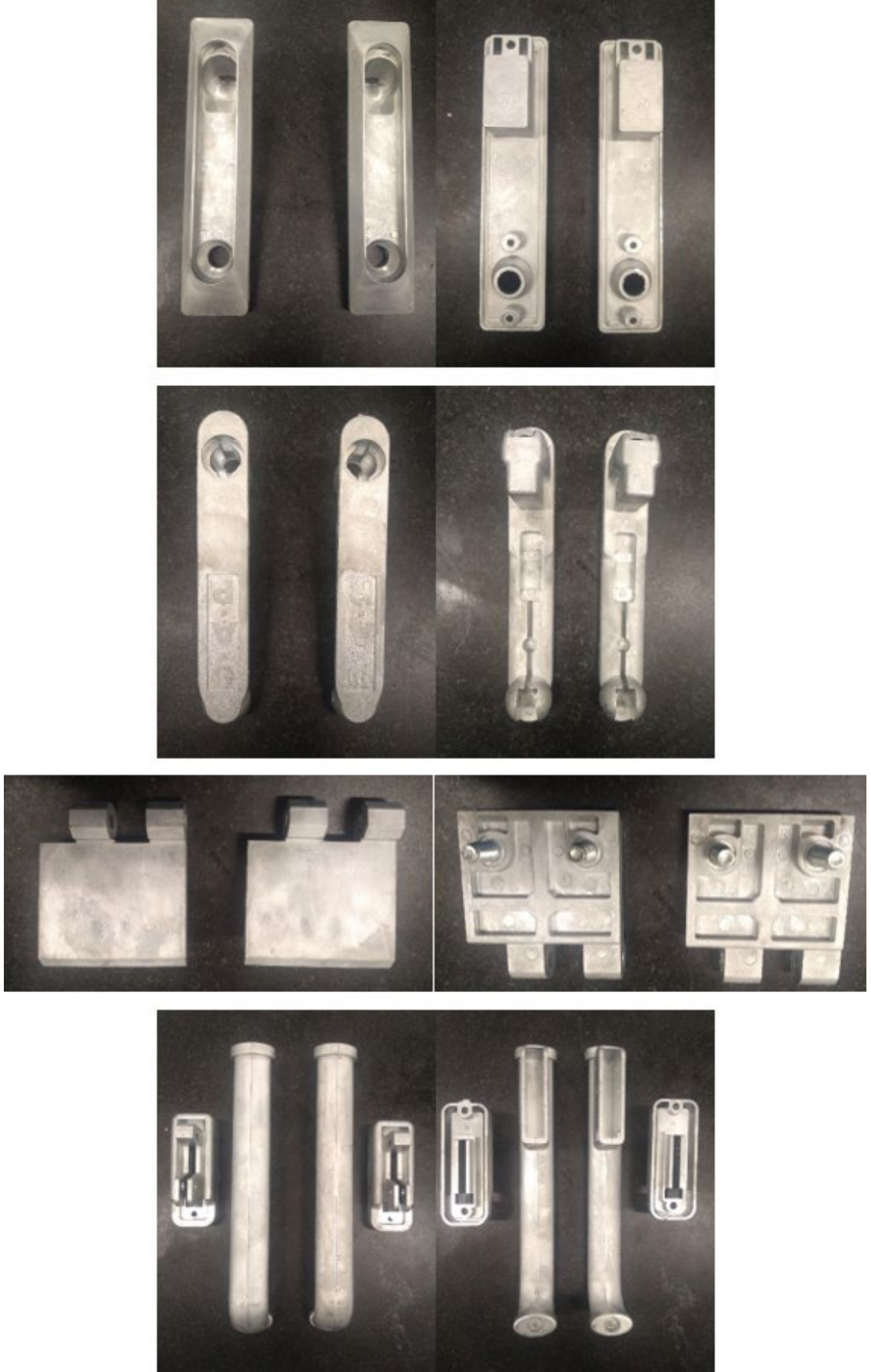


Şekil 8.4 Ergimiş ZA 8'in potada karıştırma işlemi

Tablo 8.4 Zamak 5 ve ZA 8 Numune Döküm parametreleri

Kalıp No	1.Kalıp		2.Kalıp		3. Kalıp		4.Kalıp	
Malzeme	Zamak 5	ZA 8	Zamak 5	ZA 8	Zamak 5	ZA 8	Zamak 5	ZA 8
Grup Ayırma Süresi	0,5		0,5		0,5		0,5	
Hızlı Vuruş Süresi	2		1,2		1,8		2,5	
Vuruş Gecikme Süresi	0,5		0,5		0,5		0,5	
Soğutma Süresi	6		4,5		6		8	
Mengene Açık Sprey Zamanı	0,1		0,1		0,1		0,1	
Megene Kapalı	5		5		5		5	
İtici Bekleme Zamanı	0,2		0,2		0,2		0,2	
İtici Vuruş Adedi	1		2		2		2	
Sprey Zamanı	0,3		0,3		0,3		0,3	
Sprey Adedi	3		3		3		2	
Ürün Düşme Zamanı	4		4		4		4	
Çevrim Zamanı	1,5		1,5		1,5		1,5	
Düşürücü Zamanı	0,3		0,3		0,3		0,3	
Pota Sıcaklığı	435	445	435	445	435	445	435	445
Nozul Sıcaklığı	530		530		530		530	
Kaz Boynu Sıcaklığı	435		435		435		435	

Yukarıdan aşağıya sırasıyla 1.Kalıp, 2.Kalıp, 3. Kalıp ve 4. Kalıptan elde edilen numunelere ait görseller Şekil 8.5'de gösterilmiştir. Görsellerde soldaki numunelerin hammaddesi Zamak 5, sağdaki numunelerin hammaddesi ise ZA 8'dir.



Şekil 8.5 Döküm sonucu elde edilen döküm numunelerine ait görsel

Her kalıp bağlandıktan sonra dökümden önce potadan döküme hazır ergimiş metal örneği alınmıştır. Numuneler en az üç farklı bölgeden yakılarak kimyasal analizi yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak analiz çıktısı haline getirilmiştir. Analiz sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 8.5’de gösterilmiştir.

EK-A’da 1. Kalıp, EK-B’de 2. Kalıp, EK-C’de 3. Kalıp ve EK-D’de 4. Kalıptan elde edilen ürünlerin teknik resimleri verilmiştir.

