

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL ENJEKSİYON KALIPLARINDA
YOLLUK TASARIMI

Levent AKSEL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALÂT ve KONSTRÜKSİYON ANABİLİM DALI
Konya, 2008

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL ENJEKSİYON KALIPLARINDA
YOLLUK TASARIMI

LEVENT AKSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALÂT ve KONSTRÜKSİYON ANABİLİM DALI

Bu tez 07/03/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ Prof.Dr. Ali ÜNÜVAR Yrd.Doç.Dr. İlhan ASİLTÜRK
(Danışman) (üye) (üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METAL ENJEKSİYON KALIPLARINDA YOLLUK TASARIMI

Levent AKSEL

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalât ve Konstrüksiyon Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Dç. Dr. Yusuf YILMAZ

2008, 92 sayfa

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Yrd. Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK

Bu çalışma metal enjeksiyon kalıplarında yolluk tasarımının, parçanın döküm kalitesi üzerine etkisinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla birisi kalın diğeri ince kesitli iki farklı parça için iki adet kalıp ve her iki kalıp üzerinde birbirinden farklı ikişer adet döküm yolluğu planlanmıştır. Döküm kalitesinin gözlemlenebilmesi için her iki kalıpta da birinci tip yolluk; yolluk tasarım kriterlerine aykırı ve ikinci tip yolluk ise kriterlere uygun olarak tasarlanmıştır. Her iki kalıp için de tasarım kriterlerine aykırı ve uygun yolluklarla yapılan baskılarda elde edilen parçaların kesit ve dış yüzey konturları incelenmiştir. Uygun yolluklu kalıplarla yapılan baskılarda parçaların döküm kalitelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma sonucunda kalın kesitli parçalar için; tek yönlü ve kalıp içi sıvı metal çarpışmalarını önleyecek nitelikteki yollukların, ince kesitli parçalar için ise; tek yönlü ve kalıp boşluğunu en kısa sürede dolduracak nitelikteki yollukların uygun yolluk biçimleri olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal enjeksiyon döküm, metal enjeksiyon kalıp tasarımı, yolluk tasarımı, hava cebi tasarımı, döküm kalitesi, döküm boşlukları.

ABSTRACT

Msc Thesis

GATE DESIGN ON METAL INJECTION MOULDS

Levent AKSEL

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Production and Construction

Supervisor; Assist. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

2008, 92 pages

Jury: Assist. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Assist. Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

This study was made to investigate the effect of gating design of metal injection moulds on the casting part's quality level. For this purpose, two different moulds that have two different changeable casting gates, was planned for two parts which one is thick sectioned and another one is thin sectioned. For two moulds the first casting gate was designed as a suitable application for gate design criterions and the second one was designed as an unsuitable application to observe casting quality. The sections and the contours of the part's which was pressed in moulds with suitable and unsuitable gates applications for design criterions were examined. It was observed that the casting quality was good on moulds with the suitable gates.

The results of the study showed that; the gates are suitable which has only one direction and prevent fluid metal conflicts in mould cavity for thick sectioned parts and the gates are suitable which has only one direction and fill the mould in the shortest time for thin sectioned parts.

Key Words: Metal injection casting, metal injection mould design, gate, design, overflow design, casting quality, casting porosity.

ÖNSÖZ

Metal enjeksiyon döküm yöntemi ülkemizde çok yaygın olmamakla beraber son yıllarda bu yöntemle üretim yapan kuruluşların sayısı günden güne artmaktadır. Ciddi bir yatırım gerektirmesi ve prosesin zorluğu gibi konularda bu yöntemin diğer olumsuz yönleridir. Öte yandan klasik yöntemlerle birçok işlem basamaklarından geçtikten sonra elde edilebilecek son parça bu yöntem sayesinde tek bir baskı işlemi sonucunda elde edilebilmektedir. Üstelik bu işlem saniyelerle belirtilen zaman içinde gerçekleştirilebilmektedir.

Yöntemin ülkemizde gelişme sürecinde olduğunu düşündüğümüzde metotla ilgili olarak ciddi bir bilgi birikiminden bahsedemeyiz. Üretim yönteminde genellikle deneme yanılma yolu seçilerek elde edilen proses bilgileri bir sonraki prosese yansıtılmaktadır. Döküm kalitelerinin yükseltilmesi yönündeki çalışmalar AR-GE yatırımları sınırlı olan firmalar tarafından yürütülmektedir. Yöntemin ülkemizdeki işlerliğinin olumsuzluklarından öte metal enjeksiyon döküm yönteminde zirvede bulunan İtalya, Portekiz, Hindistan gibi ülkeler de üretimlerini kesin ve kati matematiksel formülasyonlara dayanarak gerçekleştirememektedirler. Bunun sebebi; erimiş metal sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, sıvı metale etki eden piston basıncı, kalıp dolma hızı ve sayamadığım birçok etkenin sıvı metalin kalıp içerisindeki hareketlerini karmaşık kılmasıdır. Zaten İtalya, Portekiz, Hindistan gibi ülkeler ve ülkemizdeki Döktaş, Cevher Döküm ve Dynacast gibi büyük kuruluşlar da bu yöntemle elde edilen parça kalitesini yükseltmek amacıyla yönelik yatırımlarını, sıvı metalin kalıp içerisindeki hareketlerini daha kalıpları üretmeden önce bilgisayar ortamında ilgili kalıp dolma simülasyonlarıyla belirlemek yönünde yoğunlaştırmışlardır.

Yapmış olduğum çalışmanın, metal enjeksiyon döküm yöntemiyle kaliteli iş parçaları elde edebilmek için; kalıpların yolluk tasarımı sırasında nelere dikkat edilmesi gerektiği, yolluk boyut, şekil ve kalıp üzerindeki konumlarının belirlenmesinde nelere dikkat edilmesi gerektiği ve kalıp ömrünü uzatarak sağlıklı iş parçasını elde etmek konularında kalıp tasarımcılarına ışık tutacağı inancındayım.

Bu çalışmamın gelişme ve sonuçların değerlendirilmesi sürecinde benden zamanını ve bilgi birikimini esirgemeyen değerli danışmanım Yrd.D.Dr. Yusuf Yılmaz'a, üç yıllık çalışma hayatım boyunca metal enjeksiyon kalıp üretimi ve dökümü bilgisini kazanmama, çalışmamın deneysel uygulamalarını gerçekleştirmeme imkân tanıyan Kağan Döküm&Kalıp'a ve çalışmamın sonuna kadar beni teşvik edip yardımcı olan sevgili eşim Eşma'ya teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLolar.....	xi
SEMBOLLER.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. TEORİK ESASLAR.....	8
3.1 YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ.....	8
3.1.1 Giriş.....	8
3.1.2. Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi ve Özellikleri.....	9
3.1.2.1 Proses tanımı.....	9
3.1.2.2 Kullanılan malzemeler.....	9
3.1.2.3 Proses varyasyonları.....	9
3.1.2.4 Ekonomik hususlar.....	9
3.1.2.5 Tipik uygulamalar.....	10
3.1.2.6 Tasarım kriterleri.....	10
3.1.2.7 Kalite faktörleri.....	11
3.1.3 Alaşımlar ve Özellikleri.....	13
3.1.4. Yüksek Basınçlı Döküm Yönteminin Sınıflandırılması.....	14
3.1.4.1 Soğuk kamaralı döküm.....	14
3.1.4.2 Sıcak kamaralı döküm;.....	17
3.1.4.3 Soğuk ve sıcak kamaralı döküm yöntemlerinin kıyaslanması.....	20

3.2 METAL ENJEKSİYON KALIPLARINDA YOLLUK TASARIMI.....	23
3.2.1 Yolluk ve Yolluk Tasarımının Önemi.....	23
3.2.2 Döküm Parçasında Karşılaşılan Hatalar.....	25
3.2.2.1 Çekme boşlukları.....	25
3.2.2.2 Yüzey çökmeleri.....	25
3.2.2.3 Katmerlenme.....	25
3.2.2.4 Yüzeylerdeki akış çizgileri.....	26
3.2.2.5 Gaz boşlukları (Porozite).....	26
3.2.3 Yolluk Kanalı Tipleri.....	27
3.2.3.1 Kör yolluk.....	27
3.2.3.2 Ofset yolluk.....	27
3.2.3.3 Toplayıcı yolluk.....	27
3.2.3.4 Yayıcı yolluk.....	28
3.2.4 Yolluktaki Akış Hızının Belirlenmesi.....	28
3.2.4.1 Akış hızının yüksek olmasının avantajları.....	29
3.2.4.2 Akış hızının yüksek olmasının dezavantajları.....	29
3.2.5 Yolluk Kesitinin Tayini.....	30
3.2.6 Basınçlı Döküm Yöntemi Üzerinde Geliştirilen Teoriler.....	31
3.2.6.1 Frommer teorisi.....	31
3.2.6.2 Brandt teorisi.....	33
3.2.6.3 Koester ve Goehring teorileri.....	34
3.2.7 Yolluk Tasarım Kriterleri.....	36
3.2.7.1 İnce cidarlı döküm parçaları.....	36
3.2.7.2 Kalın cidarlı döküm parçaları.....	37
3.2.8 Hava Cepleri.....	41
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
4.1 BİRİNCİ DENEY KALIBI.....	45
4.1.1 Yolluk Tasarımı.....	47
4.1.2 Deney Prosedürü.....	52
4.1.3 Deney Sonuçları.....	55
4.2 İKİNCİ DENEY KALIBI.....	68
4.2.1 Yolluk Tasarımı.....	70

4.2.2 Deney Prosedürü.....	76
4.2.3 Deney Sonuçları.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
6. KAYNAKLAR.....	90
7. EKLER.....	

ÇİZELGELER

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Bazı Alaşımların Proses Uygulanabilirlikleri.....	12
Çizelge 3.2 Döküm Proseslerinin Genel Döküm Karakteristikleri.....	22

ŞEKİLLER

	Sayfa No
Şekil 3.1 Soğuk Kamaralı Metal Enjeksiyon Presi.....	14
Şekil 3.2 Kalıp Kapalı - Proses başlangıcı.....	15
Şekil 3.3 Basınç Anı.....	15
Şekil 3.4 Kalıp Açılıyor.....	16
Şekil 3.5 Parça İtiliyor - Proses Bitişi.....	16
Şekil 3.6 Sıcak Kamaralı Metal Enjeksiyon Presi.....	17
Şekil 3.7 Kalıp Kapalı - Proses Başlangıcı.....	18
Şekil 3.8 Basınç Anı.....	18
Şekil 3.9 Kalıp Açılıyor.....	19
Şekil 3.10 Parça İtiliyor - Proses Bitişi.....	19
Şekil 3.11 Çeşitli Yolluk Uygulamaları	24
Şekil 3.12 Yolluk Kanalı Tipleri.....	27
Şekil 3.13 Frommer Teorisini Temsil Eden Taslak.....	31
Şekil 3.14 Frommer'e Göre Kalıp Dolumu.....	32
Şekil 3.15 Brandt Teorisi'ni Temsil Eden Taslak.....	34
Şekil 3.16 Koester ve Goehring'in Teorilerini Temsil Eden Taslak.....	35
Şekil 3.17 Modern Makinelere Evvel Uygulanan Sıkıştırma Pistonu Uygulaması.....	38
Şekil 3.18 Yolluk(dağıtıcı) ve hava cepleri(taşmalar).....	42
Şekil 4.1 Filtre Gövdesi (Birinci Deney Parçası).....	45
Şekil 4.2 Filtre Gövdesi (Birinci Deney Parçası).....	46
Şekil 4.3 Filtre Gövdesi İçin Uygun Olmayan Yolluk Tasarımı.....	49
Şekil 4.4 Filtre Gövdesi İçin Uygun Yolluk Tasarımı.....	50
Şekil 4.5 Filtre Gövdesi İçin Uygun Olmayan ve Uygun Olan Yolluk Tasarımları.....	51
Şekil 4.6 Deney Kalıbının Enjeksiyon Presine Bağlanması.....	52
Şekil 4.7 Uygun Olmayan Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri.....	64
Şekil 4.8 Uygun Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri.....	67
Şekil 4.9 Flanş (İkinci Deney Parçası).....	68
Şekil 4.10 Flanş (İkinci Deney Parçası).....	69
Şekil 4.11 Flanş İçin Uygun Olmayan Yolluk Tasarımı.....	72

Şekil 4.12 Flanş İçin Uygun Yolluk Tasarımı.....	73
Şekil 4.13 Flanş İçin Uygun Olmayan ve Uygun Olan Yolluk Tasarımları.....	74
Şekil 4.14 Deney Kalıbının Enjeksiyon Presine Bağlanması.....	76
Şekil 4.15 Uygun Olmayan Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri	86
Şekil 4.16 Uygun Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri.....	87

TABLULAR

	Sayfa No
Tablo 4.1 Birinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	55
Tablo 4.2 İkinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	56
Tablo 4.3 Üçüncü Enjeksiyon Baskı Şartları.....	57
Tablo 4.4 Dördüncü Enjeksiyon Baskı Şartları.....	59
Tablo 4.5 Beşinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	60
Tablo 4.6 Altıncı Enjeksiyon Baskı Şartları.....	61
Tablo 4.7 Yedinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	62
Tablo 4.8 Birinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	79
Tablo 4.9 İkinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	80
Tablo 4.10 Üçüncü Enjeksiyon Baskı Şartları.....	81
Tablo 4.11 Dördüncü Enjeksiyon Baskı Şartları.....	82
Tablo 4.12 Beşinci Enjeksiyon Baskı Şartları.....	83

SEMBOLLER

Ra	Yüzey pürüzlülüğü
g	Yerçekimi ivmesi
P	Döküm basıncı
s	Sıvı metalin geçtiği giriş kesiti
b	Giriş kesiti genişliği
G	Baskısı gerçekleştirilen parça ağırlığı
t	Kalıp dolun süresi
v	Metal jetinin giriş kesitindeki hızı
h	Giriş kesiti kalınlığı
γ	Sıvı metal özgül ağırlığı

1. GİRİŞ

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ülkemizde çok yaygın olarak kullanılmayan, yada kullanımı son zamanlarda biraz daha artış gösteren bir üretim yöntemidir. Özellikle otomotiv sanayinde yedek parça üretiminde, zirai aletlerin yapımında, hediye ve süs eşyalarının üretiminde, ev dekorasyonunda kullanılan bazı parçalar.. yine bu yöntemle üretilmektedirler.

İş parçasının dişi boşluğunu ihtiva eden metal enjeksiyon kalıplarına yüksek basınç altında eriyik metalin bir itici piston sayesinde itilmesi yolu ile gerçekleştirilen bu işlemde eriyik metalin davranışları, bu işlemin başarısı ile birebir ilişkilidir. Metal sıcaklığının tayini, itici pistonun hareket biçimi ve hızı, itici pistonun uyguladığı basınç... ve daha birçok etken kalıp tasarımı dışında olmakla birlikte döküm kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Ancak en önemli faktör; erimiş metalin kalıp içerisinde hareket yönü, hızı ve basıncını belirleyen kalıp yolluğunun şekli, büyüklüğü ve konumunun tayinidir.

Kalıp yolluğu tasarımı için bugüne kadar kesin ve net kurullarla tayin edilmiş metotlar mevcut değildir. Metal enjeksiyon yöntemini kullanan büyük kuruluşlar bugüne kadar bu işlemi zaman içinde elde ettikleri tecrübeye dayalı olarak gerçekleştirdiler. Yolluk tasarım kriterlerini deneme yanılma yolu ile belirlemişler ve zaman içinde olumlu sonuç aldıkları uygulamalardaki kriterleri de kendi tasarım kriterleri olarak belirlemişlerdir. Bu yöntem üzerinde daha hassasiyetle duran kuruluşlar tecrübe ettikleri değerleri bir araya getirerek çeşitli nomogramlar çıkartmışlar ve sonraki tasarımlarında da bu nomogramlar doğrultusunda üretim yapmışlardır. Ancak bu bilgilerin dışarı çıkartılmaması herkesin kendi tasarım kriterlerini oluşturmalarını da beraberinde getirmiştir.

Bu konudaki bilgisayar desteği ise günümüzde kısıtlı ve bir o kadar da pahalı bir yöntemdir. Akış hareketlerinin ve akışın dinamik özelliklerini inceleyen Fluent yazılımının metal kalıpları için yolluk tasarımında kullanımı söz konusu değildir. Çünkü sadece akışkan dinamiği değil sıcaklık da değişken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımında kullanılan birkaç adet yazılım bulunmakta iken metal enjeksiyon kalıp tasarımı için hazırlanmış olanı sadece Magma-Soft yazılımıdır. Bu yazılım ülkemizde yüksek ve alçak basınçlı döküm

sektörünün zirvesinde bulunan Cevher Döküm, Döktaş gibi kuruluşlarda günümüzde kullanılmaktadır. Bu programda yolluk ve hava ceplerinin de yer aldığı mevcut bir kalıp tasarımı katı model olarak programda kullanılıyor. Girdi olarak enjeksiyon işleminin basınç değeri, basınç değişimi ve metal sıcaklığı alınıyor. Çıktı olarak da baskı işlemi sonucu oluşacak porozitelerin konum ve büyüklükleri veriliyor. Sonra bu porozitelerin oluşmasını engelleyecek yeni bir yolluk ve hava cepleri tasarımı geliştiriliyor. Bu işlem, hava boşluğu bulunmayan sağlıklı ürün elde edilene kadar devam ediyor.

Yazılımın çok pahalı olması kullanımını kısıtlı kılmaktadır. Daha önemlisi bilgisayar ortamında optimum yolluk tasarımını elde etmek için yapılan analizlerin en kısa sürede tamamlanması için metalin izleyeceği yolun, oluşturacağı döküm kalitesinin ve tasarım kriterlerinin iyice anlaşılması gerekmektedir (Fuh 2004).

Bu maksatla yapmış olduğum bu çalışmada; şekil ve kullanım alanları birbirinden farklı iki adet parçanın kalıp tasarımları gerçekleştirildi. Bu parçalardan birincisi karmaşık şekilli orta kalınlıklı ve hidrolik çalışma ortamında sızdırmazlık gerektiren bir parça, ikincisi ise aydınlatma sistemlerinde kullanılan ince kesitli ve dairesel bir parça idi. Bu tasarımlarda her kalıp için birbirinden farklı ikişer adet yolluk geliştirildi. Birinci tip yolluklar olumsuz örnek, ikinci tip yolluklar ise olumlu örnek teşkil edecek şekilde tasarlandılar. İki parça için de birinci ve ikinci tip yolluklarla, farklı baskı şartlarında(enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, kalıp açılma zamanı..vs) baskı işlemleri gerçekleştirildi. İkişer farklı yolluktan çıkan en sağlıklı parçalar; yüzey kalitesi, sertlik, parçanın tam dolumu ve kesitlerindeki porozite seviyeleri bakımından kıyaslandı. Çıkan sonuçlar fotoğraf ve raporlarla desteklendi. Böylece orta kalınlıktaki karmaşık şekilli ve ince kesitli dairesel parçalar için optimum yolluk tasarımı kriterleri belirlenmiş oldu.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hu; Tong; Niu; Pinwill(1999)'ın yapmış oldukları çalışmada; yolluk ve hava ceplerinin optimum konumlarını tespit etmek için çok ince kesitli magnezyum alaşımlı telekomünikasyon parçalarının sıcak kamaralı enjeksiyon makinelerinde enjeksiyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. İki farklı tipte yolluk biçimi tasarlamışlar ve enjeksiyon işleminin sonuçlarını analiz etmişlerdir. Birinci tip tasarımda iki girişli bir yolluk tasarlamışlar ve bu durumda iki girişin de farklı yönlerden dairesel hareketlerle kalıp boşluğunu doldurduğunu görmüşlerdir. İki akışın kalıp içinde bir noktada çarpışarak ön taraftaki havayı daha iç tarafa çektiklerini ve porozite problemlerine sebep olduklarını tespit etmişlerdir. İkinci durumda ise tek yolluk girişi fakat daha büyük kesitli bir giriş uygulamışlardır. Daha düşük bir hızda dolum gerçekleşmiş zıt akımlar oluşmamış ve ön taraftaki havanın da hava cepleri sayesinde kalıp boşluğundan atılabildiğini görmüşlerdir. İkinci tip tasarımdaki parçanın daha az porozite ihtiva ettiğini ve daha güzel bir dış görünümüne sahip olduğunu görmüşlerdir.

Tai; Lin(1997)'in yapmış oldukları çalışmada; bir metal enjeksiyon kalıbı tasarlariken yolluk tipi ve kalıp üzerindeki yerinin en hızlı şekilde tayini için bilgisayar bütünleşik sistemini kullanmışlardır. İlk olarak bir yolluk tasarımı yapılmış ve bu durumda iş parçası üzerindeki deformasyonlar sonlu elemanlar yöntemi ile hesap edilmiştir. Bu yolla elde edilen birçok sonuç için bilgisayarda bir indeks tablosu oluşturulmuştur. Sistem bu sayede yapay bir mantığa sahip olmuştur. Daha sonraki tasarımlarda sistem optimum yolluk biçim ve konumunu kendisi belirlemiştir. Tabii indeks tablosunun büyümesi daha kesin sonuçlar vermiştir. Bu sayede yolluk biçim ve konumunun tayin süresi ve maliyetleri de aşağı çekilmiştir.

Kim, Chang Ho(2001) tarafından yapılan bir çalışmada kişisel bir bilgisayarda yazılan Auto LISP Cad programı kullanılmıştır. Bu programda akış analizleri yapılarak uygun yolluk konumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Mevcut tasarımdaki akış problemleri tespit edilerek, bu veriler programın bilgi bankasına aktarılmıştır. Bu sayede bir sonraki tasarım sırasında hatalı bir uygulama program tarafından hata mesajları ile engellenmiştir. Bu çalışma esnasında şapka biçimindeki bir parça için

tasarım yapılmış ve programda uygulanmıştır. Program farklı algoritmaları da kullanarak yolluk dizaynının yanında genel kalıp dizaynı içinde kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

Renaud; Beaulieu; Fairchild(1997) tarafından yapılan çalışmada; magnezyum metal enjeksiyon parçalarındaki en önemli problemin porozite seviyesi ve kılcal çatlaklardaki gerilme değerleri olduğu vurgulanmıştır. Çalışmalarında; hava cebi geçiş bölgesi, kalıp boşluğunda başlangıçta bulunan hava miktarı, metal sıcaklığı, kalıp dolum zamanı ve piston vuruş hızı parametreleri değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Her bir parametre için on ayrı deneme yapılmış ve baskılarda meydana gelen kılcal çatlaklardaki gerilmeler ile porozite değerleri belirlenmiştir. Müteakiben ölçülen değerler ışığında matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Herman(1986) çalışmasında metal enjeksiyon kalıplarındaki ısı denge üzerine odaklanmıştır. Bir metal enjeksiyon kalıbının mevcut çalışma şartlarında kalıp elemanlarındaki ısı transferini incelemiştir. Isı akışının mümkün olduğunca homojen dağılımını sağlamak için; eriyik geçiş yollarını oluşturan yolluk, yolluk giriş ağzı (yolluğun iş parçası ile bulunduğu nokta) iş parçası ve hava tahliye kanallarının kavite üzerindeki yerini optimum kılacak çözümü araştırmıştır. Mevcut kalıptaki yolluk ölçülerine göre kalıba dolacak eriyikten kaynaklanacak ısı akışını hesap etmiş ve ısı yoğunluğun olduğu bölgeleri tespit etmiştir. Son olarak da bu ısı yoğunluğu gidermek için uygun soğutma kanallarını tasarlamıştır.

Liangrong; Shoumei; Baicheng(2000) yaptıkları çalışmada temel akışkanlar mekaniği tekniklerini kullanarak metal enjeksiyon kalıbının dolum hadisesini, türbülans olgusunu simüle etmesi açısından, üç boyutlu bir matematiksel model kurmuşlardır. Ayrıca ısı transferini simüle etmesi için de ayrı bir matematiksel model kurmuşlardır. Bilgisayardaki hesaplama programını sonlu farklar metodunu kullanarak kurmuşlardır. Son olarak pratik bir uygulamada; bir motosiklet parçasının metal kalıbının yolluğu ve kalıbın soğutma kanalları kalıp dolum simülasyonundan çıkan sonuçlara göre değiştirilmiştir. Simülasyonlarda optimum hale getirilmiş bütün tasarımlar pratik uygulamalarla doğrulanmıştır.

Uludağ(2000) yapmış olduğu çalışmada metal enjeksiyon pres makinelerinin baskı özelliklerini içeren nomogramlar ve akışkanlar mekaniğinin temel prensiplerini göz önüne alarak; zamak (çinko alaşımlı) malzemeden üretilen dikdörtgen prizmatik bir parçanın yolluk tasarımını gerçekleştirmiştir. Teorik uygulamalarda elde ettiği parça ağırlığı, parçanın yüzey alanı ve alanın yüzeye oranını pratik uygulama sonucu oluşan değerlerle kıyaslamıştır. Bu kıyaslamaları değişen yolluk kesitlerinde birkaç kez yinelemiş ve teorik uygulama ile pratik uygulama sonuçlarının birbirine en yakın olduğu yolluk tasarımını ideal kabul etmiştir.

Shamsuddin(1997) gerçekleştirdiği çalışmada Fortran diliyle yazılmış bir program desteğiyle, enjeksiyon baskı işlemi için bir analiz metodu kullanmıştır. Analiz işlemi bir kalıp üzerinde 40-90° arasında değişen dört farklı açıda yerleştirilmiş yolluk sistemleri üzerinde odaklanmıştır. Dalıcı piston üzerine hangi farklı açılarda ne kadar basınç etkidiğini tespit etmek üzere oluşturulan bu analiz yönteminde kalıbın dolma durumları da incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda; küçük dallanmalar gösteren açı değerine sahip yollukların tasarlandığı kalıplarda, baskı işlemi küçük basınçlarda gerçekleştirilebilmekte ve çıkan iş parçası daha az gözenekli, tok bir yapıya sahip olmaktadır.

Dvorak; Barriere; Gelin(2005) yapmış oldukları çalışmada bir metal kalıpta, kalıbı dolduran sıvı jetin oluşumunu ve bu jetlerin farklı yolluk uzunluk, genişlik ve şekillerindeki; davranışlarını incelemiştir. Laboratuvar ortamında hazırladıkları özel bir metal kalıba özel cam bir pencere ve pencerenin hemen arkasına da jet oluşumunu kaydedebilecekleri bir kamera yerleştirmişlerdir. Bu durumda kalıp üzerindeki yolluk tasarımını ve enjeksiyon baskı şartlarını sürekli değiştirerek jet oluşumunu değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda fazla yön değiştirmeyen ince kesitli yollukların daha hızlı ve dağılmayan cinsten jet oluşumunu beraberinde getirdiğini gözlemlemişlerdir. Bu jet oluşumunu da uygun yolluk tasarımı olarak tanımlamıştır.

Weishan; Shomei; Baicheng(1997) yapmış oldukları çalışmada metal kalıplar için bir CAD/CAE sistemi geliştirmişlerdir. Metal kalıp tasarımcıları bu sistemin

tasarım bölümü sayesinde; alaşımın özelliklerine, döküm parçasının geometrisine ve enjeksiyon makinesinin özelliklerine göre yolluk ve besleyicilerin şekli, boyutları ve yerleşimini belirleyebiliyorlardı. CAD prosesinden sonra sistemin CAE bölümü; kalıp dolumu ve katılma esnasında problemlerin oluşup oluşmadığını kontrol eden karmaşık hesaplamaları gerçekleştiriyordu. Birbiriyle enteraktif çalışan CAD ve CAE bölümleri optimum termal şartları ve en iyi dolumu sağlayacak ideal çözümü buluyordu.