Tablo 8.5 Döküm öncesi potalardan alınmış ergimiş metal numunelerinin kimyasal analizi

Malzeme	Zamak 5				ZA 8			
Numune	1. Kalıp-Pota	2. Kalıp-Pota	3. Kalıp-Pota	4. Kalıp-Pota	1. Kalıp-Pota	2. Kalıp-Pota	3. Kalıp-Pota	4. Kalıp-Pota
Al (%)	4,136	4,224	4,342	4,128	8,336	8,365	8,314	8,340
Cu (%)	1,088	1,096	1,039	1,016	1,185	1,184	1,179	1,248
Mg (%)	0,046	0,049	0,049	0,046	0,028	0,026	0,027	0,027
Pb (%)	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	0,006	0,006	0,005	0,007
Fe (%)	0,059	0,050	0,039	0,017	0,003	<0,0020	0,029	<0,0020
Cd (%)	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002
Sn (%)	0,003	0,002	<0,0020	0,002	0,003	0,004	0,003	0,005
Si (%)	0,006	0,007	0,006	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006
Ni (%)	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,002	0,002	<0,0020

Bu analizde külçelerin analizinde kullanılan Bruker Q4 Tasman optik emisyon spektrometresi kullanılmıştır.

Potalardan alınan kimyasal test örneklerinden yoğunluk testi için de birer numune alınmıştır. Potalardan alınan numunelerin yoğunluk ölçümleri Tablo 8.6’da gösterilmiştir.

Tablo 8.6 Pota numuneleri yoğunluk ölçüm sonuçları

Malzeme	Zamak 5	ZA 8
Test (gr/cm ³)		
1.Pota	6,39	6,24
2.Pota	6,26	6,16
3.Pota	6,54	6,06
4.Pota	6,45	6,16
Ortalama	6,41	6,15

8.3 Uygulanan Testler

Zamak 5 ve ZA 8 hammaddeleri ile dökümü yapılan parçalar; ağırlık kontrolü ve kimyasal analizi sonrasında sertlik testi, ürün bazlı ve standart çekme testi uygulamalarına tabi tutularak metalografik incelemesi yapılmıştır.

8.3.1 Ağırlık Kontrolü

Zamak 5 ve ZA 8 ile dökülen numunelerin ilk beş baskısı hurdaya ayrıldıktan sonra alınan ilk sağlıklı baskıların salkım ağırlığı tartılmıştır. Sonrasında salkımların yolluk, hava cebi ve taşma cepleri parça üzerinden ayrılmıştır. Bu işlem sonrası kalıpta yer alan her gözdeki parçaların ağırlıkları kontrol edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 8.7’de gösterilmiştir.

Tablo 8.7 Ağırlık kontrolleri sonuçları

Malzeme	Zamak 5					ZA 8				
Numune	1.	2.	3.	4. Kalıp		1.	2.	3.	4. Kalıp	
Ölçüm	Kalıp (gr)	Kalıp (gr)	Kalıp (gr)	A Gözü (gr)	B Gözü (gr)	Kalıp (gr)	Kalıp (gr)	Kalıp (gr)	A Gözü (gr)	B Gözü (gr)
Salkım	673	330	386,62	1018,5		633	310,5	362,12	962,5	
1	217,2	96,43	144,89	593,50	218,50	204,90	90,52	134,87	557,50	206,50
2	216,8	96,35	144,23	592,50	219,00	204,58	90,49	135,40	560,50	207,00
3	217,2	96,45	144,13	593,50	219,00	204,25	90,55	135,57	558,00	207,00
4	217,8	96,45	143,07	593,00	218,50	204,24	90,52	135,56	560,00	206,50
5	217,5	96,47	143,62	593,50	218,50	204,14	90,41	135,61	558,50	206,50
6	216,8	96,68	143,70	591,50	219,00	204,23	90,52	135,75	556,50	206,50
7	217,1	96,72	144,18	591,00	219,00	204,99	90,53	134,82	556,50	206,00
8	217,6	96,64	143,72	592,00	219,00	204,02	90,78	135,55	557,00	207,00
9	217,5	96,48	143,62	590,50	218,00	204,15	90,34	135,65	558,50	207,00
10	216,8	96,40	144,91	589,50	218,50	204,85	90,46	134,95	557,50	206,00
11	216,9	96,38	144,24	591,50	219,00	204,19	90,37	134,85	557,50	206,50
12	216,7	96,39	143,05	592,00	218,00	204,87	90,48	135,06	560,00	206,00
13	217,5	96,40	144,09	593,00	219,00	204,82	90,51	134,95	557,00	206,00
14	216,9	96,32	144,19	593,50	219,00	204,87	90,48	135,60	557,00	206,50
15	217,6	96,57	144,12	591,00	218,50	204,73	90,53	134,83	558,00	206,00
Ortalama	217,2	96,4	143,9	592,1	218,7	204,5	90,5	135,2	558,0	206,4
Toplam	1268,50					1194,76				
Ağırlık Tasarrufu	5,81%									

İlk üç kalıpta simetrik olarak eş parçalardan oluşan ikişer göz bulunmaktayken, dördüncü kalıpta farklı iki parçadan oluşan iki göz bulunmaktadır. Ölçümlerde eş parçalara sahip gözlerden sadece birinin ölçümü yapılmıştır. 3. kalıp parçasında kullanılan cıvataların ağırlıkları salkım ve göz ağırlıklarından düşülerek hesaplanmıştır.

8.3.2 Kimyasal Analiz

Ağırlık ölçümleri tamamlanan döküm numunelerinin kimyasal analizi yapılarak karıştırma işleminin uygunluğu test edildi. Buna göre yapılan ölçüm sonuçları Tablo 8.8’de gösterilmiştir.

Tablo 8.8 Döküm numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

Malzeme	Zamak 5				ZA 8			
Numune	1. Kalıp- Döküm Numunesi	2. Kalıp- Döküm Numunesi	3. Kalıp- Döküm Numunesi	4. Kalıp- Döküm Numunesi	1. Kalıp- Döküm Numunesi	2. Kalıp- Döküm Numunesi	3. Kalıp- Döküm Numunesi	4. Kalıp- Döküm Numunesi
Al (%)	4,147	4,462	4,224	3,930	8,248	8,384	8,415	8,665
Cu (%)	0,870	0,908	0,870	0,823	0,798	0,808	0,873	1,308
Mg (%)	0,054	0,058	0,053	0,048	0,029	0,029	0,029	0,039
Pb (%)	0,010	0,013	0,011	0,008	0,019	0,019	0,020	0,059
Fe (%)	0,003	0,003	0,003	<0,0020	0,007	0,008	0,021	0,120
Cd (%)	<0,0002	0,000	<0,00020	<0,00020	<0,0010	<0,001	0,001	0,003
Sn (%)	0,004	0,008	0,004	0,003	0,002	<0,002	0,003	0,056
Si (%)	0,006	0,007	0,006	0,008	0,003	0,004	0,010	0,019

ZA 8 dökümü öncesi yapılan karıştırma işleminin olumlu sonuçlandığı ve yüzdece alüminyum miktarında düşüşün gözlemlenmediği ortaya çıkmıştır.