Yoshiaki; Shoji; Katustoshi; Motoyuki(1986) yapmış oldukları çalışmada sıvı metalin kalıp içindeki hareketi ve bu hareketin kalıbın iş parçası yolluk ve hava ceplerinde nasıl bir formda olduklarını araştırmışlardır. Dört farklı enjeksiyon prosesini, kapasiteleri 500-1650 ton arasında değişen makinelerde gerçekleştirmişler ve çalışma sonucunda sıvı metalin kalıbın iş parçasını teşkil eden kısmında (kavite) ve hava ceplerinde tek yönlü, yolluk kısmında ise iki yönlü bir hareketinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Yolluğun kesit görüntüsünü inceledikten sonra katılma esnasındaki zıt yönlü yapılanmayı görmüşler ve kalıbın yolluk bölgesinde iki yönlü bir hareketin varlığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu sebepten dolayı da yolluk giriş yakınlarına, kalıp tasarımının müsaade ettiği çerçevede, uygun hava tahliye kanallarını yerleştirerek iş parçasının yolluk girişi yakınlarında iki yönlü akımdan dolayı oluşabilecek porozite problemini yenmişlerdir.

Griffiths; Whithworth(2006) yapmış oldukları çalışmada saf alüminyumun bir metal enjeksiyon kalıbının kaplama yapılmış iki farklı tipinde baskı işlemini gerçekleştirmişlerdir. Birinci tip kaplama, kalıbın kaplanmamış hali ile benzer ısı iletkenliğe fakat farklı yüzey pürüzlülüğüne sahipti. İkinci tip kaplama ise kaplanmamış kalıp ile benzer yüzey pürüzlülüğüne fakat farklı ısı iletkenliğe sahipti. Gerçekleştirilen baskı işlemlerinin sonuçları açıkça gösterdi ki; metal akışkanlığı kaplama tipine göre farklılıklar gösteriyordu. Kalıp dolumu, ısı iletkenliğin yüksek olduğu kalıpta iyi, fakat yüzey pürüzlülüğünün kaplama işleminden sonra azaldığı durumda çok daha iyi idi. Araştırmayı yapanlar bu sonuca; kalıp dolumu esnasında metal kalıp ile döküm parçası arasında temiz bir ısı iletim yüzeyinin oluşması ve dolayısıyla ısı transferinin kolaylaşması sonucu varmışlardır.

Dargusch; Dour; Schauer; Dinnis; Savage(2006) çalışmalarında bir metal kalıp çekirdeğine yerleştirdikleri basınç sensörleri sayesinde yüksek basınç altında dökümü gerçekleştirilmiş bir döküm parçasının değişken proses parametrelerindeki kalitesini araştırmışlardır. Birbirinden farklı olarak basınç şiddetindeki değişim, baskı bekleme süresi ve döküm hızı incelenmiştir. Çekirdek üzerindeki basınç sensörleri; enjeksiyon pres makinesi ile değiştirilen proses parametreleri sayesinde çekirdek üzerinde oluşan farklı şartların belirlenmesinde ve bu şartların döküm parçasını nasıl etkilediklerinin tayininde kullanılmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda; basınç şiddetinin artırılması yada döküm hızının azaltılması yolu ile porozite(döküm parçası kesitindeki gözenekli yapı) miktarının azaldığını görmüşlerdir. Basınç şiddetinin artırılması öncesinde gerçekleşen bekleme zamanının artmasının ise porozite miktarında ciddi bir değişikliğe sebep olmadığını görmüşlerdir.

3. TEORİK ESASLAR

3.1 YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ

3.1.1 Giriş

Enjeksiyon dökümlerde, erimiş haldeki metal, yüksek basınçlarda kapama kuvvetlerine sahip enjeksiyon preslerine bağlanan metal kalıplardaki boşluklara enjekte edilirler. Hidrolik olarak hareket ettirilen piston, yatay veya dikey döküm kamaralara sahip makinelerde yatay veya dikey eksenlerde hareket ederek erimiş metali kalıp boşluğuna iletir.

Bu döküm yönteminde metal kalıba sıvı haldeki ergimiş metal yüksek basınçlar altında doldurulur. Kokil dökümden farklı olarak sıvı metal, kalıba yüksek basınç ile sevk edilir. Kokil döküm ve yüksek basınçlı dökümlerin her ikisinde de metal kalıplar kullanılır. Yüksek basınç uygulanması sebebi ile kalıp dolumu çok yüksek bir hızda gerçekleşir. Bu da çok karmaşık şekilli parçaları bu yöntemle dökümüne imkân sağlar. Dökümü yapılacak parçanın sıcaklığı genellikle 1000 °C'nin altındadır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile çok küçük ve hassas, hepsi aynı özellikte ve seri halde üretim gerçekleştirilebilir. Döküm sonrası parçalardan; talaşlı imalat uygulanarak kullanılan parçalar olduğu gibi hiçbir talaş kaldırma işlemi gerektirmeden kullanılan parçalar da mevcuttur. Döküm sonrası parça yüzeyleri hızlı soğumadan dolayı ince taneli ve tok bir yapıya sahiptir. Parça cinsine göre bu yöntemle tek bir metal kalıpla 5000-100000 arasında döküm yapılabilir. Metal kalıplar birçok parçadan oluşmaları, kullanılan parçaların(özellikle sıvı metal ile temas halinde olan parçalar) kaliteli çeliklerden imal edilmeleri, çelikler üzerindeki karmaşık şekillerin varlığı metal kalıp imalini pahalı kılmaktadır. Bu sebeple kalıp üretmek için kalıptan elde edilecek parça sayısının değerlendirilmesi gerekir. Parça boyut ve şekillerine bağlı olmakla birlikte bu rakam 5000'den az olmamalıdır. Kalıp ömrünün uzun olması için dökümü yapılacak malzemenin döküm kalıbına zarar vermemesi gerekir. Bu döküm yönteminde kalıp malzemesi olarak dökme demir, karbonlu çelik, alaşımlı çelik ve bazen de demir dışı malzemeler kullanılabilir.

3.1.2. Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi ve Özellikleri

3.1.2.1 Proses tanımı;

Erimiş metal, katılaşacak olduğu metal kalıp içine yüksek basınçla doldurulur. Kalıp açılır ve sonra döküm parçası itici pimler vasıtasıyla itilerek kalıp dışına çıkarılır.

3.1.2.2 Kullanılan malzemeler;

- Demir dışı metallerle sınırlıdır, çinko, alüminyum, magnezyum, kurşun, kalay ve bakır alaşımları bu yöntemle dökümü gerçekleştirilen metallerdir.
- Çinko ve alüminyum alaşımların uygulama alanları en geniştir.
- Yüksek sıcaklıkla prosesleri gerçekleştirilebilen bakır alaşımları..vs kalıp ömrünü azaltırlar.
- Demir esaslı malzemelerin bu yöntemde kullanılması için çalışmalar yapılıyor.

3.1.2.3 Proses varyasyonları;

- Soğuk kamaralı döküm yöntemi; yüksek erime sıcaklığına sahip metallerin dökümünde kullanır.
- Sıcak kamaralı döküm yöntemi; erimiş metallerin erozif etkileri göz önüne alınarak, düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin dökümünde kullanılır.

3.1.2.4 Ekonomik hususlar;

- Yüksek üretim hızı elde edilebilir, örneğin 200 parça/saat
- Diğer yöntemlerle bu süre aylarla ifade edilebilirdi.
- Yolluklar, parçadan havanın tahliye edildiği hava cepleri..vs parçayı teşkil eden kısmın haricindeki bölgeler yeniden eritilerek kullanılabilir.
- Kalıplardaki yüksek komplekslik oranı ve prosesin zorluğu bu döküm yöntemini daha başlangıçta yüksek maliyetli hale getirir.

- Üretim sıklığı ya da döküm sayısı 10000'den fazla olduğu zaman işlemin ekonomikliğinden bahsedilebilir.
- Kalıp maliyeti yüksektir.
- Kullanılan makine, ocak ve diğer ekipmanların maliyeti yüksektir.
- İşçilik ücretleri düşük ya da orta derecelidir.
- Finitiş operasyonlarının maliyeti düşüktür. Oluşan çapakları almak için trim operasyonları her baskı işleminden sonra zorunludur (Street 1986).

3.1.2.5 Tipik uygulamalar;

- Transmisyon kutuları
- Makine parçaları
- Pompa komponentleri
- Elektrik kutuları
- Ev dekorasyonu uygulamaları
- Oyuncak parçaları

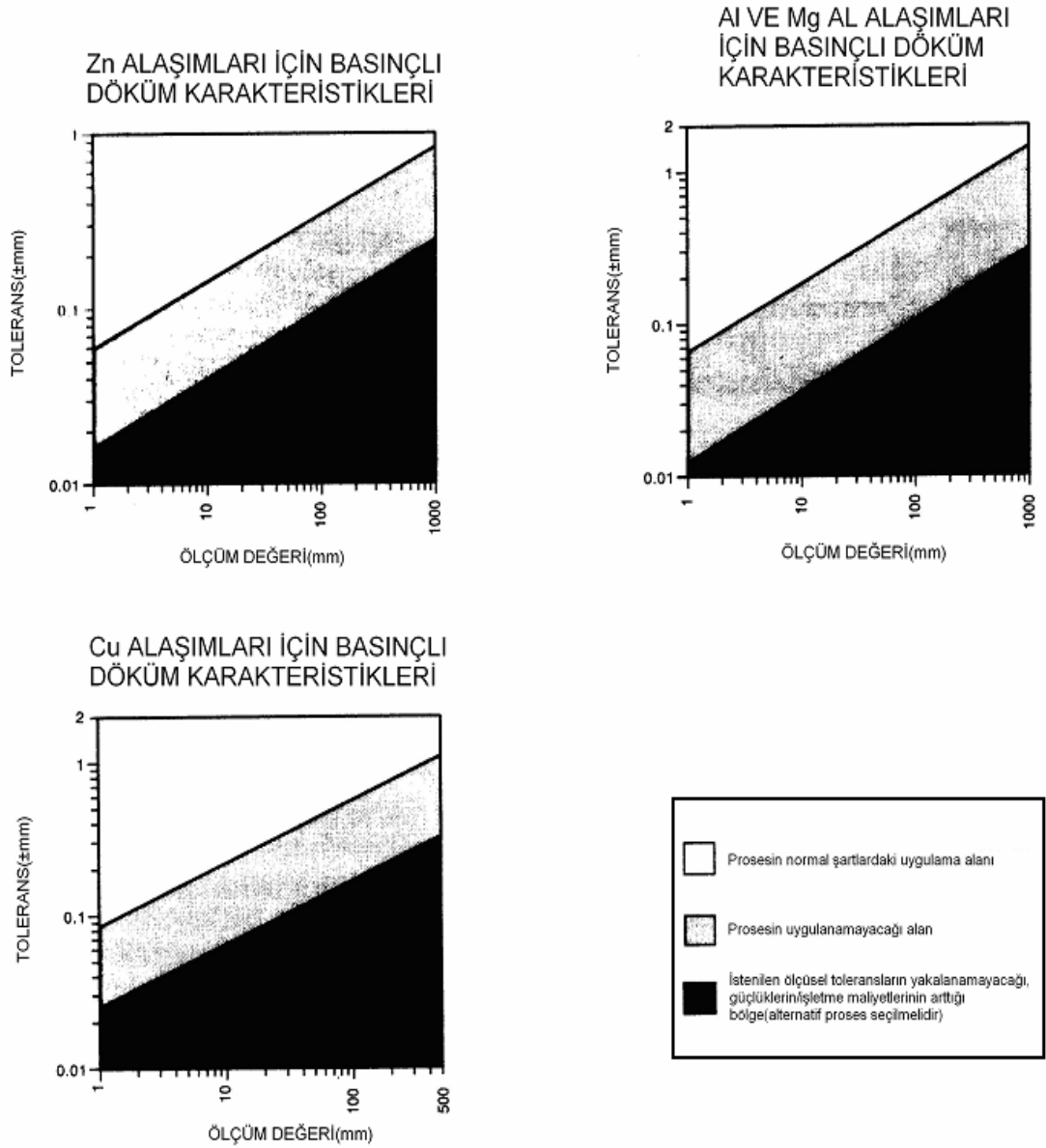
3.1.2.6 Tasarım kriterleri;

- Şekil karmaşıklığı yüksek oranlarda olabilmektedir ve bu durum da hareketli maçaların tasarımlarını kısıtlamaktadır.
- Et kalınlıkları parçanın her bölgesinde uniform bir dağılım göstermeli, diğer geçişler kademeli gerçekleşmelidir.
- Tasarım sırasında keskin köşelerin oluşmasından veya düzenli olmayan radyüs geçişlerinin bulunduğu köşelerden sakınılmalıdır. Basınçlı döküm akışkan metalin kalıp tasarımındaki küçük radyüslere kadar dolumunu mümkün kılmaktadır.
- Ayırma hattının parça üzerindeki yeri önemlidir. Bu sebeple kritik ölçülerin bulunduğu yerlerde kesişen ayırma hatlarının tasarımından kaçınılmalıdır.
- Ayırma hattına dik olarak konumlanmış delik ya da boşlukların oluşması hareketli maçalarla sağlanır.

- Dökümde oluşturulan delikler, genellikle döküm sonrası delik delme işleminden daha ekonomik bir yoldur.
- Müsaade edilen işleme derinliği 0.25-0.8mm arasındadır.
- Eğim açısı 0.5-3° arasındadır
- Maksimum kesit kalınlığı 12mm'dir
- Kullanılan malzeme türüne ve viskozitesine bağlı olarak minimum kesit kalınlığı 0.4-1.5 mm arasında değişir.
- Döküm parçası ağırlığı 10g'dan 50kg'a kadar çıkabilir. Çinko malzemeli parçalar 100kg'a kadar dökülebilmektedirler. Bu yöntemle dökülen bakır, kalay ve kurşun parçalar genellikle 5kg'dan hafiftirler (Yu, K-O 2002).

3.1.2.7 Kalite faktörleri;

- Standart döküm yöntemlerinde elde edilen mekanik özelliklerden daha iyi özellikler bu yöntemle kazanılabilir.
- Yüksek erime sıcaklığına sahip metallerin dökümü güç olmakla birlikte bu metaller kalıp ömrünü azaltır.
- Döküm parçasından her seferinde aynı kaliteyi elde etmek; sıcaklığın, basıncın ve soğutma zamanlarının enjeksiyon pres makinelerindeki kapalı kontrolleri sayesinde mümkün olmaktadır.
- İyi derecede mekanik özellikler elde edilir.
- Yüzey kalitesi mükemmel yakındır.
- 0.4-3.2µm arasındaki yüzey pürüzlülüğü yakalanabilir.



Çizelge 3.1 Bazı Alaşımların Proses Uygulanabilirlikleri

Proses uygulanabilirlik çizelgesi; farklı metaller için bu yöntemle elde edilebilir ölçü tolerans değerlerini göstermektedir. Ayırma hattında oluşacak olan ± 0.05 'den ± 0.35 mm'ye kadarki ölçü sapmaları çizelgedeki değerlere eklenmelidir (Swift ve Booker 2001).

3.1.3 Alaşımlar ve Özellikleri

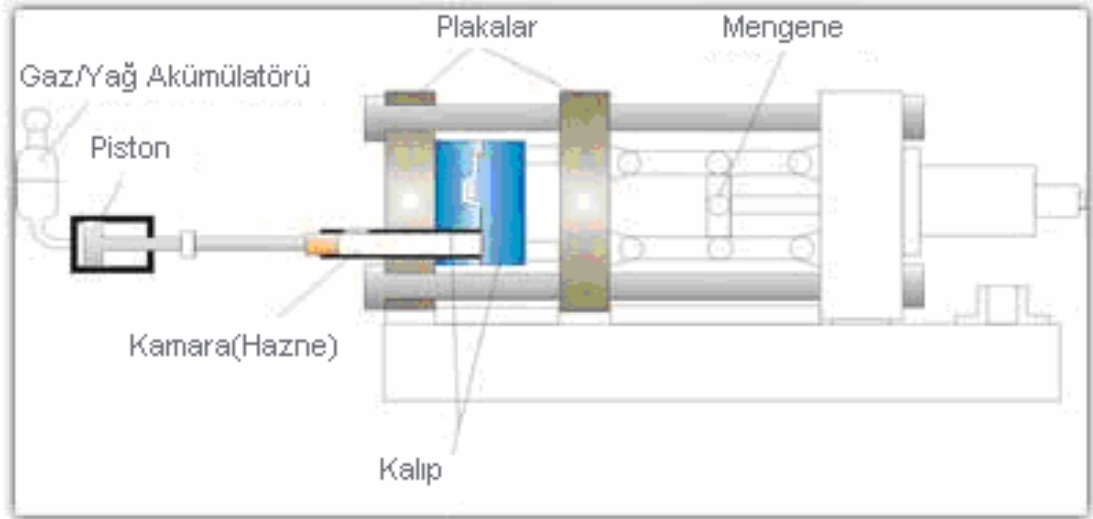
Basınçlı çinko ve alüminyum dökümünde kullanılan kalıplarda benzerlik olmakla beraber alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlar genellikle çinko alaşımlarında olduğu gibi enjekte edilmezler. İşlemdaki değişiklik bu alaşımların özelliğinden ve ergitmek için yüksek sıcaklık gerektirmesinden ileri gelmektedir. Alüminyum ve magnezyum alaşımları 521 °C ve bakır alaşımı da 927 °C'de kalıba enjekte edilirler.

Basınçlı döküm kalıplarında yapılan parçalar için pek çok alüminyum alaşımları kullanılır. Birçok alüminyum alaşımlarında kullanılan % 5-12 silisyum, ergime derecesini düşürdüğu gibi akıcılık özelliğini artırır. Yaklaşık % 3.5 olarak kullanılan bakır, metalin sağlamlığını ve işlenme kabiliyetini artırır. Magnezyum alaşımında yaklaşık % 8 -10 alüminyum, çok az miktarda (% 1'in altında) çinko ve % 0.2 kadar magnezyum bulunur. Magnezyum alaşımı alüminyumun 2/3'ü kadar ağırdır ve ağırlığın önemli bir etken olduğu parçalarda kullanılır. Bakır alaşımından yapılan parçalar, güçlü olması ve korozyona karşı dayanıklılık göstermesi istenen yerlerde kullanılır. Parçalar, değişmez çelik kalıplarda genellikle pirinç pres dökümü adı verilen bakır alaşımlarından yapılır. Bakır alaşımların kalıplanması basınçlı döküm endüstrisinde sınırlı bir kullanma alanına sahiptir. Çünkü alaşımı pahalıdır. Kalıpların yapımı için gerekli olan takım çeliklerinin fiyatı yüksek, işlenmesi zordur. En çok kullanılan bakır alaşımının içinde yaklaşık % 60 bakır ve % 40 çinko bulunur (Campbell 2003).

Yüksek basınçlı döküm işlemleri; soğuk ve sıcak kamaralı döküm makinelerinde olmak üzere iki farklı tip makinede gerçekleştirilir. Bu iki tip yöntem takip eden sayfalarda şekillerle izah edilmiştir.

3.1.4. Yüksek Basıncılı Döküm Yönteminin Sınıflandırılması

3.1.4.1 Soğuk kamaralı döküm



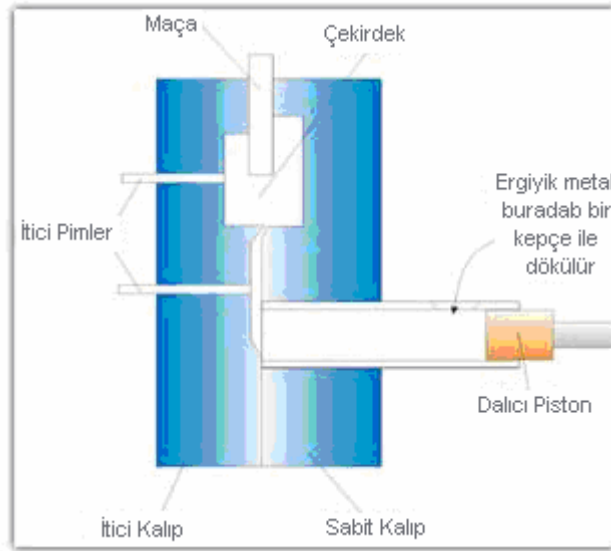
Şekil 3.1 Soğuk Kamaralı Metal Enjeksiyon Presi

Alüminyum alaşımları, sıcak kamaralı olarak kalıplara enjekte edilemezler. Ergimiş alüminyum, çelikle temas ettiği zaman, herhangi bir zaman süresince, demirin kendisini çekme eğilimi vardır. Alüminyum ve diğer yüksek derecede ergiyen alaşımların enjeksiyonu için kullanılan metoda *soğuk kamaralı döküm* adı verilir. Bir fırın içinde erimiş halde tutulan alaşım, basınçlı döküm makinesinden ayrı olarak bulundurulur. Yeteri kadar alaşım her kalıplama makinesinin enjeksiyon silindiri içine doldurulur. Sonra dalıcı piston, alaşımı enjeksiyon silindirinden geçirerek dağıtıcılara oradan giriş yolu ile dışı kalıbın içine iter. Soğuk kamaralı metodun kullanılmasında erimiş alaşım enjeksiyon silindirinin içinde çok kısa bir süre çelikle temas eder. Böylece demirin alüminyumu çekme olanağı en aza düşürülmüş olur. Enjeksiyon silindirinin iç yüzeyleri ve gömleği aşınmayı önlemek için nitrüre edilmiştir (Erişkin ve Uzun 1984).

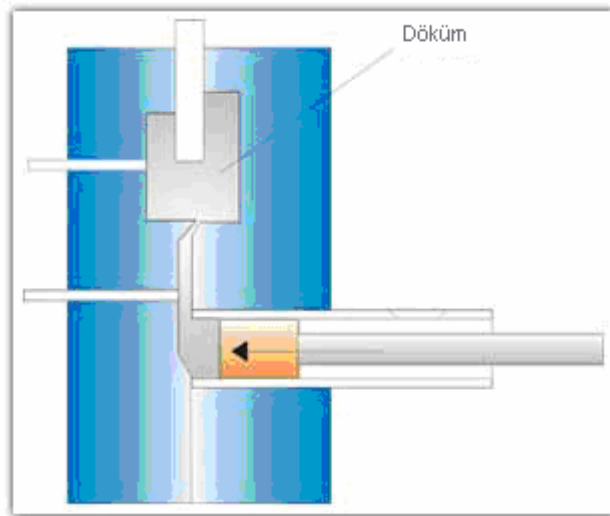
Şekil 3.1 bir soğuk kamaralı metal enjeksiyon presini temsil etmektedir. Şekil-3.2den 3.5'e kadar verilen şekiller ise alüminyum ve magnezyum alaşımlarında soğuk hazneli basınç dökümüyle parça yapımında uygulanan dört basamağı göstermektedir. Şekil-3.2 basınçlı döküm makinesinin sabit ve hareketli tablaları

arasında yerleştirilmiş iki parçalı kalıbın kapalı durumunu göstermektedir. Burada sadece kalıbın hareketli ve sabit kısımları görülmektedir. Dalıcı, geri çekilmiş ve erimiş alaşımın doldurma kanalından silindir içine dolmasını sağlayacak konumdadır. İş parçasına biçim verecek, ayrıca dağıtıcılara, girişe, taşmalara ve artık kısma yetecek kadar alaşım, silindir içine doldurulur. Artık kısmın amacı, kalıplama sırasında basınçlı dökümün soğumasını sağlayıncaya kadar basınçlı tutmak içindir.

Şekil-3.3, alaşımın piston yardımıyla enjeksiyon silindirinden dağıtıcı ve girişe oradan dişi kalıp çukuruna itilmesinden sonraki durumu göstermektedir. Enjeksiyon silindirinin sonunda artık kısım biçimlendirilmiş durumdadır.

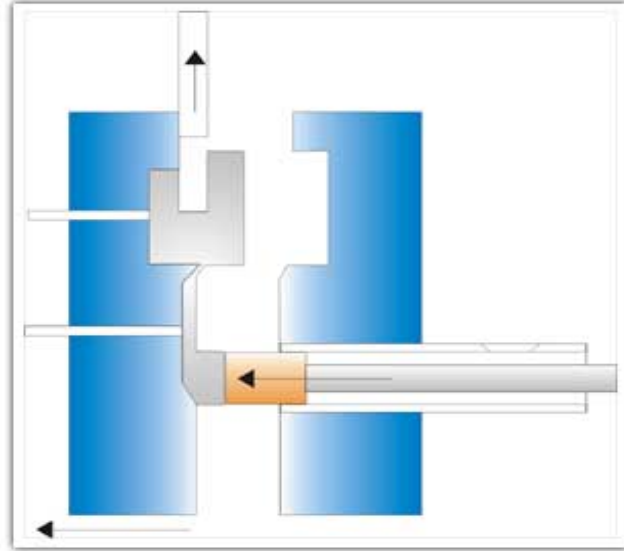


Şekil 3.2 Kalıp Kapalı - Proses başlangıcı

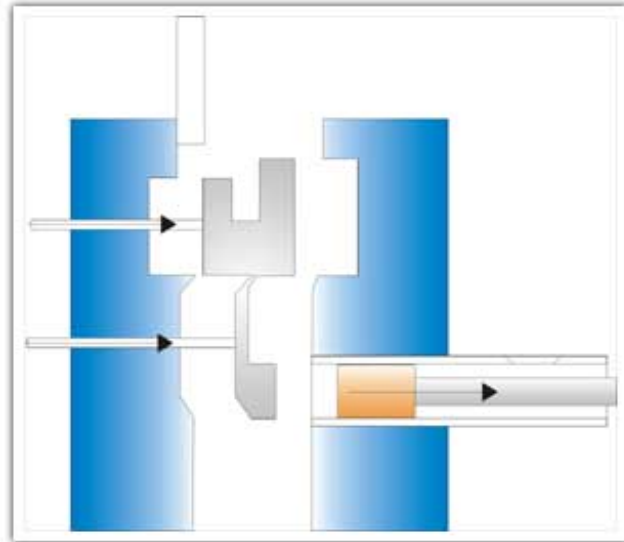


Şekil 3.3 Basınç Anı

Şekil-3.4, kalıbın ayırma yüzünden açılmış ve iş parçasının kalıbın itici bulunan kısmına yapışık konumunu göstermektedir. Kalıbın açılması sırasında, artık malzemenin enjeksiyon silindirinde kalmaması için piston ileri hareketine devam eder. Sonra piston geri çekilerek eski konumuna gelir. Şekil 3.5'te itici pimler parçayı itmiş ve dalıcı piston geriye doğru hareket etmektedir.



Şekil 3.4 Kalıp Açılıyor

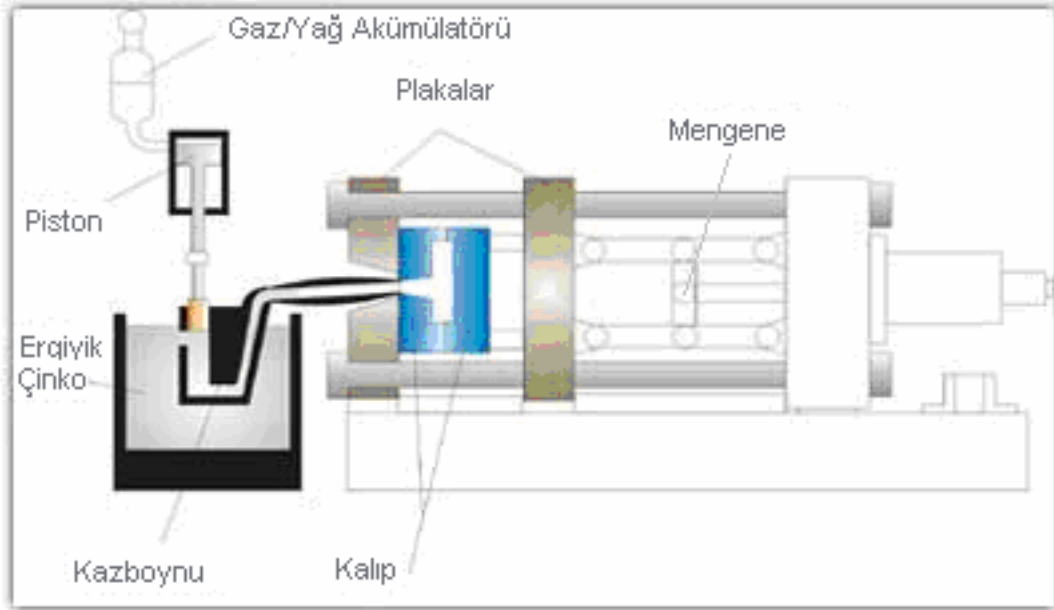


Şekil 3.5 Parça İtiliyor - Proses Bitişi

Kalıplama bittikten sonra, işçi işi kalıptan alır ve basınçlı hava kullanarak kalıp üzerinde kalan taşma veya parçaları temizler. Kalıp kapanmadan önce kalıp

yüzeyleri, iyi korunması ve işin kolay itilmesini sağlamak için yağlanır. Kalıbın kapanması sırasında itici pimler itilir. Böylece işlemler tekrarlanarak kalıplama yapılır.

3.1.4.2 Sıcak kamaralı döküm;

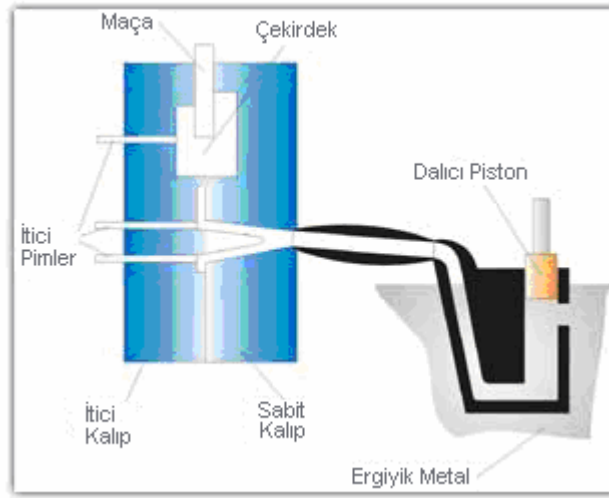


Şekil 3.6 Sıcak Kamaralı Metal Enjeksiyon Presi

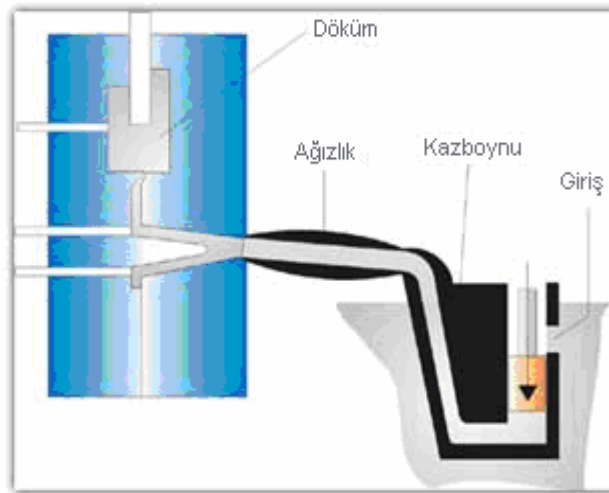
Sıcak kamaralı metal enjeksiyon yönteminde, ergimiş metal, enjeksiyon pres makinesi ile bütünleşik durumda bulunan pota, pota içerisindeki madeni kalıba ileten kazboynu ve dalıcı piston ile sürekli temas halindedir. Demir içeriğine sahip; pota, kazboynu ve pistonun yüksek sıcaklıkta görevlerini yerine getirememeleri sebebi ve daha önemlisi bunların yüksek sıcaklıkta döküm alaşımının kimyasal içeriğini bozmaları sebebi ile bu yöntemde sadece çinko ve düşük ergime noktasına sahip alaşımların dökümleri gerçekleştirilebilir. Bu teknolojideki yaşanan gelişmeler ve bazı geliştirilmiş özel magnezyum alaşımlarının bu yöntemle dökümü mümkün olmaktadır (Erişkin ve Uzun 1984).

Sıcak kamaralı metal enjeksiyon presleri ana hatları ile şekil 3.6'da gösterilmiştir. Operasyon safhaları şekil 3.7'den 3.10'a kadar olan şekillerle gösterilmiştir. Şekil 3.7'de kalıp kapalı şekildedir. Dalıcı piston aşağıya doğru hareket eder. Piston, hareketi esnasında pota üzerinde, pota içine ergimiş madenin

girişine müsaade eden deliği kapatır. Piston önündeki maden kazboynu denem iletim kanalı boyunca hareket eder. Şekil 3.8’de ise dalıcı piston aşağı yönlü hareketini tamamlamış önündeki madeni kalıp boşluğuna ayarlanan basınç altında sıkıştırılmıştır. Piston bu vaziyette iken, yine operatör tarafından ayarlanan belli bir sürede bu vaziyette, kalıp açılana kadar bekler. Bu bekleme süresi dökümü yapılacak parça boyutlarına bağlı olarak değişir.



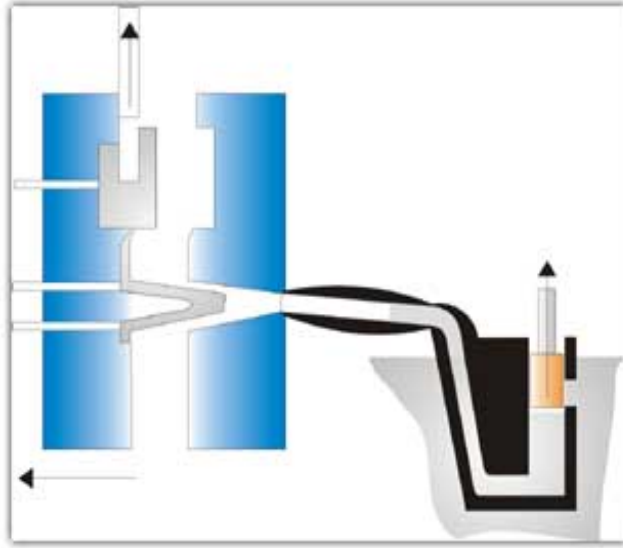
Şekil 3.7 Kalıp Kapalı - Proses Başlangıcı



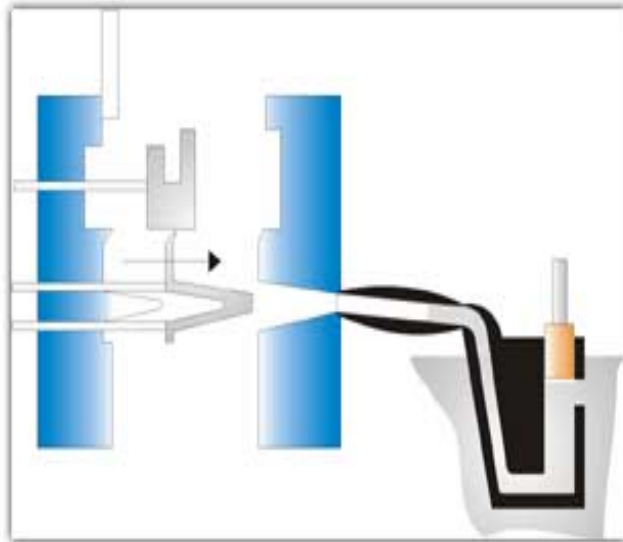
Şekil 3.8 Basınç Anı

Şekil 3.9’da kalıp açılma periyoduna girmiş, dalıcı piston yukarı(ilk konumuna) doğru hareket etmektedir. Pota üzerindeki sıvı malzeme dolm deliği de açılma

zamanına başlamıştır. Öte yandan parçanın şeklini oluşturan hareketli maça kalıp ayırma hattından yukarı doğru hareketine başlamıştır. Şekil 3.10'da ise kalıp tamamen açılmış, dalıcı piston ve hareketli maça hareketlerini tamamlamışlardır. Kalıbın itici tarafından hidrolik pistonlarla hareket ettirilen itici pimler parçayı kalıptan dışarı doğru itmektedirler. İtici pimler parça dışarı çıktıktan sonra tekrar eski yerlerine doğru geri çekilirler. Çevrim tamamlanmış olur, aynı işlemler tekrar eder.



Şekil 3.9 Kalıp Açılıyor



Şekil 3.10 Parça İtiliyor - Proses Bitişi

3.1.4.3 Soğuk ve sıcak kamaralı döküm yöntemlerinin kıyaslanması

Soğuk kamaralı döküm yönteminin sıcak kamaralı döküm yöntemine göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- Alüminyum alaşımları, çinko-alüminyum alaşımları ve bazı magnezyum alaşımları sadece soğuk kamaralı yöntemle dökülebilirler. Bunun sebebi bu alaşımların yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olmaları ve doğrudan makine ile uzun süreli temaslarının sakıncalı olmalarıdır.
- Yüksek viskoziteli eriyikler bu metodla yüksek enjeksiyon basınç ve hızı uygulanarak dökülebilirler. Yüksek dolun hızı eriyikteki ısı kaybının az olmasını beraberinde getirir. Bu da kalıp boşluğunun dolununu güçlendirmekte ve parçanın mikro yapısını güçlendirmektedir.
- Düşük bakım ve onarım maliyetleri söz konusudur. Örnek olarak sıcak kamaralı yöntemde kullanılan dalıcı pistonun aşınması durumunda pistonun sökülüp değiştirilmesi yada tamir edilmesi, pistonun eriyik metale gömülmüş vaziyette olması sebebiyle uzun zaman alır.
- Bu metodda eriyiğin izlemiş olduğu yol daha az yön değiştirir. Bu da; sıvı metalin daha az sürtünmeye uğraması, enerjisini yitirmemesi ve kalıba daha hızlı bir dolununu sağlar. Ayrıca dalıcı pistonda eriyiği kalıba doldurmak konusunda daha az zorlanacak makinenin mekanik aksamı olumsuz etkilenmeyecek ve kalıp dolununu için gerekli kuvvet asgariye inecektir (Vınarcık 2003).

Sıcak kamaralı döküm yönteminin sıcak kamaralı döküm yöntemine olan üstünlükleri ise şöyledir;

- Çok kısa süren çevrim süreleri söz konusudur. Bunun sebebi; erimiş metalin, enjeksiyon presle bütünleşik durumda bulunan çok yakın bir pota içinden, operatör müdahalesi olmaksızın; dalıcı piston, kazboynu ve kalıp yolluğunu izleyerek çok kısa bir sürede kalıp içine dolmasıdır. Küçük ölçeklerdeki çinko parçalar için bu çevrim süresi 1-2s kadardır.

- Sıcaklık kontrolü sıcak kamaralı yöntemde otomatik olarak makine tarafından ayarlanır. Bu durum eriyiğin akışkanlık kontrolünü sağlar, daha iyi akışkanlık daha düşük basınç altında ve iyi bir kalıp dolumunu beraberinde getirir. Düşük basınç sayesinde kalıp ve enjeksiyon makinesinin parçalarındaki aşınmalar da minimuma indirgenir.
- Soğuk kamaralı yöntemde kullanılan dalıcı piston içerisinde soğutma sıvısının geçtiği bir soğutma kanalı vardır. Bu yüksek sıcaklıktaki eriyiğin dalıcı pistonun yapısını bozmamak için uygulanan sistemdir. Sıcak kamaralı yöntemde ise böyle bir durum söz konusu değildir. Bu sayede de kalıp içine doldurulan şarj her defasında soğumaya tabi kalmaz. Isıl dengenin korunması ve homojen kalıp dolumu açısından önemi yadsınamaz.
- Soğuk kamaralı yöntemde kalıp içine doldurulan her şarj doğrudan atmosfer ile etkileşim içindedir. Sıcak kamaralı yöntemde ise bir pota madenin sadece yüzeyindeki kısmı atmosferden etkilenir. Alaşımın oksidasyona uğramaması yada atmosferik diğer kirlenmelerden etkilenmemesi sıcak kamaralı yöntemi üstün kılmaktadır (Harvill ve Jordan 1945).

GENEL DÖKÜM KARAKTERİSTİKLERİ									
PROSES	Tipik Döküm Malzemeleri	Ağırlık (kg)		Yüzey Pürüzlülüğü ($\mu m, Ra$)	Porozite*	Şekil Karmaşıklığı*	Ölçüsel Hassasiyet**	Kesit Kalınlığı (mm)	
		Min	Max					Min	Max
<i>Kum Kalıba Döküm</i>	Hepsi	0.05	Sınırsız	5-25	4	1-2	3	3	Sınırsız
<i>Shell Kalıba Döküm</i>	Hepsi	0.05	100+	1-3	4	2-3	2	2	-
<i>Sivama Kalıba Döküm</i>	Demirdışı	0.05	50+	1-2	3	1-2	2	1	-
<i>Seramik Kalıba Döküm</i>	Hepsi	0.005	100+	1-3	3	1	1	1	75
<i>Kökil Kalıba Döküm</i>	Hepsi	0.5	300	2-3	2-3	3-4	1	2	50
<i>Yüksek Basınçlı Döküm</i>	Demirdışı	<0.05	50	1-2	1-2	3-4	1	0,5	12
<i>Savurma Döküm</i>	Hepsi	-	5000+	2-10	1-2	3-4	3	2	100
* İzafe oran; 1 en iyi, 5 en kötü. Not; Burada verilen oranlar bir genellemeden ibarettir. Kullanılan metoda göre önemli değişiklikler gösterebilirler.									
Çizelge 3.2 Döküm Proseslerinin Genel Döküm Karakteristikleri									

3.2 METAL ENJEKSİYON KALIPLARINDA YOLLUK TASARIMI

3.2.1 Yolluk ve Yolluk Tasarımının Önemi

Eriyik metalin kalıp girişinden iş parçasını teşkil eden bütün kesitlere dolum ve dağılımını yapan, döküm kalitesine birinci derecede etki eden ve döküm prosesinden sonra parçadan ayrılan uzantı yolluk olarak tanımlanır. Çok değişik şekil konum ve boyutlarda bulunan yolluk metalin kalıp içerisindeki rehberi olarak düşünülebilir.

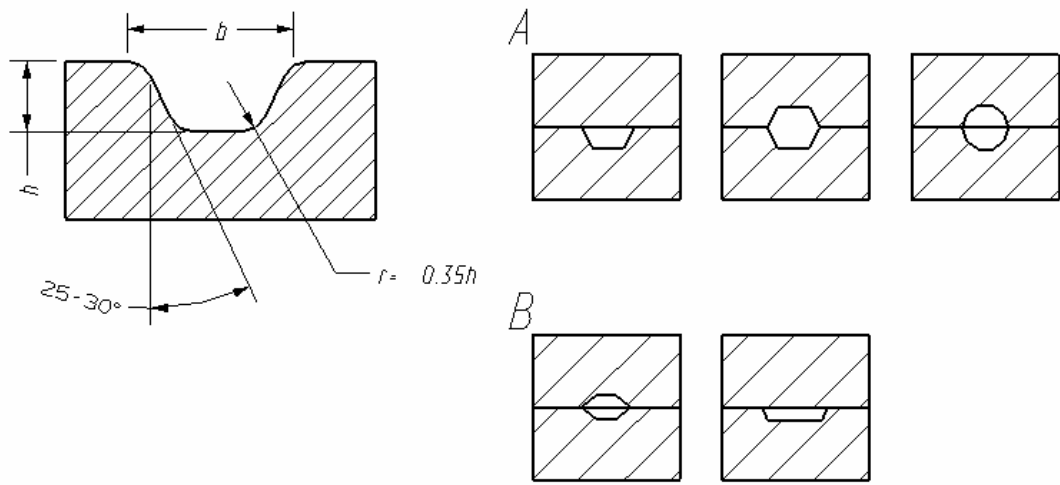
Yolluklar metalin kalıp boşluğuna girişteki hız ve yönü tayin ettiklerinden yolluk tasarımının üzerinde en az kalıp tasarımı kadar dikkatle durmak gerekir. Yolluk tasarımı sebebi ile yavaş doluma maruz kalan bir kalıpta metal uzun süre hareket edecek, yol boyunca ısı kaybedecek ve nihayetinde daha kalıp dolumu tamamlanmadan kalıp boşluğunun bazı bölgelerinde katılaşmalar gerçekleşecektir. Sonradan onu takip eden sıcak metalde katı haldeki metal üzerine yığılacak ve böylece dökümcülük diliyle katmerleşmeler meydana gelecektir. Aksi yönde düşünüldüğünde ve kalıbın çok hızlı dolumunu sağlayan ince kesitli bir yolluk ise, kalıp içi metal hareketlerini çok hızlı kılar. Bu da çok yoğun metal çarpışmaları sonucu oluşacak hava taneciklerinin iş parçasına yerleşmesine hizmet edecektir.

Öte yandan çok hızlı kalıp dolumu, metal jetlerinin çok keskin ve şiddetle kalıp boşluğuna çarpmasına sebep olacaktır. Bu durum çok kısa sürede kalıbın aşınmasını ve çok az sayıda baskı işlemi yapmış kalıptan çıkan iş parçasının bozuk yüzeyli olmasını sağlayacaktır.

Metal kalıba yerleştirilecek olan yolluk; eriyik metali kalıba en kısa sürede ve türbülanssız olarak aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. Bu ifade yolluk için yeterli ve yolluğun görevini en doğru anlatan ifadedir. Bunun yanında bir yolluktan şu özellikler beklenir;

- Eriyik metalin tamamını katılaşmadan kalıp boşluğuna ve sonra da hava ceplerine iletmelidir.
- Sıvı metalin kalıp boşluğuna mümkün olduğunca yön değiştirmeden, tatlı geçişlerle iletilmesini sağlayacak ve keskin köşeler içermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

- Metal jetinin kalıp içerisinde düzenli bir şekilde dağılımını sağlamalı, kavite içerisindeki ince ve hassas yerlere direk olarak çarpmasını engellemeli ve jetin kalıp yüzeylerine zarar vermesini engellemelidir.
- Kalıbın ısıl dengesini olumsuz etkileyecek boyutlarda olmamalı, tasarlanırken kalıbın soğutma kanalları ile ortak düşünülmalıdır.
- Döküm prosesinden sonra parçadan kolaylıkla ayrılabilmesi ve zorunlu olan durumların dışında ek aparat yada trim kalıbı kullanımını gerektirmemelidir.
- Parçadan ayrıldıktan sonra parça üzerinde iz bırakmayacak nitelikte olmalıdır.



Şekil 3.11 Çeşitli Yolluk Uygulamaları (A uygun, B uygun değil)

Yolluk kanalındaki radyusler metal akışının yumuşak olmasını sağlar ve metalin hızını azaltmaz. Duvarlardaki açılar ise kalıp açılma sırasında yolluğun kolaylıkla kalıbın sabit tarafından sıyrılmasına yardımcı olur. Akışkan metalin türüne (özellikle viskozitesine) bağlı olarak yolluk şekli değişir (Ravi 2005).

3.2.2 Döküm Parçasında Karşılaşılan Hatalar

Şimdi de uygun olmayan kalıp tasarımı, baskı şartları ya da en önemlisi uygun olmayan yolluk dizaynından kaynaklanan döküm parçası hata ve türlerinden bahsedelim;

3.2.2.1 Çekme boşlukları

Basınçlı dökümde enjeksiyon basıncı proses sonlanıncaya kadar kalıp yüzeylerinin her noktasına eşit miktarda etki etmelidir. Eğer dolum süresi uzun ise kalıp dolumu tamamlanmadan yada dolum tamamlandığı halde son basınç süresi sonlanmadan önce yolluk üzerinde yada kalıp içinde herhangi bir noktada katılma olursa bu noktadan ileride bulunan kısımlara enjeksiyon basıncı etki edemez. Dolayısıyla proses sonuna kadar basıncın ulaşamadığı bu noktalarda metal katılırken çekmeye uğrayacaktır. Her metalin kendine özgü çekme payları mevcuttur. İşte bu çekmeler parça şeklinin tamamen oluşmasına engel teşkil eder.

3.2.2.2 Yüzey çökmeleri

Bu durum özellikle metal jetinin ilk olarak doğrudan çarptığı noktalarda meydana gelir. Soğutmanın yetersiz kaldığı tasarımlarda jetin çarptığı bu noktalar bölgesel olarak yüksek ısınmalara maruz kalır. Proses sonlanmasına yakın süreçlerde bu noktalardaki metal katılmaz. Ama arkasından takip eden metal, sıcak bölgeden uzak noktalarda yer aldığı için katılır. Son olarak bu bölge katılıp çekince yüzeydeki çöküntüler meydana gelmiş olur.

3.2.2.3 Katmerlenme

Bir proses bitişinde, operatör tarafından kalıp yüzeyine soğutma suyu ve ayırıcı kimyasal düzenli olarak uygulanmaz ise kalıp yüzeyinde ince tabaka halinde metal kalır. Bir sonraki proste gelen sıvı metal gelip bu tabakayı kaplar ise döküm parçasında yüzeylerde görülebilecek katmerlenme problemi ortaya çıkar. Tam

otomatik metal enjeksiyon makinelerinde; iki proses arasındaki soğutma ve ayırıcı kimyasal uygulama işlemleri de makinenin kendisi tarafından gerçekleştirilir. Bu durum kalıp yüzeyinin her noktasının eşit miktarda soğutulması ve temizlenmesini sağlar ve katmerlenme problemini de minimuma indirmiş olur.

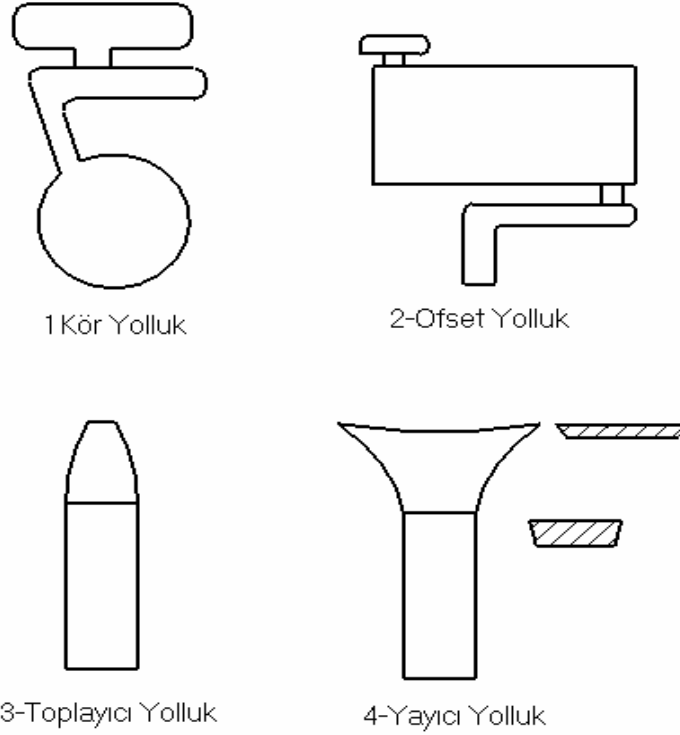
3.2.2.4 Yüzeylerdeki akış çizgileri

Bu durum birden çok yolluk girişinin bulunduğu kalıplarda görülebilen bir sorundur. Kalıp sıcaklığının düzenli olarak kontrol edilmediği kalıplarda birden fazla noktadan giren sıvı metal jetleri belirli bir süre sonunda sıcaklıklarını kaybederler ve katılaşmaya yakın bir zamanda bir diğer sıvı jeti ile karşılaşırlarsa döküm parçasının yüzeyinde genellikle boyuna akış çizgileri oluştururlar. Eğer kalıp sıcaklığı iyi bir şekilde kontrol edilirse bu jetler birbirleri ile buluşup kalıbı tamamen doldurmadan katılaşma gerçekleşmez.

3.2.2.5 Gaz boşlukları (Porozite)

Gaz boşlukları metal enjeksiyon kalıplarında en sık karşılaşılan bir problemdir. Birçok sebepten dolayı oluşabilir. Engellenmesi için tasarımcının sıvı jetinin kalıp içinde nasıl hareket edeceğin kafasında canlandırabilmesi gerekir. Genel olarak yüksek hızdaki kalıp dolularında metal jetinin sık ve şiddetli çarpışmalarından dolayı kaynaklanır. Kalıp yüzeyine sıvı kalıp jeti önündeki havayı etrafını çevreleyerek içeri hapseder. Bu havaların mümkünse kalıp tamamen dolmadan hava ceplerine doğru itilmesi sağlanmalıdır. Değilse proses son basıncının her noktada üniform ve şiddetli olması sağlanarak boşluktaki havanın bir miktar metal ile en yakın hava tahliyesinden dışarı çıkarılması sağlanmalıdır (Kluz 1972).

3.2.3 Yolluk Kanalı Tipleri



Şekil 3.12 Yolluk Kanalı Tipleri

3.2.3.1 Kör yolluk; Aslında amacın kalıp boşluğu doldurmak değil kalıptaki ısıl dengeyi kurmak için kullanılan yolluk tipidir. Isının ulaştırılmak istendiği bölgelerden geçirilir ve şekil çok da önemli değildir.

3.2.3.2 Ofset yolluk; Enjeksiyon pistonunun dengeli basınç yapmasının sağlanması için genellikle piston eksenine ve doğal olarak yolluk başlangıcı kalıbın geometrik merkezine yakın tutulur. Fakat iyi bir dolunun sağlanması için iş parçasının bir başka noktasından giriş yapılması durumunda ofset yolluk kullanılır. Şekil 3.12’de gösterildiği gibi yolluk kanalının başlangıcı yönlendirilmiş ve yolluk bitişi iş parçasının ucuna getirilmiştir.

3.2.3.3 Toplayıcı yolluk; Metal jetinin doğrusallaştırılıp şiddetinin artırıldığı yolluk tipidir. Genellikle ince kesitli, hızlı dolum gerektiren parçalarda tercih

edilirler. Yüksek basınçtan ziyade yüksek hızın önemli olduğu kalıplarda kullanılırlar.

3.2.3.4 Yayıcı yolluk; Toplayıcı yolluğun aksine hızın azaltılıp basıncın artırılarak dolunun gerçekleştirildiği kalın kesitli parçalarda tercih edilirler (Uludağ 2000).