8.3.3 Ürün Bazlı Çekme Testi

Dökümü gerçekleştirilen ve 3. Kalıptan elde edilen parçalar herhangi bir standarttan bağımsız olarak karşılaştırılmak üzere çekme testine sokulmuştur. Çekme testi Kalitest Makine firmasına ait KT-AS model çekme testi makinesi kullanılmıştır. Makinenin teknik özellikleri Tablo 8.9’de gösterilmiştir.

Tablo 8.9 Kalitest KT-AS cihazı teknik özellikleri

Özellik	Birim	KT-AS
Hareket Duyarlılığı	mm	0,001
Kuvvet duyarlılığı	%	±0,1
Hız	mm/dak	0,1-500
Çenesiz Strok	mm	1000
Maks. Çekme Kuvveti	kN	20
Yükseklik	cm	215
Genişlik	cm	75
Derinlik	cm	60
Ağırlık	kg	210

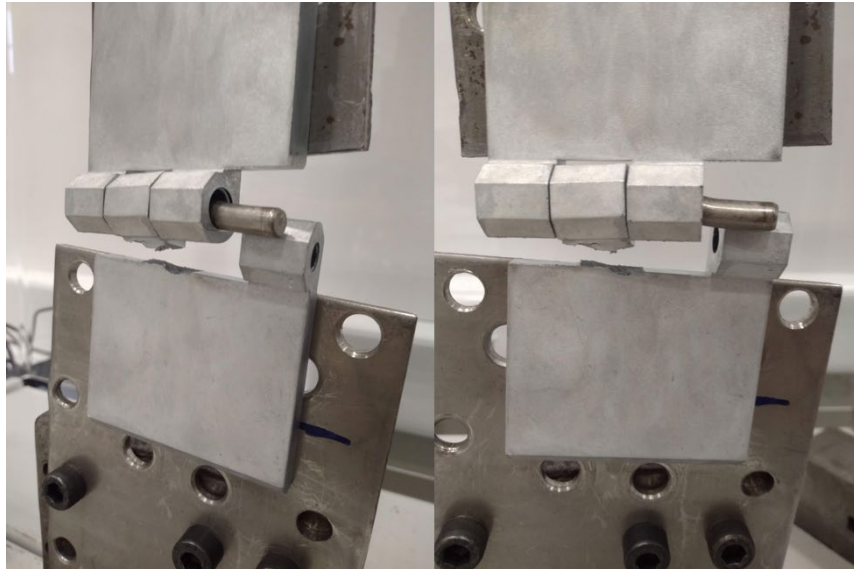
Çekme testinde 3. kalıptan alınan numunelerde cıvata olması numunelerin çekme cihazına bağlanma kolaylığını ortaya çıkartmıştır. Daha doğru bir karşılaştırmaya imkan tanınması nedeniyle çekme testinde bu numuneler kullanılmıştır. Cıvata aralıklarına uygun şekilde delik delinen 4 mm kalınlıktaki düşük alaşımlı çelik saçlar

çekme testinin çeneleri arasına delikler birbirini eksenel karşılayacak şekilde yerleştirilmiştir. Deliklerden cıvata kısımları geçirilerek M8 somunlar ile sıkılarak sabitlenmişlerdir. Çekme testi uygulamasına dair görseller Şekil 8.6'da gösterilmiştir.



Şekil 8.6 Çekme numunelerinin çekme cihazına bağlanma görselleri

Şekil 8.7'de ise çekme numunelerinin kopmasına dair görseller gösterilmiştir.



Şekil 8.7 Çekme numunelerinin kopması/kırılmasına dair görseller

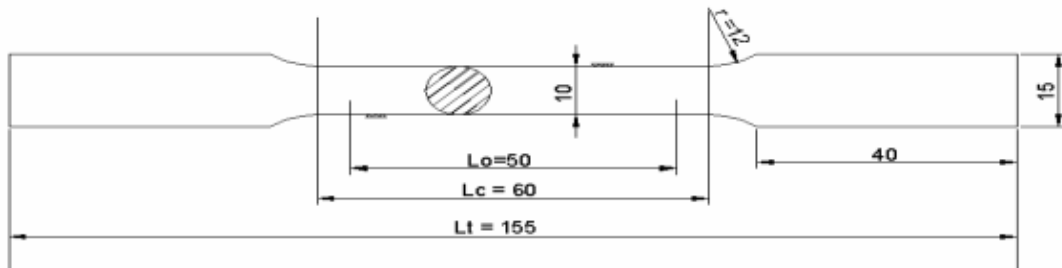
Çekme sonuçları Newton cinsinden maksimum yükte kırılma değerlerinin bağlantı piminin yüzey kesit alanına (mm^2) bölümüyle hesaplanarak kıyaslanmıştır. Çekme dayanımı testi sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 8.10'de verilmiştir.

Tablo 8.10 3. Kalıp numunelerinin çekme testi sonuçları

Malzeme	Zamak 5		ZA 8	
Test No.	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (mm)
1	60,94	6,4	73,97	7,1
2	59,25	8,4	62,02	7
3	64,67	7,7	63,58	9,9
4	74,64	7,1	83,83	9,3
5	53,46	6,7	74,20	6,5
6	62,94	8,4	61,14	7,9
7	88,79	6,5	62,80	9,3
8	61,19	6,6	66,76	8,8
9	73,15	8,9	78,64	7,8
10	83,54	8,7	73,26	8,9
Ortalama:	68,26	7,59	70,02	8,27

8.3.4 Standarda Uygun Çekme Testi

Ürün bazlı gerçekleştirilen çekme testine ilave olarak 4. kalıptan elde edilen numunelerden TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak işlenen çekme çubukları yine bu standarda uygun şekilde oda sıcaklığında (25°C'de) çekme testine tabi tutularak çekme dayanımları tespit edilmiştir. Çekme testi numunelerinin standart gereksinimi Şekil 8.8'da gösterilmiştir. Test sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 8.11'de gösterilmiştir.



Şekil 8.8 TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun çekme numunesi ölçüleri

Tablo 8.11 TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun yapılan çekme testi sonuçları

Malzeme	Zamak 5		ZA 8	
Test No.	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
1	169,98	1,24	141,73	0,54
2	148,88	1,22	163,78	0,58
3	144,88	1,36	143,82	0,70
4	178,54	1,32	152,51	1,14
5	172,85	1,32	175,22	1,10
Ortalama:	163,03	1,29	155,41	0,81

Test için 4. kalıptan elde edilen numunelerin işlenmesi sonucunda elde edilen numunelerde meydana gelen porozitenin yüksek olması nedeniyle sonuçların teorikten ve ürün bazlı yapılan çekme testinden farklı olduğu düşünülmektedir. Test numunelerine ait görseller Şekil 8.9’da gösterilmiştir. Şekilde sol baştan beş numune Zamak 5, geri kalan beş numune ise ZA 8’den üretilmiştir.