3.2.4 Yolluktaki Akış Hızının Belirlenmesi

Yolluğun parça girişini referans aldığımız zaman kalıbın iç ve dış kısmına Bernolli denklemini uygulayabiliriz. Gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra yolluktaki akış hızı;

$v = (2gP/\gamma)^{0.5}$ olarak elde edilir. Burada;

g yerçekimi ivmesi

P döküm basıncı

γ sıvı metalin özgül ağırlığını ifade eder.

Buradaki P basıncı dolum esnasında sürekli değişkendir. Doğal olarak hesaplamalarda doğrudan sabit bir P basınç değeri girilerek akış hızının tayin edilmesi söz konusu değildir. Piston harekete başladıktan sonra kalıp tamamen dolana kadar, yani akış hızı sıfıra düşene kadar geçen süre tayin edilmelidir(t). Bu durumda akış hızı;

$v = \int_0^t (2gP/\gamma)^{0.5} \cdot dp$ şeklinde hesaplanabilir.

Yolluk kesitindeki akan metalin hız değeri çok önemlidir. Yukarıdaki denklem dikkatle incelendiğinde g ve γ değerleri sabittir. Yani metalin akış hızı sadece kalıp boşluğu içindeki basıncın bir fonksiyonudur. Bu durumda da baskı şartları operatör tarafından ayarlanırken basınç değerinin doğru girilmesi büyük önem taşımaktadır. Akış hız değerinin yüksek olmasının olumlu yönleri de vardır, olumsuz yönleri de;

3.2.4.1 Akış hızının yüksek olmasının avantajları

- Kalıp boşluğunu doldurmak için gerekli süre kısalmış olur. Böylece prosesin çevrim süresi hızlanır.
- Metal akışkan, katılaşmaya başlamadan kalıbın bütün kesiti dolma eğilimi gösterir. Bu sebepten dolayı da özellikle ince kesitli parçaların çok kısa sürede doldurulması ve doldurma anından sonraki basıncın uygulanabilmesi için akışkan hızının yüksek tutulması gerekir.
- Dolundan sonraki anda metal akışkanın tamamen katılaşmayıp son basınca müsaade etmesi, piston tarafından iyice kalıp boşluğunun her noktasında homojen olarak sıkıştırılmasına müsaade eder. Bu durumda parçanın her noktasının birbirine yakın fiziksel özelliklere sahip olmasını sağlar.
- Akış hız denkleminde de görülebileceği gibi artan akışkan hızı basıncı da beraberinde artırır.
- Kalıp içindeki sürtünmeler artar bu da ısı artışını ortaya çıkar, kalıp dolumu için zaman kazanılmış olur.

3.2.4.2 Akış hızının yüksek olmasının dezavantajları

- Yüksek akışkan hızı çarpışmaları artırır yolluk ve kalıp yüzeylerinin çabuk aşınmasını sağlar. Kalıp ömrü azalır. Ömrünü bitirmeyen bir kalıptan bile iyi yüzey kalitesine sahip iş almak mümkün olmaz.
- Artan çarpışmalar girdap oluşumuna sebep olur. Parça içinden atılamayan gaz boşlukları özellikle sızdırmazlık isteyen otomotiv parçalarında büyük sıkıntıya sebep olur.
- Hızlı akan metal, kalıp içinde çarpışmaları artırır, metal akışkan hareket enerjisinin bir kısmını sürtünme sonucu kaybeder.
- Yüksek hızda kalıba doldurulan metali prosesin her safhasında kalıp boşluğu içinde tutmak güçleşir. Akışkanın kalıp ayırma hattından sızma tehlikesi vardır. Bu durumda parçanın kalıp ayırma hattında oluşan çapak kalınlığı artar tesviye sonrası bile parça üzerinde bu çapağın izi kalabilir (Xie 2004).

3.2.5 Yolluk Kesitinin Tayini

Yolluk boyunca hareket eden sıvı metalin geçtiği giriş kesitinin(s) tayininde kütleli debi eşitliğini göz önüne alarak;

$$s \cdot v \text{ (cm}^2 \cdot \text{cm/s)} = V/t \text{ (cm}^3/\text{s)}$$

$$s = V/(t \cdot v)$$

$$v = (2gP/\gamma)^{0.5} \quad \text{akış hızı yukarıdaki denklemde yerine konduğunda}$$

$$s = V/[t \cdot (2gP/\gamma)^{0.5}] \quad \text{olarak bulunur.}$$

Giriş kesitinin genişlik ve yüksekliği yolluk tasarımı yapılırken yolluğun parçadan kolayca ayrılabilmesi şeklinde optimum halde belirlenmelidir. Ayrıca bu ölçüler belirlenirken dökümü yapılacak malzemenin viskozitesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Metal enjeksiyon kalıplarında metal jetlerinin akışını inceleyen Frommer'in teorisine göre yolluk giriş kesitini şu şekilde hesaplayabiliriz;

$$b = G/(t \cdot v \cdot h \cdot \gamma)$$

b	giriş kesiti genişliği	mm
G	baskısı gerçekleştirilen parça ağırlığı	g
t	kalıp dolun süresi	s
v	metal jetinin parça girişindeki hızı	cm/s
h	giriş kesiti kalınlığı	mm
γ	özgül ağırlık	g/cm ³

3.2.6 Basınçlı Döküm Yöntemi Üzerinde Geliştirilen Teoriler

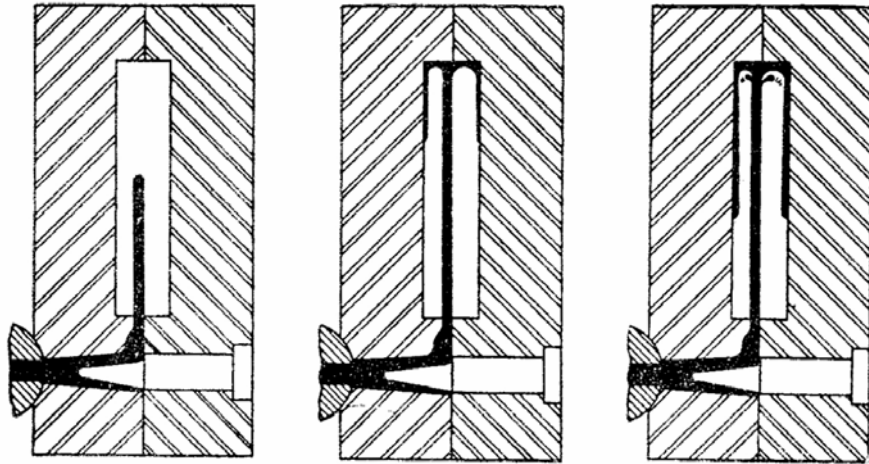
Bu bölümde doğrudan yolluk dizaynı tarafından şekillendirilen kalıp içindeki metal akışı ve metal jetinin hareketleri hakkında geliştirilen teorilerden bahsedilecektir.

3.2.6.1 Frommer teorisi

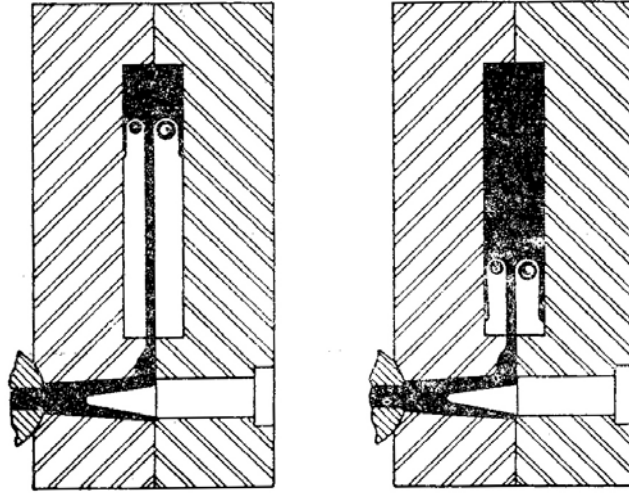
Kalıp içi metal jeti hareket olaylarını ilk olarak Frommer 1932 yılında incelemiştir. Frommer teorisinden sonra bu döküm yönteminde birçok ilerlemeler yaşanmış olmakla birlikte Frommer'in çalışmalarından çıkan sonuçlar hala günümüzde kullanılmaktadır.

Frommer çalışmalarında dikdörtgen boşluklu basit prizmatik şekiller kullanmıştır. Bu çalışmalarında yolluk girişinden sürtünmesiz dolumu ve kalıp içinde meydana gelen kalıp içi sürtünmeleri, ısı oluşumunu ve enerji kaybını hesaba katarak gerçek akışa ulaşmaya çalışmıştır. Yolluk giriş kesitinin parça kesitine oranını değiştirerek sıvı jetin değişken giriş hızlarını elde etmiş ve kalıp boşluğu içi olayları; $f/F > 1/4$ yada $f/F < 1/4$ (f:yolluk giriş kesiti, F:parça kesiti) olacak şekilde incelemiştir.

Aşağıda Frommer'in çalışmaları sonucu elde ettiği kalıp içi akışlarını gösteren şekiller verilmiştir.



Şekil 3.13 Frommer Teorisini Temsil Eden Taslak



Şekil 3.14 Frommer'e Göre Kalıp Dolumu

Frommer teorisine göre kalıp boşluğuna dolan metal jeti yolluk kesitine bağlı olarak değişen yüksek bir hızla karşısındaki dik duvara çarpar. Yüksek hızdaki çarpışma sonucu jet karşı duvarda dağılır. Dağılmadan sonra önden akan metal yan duvarlar boyunca süzülmeğe başlar. Devam eden metal jeti üst duvarda bulunan metale destek verir ve metal akışının duvarlardan gerçekleşmesini sağlar. Ortadan devam eden metal jeti ve çarpma sonucu duvarlardan sızan metal ortalarında bir havuz oluşturma eğilimi gösterirler. Akış devam ettiği müddetçe duvarlardan akan metalin sürtünmeler sonucu hızı, enerjisi ve sıcaklığı azalır. Frommer duvarlardan sürüklenen bu akışları öncü akış olarak tanımlamıştır (Çiğdemoğlu 1972).

Duvarlarda akan metal enerjisini sürekli yitirirken ortadan devam eden metal jeti üst tarafta karşılaştığı bölge ile aralarında girdaplar oluşturmaya başlar. Bu girdapların büyüklüğü jet hızı ile doğru orantılı olarak değişir. Akış devam ettiği sürece duvarlarda akan metalin hızı azalır ve orta bölgelerde biriken metal ile girdaplar öncü akışları yakalar. Düşük akış hızlı ve ısı azalmış öncü akışlarla arkada birikip gelen metal birleşinceye kadar öncü metalde katılma eğilimi başlamamış olmalıdır. Aksi halde katmerlenme denen problemle karşılaşılır. Kalıp içi dolumu bu şekilde devam eder ve dolum sürecinin kalan kısmında duvarlarda akan metalle ortadan birikip çoğalan metal aynı hızda dolumu tamamlarlar.

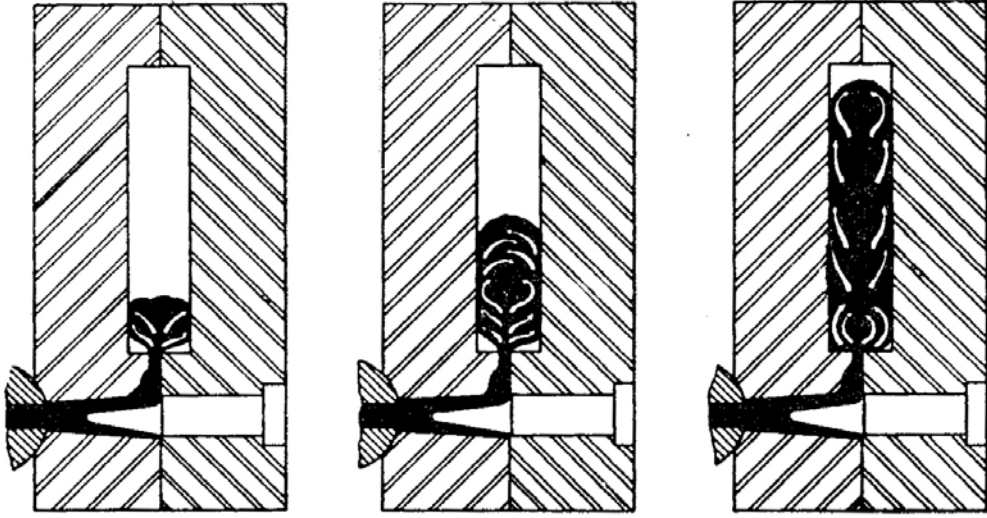
Dolum esnası ve sonucundaki basınç dağılımı ise şu şekilde özetlenebilir. Kalıp boşluğunun en üst bölgesinde oluşan basınç dolum süresince en yüksek basınçtır. Basınç genel olarak boşluk içinde yukarıdan aşağıya doğru azalır. Ancak girdap

bölgeleri bu genellemeden ayrı bir durum gösterirler. Girdap çevrelerindeki basınç kalıp boşluğu göz önüne alındığında yukarıdan aşağı azalırken girdap merkezine doğru bu basınç değeri giderek azalır. Ve en düşük basınç girdap merkezinde bulunur. Döküm esnasındaki en büyük sıkıntılardan biri; merkezlerinde hava bulunduran girdaplardan, yüksek basınç duvarını aşamayıp girdap içinde kalan ve parça dışına çıkamayan bu hava kabarcıklarıdır. Yine aynı şekilde eylemsizliklerinden dolayı metal akışı süresince dolumun üst bölgelerinden aşağı alçak basınç bölgelerine doğru hareket edemeyen girdaplar da içinde bulundurdukları hava kabarcıkları sebebi ile döküm parçası için tehlike oluştururlar.

Girdap oluşumunu minimuma indirmek için yolluk kesiti büyük tutulup metal jetinin giriş hızı küçük tutulmalıdır. Ancak bu durumda da daha kalıp dolumu tamamlanmadan ilk akışların katılmasında söz konusu olabilir. Ayrıca metalin düşük hızla dolum gerektirdiği parçaların dökümünde nispeten daha yüksek basınç gerekli olacaktır. Düşük basınçlı parçalarda ise genellikle yüksek hız kullanılacaktır. Karmaşık şekilli parçalarda kalıbın bir an önce dolumu ve arkasından yüksek basınç uygulanması gereklidir.

3.2.6.2 Brandt teorisi

Brandt da 1937 yılında yapmış olduğu çalışmalarında dikdörtgen kesitli, basit prizmatik şekilli kalıpların dolumu üzerinde çalışmıştır. Kalıp boşluğuna yerleştirmiş olduğu elektrik kontakları ile metal akışkanın akış düzenini tayin etmeye çalışmıştır. Brandt'ın teorisine göre; metal akışkan Frommer teorisinin aksine kalıp boşluğunu yukarıdan aşağıya değil aşağıdan yukarıya doğru dolduruyordu. Sıvı metal yan duvarlar ve akış merkezlerinde aynı seviyede yükselerek kalıp boşluğunu tamamen doldurmaktaydı. Yalnız burada merkezdeki akışkan, yan duvarlarda enerjisini yitiren akışkanın üzerine çıkarak duvarlarda ve merkezdeki akışkan dolumunu, dolumun her anında eşit seviyede tutuyordu (Lozefovich ve Veinik 1962).



Şekil 3.15 Brandt Teorisi'ni Temsil Eden Taslak

3.2.6.3 Koester ve Goehring teorileri

Koester ve Goehring çalışmalarında Frommer gibi düzgün prizmatik boşluklu bir kalıp kullanmışlardır. Kalıp içi olayları izleyebilmek için; tamamen camdan oluşan kalıp boşluğunu çelik parçalarla desteklemişler, kalıp boşluğunu çok güçlü bir ışık kaynağı ile aydınlatmışlar ve bu çelik plakaların değişik kısımlarına yerleştirdikleri saniyede 3500 fotoğraf çekebilen cihazlarla dolum esnasını görüntülemişlerdir. Koester ve Goehring'in çalışmalarından elde ettikleri sonuç Frommer'in teorisi ile aynı paralelde olmuştur. Kalıp boşluğu içinde yükselen metal jeti kalıp en üst yüzeyine çarparak kalıp boşluğunu yukarıdan aşağıya doğru doldurur.

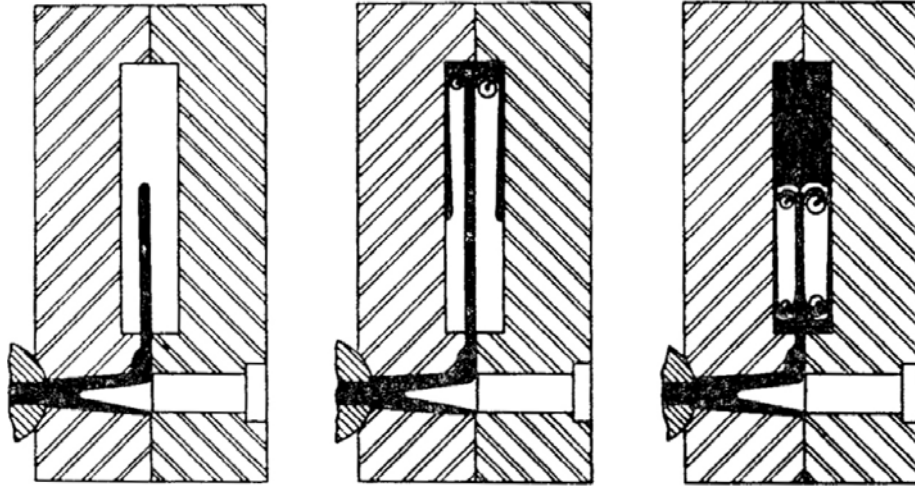
Koester ve Goehring'in çalışmaları tek bir noktada Frommer teorisi ile çelişmektedir. Bu çalışmada duvarlara tutunan akış, Frommer teorisindeki kadar ısı ve hız kaybına uğramayıp, yukarıdan aşağıya sürekli olarak en önde ve dolunun hiçbir anında merkezi akış seviyesi ile aynı hizaya gelmeden kalıp boşluğunu en alt seviyeye kadar doldurur. Yani kalıbın en son dolum noktası boşluğun en alt noktası değil, üst taraftan dolan metal kütlesi ile yan duvarlardan en aşağıya akıp, aşağıda az bir seviyeyi dolduran metal kütlesinin buldukları noktadır.

Koester ve Goehring, Brandt'ın elde ettiği sonuçlarla ilgili olarak da; kalıp cidarlarına çarpma sonucu sıçrayan metal damlacıklarının, Brandt'ın, kalıbın değişik

bölgelerine yerleştirmiş olduğu elektrik kontaklarını kapatabileceği yorumunu yapmışlar ve bu durumda kalıp dolumunu doğru olarak yansıtmayacağı görüşünü öne sürmüşlerdir.

Günümüze kadar yapılmış olan birçok çalışmada duvarlara tutunan metal akışların ısı ve hız kayıplarından dolayı arkadan gelen merkezi metal akışına yakalandığını göstermiştir. Bu sebeple Frommer gerçek kalıp içi olaylara en yakın teoriyi geliştirilen bilim adamı olmuştur. Günümüzde dahi Frommer'in 1932 yılında yaptığı çalışmalar basınçlı döküm tekniğine ışık tutmaktadır (Çiğdemoğlu 1972).

Öte yandan saydığımız bu teorilerden Brandt'ın yapmış olduğu çalışmada elde etmiş olduğu sonuçlar; daha ağırlıklı olarak alçak basınçlı döküm yöntemine hitap etmektedir. Çünkü Brandt kalıbında aşağıdan yukarı doğru dolumun gerçekleştiğini savunmuştur. Böylesi bir akış hareketi; genellikle nispeten büyük yolluk kesitli, düşük hız ve basıncın kullanıldığı alçak basınçlı döküm yöntemlerinde elde edilebilmektedir. Brandt eğer çalışmalarında daha küçük yolluk kesitleri kullanıp diğer döküm şartlarını sabit tutsaydı metal jetinin daha yüksek hızlara ulaşacağı ve jetin karşı duvara çarpıp dolumun yukarıdan aşağı doğru gerçekleşeceği açıktı.



Şekil 3.16 Koester ve Goehring'in Teorilerini Temsil Eden Taslak

3.2.7 Yolluk Tasarım Kriterleri

Yolluk tasarımına başlamadan önce dökümü yapılacak döküm parçaları dikkatle incelenmelidir. Parça hassasiyeti, parçanın fonksiyonu, ölçüsel toleransı, yüzey özellikleri..vs net bir şekilde ortaya konmalıdır. En önemlisi; yolluktan çıkacak eriyiğin kalıp içinde nasıl hareketler yapacağını, nerelerde çarpışmaların olacağını ve kalıp içinde kalıp ömrünü azaltacak çok zayıf bölgelerin oluşup oluşmayacağını kestirebilmek için parça geometrisinin anlaşılması çok önemlidir.

3.2.7.1 İnce cidarlı döküm parçaları

İnce Cidarlı döküm parçalarında yaşanan en büyük sıkıntı parçanın bütün ayrıntılarıyla net bir şekilde dolumunu sağlayamamaktır. Eğer yolluk girişini büyük tutarsak içeride akış hareketi düşük hızlarda gerçekleşecektir. Düşük hızda ilerleyen akışkan metalin parçanın en ince noktalarına ulaşması için yeterli süre olmayacaktır. Bu süre boyunca metal kalıp cidarlarına sürtünecek ısısının büyük kısmını yitirecek ve daha parça dolumu her noktası ile gerçekleşmeden katılaşmalar gerçekleşecektir. Eğer bu katılaşmalar herhangi bir noktada bulunduğu kesiti tamamen kapatırsa arkadan gelen sıcak metalin ön tarafa geçmesi ve parçayı doldurması söz konusu olmayacaktır.

Katılaşmanın olduğu noktada kesit tamamen kapanmıyorsa arkadan takip eden sıcak metalle katılaşmış metalin bulunduğu bu bölgede katmerlenme dediğimiz sıkıntı oluşacaktır. Bütün bu sebeplerden dolayı ince kesitli parçalarda kalın olmayan ince ve yayvan kesitli yolluk girişleri uygulanmalıdır. Yolluk girişinin hemen arkasındaki yolluk formu da bu kesite uygun bir geçişle piston tarafından itilen madene rehberlik etmelidir. Yolluktaki sert dönüş ve geçişler metal akışkanın hızını kesecek sürtünmeleri ve ısı kaybını artıracaktır (Kaufman ve Rooy 2004).

Bu tip parçalarda genellikle parça içine hapsolmuş hava(porozite) problemi ile karşılaşılmaz. Çünkü ince cidarı oluşturan duvarlarda akan iki öncü metal aralarında girdap oluşumuna müsaade etmezler. Ama önemli olan bu iki öncü metalin karşısına uygun tasarımla hava ceplerinin yerleştirilmesi ve soğuk metalin tahliye edilmesidir.

Günümüz metal enjeksiyon preslerinde faz kontrolü olarak bilinen kademeli basınç ayarına ince cidarlı döküm parçalarında çok fazla ihtiyaç duyulmaz. Yani bu tip parçalar genellikle sabit piston hızı ve sabit basınçla, sonradan artan statik basınca ihtiyaç duymadan doldurulurlar.

İnce cidarlı döküm parçalarına uygulanan yolluk girişleri genellikle küçük parçalarda 0,4-0,75 büyük parçalarda ise 1-2mm arasında değişen ölçülerdedir.

Ayrıca parça toplam hacminin bilinmesi kalıp dolum süresini tayin edecek birinci faktördür. Bundan dolayı yolluk ile arkaya çekilmiş durumda bulunan dalıcı piston arasında kalan boş hacim; parça dolumu için yeteri miktarda ergimiş metali barındırabilecek hacimde olmalıdır. Yani dökümün gerçekleştirileceği makinenin mengene kapama kuvveti, kalıp bağlama kolonları arası mesafe, dalıcı piston çapı, piston strok mesafesi gibi önemli özelliklerinin de kalıp tasarımcısı tarafından bilinmesi gereklidir.

3.2.7.2 Kalın cidarlı döküm parçaları

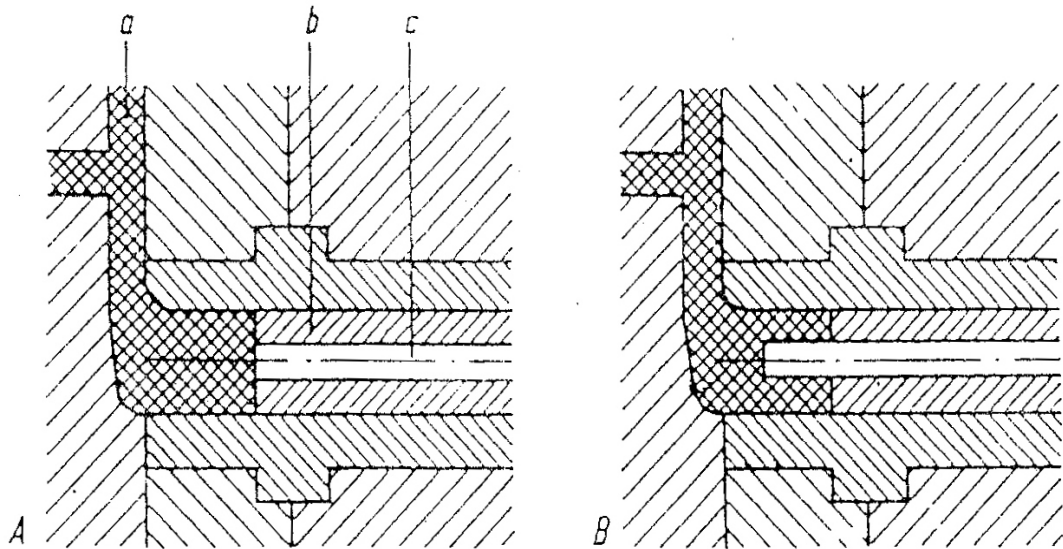
Kalın cidarlı döküm parçalarında karşılaşılan en önemli problem ise parça içinde hapsolmuş havanın parçadan tahliye edilememesidir. Bu sorunun çözümü için; metal akışkan hızı ve dolum sağlandıktan sonra akışkana uygulanan hidrostatik basıncın mükemmel kombinasyonu sağlanmalıdır. Tabii ki; uygulanan hidrostatik basıncın parça üzerinde etkili olabilmesi için ilk dolum anında sıvı metalin katılaşmadan kalabilmesi gerekir.

Bu tip parçalarda yüksek hız değil yüksek basınç ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle uygun formda tasarlanmış, akışkan hızını yükseltmeyip son basınç yükselişine müsaade edecek yolluk girişinin tasarlanması gereklidir.

Kalın cidarlı döküm parçalarda duvarlar boyunca hareket eden öncü akışlar arasında üçüncü bir merkezi akış oluşacaktır. Bu merkezi akış içinde, metal jetinin kalıp içi çarpışmalarından kaynaklanan girdaplar, iç bölgelerine hava kabarcıkları hapsedeceklerdir. Bu bölgelerde düşük basınçlı, fazla hareket etmeyen hava kabarcıklarının dışarı atılabilmesi için son uygulanan hidrostatik basınca ihtiyaç duyulacaktır.