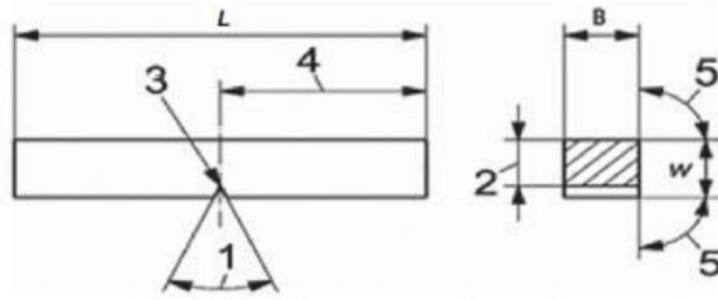


Şekil 8.6 Çekme numuneleri ve meydana gelen porozitelere ait görseller

8.3.5 Çentik Darbe Testi

4. Kalıptan elde edilen numuneler TS EN ISO 148-1 standardına uygun olarak işlenmesi sonucunda V çentik darbe testi numuneleri elde edilmiştir. Test

numuneleri yine TS EN ISO 148-1 talimatına uygun olarak oda sıcaklığında (25°C'de) test edilerek darbe dayanımları tespit edilmiştir. Standarda uygun numune görseli Şekil 8.10'de gösterilmiştir. Buna göre 1 numaralı ölçü V çentiğin açısı olan 45°'yi, 2 numaralı ölçü çentik derinliği olan 2mm'yi, 3 numaralı ölçü çentik radyüsü olan 0,25 mm'yi, 4 numaralı ölçü çentik merkezinin uzaklığı olan 27,5 mm'yi, 5 numaralı ölçü numune yüzeylerinin birbiriyle olan açısı 90°'yi, L numune boyu olan 55 mm'yi, B numune kalınlığı olan 10 mm'yi, W ise numune derinliği olan 10 mm'yi ifade etmektedir.



Şekil 8.7 Standarda uygun V çentik darbe testi numune ölçüleri

Çentik darbe sonucunda elde edilen değerler Tablo 8.12'de gösterilmiştir.

Tablo 8.12 Çentik darbe testi sonucu elde edilen değerler

Malzeme	Zamak 5 (Joule)	ZA 8 (Joule)
1	58,25	62,37
2	66,78	56,97
3	63,64	53,93
4	56,68	57,46
5	62,66	50,3
Ortalama	61,60	56,21

Çentik darbe testi sonucu elde edilen görseller Şekil 8.12'de gösterilmiştir.

8.3.6 Sertlik Ölçümleri

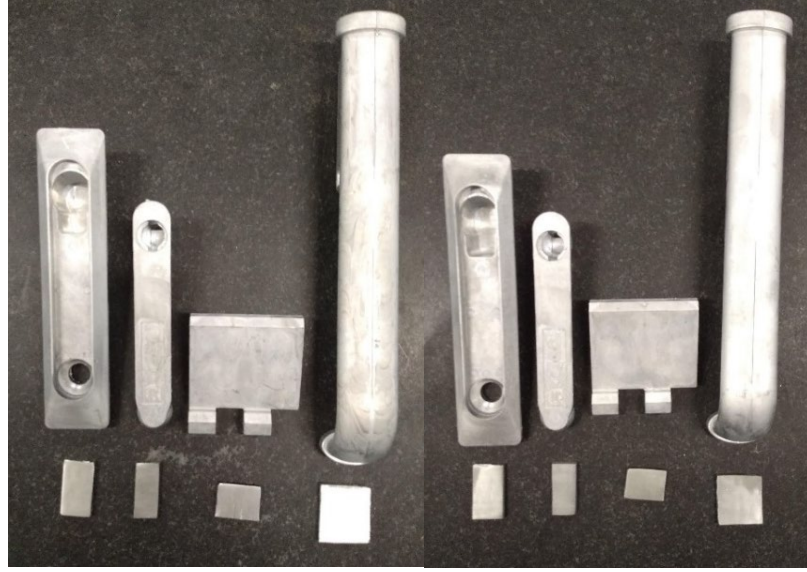
Her bir kalıptan elde edilen parçalardan çıkarılan sertlik testi numunelerinin Brinell cinsi HB30 skalasında ölçümleri AFFRİ SYSTEM marka 206 TD model sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 8.8 AFFRİ SYSTEM marka 206 TD model sertlik ölçüm cihazı ile elde edilen sertlik değerleri

Şekil 8.11’de gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, soldaki ölçüm 105,4 HB30 Zamak 5, sağdaki ölçüm 115,9 HB30 ZA 8 sertlik numunelerine aittir.

Her kalıptan elde edilen numunelerin ISO 6506-1 standardında yer alan 6.3. maddesi gereğince test numunesi et kalınlığı test iz derinliğinin (yaklaşık 0,2mm) en az sekiz katı olması gerekliliğini sağlayacak şekilde işlenmiştir (Şekil 8.12).



Şekil 8.9 (Sol) Zamak 5 ve (sağ) ZA 8 döküm parçalarından elde edilen sertlik ölçüm numuneleri (her döküm parçasının altında)

Yapılan sertlik test sonuçları Tablo 8.13'te gösterilmiştir. Sonuçlar, her kalıptan üretilen parçalardan üçer numune alınarak ve üçer ölçüm yapılarak ortalaması alınarak belirtilmiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında, Zamak 5 ve ZA 8 teorik sertlikleri arasındaki fark uygulamada elde edilmiştir.

Tablo 8.13 Zamak 5 ve ZA 8 sertlik ölçüm değerleri ortalamaları

Malzeme	Zamak 5 (HB30)	ZA 8 (HB30)
1. Kalıp Numunesi	106,7	116,5
2. Kalıp Numunesi	107,2	117,7
3. Kalıp Numunesi	108,4	118,1
4. Kalıp Numunesi	108,1	118,3
Ortalama	107,6	117,6

8.4 Bulgular

Bu çalışmada, Zamak 5 ve ZA 8'in birbirine yakın kimyasal içerikleri ve döküm sıcaklığı sayesinde ZA 8'in Zamak 5 endüstrisinde yüksek yatırım maliyetlerine neden olmaksızın maksimum kar ile ZA 8'in sisteme entegre edilebilirliği için çalışılmıştır. Hammade yoğunluğu düşüşüne bağlı olarak hafiflik nedeniyle gerek

üretim gerek ise taşımada ortaya çıkabilecek zayıflıklar düşecektir. Nakliye ve lojistik açısından değerlendirildiğinde hafiflik sayesinde maliyetler düşecektir.

Yapılan testler sonucunda Zamak 5 ve ZA 8 döküm numunelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre ZA 8'in Zamak 5'e göre daha yüksek dayanım değerlere sahip olması beklenirken, mevcut sistemde yapılan minimal değişiklikler ile teorideki değerlere ulaşamayacağı anlaşılmıştır. Ulaşılan değerler Tablo 8.15'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.15 Zamak 5 ve ZA 8 teorik ve uygulamadaki değerleri

Malzeme	Zamak 5			ZA 8		
Özellikler	Teorik	Uygulama		Teorik	Uygulama	
Çekme Dayanımı (MPa)	328	Ürün	Standart	374	Ürün	Standart
		68	166		70	155
Uzama	7 (50mm'de %)	7,59 mm		10 (50mm'de %)	8,27 mm	
Sertlik (HB30)	91	107,6		103	117,6	
Darbe Dayanımı (J)	65	61		42	56	
Yoğunluk (gr/cm ³)	6,6	6,41		6,3	6,15	

Bu çalışmada mevcut sistemdeki döküm sıcaklığı sadece 10°C yükseltilerek, minimum düzeyde karıştırma işlemi uygulanmıştır.

3. Kalıptan elde edilen parçaların çekme testinde teorik değerlere yaklaşılamasa da Zamak 5'e nazaran ZA 8'in yüksek çekme dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

4. kalıptan elde edilen ve diğer kalıp numunelerine kıyasla daha büyük bir hacme sahip olan parçadan standartlara uygun çekme testi için numune hazırlanması sırasında Zamak 5'e nazaran daha yüksek alüminyum içeriğine sahip ZA 8 alaşım numunelerinde porozite miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek alüminyum içeriğine sahip ZA 8 alaşımlarının hidrojen ilgisinin fazla olması ve kalıp tasarımlarının ZA 8 alaşımlarına tam olarak uyumlu olmamasına bağlı olarak hava tahliye kanallarının yetersizliği nedeniyle parça içeriğinde meydana gelen yüksek porozite miktarının dayanım değerlerini düşürdüğü anlaşılmıştır.

Bununla birlikte teorikte olduğu gibi Zamak 5'in ZA 8 alaşımlarına göre yüksek darbe dayanımına sahip olduğu tekrar görülmüştür. Yine yapılan sertlik ölçümleri sonucu teorik değerlere uygun olarak ZA 8 alaşımlarının Zamak 5 alaşımlarına göre yüksek sertliğe sahip olduğu görülmüştür.

Sonuçlar ve Öneriler

Bu araştırmada, sektörel olarak daha çok tercih edilen proses optimizasyonu sağlanmış Zamak 5 yerine %8 Al içeren ve nispeten daha düşük yoğunluğa sahip ticari bir ZA alaşımı olan ZA 8 kullanımı ile sıcak kamaralı basınç döküm yöntemi kullanılarak döküm denemeleri gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilen parçaların çekme mukavemetleri, darbe dayanımı, sertlik gibi mekanik özellikleri incelenerek nihai ürünlerin hafifletilmesiyle birlikte mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Prosesin geliştirmesi için yapılması gerekenler aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Karıştırma işleminin daha homojen şekilde ve inert gaz eşliğinde sürekli yapılmasıyla, ZA 8 sıvı metalinin hava ile temasının mümkün olduğunca azaltılması,
- 2- ZA 8 alaşımlar için döküm kalıbına sıvı metalin enjeksiyonu sırasında, kalıp içerisindeki havanın tahliyesinin sağlanabilmesi için kalıp tasarımının revize edilmesi,
- 3- Kalıp şartlandırma cihazı kullanılarak, her baskıda aynı özelliğe sahip döküm parçaların elde edilmesi,

Proseste gerekli düzenlemelerin yapılarak uygulanması halinde Zamak 5 kullanan firmaların ZA 8'e geçiş yaparak gerek maliyetlerinde gerekse malzeme mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlanması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, istenilen mekanik değerlere ulaşılamamış olsa dahi gelecekte yapılacak çalışmalarda araştırmacılara yardımcı olması durumunda hedefine ulaşacaktır.

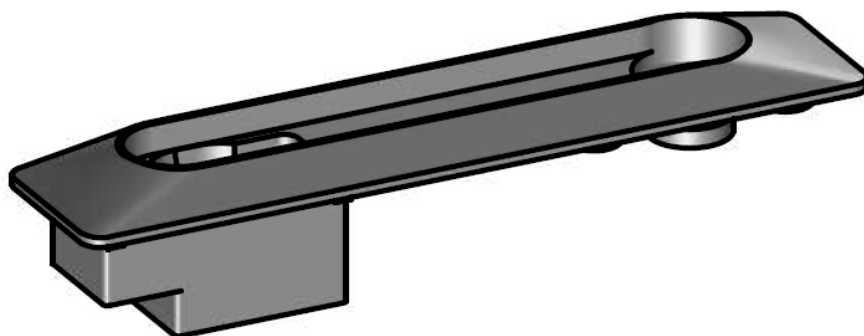
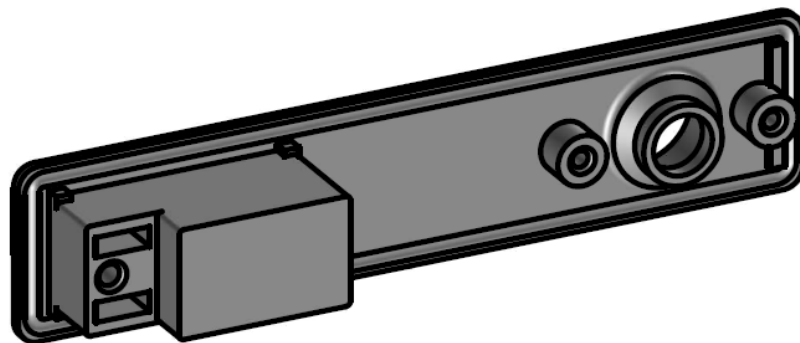
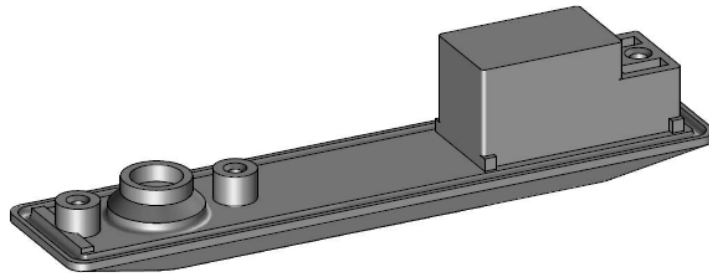
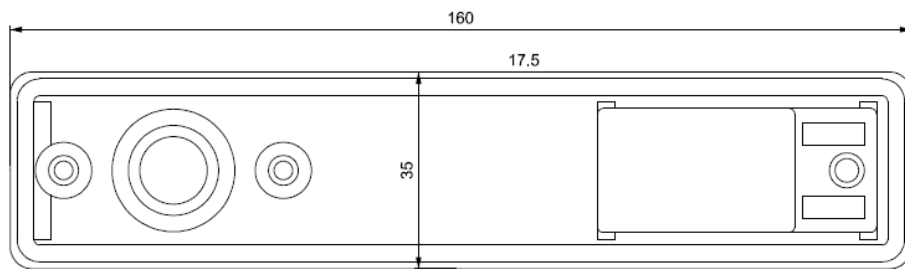
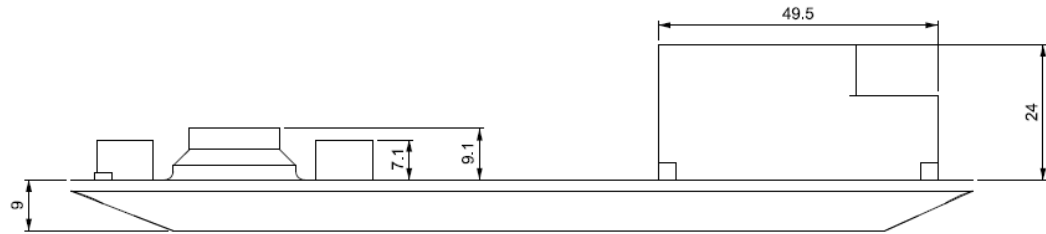
Kaynakça