Yukarıda sayılan nedenlerden ötürü kalın cidarlı parçaların sıcak kamaralı döküm preslerinde dökülmesinin imkânı yoktur. Sıcak kamaralı döküm preslerinde kalıp dolumu esnasındaki basınç 20 kp/cm^2 iken dolum sonrasındaki basınç 250 kp/cm^2 'ye kadar çıkabilir. Soğuk kamaralı metal enjeksiyon preslerinde ise bu değerler sırasıyla $40-50 \text{ kp/cm}^2$ ve $1200-1600 \text{ kp/cm}^2$ şeklindedir. Bu verilen değerler enjeksiyon makinesinin kapasitesine göre değişiklik gösterirler.

Günümüz modern metal enjeksiyon preslerinde son hidrostatik basıncı sağlayabilmek için faz denilen basınç geçişleri vardır. Bu geçişler dalıcı piston teması ile çalışan switchlerle sağlanmaktadır. Dalıcı piston hareketi süresince bu switchler ile irtibata geçerek ya da irtibatı keserek faz geçişlerini sağlarlar. Son dolum esnasında dalıcı piston strok sonuna gelmiş, switchten kurtulmuş ve son hidrostatik basıncı uygulamaktadır. Bu durum parça içinde kalmış hava kabarcıklarının hava cepleri yoluyla parçadan tahliye edilmesini sağlamaktadır. Daha öncelerde günümüz modern makineleri yokken üreticiler bu son basınç artışını normal dalıcı piston içine yerleştirdikleri daha küçük çaptaki ikinci bir basınç pistonu ile sağlıyorlardı. Aşağıda gösterilen bu yöntemde dolum prosesi tamamlanıp dalıcı piston hareketini bitirdikten sonra iç kısımdaki basınç pistonu devreye girip sıvı olarak kalabilmiş madeni kalıp boşluğuna biraz daha iterek yüksek basıncın oluşmasını sağlıyordu (Uludağ 2000).



Şekil 3.17 Modern Makinelere Evvel Uygulanan Sıkıştırma Pistonu Uygulaması

a döküm parçası

b piston

c sıkıştırma pistonu

Özetle metal enjeksiyon kalıplarında yolluk tasarımı sırasında dikkat edilecek hususları şöyle sıralayabiliriz;

- Yolluk girişi kalıp üzerinde mümkün olduğunca tek bir noktadan uygulanmalıdır. Birden fazla yolluk girişi uygulanan kalıplarda metal jetleri dolum sırasında birbirleri ile çarpışıp hava kabarcıkları içeren girdap oluşumunu artırır. Ayrıca kalıp cidarlarında meydana gelen çarpışmaların sayısı da artış gösterir.
- Soğuk kamaralı metal enjeksiyon preslerinde yolluk giriş ekseni dalıcı piston ekseninden daha aşağıda olmamalıdır. Aksi halde operatörün hazneye boşalttığı metal eriyiği parça içine yolluk vasıtasıyla akar ve bir kısmı kalıp içinde katlaşır, operatör start düğmesine basıp dalıcı piston metali kalıp boşluğuna itince katlaşmış metal ve sıcak metal karşılaşır katmerlenme problemi yada başkaca problemleri oluşturabilirler.
- Geniş yüzeyli ince kesitli parçaların dökümünde birden fazla ve yayvan girişlerin bulunduğu yolluk tasarlanmalıdır. Ayrıca bu girişler parça ekseninde buluşup diğer girişlerden gelen ışınlar engel teşkil etmemelidir.
- Sıvı metal jetinin enerjisini yitirmemesi ve kalıp cidarlarına çok sayıda çarpışımın engellenmesi için yolluk giriş konum, yön ve büyüklüklerinin doğru tayin edilmesi gerekir. Mümkün olduğunca serbest ışın hareketi yapmasına olanak sağlanmalıdır.
- İnce cidarlı döküm parçalarında yüksek hız sağlayacak yayvan ve ince yolluk girişleri, kalın cidarlı döküm parçalarında yüksek basıncı iletebilecek daha kalın yolluk girişleri tasarlanmalıdır.
- Parçalarda doğrusal şekiller mevcut ise mümkün olduğunca yolluk yönleri bu doğrusal şekiller üzerine ve aynı doğrultuda uygulanmalıdır.
- Yolluğun parça üzerindeki giriş kesiti yolluğun diğer hiçbir kesitinden daha büyük olmamalıdır. Aksi halde türbülans oluşumuna imkan tanınmış olur.
- Yolluk tasarlanırken kalıp üzerine yerleştirilecek hava ceplerinin konumu da göz önüne alınmalıdır. Yolluktan çıkan metal jetlerinin kalıp dolumu tamamlanmadan doğrudan hava ceplerini doldurmasına engel olunmalıdır.
- İnce kesitli parçalarda dolumu hızlı tamamlamak için akış hızının çok fazla artırılması uygun bir yol değildir. Aksi halde kalıp boşluğu içinde düzgün

olmayan bir akış elde edilir. Bu durum da kalıp dolumunu zorlaştırıcı etkenlerden biridir.

- Yolluk kesiti belirlenirken çalışma yapılacak makinenin mekanik özellikleri, doldurulacak malzemenin özellikleri; özellikle kimyasal bileşimi, ergime noktası ve viskozitesi göz önüne alınmalıdır.
- Yolluk şekli keskin dönüşler ve geçişler içermemelidir.
- Kalıp konstrüksiyonu müsaade ettiği ölçüde yolluk döküm parçasına yakın olacak şekilde tasarlanmalı, fazla uzun yol kat ederek enerji kaybına uğramamalıdır. Kalıp dolumunu en kısa sürede gerçekleştirecek ve girdap oluşumuna mahal vermeyecek nitelikte olmalıdır.
- Yollukların parça ayırım hattına dik olan duvarlarına kalıp açılması sırasında kalıptan kolay çıkabilmeleri için bir çıkış açısı verilmelidir. Bu açı değeri 25-30° arasında seçilebilir.
- Yolluk kütlesi fazla ise kalıp açılırken yolluğun kasıntı yapmaması için yolluk arkasına itici pim konularak parça ve yolluğun birlikte ve düzgün olarak kalıptan çıkması sağlanmalıdır.
- Kalıp şeklinin müsaade ettiği ölçüde yolluk yakınlarına; kalıp içinde dolaştıktan sonra geriye dönen akışların havasını tahliye etmek için bir hava cebi yerleştirilebilir.
- Yolluk girişi çok kalın tutulmamalıdır. Aksi halde yolluğun iş parçasından koparılması esnasında, zorlukla parçadan ayrılması ve parça üzerinde iz bırakması söz konusu olabilir.

3.2.8 Hava Cepleri

Hava cepleri kalıp boşluğu içinde oluşabilecek havaların parça dışına tahliye edilmesi için tasarlanırlar. Kalıp dolumu sırasında dalıcı piston tarafından hareket ettirilen sıvı metal hızlı hareket etmesinden dolayı gerek kendisinden başka metal jetlerine gerek kalıp cidarlarına çarpmak durumunda kalır. Bu çarpışmalar esnasında sıvı metal türbülanslar ya da hava kabarcıkları içeren girdaplar oluşturur. Oluşan bu havanın parça dışına bir şekilde tahliye edilmesi şarttır. Bu zorunluluk hava ceplerinin doğru bir şekilde tasarlanması ile yerine getirebilir.

Parça dışına atılamayan hava kabarcıkları özellikle otomotiv sektöründe ve daha birçok alanda kullanılan parçalarda problem teşkil ederler. Pnömatik ya da hidrolik çalışma alanlarında kullanılan parçalar için sızdırmazlık açısından hava ceplerinin uygun konum ve büyüklükte olmaları çok önemlidir.

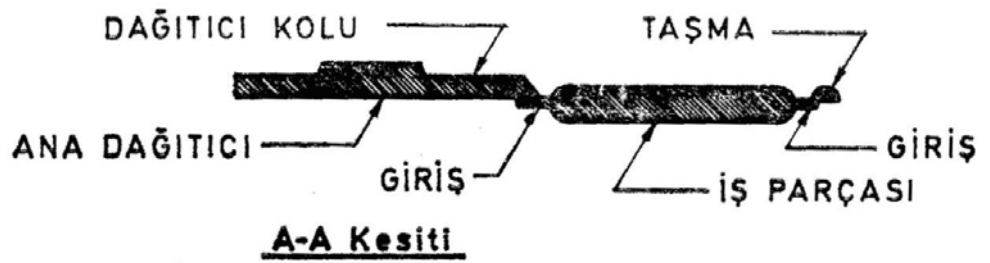
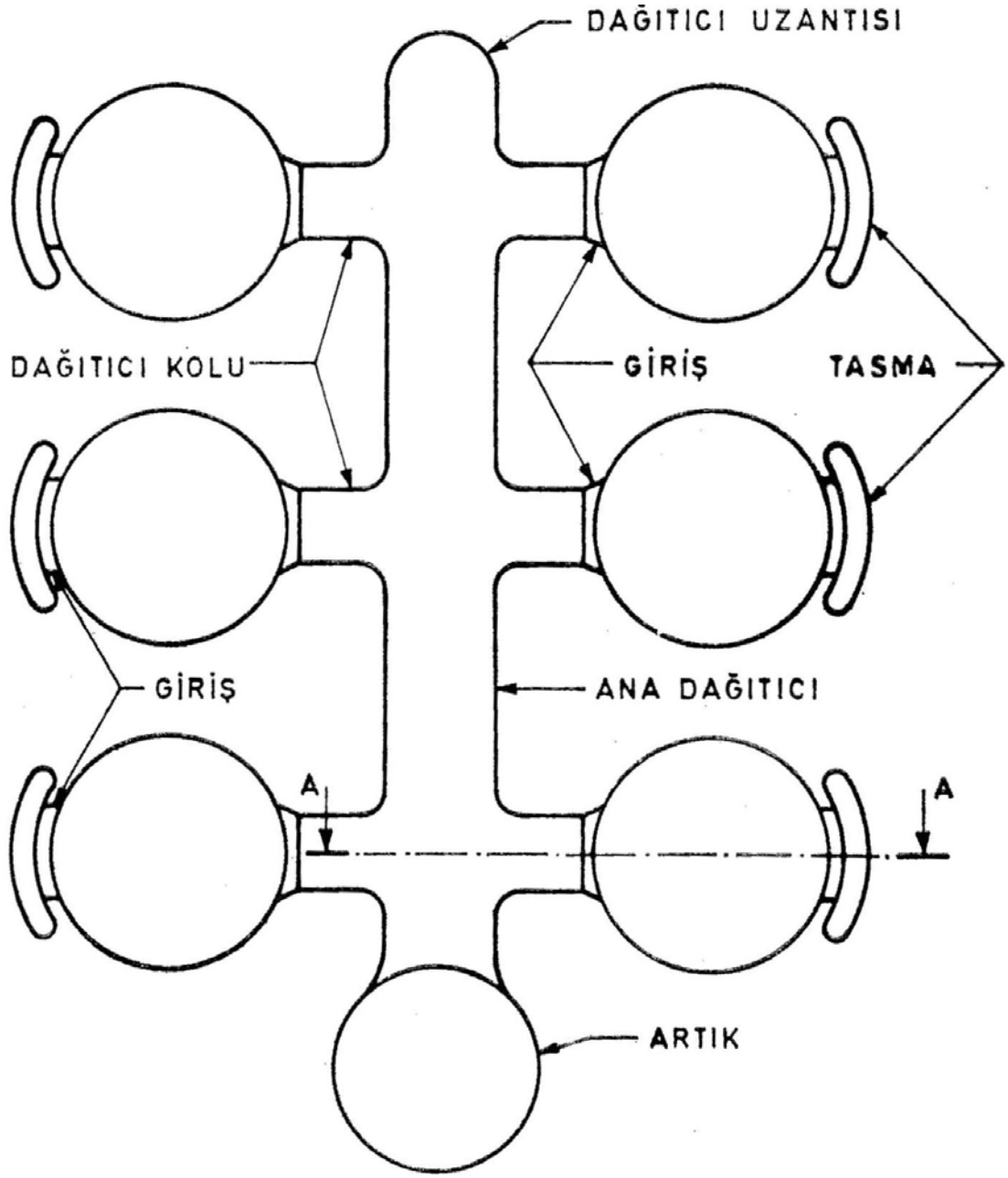
Hava ceplerinin dolumu kalıp dolumunun en son anına ve son basıncın yüklenildiği ana denk düşmelidir. Son basınçla beraber, parça içinde hapsolmuş hava sıvı metalin tam olarak katılaşmamasından yaralanılarak kalıp boşluğundan hava ceplerine tahliye edilmelidir.

Hava cebi tasarlarken yolluktan gelen sıvı metalin parça dolumunu tamamen gerçekleştirmeden hava ceplerini doldurmasına engel olunmalıdır. Ayrıca sıvı metalin kalıp boşluğundaki tahmini güzergâhını oluşturup farklı sıvı jetlerinin bulunduğu noktanın tam karşısına, kalıp konstrüksiyonunun izin verdiği şekilde, hava cebi yerleştirilmesinde yarar vardır. Yine aynı şekilde kalıp cidarlarında keskin köşelerin bulunduğu bölgelerin karşısına da hava cebi yerleştirilmelidir.

Kalıp çekirdeği üzerine yerleştirilen birden fazla hava cebi birbirleri ile birleştirilmemelidir. Aksi halde kalıp dolumunun son anlarında ilk olarak dolan hava cebinden bir diğer hava cebine metal transferi olabilir. Bir diğer hava cebinden gelen metal iki hava cebinin sahip olduğu toplam havayı parça içine taşıyabilir.

Hava cepleri baskı sonrasında parçadan kolaylıkla koparılabilir nitelikte ve ince girişli olarak uygulanmalıdır. Çapak kırma işlemi sonrası hava cebi girişlerinin parça üzerinde mümkün olduğunca küçük olması sağlanmalıdır (Kluz 1972).

Şekil 3.18 tek bir baskı işlemi sonucu elde edilen, yolluk(dağıtıcı) ve hava cepleri(taşma) ile bir arada bulunan altı adet döküm parçasını göstermektedir.



Şekil 3.18 Yolluk(dağıtıcı) ve hava cepleri(taşmalar)

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde; yolluk tasarımı ile ilgili bahsetmiş olduğumuz konuları uygulamalı olarak görmek amacıyla, iki farklı deney kalıbı hazırlanacaktır;

Birinci deney kalıbı, akaryakıt istasyonlarındaki sayaçlarda kullanılan ve “filtre gövdesi” olarak adlandırılan bir parçaya aittir. Kalıptan çıkacak olan parça ile ilgili detaylar şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir. Resimlerden de görülebileceği gibi bu parça basınçlı döküm tekniğine göre orta derecede bir et kalınlığına sahiptir. Bu tür parçalarda öncelikle karşılaşılan problem parça içinde hapsolan hava kabarcıklarının parça dışına tahliye edilememesidir. Filtre gövdesi özellikle bu probleme ve ayrıca kalıp dolum problemine örnek olması amacıyla seçilmiştir.

Filtre gövdesi kalıbı bilgisayar ortamında Unigraphics NX4 katı modelleme programı ile tasarlanmıştır. Kalıp yolluk tasarımı olumlu örnek ve olumsuz örnek teşkil etmesi için iki ayrı şekil ve büyüklükte planlanmıştır. Birinci örnekte seçilen yolluk uygun olmayan yön ve giriş kesatine sahiptir. Yolluğu üzerinde bulunduran kalıbın itici tarafının çekirdeği dışında, kalıbın diğer bütün elemanları iki farklı yolluk tipinde de sabit tutulmuştur. Birinci örnekte yapımı tasarlanan yolluk, kalıp çekirdeği üzerine CNC dik işleme tezgahına bağlanarak işlenmiştir. CNC dik işlem tezgahında Unigraphics NX4 programının CAM(Computer Aided Manufacturing) modülü kullanılmıştır. Diğer kalıp elemanları da CNC dik işlem, torna, kalıpcı freze ve dalma erozyon tezgahlarında işlenerek kalıp montajı gerçekleştirilmiştir.

Birinci tipteki yolluğu üzerinde taşıyan itici taraf çekirdeğiyle beraber montajı tamamlanan filtre kütüğü kalıbı metal enjeksiyon presine bağlanmıştır. Kalıbın uygun olmayan yollukla deneme baskıları Etial-160 malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu baskılarda baskı şartları ve makine ayarları sürekli değiştirilerek en iyi döküm parçası elde edilmeye çalışılmıştır. Uygun olmayan yolluklu şekli ile elde edilen en iyi parçanın baskı şartları not edilmiştir.

Kalıp metal enjeksiyon presinden indirilip itici taraf çekirdeği sökülmüştür. İkinci tip yolluk yönü ve parçaya giriş kesiti değiştirilmiştir. Çekirdek CNC dik işlem tezgahına bağlanıp uygun yolluk tasarımı üzerine işlenmiş ve bu şekli ile kalıp montajı yapılmıştır. Montajı yapılan kalıp aynı metal enjeksiyon presine bağlanmış ve not edilen baskı şartlarında deneme baskısı gerçekleştirilmiştir.

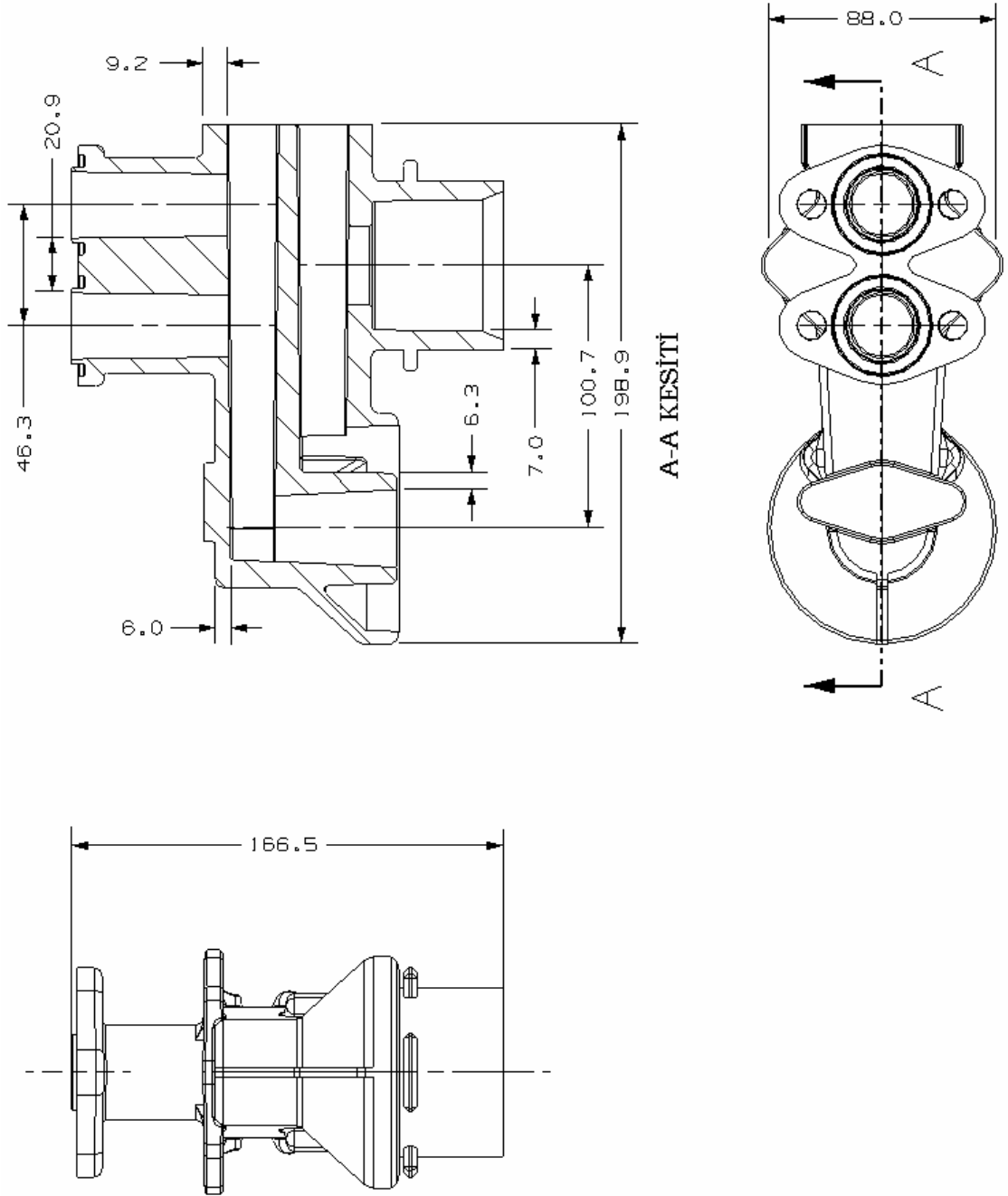
İki farklı yolluk tipinin uygulandığı kalıplardan elde edilen en iyi parçaların yüzey kaliteleri, kalıp dolularının iyi olup olmadığını anlamak amacıyla parça konturları ve parçayı ortadan kesmek suretiyle kesitlerindeki hava kabarcıklarının varlığı ve büyüklükleri kıyaslanmıştır. Parçalar ve kesit görüntülerinin fotoğrafları çekilmiş, bu fotoğraflar “Ekler” bölümünde kullanılarak değerlendirilmiş ve uygun yolluk tasarımı üzerine yorumlar yapılmıştır.

İkinci deney kalıbı ise aydınlatma sistemlerinde kullanılan ve “flanş” olarak adlandırılan çembersel bir parçaya aittir. Flanş parçası ile ilgili detaylar şekil 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir. Birinci deney kalıbında kullanılan parçanın aksine ikinci deneyde ince kesitli bir parça tercih edilmiştir. Bu tür parçalarda karşılaşılan en önemli problemler kalıp dolununun tam olarak sağlanamaması; yani iyi derecede parça konturlarının elde edilememesi ve parçanın esnemesi, eğilip bükülmesi ve hatta çatlayıp kırılması gibi sıkıntılardır. Flanş parçası; yolluk tasarımının ince kesitli parçalarda kalıp dolumu ve sağlam iş parçasının elde edilmesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi için tercih edilmiştir.

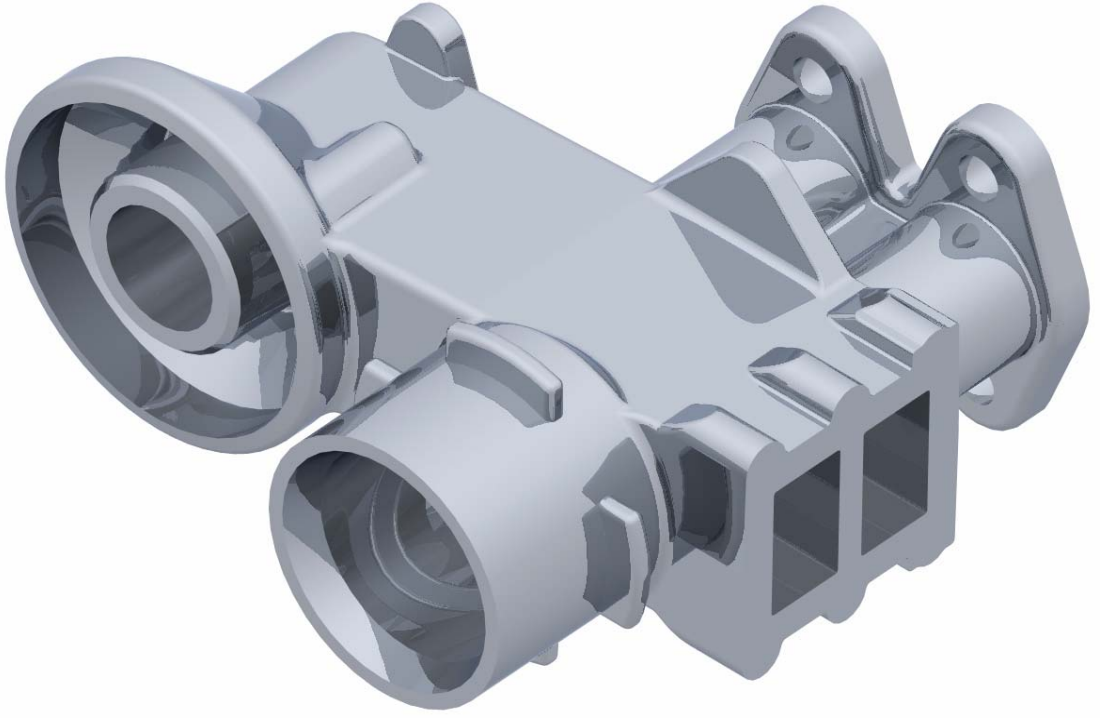
Flanş kalıbının itici tarafının çekirdeği ve diğer kalıp elemanlarının tasarımı, üretimi ve deneme baskılarının yapılması da birinci deney kalıbında anlatıldığı gibidir. Bu kalıpta birinci deney kalıbından farklı olarak Etial-150 malzemesi kullanılmış ve deneme kalıplarının baskısı 400 tonluk değil 280 tonluk metal enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Her iki yolluk şekli ile elde edilen parçalar ve kesit görüntüleri aynı şekilde Deney Sonuçları bölümlerinde kullanılmış, parçaların konturları, yüzey kaliteleri, kesit görüntüleri kıyaslanmış ve uygun yolluk tasarımı üzerine yorumlar yapılmıştır.

4.1 BİRİNCİ DENEY KALIBI



Şekil 4.1 Filtre Gövdesi (Birinci Deney Parçası)



Şekil 4.2 Filtre Gövdesi (Birinci Deney Parçası)

4.1.1 Yolluk Tasarımı

Filtre Gövdesi parçasının kalıbı; sabit ve itici taraf çekirdeklerin dışında üç yönünde hareketli maçaların çalışacağı şekilde tasarlanacaktır. Bu hareketli maçalar çekirdeklerin oluşturamadığı kısımların şekillenmesini sağlayacaktır. Maçalar hidrolik silindirlerle çalıştırılacaktır. Bu sebepten dolayı yolluğun hareketli maçaların çalıştığı yönde tasarlanması mümkün değildir. Bu durumda yolluk için sadece tek bir yön seçeneğimiz kalmaktadır. 6mm'lik et kalınlığının verildiği yönden parçaya yolluk girişinin yapılması gerekir.

Filtre gövdesi et kalınlığı itibari ile yüksek basınçlı döküm yöntemi için orta kalınlıkta kabul edilebilecek bir parçadır. Dolayısıyla porozite problemine elverişli bir parçadır. Kaldı ki karmaşık bir parça olduğu için metal jetini sürekli sabit yönde tutmak mümkün olmayacaktır. Bu nedenden dolayı gerek metal jetlerinin birbiri ile gerekse kalıp cidar ve maçalarla çarpışması kaçınılmaz bir durumdur. Yani porozite probleminin oluşması için elverişli bir durum söz konusudur. Sonuç olarak bu parça için yolluk girişinin asli görevi metal jetine hız kazandırmak değil dalıcı pistonun uygulanan son basıncı(sıkıştırma basıncı) kalıp boşluğunun her noktasına iletmektir. Şüphesiz yolluğun; son basınçtan hemen önce sıvı metalin kalıp boşluğunu tam olarak doldurmasını ve son basınç anına kadar sıvı olarak kalmasını da sağlaması gerekir.