- [1] F.C. Porter, "Zinc Handbook: Properties, Processing, And Use in Design", New York: Marcel Dekker, Inc., pp. 124-140, 1991.
- [2] A.C. Tolcin, "Mineral Commodity Summaries 2015: Zinc", United States Geological Survey, pp. 78, 2015.
- [3] M.E. Houghton, M.T. Murray, "An Introduction to Zinc Alloys", Metals Forum, vol. 6, no. 4, pp. 211-225, 1984.
- [4] E. Gervais, H. Levert, M. Bess, "The Development of Zinc – Based Foundry Alloys", AFS Transaction, vol. 88, pp. 183-195, 1980.
- [5] W. Mihaichuk, "Casting with ZA alloys", Machine Design, pp.162, 1988.
- [6] P.T. Craddock, "The composition of copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations. The origins and early use of brass", Journal of Archaeological Science, 1978.
- [7] P.T. Craddock, "Zinc in India: 2000 years of zinc and brass", London: British Museum, pp. 27, 1998.
- [8] P.T. Craddock, L.K. Gurjar, K.T.M. Hegde, "Zinc production in medieval India", World Archaeology, pp.211–217, 1983.
- [9] W.W. Skeat, "Concise Etymological Dictionary of the English Language" Cosimo, Inc., pp. 622, 2005.
- [10] S.M. Jasinski, "Mineral Commodity Summaries 2007: Zinc", United States Geological Survey, 2008.
- [11] Çinko Özellikleri, <http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>, [Online; accessed 13 May 2019].
- [12] Çinko Üretimine Dair İstatistikler, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/zinc-statistics-and-information>, [Online; accessed 04 Apr 2019]
- [13] Cevher Özellikleri, <https://www.webmineral.com>, [Online; accessed 24 March 2019].
- [14] K. Yıldız, "Demir Dışı Metal Üretimi – Çinko ve Kurşun", 2014
- [15] J. Green, "Bristol and the Zinc Industry", pp.64, 2009.
- [16] L. Yener, "Çinko Madenciliğimizi Nasıl Bir Gelecek Bekliyor?" Sektörden Haberler Dergisi, pp.24-30, 2017.
- [17] M. Çiğdemoğlu, "Basınçlı Döküm Cilt I", Makina Mühendisleri Odası Yayın No 77, Ankara, pp. 55-74, 1972.
- [18] H.H. Doepler, "Basınçlı Döküm", Erkek Teknik Yüksek Okulu Matbaası, Ankara, pp. 53-82, 1974.
- [19] "ASM Handbook Volume 15: Casting", ASM International Handbook Committee, United States of America, pp.250-290, 1998.
- [20] A.S. Vanli, "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde İşlem Faktörlerinin Araştırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007.
- [21] E.J. Vinarcik, "High Integrity Die Casting Processes", New York, pp. 235-260, 2003.
- [22] M. Er, "Pres Dökümde Yeni Bir Presleme Tekniğinin Geliştirilmesi ve Deneylerinin Yapılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1999.
- [23] Çinko ve Alüminyum Alaşımların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri, <https://www.dynacast.com/selector>, [Online; accessed 22 March 2019].

- [24] S.T. Yalçinkaya, "Metal Enjeksiyon Tezgahına Ergimiş Metal Besleme Robotu Tasarımı", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Haziran 2006.
- [25] F. Çay, "Kokil ve Basınçlı Döküm Yöntemleriyle Üretilen Çinko Alüminyum Alaşımların Özelliklerinin Araştırılması", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2003.
- [26] T.S. Calayag, "ZA Casting Alloys Hold Promise for Metalcasting Industry, Modern Casting", vol. 74, pp. 19-22, 1984.
- [27] E. Gervais, R.J. Barnhurst, C.A. Loong, "An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys, Journals of Metals", vol. 37, pp. 43-47, 1985.
- [28] E.F. Goodwin, A.L. Ponikvar, "Engineering Properties of Zinc Alloys", pp. 23, 1989.
- [29] A. Türk, "Çinko-Alüminyum Esaslı ZA-8 Alaşımında Alaşım Elementlerinin Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisi", Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [30] A. Uğur, "Basınçlı Döküm Yöntemiyle üretilen Zn-Al Alaşımlarının Mikroyapıları ile Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [31] R.J. Barnhurst, "Zinc and Zinc Alloys", vol. 2, ASM International, Ohio, 1992.
- [32] S. Murphy, M. Durman, J. Hill, "Creep Behaviour Commercial Pressure Diecast Zinc Alloys", 12th Int. Pressure Diecaster Conference, Florence, Italy, 1987.
- [33] A.A. Prensyaikov, Y.A. Gorban, V.V. Chervyakova, "The Aluminium- Zinc Phase Diagram", Russian Journal of Physical Chemistry, vol. 35, no. 6, pp.220, 1961.
- [34] G.R. Goldak, J. Parr, "High Temperature X-ray Diffractometer Study of the Zinc-Aluminium System in the Region 40-75 wt% Zinc", Journal of the Institute of Metals, vol. 92, pp. 211, 1963.
- [35] M. Durman, A. Türk, "Bakır ilavesinin ZA Alaşımının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklere Etkisi", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, vol. 18, pp.143, 1994.
- [36] T. Savaşkan, S. Murphy, "Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25 Al Based Alloys, Wear" vol. 116, pp. 211-224, 1987.
- [37] M. Durman, S. Murphy, "Development of an Improved ZA 8 Alloy, Project Report", The University of Aston in Birmingham, England, 1988.
- [38] H. Belkis, "Alaşım elementlerinin çinko alüminyum esaslı ZA 8 alaşımının sertlik ve darbe direncine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.
- [39] İ. Uzun, Y. Erişkin, "Hacim Kalıpcılığı", M.E.B. Yayınları, Ankara, pp. 26-32, 1984.
- [40] "ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys", ASM International Handbook Committee, United States of America, pp. 270-285, 1999.
- [41] North American Die Casting Association, <http://www.diecasting.org/industry.htm>, [Online; accessed 22 March 2019]
- [42] H.E. Friedrich, B.L. Mordike, "Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications)", Springer, Berlin, pp.179-230, 2006.