Yolluk başlangıcı çekirdek üzerinde çok zayıf bölgeler oluşturmayacak şekilde mümkün olduğunca parça şekline yakın tutulmalıdır. Bu durum sıvı metalin yolluk mesafesi boyunca sürtünmelerden kaynaklanan ısı ve hız kaybını önleyecektir. Yolluk başlangıç şekli dalıcı pistonun şekline uygun olacak şekilde dairesel olmalıdır. Dalıcı pistonun çapını pres makinesi ve makineye bağlanan hazne belirler. Hazne makinenin erimiş haldeki yüksek sıcaklıklı eriyik metalle tek temas bölgesidir. Dalıcı piston iç çapı honlanmış ve üstün bir yüzey kalitesine sahip hazne içinde hareket etmektedir (Mori 2001).

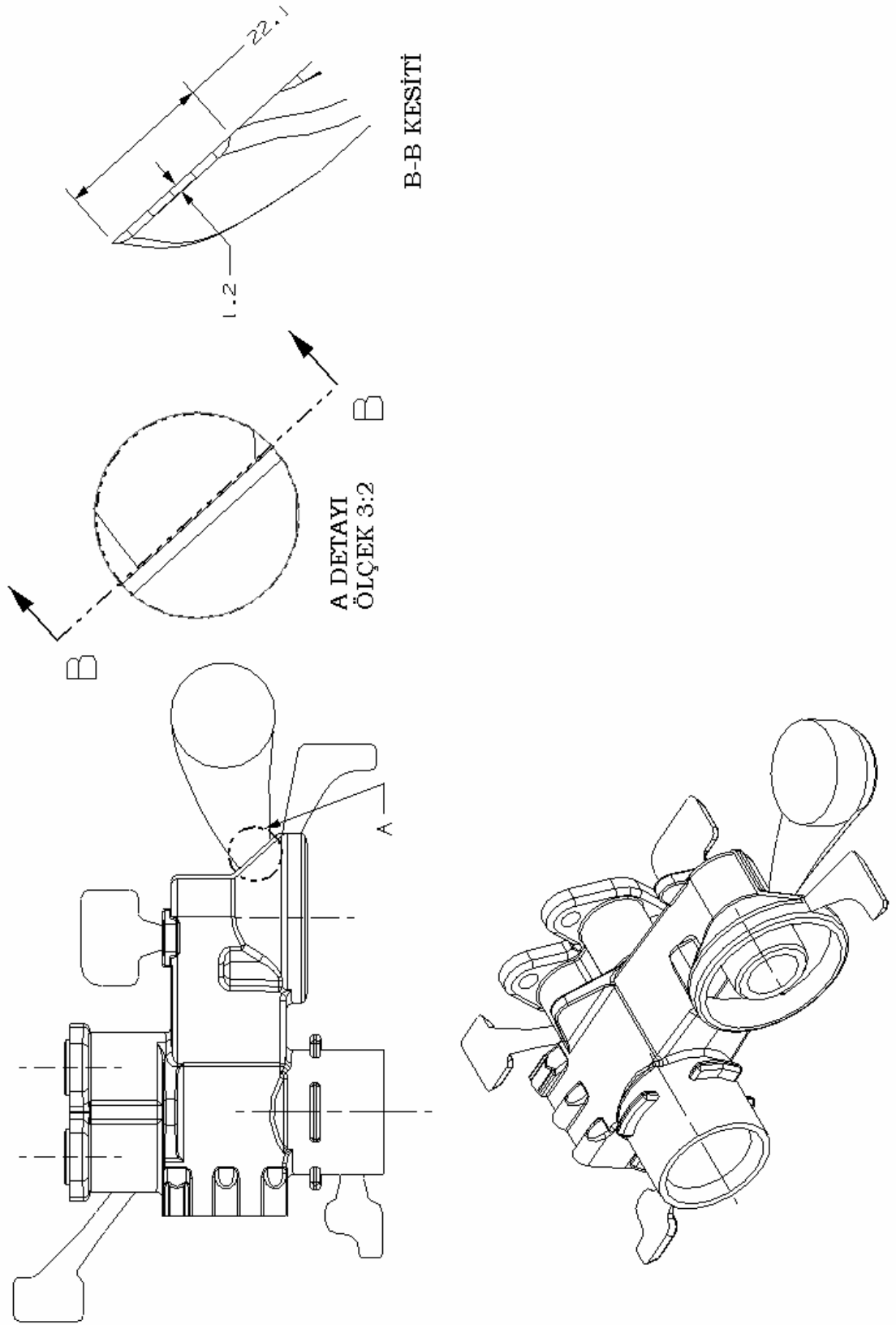
Yolluk kesiti parça girişine kadar sürekli azalacak nitelikte olmalıdır. Bu sıvı metale sürekli olarak hız kazandıracaktır. Hızlanan metalin kalıp boşluğundaki en uzak, en kuytu, en keskin bölgelere bir an önce ulaşmasında ve dolumu zor olan kısımların daha başlangıçta doldurulmasında fayda vardır. Dalıcı pistonun hemen

karşısında yolluk başlangıcındaki yolluk derinliği, yolluğun parça girişine kadar giderek daralmalı ve parça girişinde en küçük değerine ulaşmalıdır. Ayrıca filtre gövdesi parçasının ideal dolumu için yolluğun mümkün olduğunca yön değiştirmeyen nitelikte olması gerekir. Başlangıçtan parça girişine kadar daralmanın yumuşak geçişlerle ve kademesiz olmasında fayda vardır.

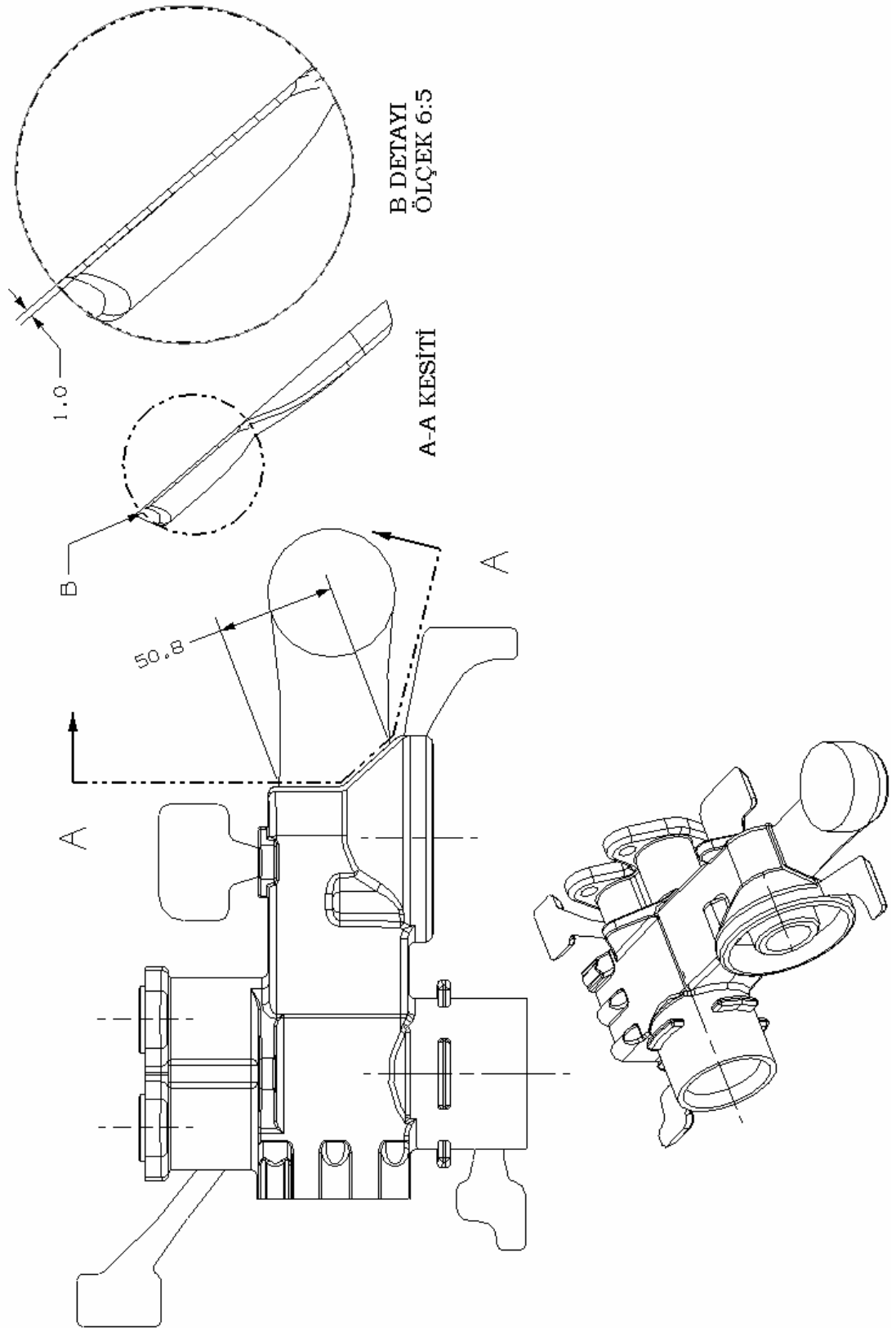
Parça ince kesitli bir parça olmadığından çok yüksek hızdaki metal jetine ihtiyaç yoktur. Bu nedenden dolayı yolluk başlangıcından yolluğun parça girişine kadar olan mesafede yolluk derinliği azalırken genişliğinin artmasında herhangi bir sakıncası yoktur. Dahası filtre gövdesi parçasının yolluğun hemen karşısındaki uzun kanalları çıkararak maçaların uzanışı yayvan bir yolluk girişini ideal kılmaktadır. Yolluk girişinden kalıp boşluğuna hızla hareket eden sıvı jeti iki uzun maçanın dört bir yönünden doğrusal olarak, sanki maçaların etrafında birer film tabakası oluşturmuşçasına dolumu gerçekleştireceklerdir.

Yolluk başlangıcından sonuna(parça girişi) doğru, derinliği sürekli değişen(azalan) yolluk kesitinin değişim değeri, parça girişine doğru giderek azalmalı ve girişte sıfır olmalıdır. Aksi halde bir tarafında parçadan kaynaklanan bir boşluk, bir tarafında da halâ azalan bir yolluk derinliğinden dolayı yolluk girişi çok sivri(keskin) ağızlı olur. Bu da kırılmalı bir yolluk girişi demektir. Parçaya giren metalin giriş hızını ve kalıp ömrünü azaltacak bir durumdur.

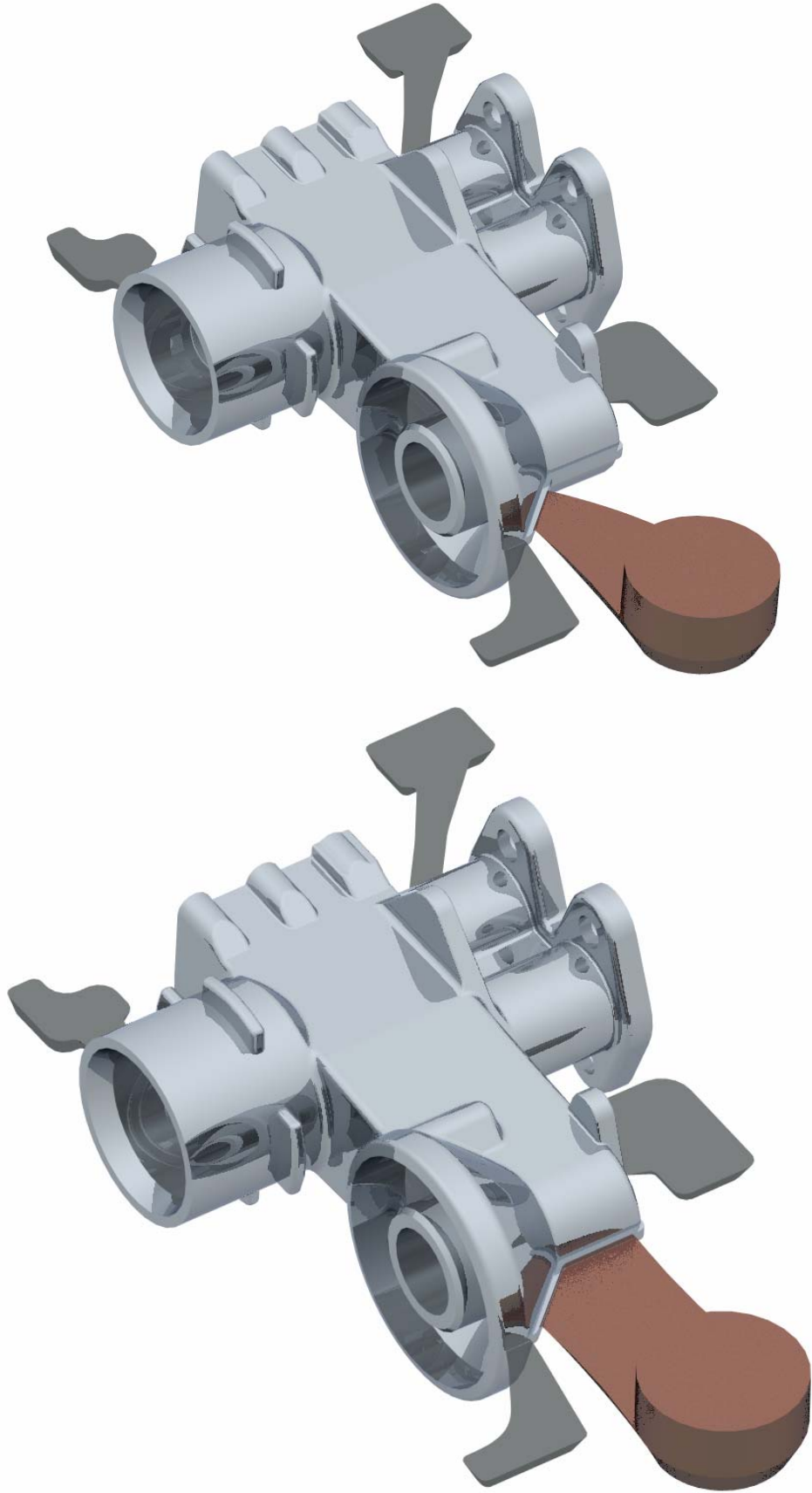
Şekil 4.3 yukarıda bahsettiğimiz yolluk tasarım kriterlerine aykırı bir yolluk biçimini, Şekil 4.4 ise bahsettiğimiz kriterlere uygun olarak tasarlanmış yolluk biçimini göstermektedir. Deneme baskıları, gösterilen bu iki yolluk biçimi için de aynı şartlarda yinelenenektir.



Şekil 4.3 Filtre Gövdesi İçin Uygun Olmayan Yolluk Tasarımı



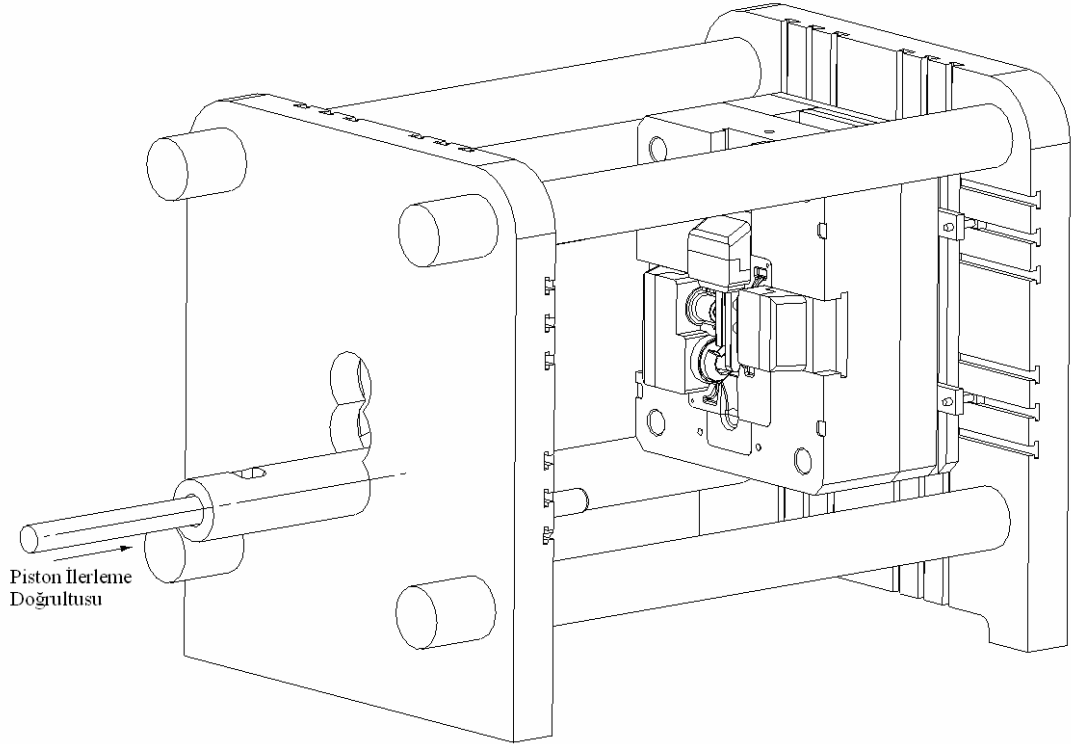
Şekil 4.4 Filtre Gövdesi İçin Uygun Yolluk Tasarımı



Şekil 4.5 Filtre Gövdesi İçin Uygun Olmayan ve Uygun Olan Yolluk Tasarımları

4.1.2 Deney Prosedürü

- Uygun olmayan yolluklu kalıp 400 tonluk metal enjeksiyon makinesine bağlanır. Bağlama işlemleri makine mengenerleri üzerine açılmış yargılarda sürülebilen pabuçların kalıp üzerinde açılmış kanallara anahtar ile sıkılmak sureti ile gerçekleştirilir.



Şekil 4.6 Deney Kalıbının Enjeksiyon Presine Bağlanması

- Giriş kalite kontrol işlemlerinden geçmiş, standart kimyasal bileşime ve homojen olarak dağılmış tanecik yapısına sahip Etial-160 malzemesi külçeler halinde pota içine yerleştirilir. Malzeme eritilir ve sıcaklığı 670-690°C arasında tutulur.
- Ergimiş alüminyum malzeme soğuk kamaralı metal enjeksiyon makinesinin yanındaki bekletme ocağına alınır.
- Kalıp baskı ayarları yapılır. Bu ayarlardan;
 - Piston ilerleme hızı ayarı,
 - Sıkıştırma basıncı ayarı,
 - Malzeme sıcaklığı ayarı,

manuel olarak; makine üzerindeki gaz tanklarının vanaların ayarlarını, switchlerin konumlarını, hidrolik yağın basınç ayarını ya da sıcaklık kontrol panelindeki sıcaklık ayarını değiştirerek yapılır.

Diğer ayarlar ise;

- Faz kontrolü (Dalıcı pistonun strok mesafesi boyunca ilk hareketi sırasındaki sahip olacağı hız ve kalıbı doldururken sahip olacağı hız ayarlarıdır)
- Enjeksiyon Baskı süresi (Sıkıştırma basıncının sağlanması için dalıcı pistonun kalıp dolumu tamamlandıktan sonra kalıp içine uygulayacağı sıkıştırma basıncının süre ayarı)
- Kalıp açılma zamanı (Kalıp dolumu tamamlandıktan sonra başlayıp mengenelerin açılmaya başladığı ana kadar geçen süredir)
- Maça açılma zamanı (hidrolik silindirlerle hareket ettirilen maçaların geriye çekilmeleri için geçen süre ayarı)
- İtici başlama zamanı (kalıp ve maçalar açıldıktan sonra parçanın itici pimlerle itilmesi için kalıp itici plakasının makine tarafından harekete geçirilmesi için geçen süre ayarı)
- İtici ileride bekleme zamanı (İticilerin parçayı kalıp dışına ittikten sonra tekrar eski konumlarına dönene kadar geçen süre ayarı)

enjeksiyon pres makinesinin kontrol panelinden değer girmek sureti ile yapılır.

- Kalıp şaloma ile ısıtılır. Isıtma işlemi kalıp sıcaklığı 350°C'ye ulaşınca kadar yapılır. Kalıbı ısıtırken özellikle sıvı metalle temas edecek sıcak iş çeliklerinin her noktasının aynı dereceye ısıtılmasına özen gösterilir.

Ön ısıtma yapılmadan baskıya alınan bir kalıptan ilk baskının sağlıklı bir şekilde çıkması mümkün değildir. Çok sıcak ve çok soğuk yüzeylerin birbirine teması sonucu alüminyum, özellikle dar bölgelerde, kalıp cidarlarına yapışır ve kalıp açıldıktan sonra parçanın kalıptan çıkarılması mümkün değildir (Geng 2004).

- Ön ısıtma işleminden sonra kalıp yüzeyine bir defaya mahsus kalıp ayırıcı kimyasal püskürtülür. Bu madde yine özellikle sıvı metalin temas edeceği bütün yüzeylere eşit olarak uygulanır.
- Operatör elindeki kepçe ile sıvı alüminyumu potadan alıp makine haznesine boşaltır. Bu anda yapılan işlem sadece haznenin sıcaklığını artırmaya yöneliktir.

- Operatör bu sefer baskıyı gerçekleştirmek için malzemeyi hazneye boşaltır ve start düğmesine basar. Operatörün malzemeyi hazneye boşaltırken malzemenin hızlı ve çalkantılı bir şekilde dökülmemesine dikkat etmesi gerekir.
- Baskıdan çıkan parça üzerinde yorumlar yapılarak baskı ayarları değiştirilir(örneğin itici pimler parça üzerinde derin izler bırakıyor ise kalıp açılma süresi biraz uzatılarak parçanın tam olarak katılaşması sağlanır) ve baskı işlemi tekrar edilir. Bu işleme en ideal parça elde edilene kadar devam edilir; ki deney kalıbımızda bu sayı yedi olarak gerçekleşmiştir.
- Kalıp makineden indirilip itici çekirdek kalıptan sökülür. İtici çekirdek CNC tezgahına bağlanıp üzerine uygun olarak tasarlanan yolluk şekli açılır. Kalıp montajı tekrar yapılır.
- Uygun yolluklu kalıp, aynı metal enjeksiyon presine bağlanır. Kalıp sıcaklığı ve son baskı ayarları önceki durumda elde edilen ideal proses değerlerine getirilir. Bu şekilde 4-5 baskı işlemi gerçekleştirilir.
- Her iki yolluk şekli ile baskıdan çıkan en ideal parçalar; kalıp dolumu, yüzey kalitesi ve parçalar kesilerek kesitlerindeki porozite görünüşü açısından kıyaslanırlar.

“FİLTRE GÖVDESİ” DENEY PLANI		
Deney(Baskı İşlemi) No	Deney Girdileri	Deney Sonuçları
1. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	Tecrübi olarak belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
2. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	1. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
3. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	2. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
.....
n. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	n-1. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
n+1. Enjeksiyon Baskı İşlemi (İkinci Yolluklu Kalıpta)	n. enjeksiyon baskı girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması

4.1.3 Deney Sonuçları

Filtre gövdesi parçasına ait birinci kalıpta(uygun olmayan yolluklu) yedi değişik kalıp baskı ayarıyla enjeksiyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneme sayısı arttıkça, değişen ayarlarla birlikte kalıptan çıkan parça kalitesi de yükselmiş ancak parça kabul kriterlerini sağlayamamıştır. Bu yedi enjeksiyon işlemi ve değişen ayarların kalıptan çıkan parça kalitesi üzerine etkileri aşağıda tartışılmıştır.

➤ Birinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	300 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	640 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	2.5 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	3.5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	1.5 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.1 Birinci Enjeksiyon Baskı Şartları

Tablo 4.1’de gösterilen değerler enjeksiyon pres makinesine girilerek birinci baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu değerler tamamen tecrübi bilgilerden yola çıkılarak elde edilmiştir. Enjeksiyon baskı işlemi ile ilgili sonuç ve yorumu şu şekildedir;

Sonuç : Filtre Gövdesi parça konturları net olarak oluşmadı. Parça yüzeylerinde soğuk akış çizgileri mevcut. Kalıp dolumu % 75-80 civarında. Kalıp dolumunun sıkıntılı olduğu yerler genellikle yolluğa en uzak konumdaki bölgeler.

Yorum : Metal enjeksiyon kalıplarında ilk baskı her zaman sıkıntılıdır. Parçanın kalıptan çıkmaması oluşması muhtemel problemlerin başında gelir (Fischer 2003). Bizim deneyimizde böyle bir durum gerçekleşmedi ancak kalıp dolumunu % 100'e çıkarmak için sıkıştırma basıncını biraz artırmalıyız. Kalıbın birinci baskıda sıcak ergiyikle buluşmasıyla homojen olarak yüksek ısılarla ulaşması da kalıp dolumunu kolaylaştıracaktır. Kalıbın ısınması ayrıca parça üzerinde soğuk akış çizgilerinin oluşumunu engelleyecektir. Ayrıca artırdığımız basıncın uygulama süresini de (enjeksiyon baskı süresi) biraz artırmalıyız. Bu sayede yüksek basıncın, kalıp boşluğunun her noktasında ergiyik metale homojen olarak uygulanması sağlanır. Proses girdilerindeki bu değişikliklerle ilk etapta kalıp dolum problemini giderip hoş konturlu parçayı elde etmek istiyoruz.

➤ İkinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	330 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	640 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	3 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	3.5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	1.5 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.2 İkinci Enjeksiyon Baskı Şartları

İkinci enjeksiyon baskı işlemine ait proses girdileri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Tablodaki değerler; bir önceki baskı işleminde kullanılan girdilerin, baskı sonucunun yorumlanarak modifiye edilmesiyle elde edilmiştir.

İkinci enjeksiyon baskı işlemi ile ilgili sonuç ve yorumu aşağıdaki gibidir;

Sonuç : Parça üzerinde katmerlenme yani enjeksiyon işlemi tamamlanmadan kalıp içinde bir kısım eriyiğin katılaşıp kalıba enjeksiyonu devam eden sıcak ergiyikle buluşması problemi mevcut. Ayrıca kalıp dolumu birinci baskıya oranla daha iyi olmakla birlikte % 90 civarındadır.

Yorum : Katmerlenme problemi de dolun problemi de bize sıvı metal sıcaklığı ile ilgili düzenlemeler yapmamız gerektiğini göstermektedir.

Katmerlenme problemini ortadan kaldırmak için enjeksiyon işleminin sonuna kadar kalıp içine giren ve girmekte olan sıvı metalin katılaşmadan sıvı halde kalmasını sağlamamız gerekir. Kalıp dolumu konusunda ise basıncın şiddet ve uygulama süresini artışıımız yeterli olmadı. Bu durumda kalıba giren sıvı metal sıcaklığını artırmamız gerekir. Bu sayede ergiyiğin akışkanlığı artmış olacak ve kalıbın her noktasına daha kısa sürede ulaşmasını sağlamış olacağız.

Öte yandan sıcaklığını artırdığımız sıvı metalin kalıbı tamamen doldurduktan sonra, üçüncü faz süresince, kalıp açılmadan tamamen katılaşabilmesine zaman tanımak için kalıp açılma süresini artırmalıyız.