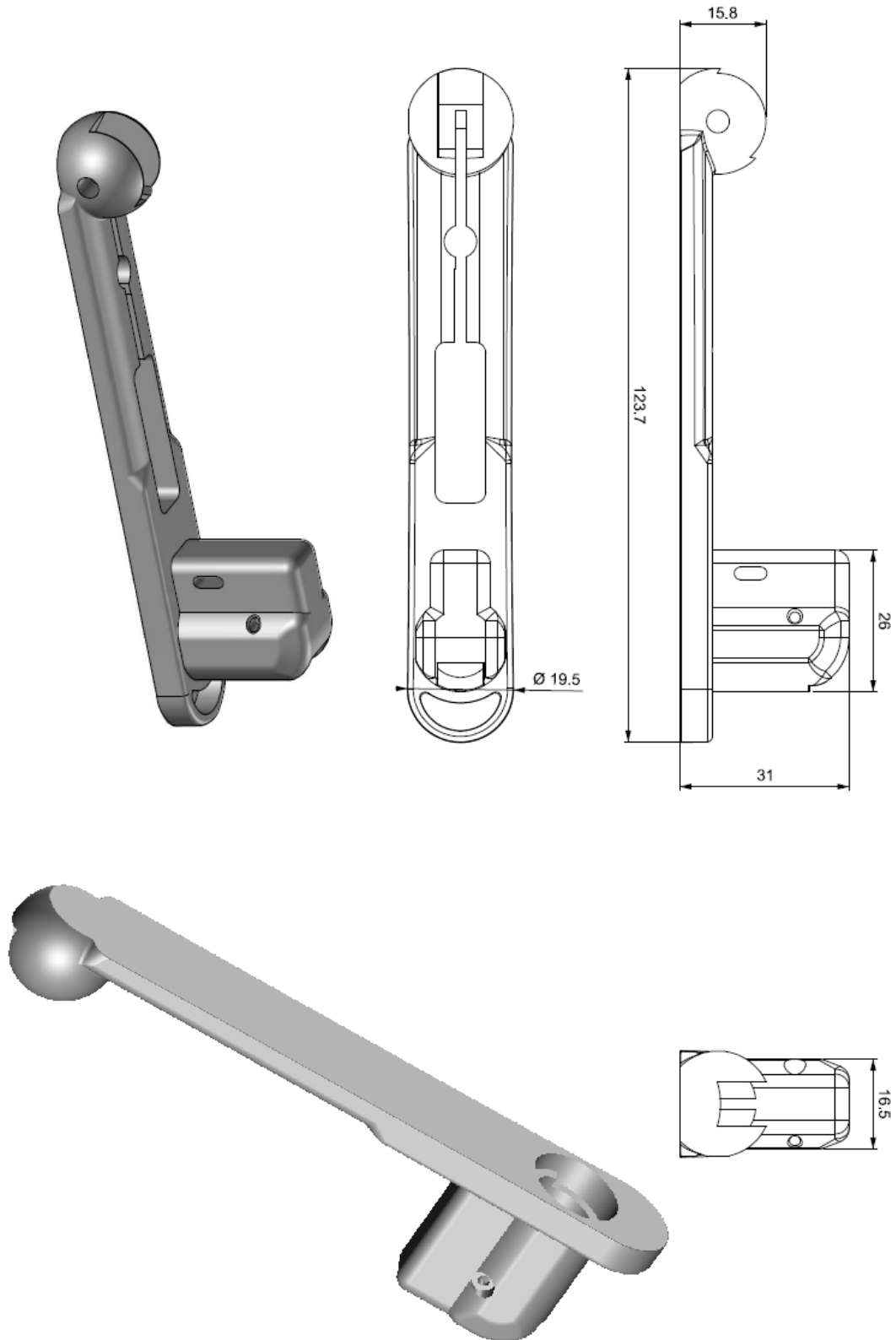
A

1.Kalıp



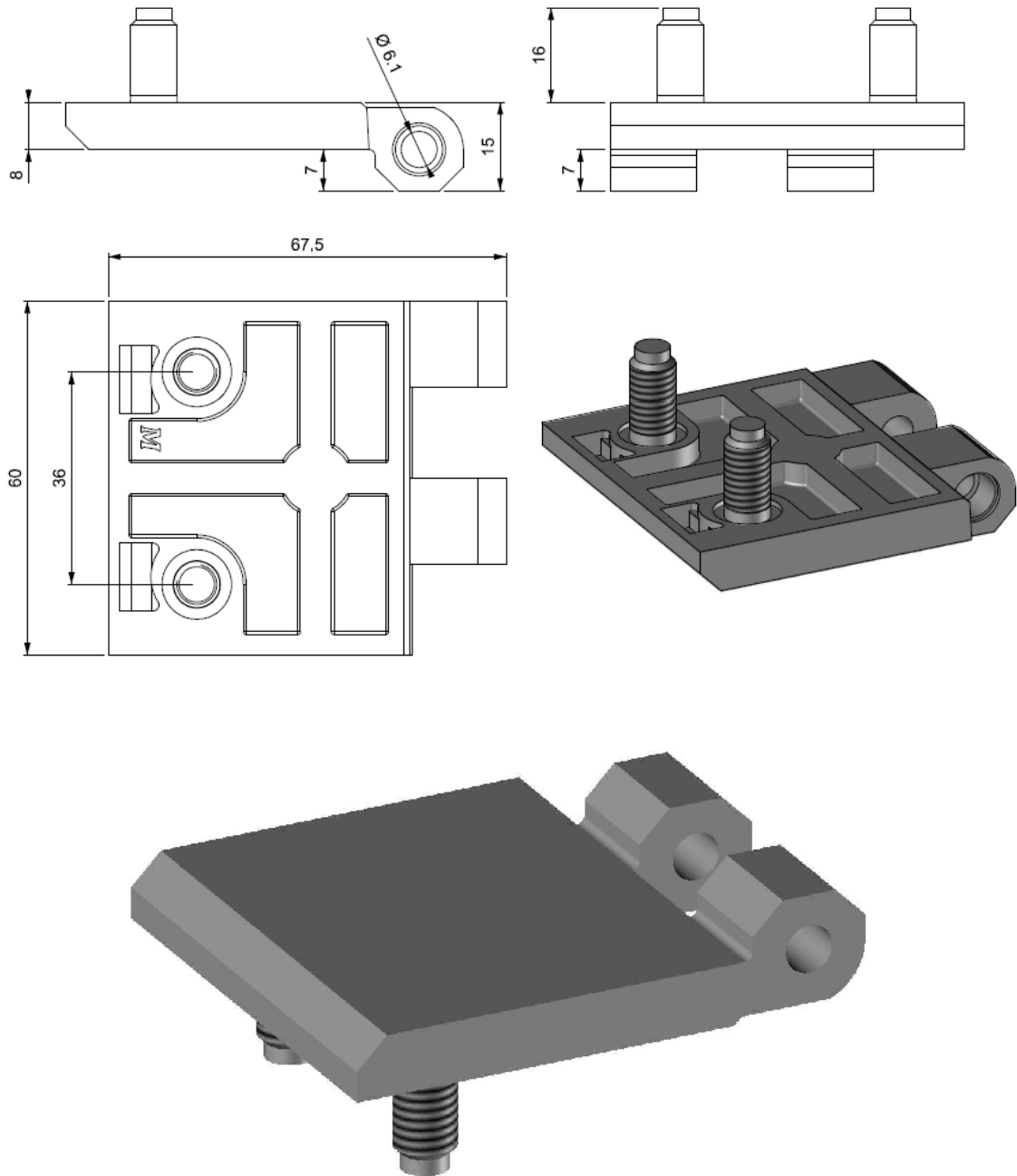
B

2.Kalıp



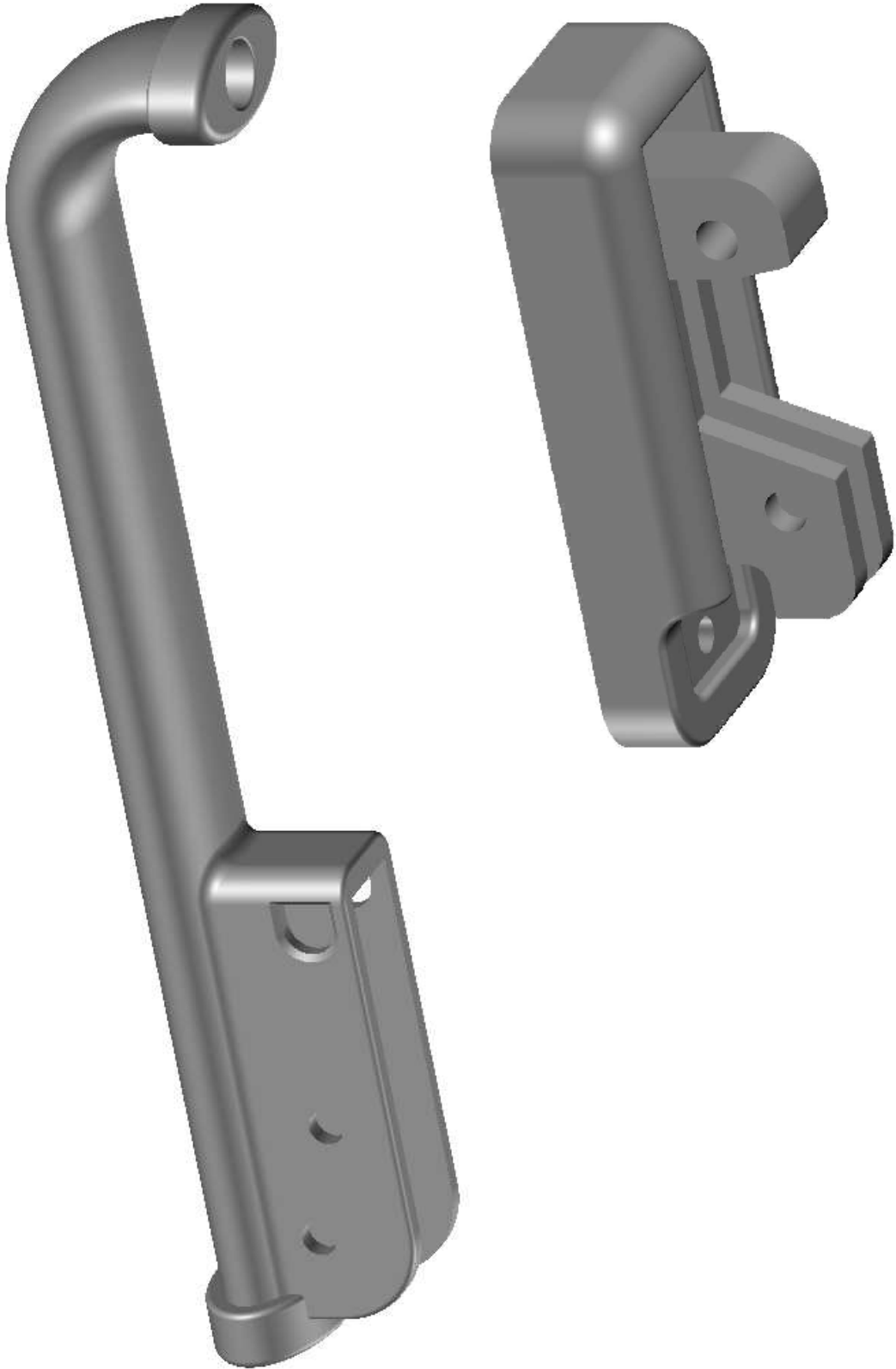
C

3.Kalıp



D

4.Kalıp



Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: cemkarakaya7@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. C. Karakaya, A.S. Vanlı, A. Akdoğan, “Process Optimization and Alloy Modification in Hot Chamber Die Casting”, International Journal Arts and Sciences Conference, Budapest, Hungary, 2019.

2. C. Karakaya, U. Büyük, T. Karayol, A.S. Vanlı, A. Akdoğan, “Zamak Alaşımların Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Yönteminde Proses Optimizasyonu ve Alaşım Modifikasyonu”, 2. Ulusal Döküm Kongresi, İzmir, Türkiye, 2019.