➤ Üçüncü Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	330 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	650 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	3 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	4 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	1.5 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.3 Üçüncü Enjeksiyon Baskı Şartları

Üçüncü enjeksiyon baskı için proses girdileri Tablo 4.3’de verilmiştir. Bu değerler; ikinci enjeksiyon baskı işleminde kullanılan proses girdilerinin baskı sonucuna göre modifiye edilmesiyle elde edilmiştir. Tabloda verilen proses girdileriyle gerçekleştirilen üçüncü enjeksiyon baskısının sonucu ve yorumu aşağıdaki gibidir;

Sonuç : Kalıp dolumu konusundaki problem devam ediyor.. Parça konturlarının net olarak ortaya çıkmadığı görülüyor. Ayrıca parçanın dış görünümünde iki adet problem daha mevcut. Birincisi sağdaki maçanın hareket ettiği yüzeylerde maça sarması yani bir miktar alüminyumun maçaya yapışarak parçadan sıyırılması sözkonusu. Bu sıyırılmaların; maçanın çalıştığı parça yüzeyinde, maçanın çalışma yönüne paralel şekilde izler oluşturduğu görülüyor. İkinci problem ise; parça üzerinde yaklaşık 0.5-1mm’ye varan derinliklerde itici pimlerin izleri görülüyor.

Yorum : Kalıp dolum problemini aşabilmek için metal sıcaklığı artırılmalıdır. Sıcaklık artışı sayesinde, sıvı alüminyumun kalıp dolumunu tamamen sağladıktan sonra katılaşması temin edilebilir (Vıladimirov 1982).

Maça çalışma yüzeyinde oluşan izleri engellemek için; maçaya yapışan sıvı alüminyumun diğer alüminyum tanecikleri ile birleşerek, maça açılmaya başlamadan önce, bütün bir katı kütle haline gelmesini sağlamalıyız. Maça temas yüzeylerinin hiçbir noktasında alüminyumun sıvı halde kalmayıp tamamen katılaşabilmesini temin etmeliyiz. Bunun içinse maça açılma süresini artırmamız gerekecek.

Yine aynı şekilde parça yüzeyinde oluşan itici pim izlerini ortadan kaldırmaya çalışacağız. İtici pimlerin parçayı, kalıp içinde parça daha tam olarak katılaşmadığı bir anda, itmesiyle oluşan pim izlerini engellemek için; parçanın kalıp içinde her noktada katılaşabilmesine zaman tanımalıyız. Bunun için de kalıp açılma zamanını artırmalıyız.

➤ Dördüncü Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	330 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	655 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	3 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.4 Dördüncü Enjeksiyon Baskı Şartları

Tablo 4.4'te verilen değerler kullanılarak dördüncü enjeksiyon baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu değerler; bir önceki baskı işleminde kullanılan proses girdilerinin, proses sonucuna göre yeniden düzenlenmesiyle elde edilmiştir. Tabloda gösterilen değerlerin uygulandığı enjeksiyon pres işleminin sonucu ve sonuçla ilgili yorum şöyledir;

Sonuç : Dördüncü baskı sonunda kalıp dolumunun yolluğa en uzak birkaç nokta dışında kabul edilebilir düzeyde olduğu görülüyor. Parça konturları da yine birkaç nokta dışında iyi seviyede ancak parça yüzeyindeki maça sarmalarının ve de itici pim izlerinin bu denemede bulunmadığı gözlemleniyor.

Dış görünüm olarak hedeflenen değerlere yaklaşılabildiğimiz parçanın kesitinde ise porozitelerin varlığı yoğun bir şekilde görülüyor. Özellikle kalıp cidarlarından parça kesitine doğru gidildikçe yaklaşık 2.5-3mm sonra porozite varlığının giderek yoğunlaştığı görülüyor.

Yorum : Orta ve yüksek et kalınlığına sahip parçalarda en çok yaşanan porozite problemini çözebilmek için; porozite oluşumunun temel sebebi olan eriyiğin kalıba

giriş hızı, yani piston ilerleme hızı azaltılmalıdır (Xie 2004). Eriyiğin kalıba giriş hızını azaltarak kalıp içi sıvı metal çarpışmalarını minimize etmeye çalışacağız. Ayrıca giriş hızı azalan sıvı metali kalıp içinde her noktaya ulaştırabilmek için de eriyiğe uygulanan basınç süresini, yani enjeksiyon baskı süresini artırmalıyız.

➤ Beşinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	30 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	330 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	655 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	30-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	3.5 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.5 Beşinci Enjeksiyon Baskı Şartları

Dördüncü enjeksiyon baskı işleminde kullanılan proses girdileri; baskı sonucuna göre yeniden düzenlenerek Tablo 4.5'teki değerler elde edilmiştir. Tablodaki proses girdileri ile gerçekleştirilen beşinci enjeksiyon baskı işleminin sonucu ve ilgili yorum şu şekildedir.

Sonuç : Kalıp dolumu problemlili, parçanın yolluğa en uzak noktalarında konturlar net olarak oluşmadı. Porozite problemi önceki baskıya oranla azalsa da hala parça kesitinde yoğunlukla görülüyor.

Yorum : Önceki baskıda kalıp dolum kalitesini ve parça konturlarını birkaç nokta haricinde kabul edilebilir seviyelere çekmemize rağmen, eriyiğin kalıp giriş

hızını düşürmemiz; sıvı metalin kalıbı tamamen doldurmadan bazı bölgelerde katılaşmasına sebep olmuştur. Böylece yeniden kalıp dolum problemiyle karşılaşmış olduk. Buradan çıkardığımız sonuç; dördüncü baskıda uyguladığımız piston ilerleme hızı(eriğin kalıba giriş hızı) kabul edilebilir minimum ilerleme hızıdır. Daha düşük hızlarda her zaman dolum problemiyle karşılaşacağız.

Bu durumda yapılacak olan; piston ilerleme hızını dördüncü baskıdaki eski değerine yükseltmek, bunun yanısıra porozite probleminin çözümü için; sıkıştırma basıncını artırmalıyız. Enjeksiyon kalıplarında kullanılan yüksek basınçlar parça içinde kalan hava kabarcıklarını hava ceplerine tahliye ederler (Waters 1996).

➤ Altıncı Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	350 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	655 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	3.5 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.6 Altıncı Enjeksiyon Baskı Şartları

Beşinci enjeksiyon baskı işlemi sonucunda kalıptan çıkan parça yorumlanmış ve proses girdileri Tablo 4.6'da gösterilen değerleri almıştır. Tablodaki proses girdileri ile altıncı enjeksiyon baskı işlemi gerçekleştirilmiş olup, baskı işlemi ile ilgili sonuç ve yorumu aşağıdaki gibidir;

Sonuç : Bu baskı işleminde elde ettiğimiz sonucun dördüncü enjeksiyon baskı işlemine benzediği görülüyor. Ancak altıncı deneme baskısından çıkan parça, dördüncü deneme baskısından çıkan parçaya nazaran daha az porozite(kesitte hava boşlukları) içerirken, dolum kalitesi ve konturların oluşumu açısından daha kötü ve kabul edilebilir sınırlar dahilinde değildir.

Yorum : Piston ilerleme hızını eski yüksek konumuna getirmemize rağmen aynı anda yükselttiğimiz sıkıştırma basıncı sıvı moleküllerin daha hızlı katı hale geçmelerine sebep olmuştur. Mevcut durumda kalıp dolumu ve porozite ile ilgili problemlerin şiddetlerini aynı seviyeye çekmiş durumdayız.

Bu aşamada hem kalıp dolumunu (dolayısıyla parça konturlarını) iyileştirip hem de porozite yoğunluğunu azaltmak yönünde davranacak ve proses girdileriyle ilgili kullanabileceğimiz limit değerleri uygulayacağız. Sıkıştırma basıncını, enjeksiyon baskı süresini ve malzeme sıcaklığını en üst seviyelere kadar artıracacağız. Zira bu ayarlardan daha yükseğe çıkılması; ergiyik malzemenin kimyasal, kalıp ve enjeksiyon pres makinasının da fiziksel yapılarının zarar görmelerine sebep olacaktır.

➤ Yedinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	3.15
Sıkıştırma basıncı ayarı,	380 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.85
Malzeme sıcaklığı ayarı	665 °C	Si	8.3
Faz Kontrolü	40-300 cm/s	Zn	0.65
Enjeksiyon Baskı Süresi	4 s	Mn	0.35
Kalıp Açılma Zamanı	5 s	Mg	0.15
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.1
İtici Başlama Zamanı	3 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	3 s	Al	86.2

Tablo 4.7 Yedinci Enjeksiyon Baskı Şartları

Birinci deney kalıbında(Filtre Gövdesi kalıbı) gerçekleştirilen yedi denemenin sonucunda tespit edilen ideal enjeksiyon baskı değerleri ve kullanılan malzemenin spektral analiz sonuçları Tablo 4.7’de verilmiştir. Baskı sonucu ve ilgili yorumu şu şekildedir;

Sonuç : Baskı sonucu kalıptan çıkan iş parçasında öncelikle porozite daha sonra da kalıp dolum probleminin devam ettiği gözlemlenmiştir. Parça üzerinde düzensiz sıvı metal akış izleri ve net oluşmayan konturlar mevcuttur.

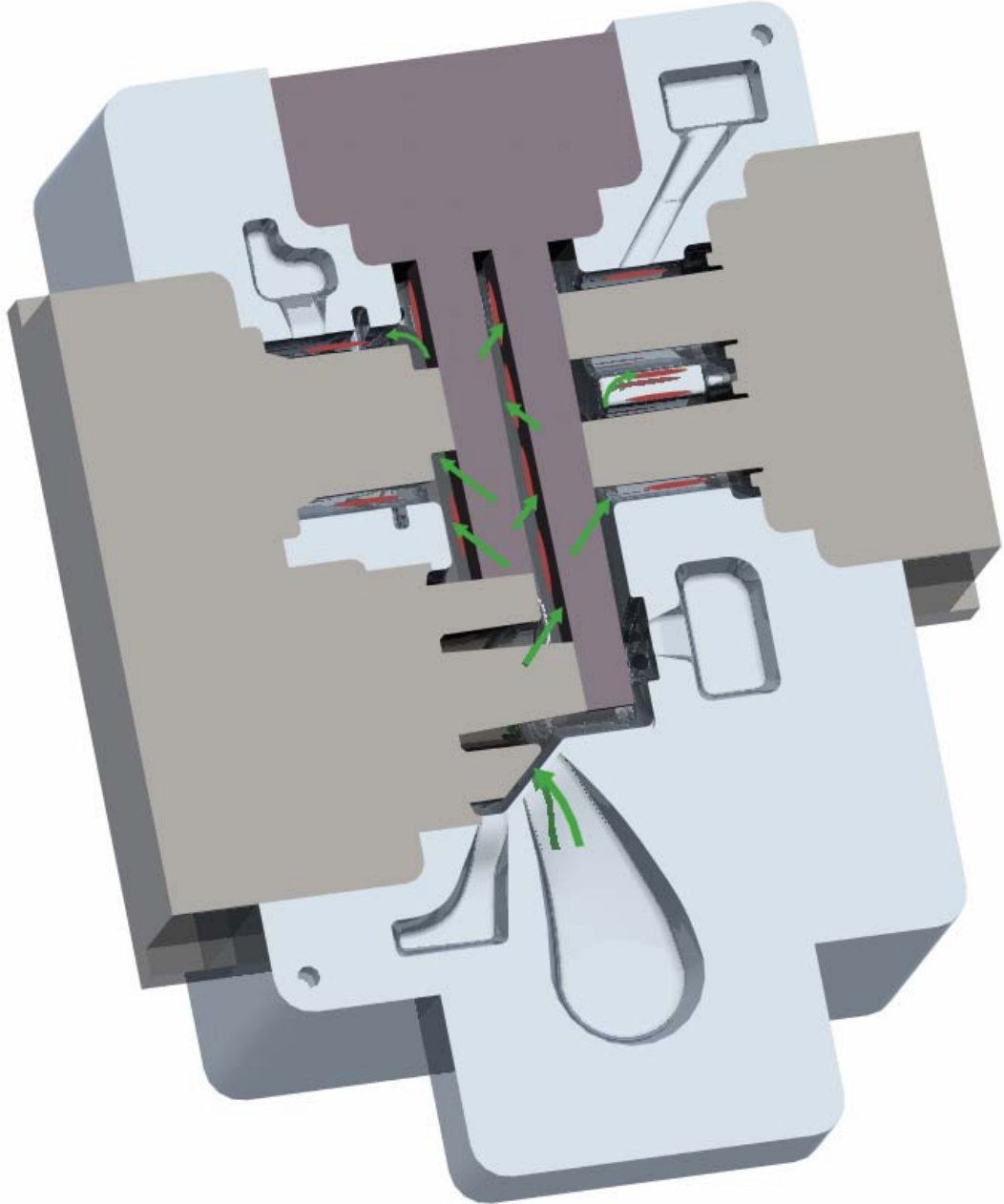
Yorum : Yedi denemenin sonucunda kalıptan çıkan parça önceki denemelere göre; parça görünümü ve porozite problemi açısından en iyi seviyededir. Ancak mevcut sıkıntılarla filtre gövdesi kabul edilebilir bir parça değildir.

Bu sonuç uygun olmayan yollukla Filtre Gövdesi kalıbından hedeflediğimiz kalitede işparçası alamayacağımızı gösterir. Bu durumda uygun olmayan yolluklu kalıbımızla gerçekleştirdiğimiz yedi deneme baskısından, yedinci baskıya ait proses girdilerini ideal proses girdileri olarak kabul edeceğiz. Aynı proses girdileriyle uygun yolluklu kalıbımızda enjeksiyon baskı işlemini gerçekleştirmeliyiz.

Uygun yolluklu kalıbımızda ideal proses girdileri kullanılarak dört defa baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon pres makinesine yeniden bağlanan kalıbın ideal çalışma sıcaklığına ulaşması için yapılan dört baskının dördünde de aynı ideal proses girdileri kullanılmıştır. Dördüncü baskı sonunda elde edilen parça, uygun olmayan yolluklu kalıptan çıkan en iyi parçayla(yedinci baskıdan çıkan parçayla) karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda;

- Uygun olmayan yolluklu kalıptan çıkan iş parçasında parça dışına atılmayan hava kabarcıklarının varlığı dikkat çekmektedir. Hava kabarcıklarının miktarı özellikle parça kesitinin iç bölgelerine doğru yoğunlaşmaktadır.
- Uygun olmayan yolluklu kalıptan çıkan iş parçası için kalıp dolumu da oldukça yetersizdir. Öyle ki parça konturları her ayrıntısıyla elde edilememiştir.
- Uygun olmayan yolluğun kullanıldığı deneme baskılarından çıkan parçanın yüzey kalitesi de diğer yolluğa nazaran oldukça düşüktür. Parça yüzeyinde düzensiz akışların izleri dikkat çekmektedir. (Bkz. Fotoğraf 1-2-3.)

Bu sonuçların oluşma sebeplerini daha iyi anlamak için; her iki yolluklu hali ile çekirdek ve maçaların bir arada bulunduğu ve tahmini sıvı metal yolunu gösteren resimler geliştirilmiştir. Uygun olmayan yolluğu üzerinde taşıyan kalıptaki düzensiz sıvı metal hareketleri yeşil oklarla ve bu uygun olmayan hareketlerden kaynaklanan hava boşlukları da kırmızı renkli şekillerle sembolize edilmiştir. Bkz. Şekil 4.7.



Şekil 4.7 Uygun olmayan Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri

Uygun olmayan yolluğun bulunduğu kalıpta cehennemlik girişinden kaviteye dolan metal jeti doğruca sol taraftaki maçaya ve çarpacaktır. Burada sıvı metal daha sonra bu yüzeyden 90°lik bir açıyla yol almak isteyecektir. Sıvı metalin yollukta böyle yönlendirilmesi en başta kalıp dolumu için sıkıntılı bir durumdur. Çünkü çarpma sonucu sıvı metal hareket enerjisini azaltacaktır. Ayrıca daha fazla temas halinde kalması sebebiyle taşıdığı ısının bir miktarını da maça üzerine aktaracaktır. Bu yöndeki metal jeti hareketi; metalin beraberinde taşımış olduğu yüksek basınç sebebiyle maça için de olumsuz bir durum teşkil etmekte, maçanın kısa sürede yüzeyinin bozulmasına ve maça ömrünün kısalmasına sebep olacaktır. Yüzeyi bozulan maça sonraki baskılarda kalıp açılırken iş parçasına yapışacak, parça kalıptan zor çıkacak ve bu zorlanmalardan dolayı parça yüzeyinde çekmeler, yırtılmalar oluşacaktır.

Doğru yönlendirilmeyen sıvı jeti sol maçadan ayrıldıktan sonra yolluk karşısındaki uzun maçalara dik olmasa da 45°lik açılarla çarpacaktır. Sıvı jetinin ilk başlangıçtaki hareketinden dolayı oluşan olumsuzluklar kadar olmasa da en az onların yarısı kadar bir problem de sıvı metal ön maça çarpışmalarında yaşanacaktır. Aynı şekilde metalin bu çarpışmalar sonucunda enerjisi azalacak maçaların ömürleri kısalmaktadır. Sıvı metalin ön maça ile ilk çarpışmasından sonraki hareketi yine özellikle ön maçanın iki parçası arasında 45°lik açılarla ve birbirlerine paslaşma şeklinde gerçekleşecektir.

Sıvı metal ön maçalarla çarpışmalarının belirli bir anından sonra ilk olarak sağ maça boşluğuna, takiben sol maçanın diğer boşluğuna ve son olarak da ön maçanın dip kanallarına değişen açılarla çarparak ulaşacaktır.

Filtre gövdesi kalıbına uygun olmayan yolluk girişi uygulanmasının en önemli sıkıntısı ne sıvı metalin ısı kaybı ne de maça yada çekirdek ömürlerinin azalması değildir. Bu parçanın en önemli sıkıntısı parça kesitindeki hava kabarcıkları (poroziteler)dir. Frommer teorisinden de hatırlayacağımız gibi sıvı metal bir şekilde kalıp ve maça cidarlarına belirli bir film kalınlığında tutunmuştur. Bu tutunan akışlarına arasına dalıcı pistonun hareketi boyunca sonradan dolan sıvı metal, sürekli çarpışmalar, hız ve basınç değişimleri sebebiyle girdaplar oluşturmuştur. Parça kesitinin ince olmayışı porozite oluşumuna elverişli bir ortam sağlamıştır. Fotoğraf 1 dikkatle incelendiğinde Frommer teorisini destekler şekilde; parça kesitindeki

poroziteler özellikle ön maçanın iki çıkıntısı arasında, sağ maçanın iki kolu ve bu kollarla çekirdek cidarları arasında ve de sol maçanın üst kolu ile çekirdek cidarları arasında yoğunlaşmıştır. Yolluğa ve ön maçanın uç kısmına yakın bölgelerde yerleştirilen hava cebi görevini yerine getirmiş ve bu bölgelerde sıvı metalin enerjisini henüz fazlaca yitirmemiş olmasından da yararlanarak bu bölgelerdeki hava kabarcıklarını parça dışına taşımıştır. Yoğunluğu az olan poroziteler; yeterli ve uygun tasarlanmış hava ceplerinin bulunduğu bir tasarımda, kalıp dolunun hemen ardından dalıcı piston tarafından uygulanacak yeterli seviyedeki bir hidrostatik basınç sayesinde hava ceplerine tahliye edilebilir (Yu, K-O 2002). Ancak deney kalıbımız çok sayıda hareketli maçayı içerdiğinden hava cepleri için çok fazla seçeneğimiz söz konusu değildir.

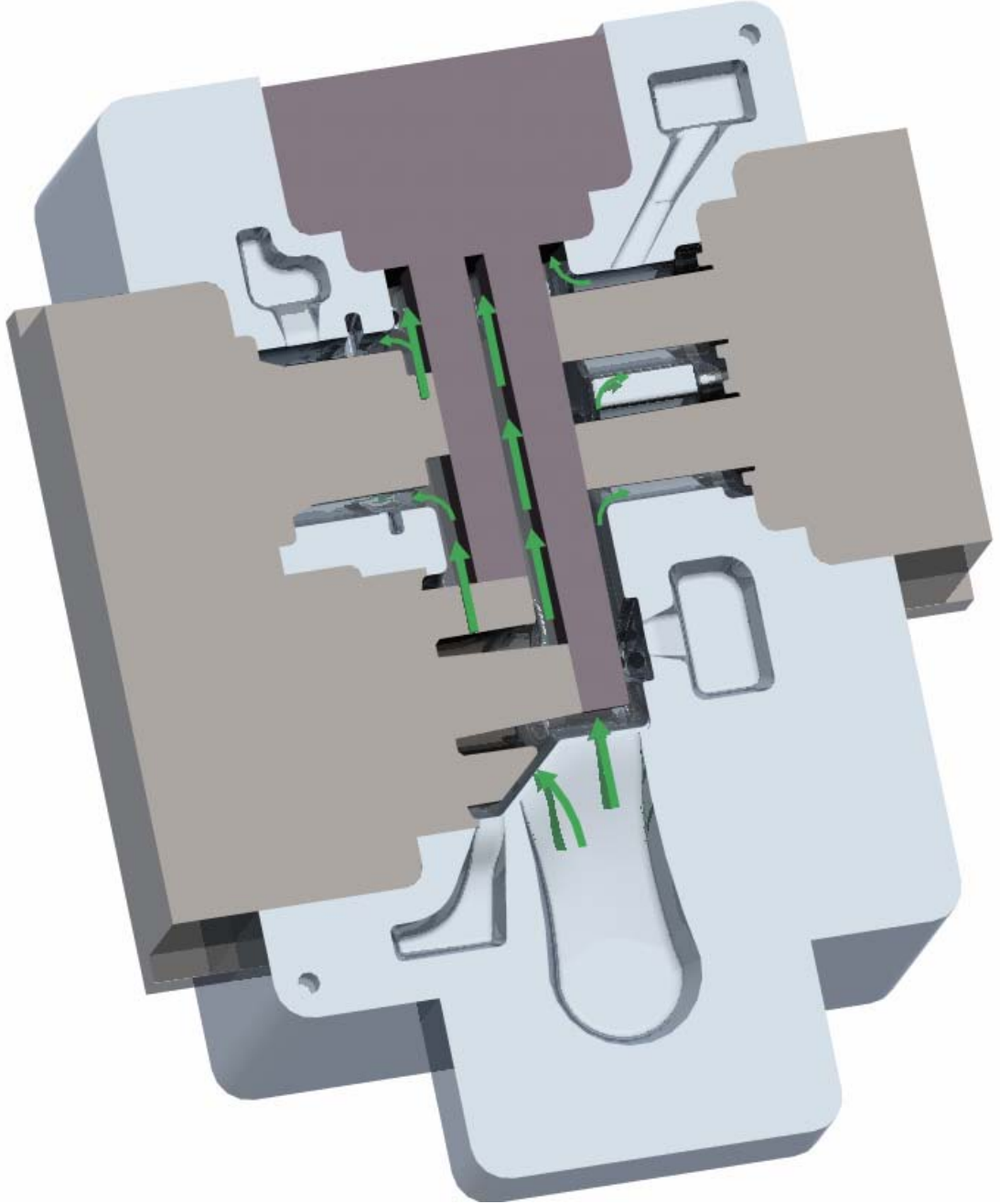
Kaldı ki uygun yolluk girişinin bulunduğu kalıpta da aynı şekildeki hava cepleri ve basınç ayarları uygulanmış ve bu baskılarda istenen kalitede iş parçası elde edilmiştir.

İkinci (uygun) tip yolluklu kalıpta yapılan baskılarda istenen kalitede iş parçası elde edilmiştir. Uygun olmayan yolluklu kalıptan çıkan iş parçasıyla karşılaştırıldığında; porozite bulunmayan, parça konturları kesin ve net(kalıp dolumu çok iyi) ve yüzey kalitesi güzel bir iş parçası elde edilmiştir.

Uygun yolluk kullanıldığında kalıp boşluğundaki tahmini sıvı metal hareketleri Şekil 4.8 ile gösterilmiştir. Sıvı metal yolluk başlangıcında sol çapraz ve ileri doğru yönlenmiştir. Sol çapraz yönlene sıvı jeti başlangıçta sıkıntılı bir durum oluşturur. Fakat sol maçaya ilk çarpmadan sonra, ön maça kollarına çarpmadan önce, yolluk girişinden doğrusal olarak giren sıvı jeti tarafından dik olarak hareket edecek şekilde sürüklenir. Daha sonraki hareketleri ise ön maça kolları boyunca bu kollara paralel olacak niteliktedir. Sıvı metal sağ maça ve sol maçanın üst kolu ile buluşurken de bazı çarpışmalara maruz kalacaktır.

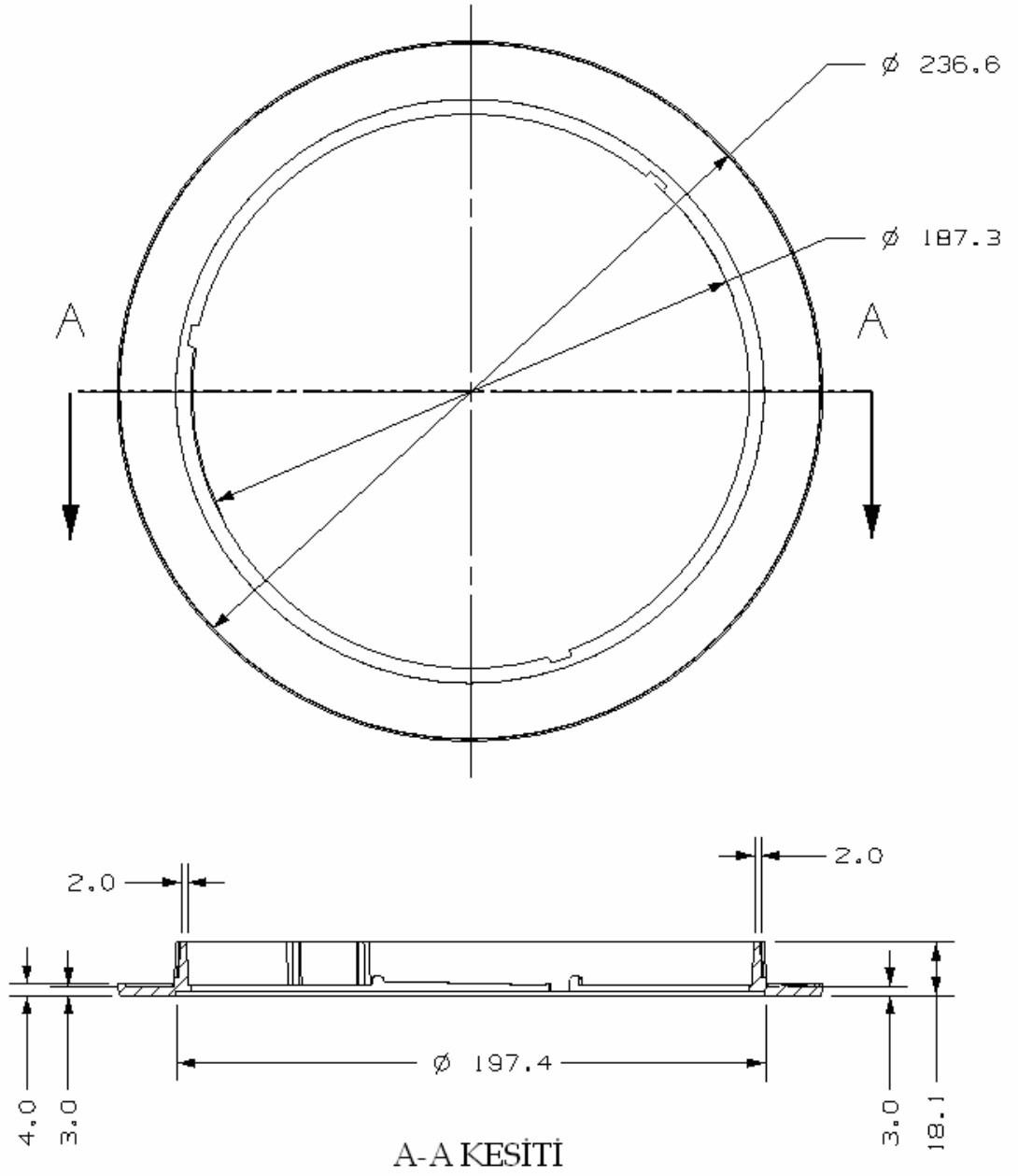
Ancak bütün çarpışmalar göz önüne alındığında; uygun yolluğun bulunduğu kalıpta, yolluktan kalıp boşluğuna giren metal jetinin kalıp cidarları ve sonradan oluşacak diğer metal jetleriyle çarpışma miktarı uygun olmayan yolluğun bulunduğu kalıba göre çok daha azdır. Metal jetinin ısı ve hız enerji kaybı daha az ve kalıp ömrü de daha uzundur. Uygun yolluklu kalıpta hız ve ısını kaybetmeyen metal jeti kalıp dolumunu hızlandıracak ve hidrostatik basınç için daha uzun bir zaman

kullanılabilecektir. Uygun yolluklu kalıpta minimum çarpışmalardan doğan az miktardaki hava kabarcıkları da; uygulama süresi artan hidrostatik basınç sayesinde parça içinden hava ceplerine tahliye edilebileceklerdir.



Şekil 4.8 Uygun Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri

4.2 İKİNCİ DENEY KALIBI



Şekil 4.9 Flanş (İkinci Deney Parçası)



Şekil 4.10 Flanş (İkinci Deney Parçası)

4.2.1 Yolluk Tasarımı

İkinci deney kalıbımız aydınlatma sistemlerinde kullanılan çembersel bir parçaya ittir. (Şekil 4.9 - 4.10). Flanş isimli deney parçamız; teknik resimlerden de görülebileceği ince kesitli çembersel ve yayvan bir parçadır. Bu parça için tasarlanacak kalıp parça şekline uygun olarak geniş yüzeyli fakat düşük kalınlıktadır.

Böylesi geniş yüzeyli parçalar için tasarlanacak yolluk yayvan bir girişe sahip olmalıdır. Yayvan girişli yolluk sayesinde oluşacak metal jeti geniş bir bant halinde parça dolumunu gerçekleştirecektir. İnce kesitli parçalarda daha önceden de bahsettiğimiz gibi porozite problemine rastlanmaz. Bunun sebebi sıvı metalin parçayı oluşturan kalıp cidarları boyunca sabit bir film tabakası oluşturması, bu cidarlara tutunarak hareket etmesi ve dalıcı piston tarafından kalıba sürekli doldurulan sıvı metalin bu iki film arasında çeşitli çarpışmalar için uygun ortam bulamayışdır. Dalıcı piston tarafından içeri doldurulan sıvı metal sürekli olarak duvarlara tutunan öncü akışların arasından ilerler, sonraki bölgelerde kendisi kalıp duvarlarına tutunarak öncü akış rolünü üstlenir. Bu dolum; sürekli böyle takip eder ve öncü akışlar arasında herhangi bir hava kabarcığı oluşumu yaşanmadan tamamlanır.

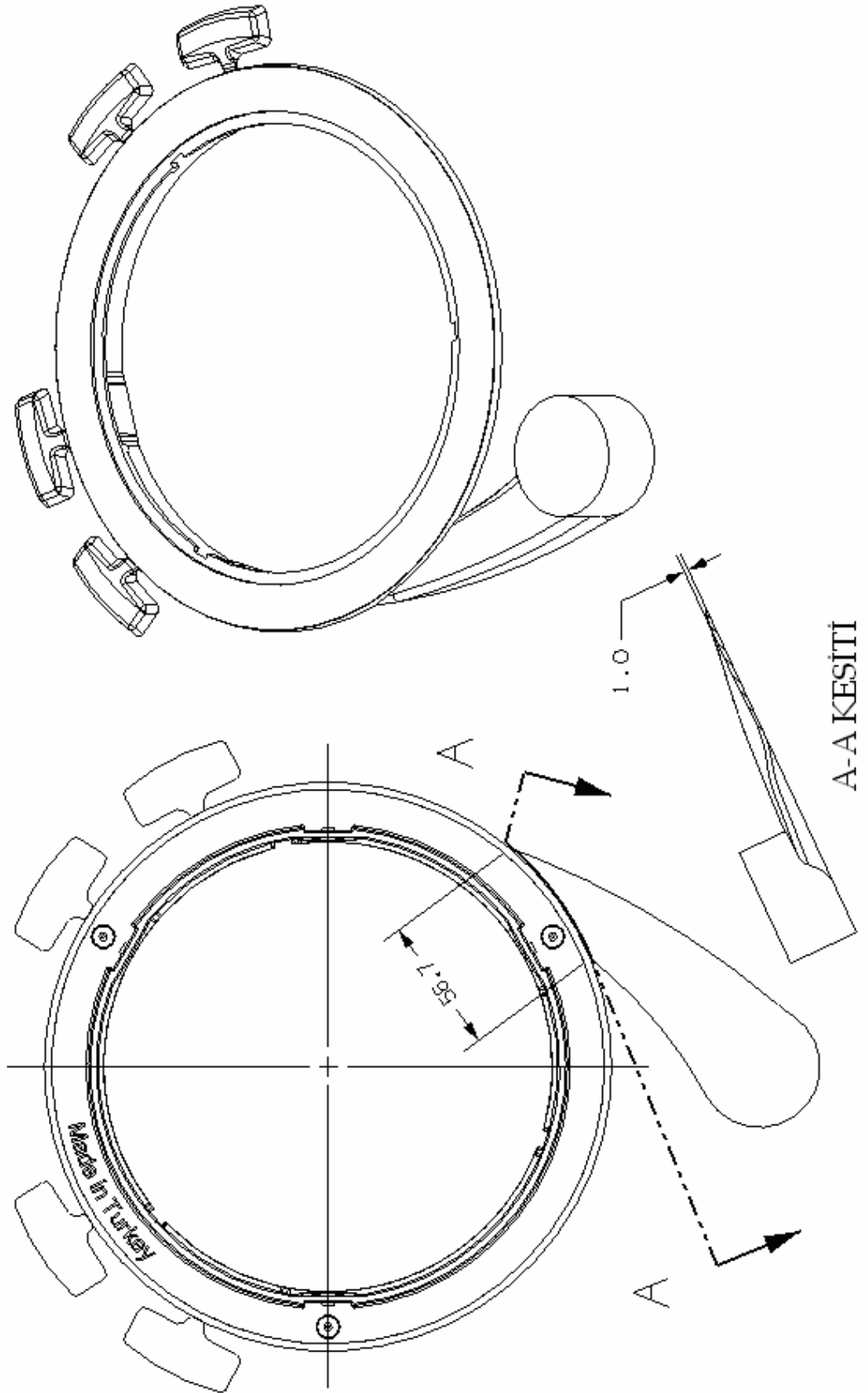
İnce kesitli parçalar yüksek basınçlı yöntemlerle dökülürken karşılaşılan en önemli problem kalıp dolumudur. Yani sıvı metalin kalıp dolumu tamamlanmadan kalıp boşluğu için herhangi bir bölgede katılaşması ve o kesiti tamamen yada kısmen tıkararak arkadan gelen sıcak malzemenin daha ileriye gidişini engellemesidir (Rudd 1997). Bu tür durumlar; uygun yolluk tasarımının yapılmadığı kalıplarda sıvı metalin çarpışmalardan ziyade geniş kalıp cidarlarında sürtünmesinden dolayı oluşur. Sıvı metal bu sürtünmeler süresince sürekli olarak taşıdığı ısı enerjisini kalıp üzerine aktarır. Ayrıca sürekli olarak hız kaybeder ve parçanın en uzak, en ücra bölgelerini tam olarak doldurmadan yolda katılaşmaya başlar. Sıvı metalin kalıp üzerine aktarmış olduğu ısı kalıp dolumunu kolaylaştırılmaz zira bu ısı, kalıbın soğutma kanallarında sürekli dolaşan soğutucu akışkanlar vasıtasıyla kalıptan dışarı atılır. Kalıpta sürekli bir ısı dengenin sağlanması, kalıp ömrü için önemlidir.

Sıvı metale flanş kalıbı boşluğunda çembersel bir hareket yaptırılması gerekir. Yollukta verilecek döngüsel bir hareket yönü sıvı metali kalıp boşluğunda da çembersel harekete zorlayacak ve dik çarpışmalardan alıkoyacaktır. Öte yandan

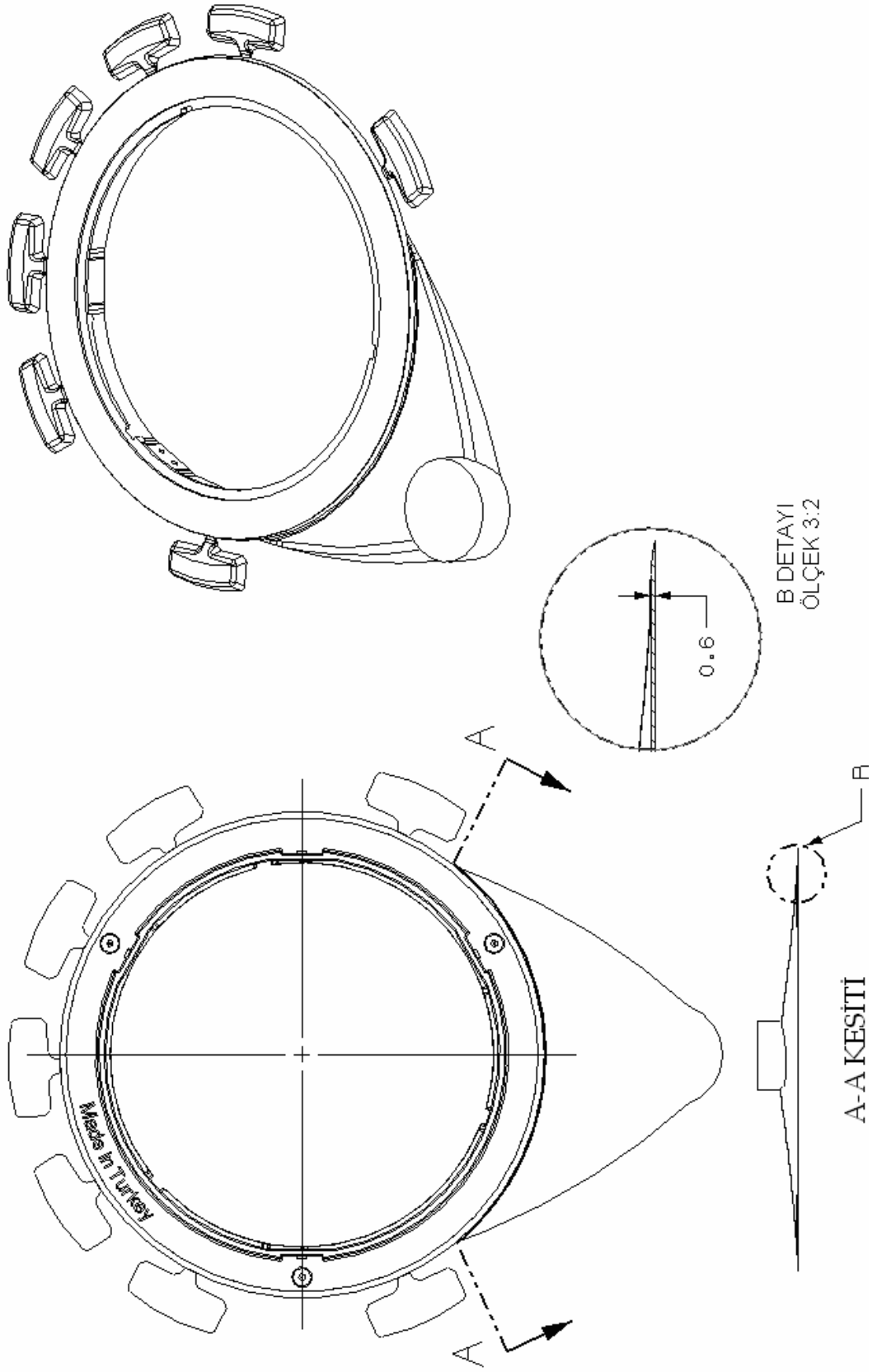
çembersel kalıp boşluğunda tek bir noktadan yolluk girişi uygulayıp sıvı metalin bu girişten başlayarak 360° boyunca hareket edip dolumu tamamlamasını bekleyemeyiz. Çünkü bu kadar ince bir kesitte sıvı metali kat edeceği mesafe ne kadar uzun olursa metalin yol zerinde dolumu tamamlamadan katılaşma ihtimali de o kadar artar.

Bütün bunlar göz önüne alındığında; yolluğun; dalıcı pistonun hemen karşısından parçaya giriş yaptığı noktaya kadar sıvı metale hız kazandırmak için azalan bir derinlikte olması, yayvan bir giriş sağlamak için yolluk genişliği giderek artması gerekir. Burada yolluk kesit alanının parçaya olan girişe kadar sürekli azalması ilkesi unutulmamalıdır. Ayrıca yolluk şekli; sıvı metali kalıp içinde çembersel hareket ettirecek ve mümkün olduğunca az dolaştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Birden fazla metal jetine izin vermemek için de parçaya tek bir yolluk girişinin uygulanması doğru olacaktır.

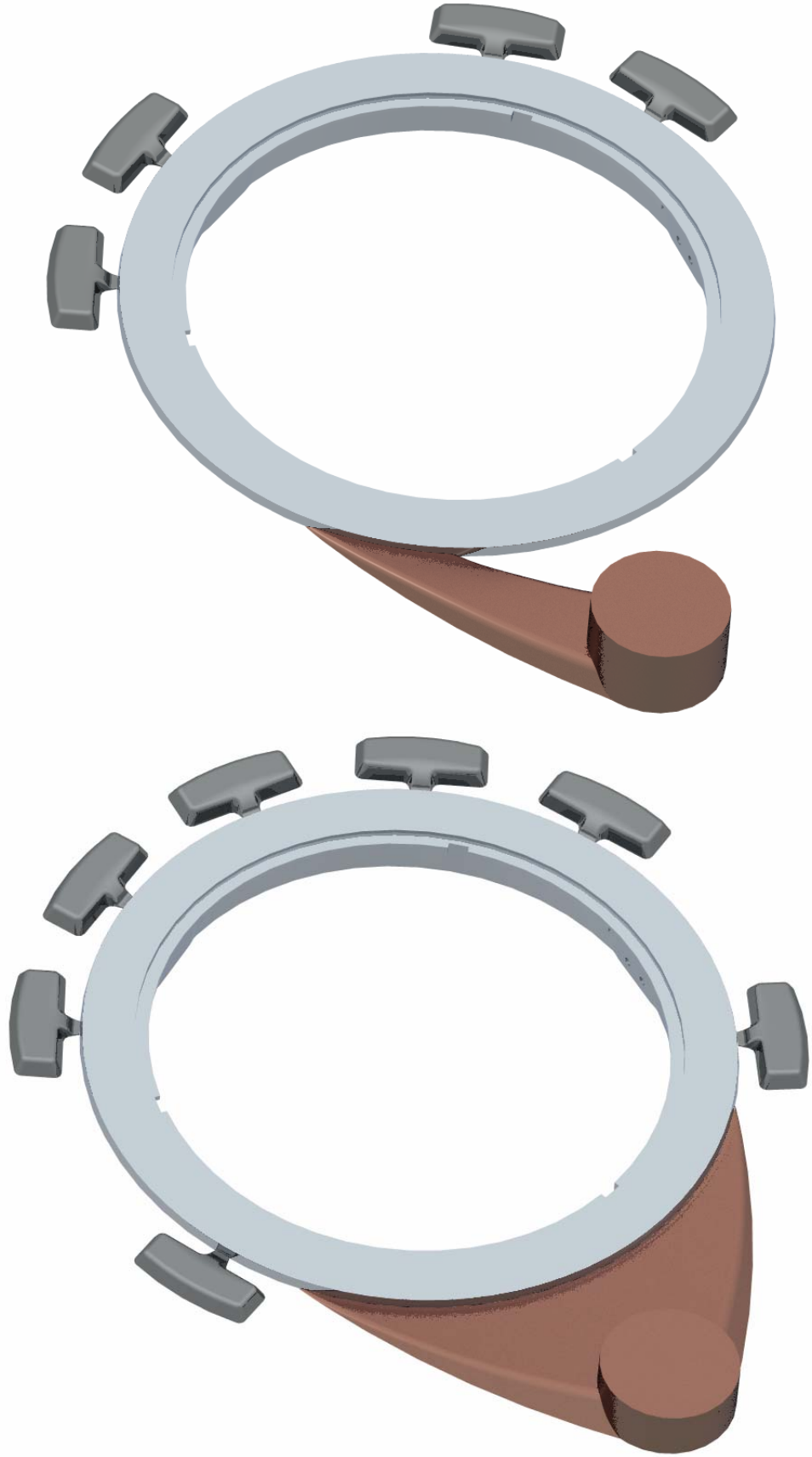
Şekil 4.11 şu ana kadar bahsettiğimiz yolluk tasarım kriterlerine aykırı bir yolluk biçimini, Şekil 4.12 ise kriterlere uygun olarak tasarlanmış yolluk biçimini göstermektedir. Şekillerde gösterilen her iki yolluk biçimi ile de deneme baskıları gerçekleştirilecek ve çıkan sonuçlar kıyaslanacaktır.



Şekil 4.11 Flanş İçin Uygun Olmayan Yolluk Tasarımı



Şekil 4.12 Flanş İçin Uygun Yolluk Tasarımı

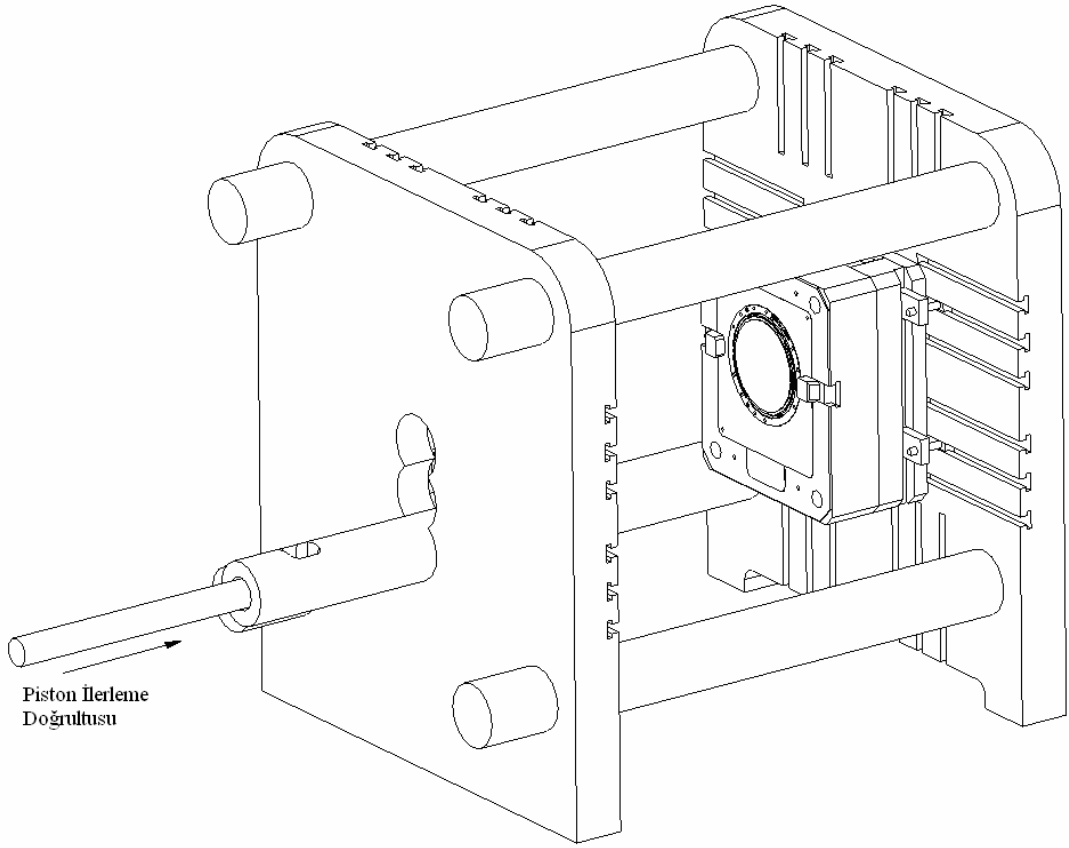


Şekil 4.13 Flanş İçin Uygun Olmayan ve Uygun Olan Yolluk Tasarımları

Not; Alüminyum alaşımlarında silisyum oranının artırılması metal akışkanlığını artıracaktır. Silisyumun bu özelliğinden faydalanarak kalıp dolumu daha da kolaylaştırılabilir. Silisyum bunun yanında yüksek erime sıcaklığına sahiptir. Bu nedenden dolayı alüminyum külçelerin eritilip 660-700° sıcaklığına getirilmesi sonucunda sıvı alüminyum içinde hala katı olarak kalmaktadırlar. Baskı sonucunda parça içinde bir noktaya toplanmış silis tanecikleri sertlikleri sebebiyle işlemeyi zorlaştırırlar. Bu durumun engellenmesi için silis taneciklerinin alüminyum külçelerin içine düzgün olarak dağıtılması gerekir (Kaufman ve Rooy 2004).

4.2.2 Deney Prosedürü

- Uygun olmayan yolluğu üzerinde bulunduran sabit taraf çekirdeğin monte edildiği kalıp 280 tonluk metal enjeksiyon presine bağlanır. Bağlama işlemi pabuçlar üzerindeki vidaların anahtarlarla sıkılması ile gerçekleşir. Pabuçlar farklı ebatlardaki kalıpların bağlanabilmesi için mangedeki yargılarda sürülebilir T kızıklara sahiptir. Şekil 4.14’de kalıbın prese bağlanması görülmektedir.



Şekil 4.14 Deney Kalıbının Enjeksiyon Presine Bağlanması

- Giriş kalite kontrol planına uygun olarak kontrol edilmiş Etial-150 malzeme başlangıçta külçeler halindedir. Külçeler homojen dağılımlı tanecik yapısına ve standart kimyasal bileşim değerlerine sahiptir. Külçeler doğalgazlı ocaklarda tavlanmış halde bulunan potaların içine uygun şekilde yerleştirilip ergitme işlemi gerçekleştirilir. Sıvı alüminyum sıcaklığı 670-690°Cye ulaşana kadar beklenir.

Not; Bir önceki deneyde Etial-160 malzeme kullanılırken bu deneyimizde malzeme Etial-150 olarak seçilmiştir. Etial-150 malzeme diğerine oranla içermiş olduğu yüksek silisyum yüzdesinden dolayı ince kesitli parçalarda sıvı metalin akışkanlığını artırmak için tercih edilir.

- Erimiş haldeki alüminyum malzeme ergitme ocaklarından alınıp 280 tonluk metal enjeksiyon presinin yanındaki bekletme ocağına aktarılır.
- Kalıp baskı ayarları yapılır;
 - Pistonun ilerleme hız ayarı,
 - Sıkıştırma basınç ayarı,
 - Malzeme sıcaklığı ayarı,
 - Faz kontrolü
 - Enjeksiyon Baskı süresi
 - Kalıp açılma zamanı
 - Maça açılma zamanı
 - İtici başlama süresi
 - İtici İleride Bekleme Süresi

Bu ayarlardan; piston ilerleme hız ayarı, sıkıştırma basınç ayarı ve malzeme sıcaklık ayarları manuel olarak makine üzerindeki kolların kademelerini atlatarak, switchlerin kızıklardaki konumlarını değiştirerek ve de elektrik pota sıcaklık kontrol ünitesindeki sıcaklık ayarını değiştirerek yapılır. Diğer ayarlar ise makinenin kontrol paneline çeşitli sayısal değerlerin girilmesi suretiyle gerçekleştirilirler.

- Kalıp yüzeyi özellikle de sıcak alüminyumla temas edecek olan sıcak iş çeliklerinin yüzeyleri, her noktası aynı şiddetle olmak şartıyla, şaloma ile ısıtılır. Kalıp sıcaklığı 350°'ye çıkartılır.

Soğuk kalıp, iş parçasının kalıptan çıkışını zorlaştırırken daha sıcak kalıpta yüzeyler her baskı işleminde büyük sıcaklık değişimlerine maruz kalırlar. Kalıp sıcaklık değişimleri ne kadar küçük aralıklarda olursa kalıp ömrü de o kadar uzun olur (Geng 2004).

- Operatör cehennemlik haznesini ısıtmak için kepçe ile sıvı alüminyumu hazneye boşaltır. Bir süre bekler ve kalıp açarak katılaştıran alüminyumu haznedeki parçayı çıkarır.
- Operatör makine mengenerini, doğal olarak kalıbı kapattıktan sonra kepçe ile sıvı alüminyumu hazneye itina ile boşaltır ve start düğmesine basar.
- Baskı ayarları bir önceki baskıdan çıkan iş parçası üzerinde yorumlar yapılarak sürekli değiştirilir. En ideal iş parçası kalıptan çıktıktan sonra baskı ayarları sabitlenir. Bu deney kalıbımızda deneme baskısı sayısı 5 olarak gerçekleştirilmiştir.
- Kalıp 280 tonluk makineden sökülüp indirilir. Sabit taraf çekirdeği kalıptan çıkarıldıktan sonra çekirdek CNC tezgahına bağlanıp üzerine uygun olarak tasarlanan yolluk şekli açılır. Kalıp montajı tekrarlanır.
- Uygun yolluklu kalıp tekrar 280 tonluk metal enjeksiyon presine bağlanır. Kalıp sıcaklığı ve son baskı ayarları önceki şekilde uygulandığı gibi aynı değerlere getirilir. Bu ayarlarla 4-5 baskı işlemi daha gerçekleştirilir.
- Her iki yolluk şekli ile baskıdan çıkan en ideal parçalar; kalıp dolumu, yüzey kalitesi ve yüzeylerdeki akış izlerinin görünüşü açısından kıyaslanırlar.

“FLANŞ” DENEY PLANI		
Deney(Baskı İşlemi) No	Deney Girdileri	Deney Sonuçları
1. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	Tecrübi olarak belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
2. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	1. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
3. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	2. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
.....
n. Enjeksiyon Baskı İşlemi (Birinci Yolluklu Kalıpta)	n-1. deney sonucuna göre belirlenen proses girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması
n+1. Enjeksiyon Baskı İşlemi (İkinci Yolluklu Kalıpta)	n. enjeksiyon baskı girdileri	Deney sonucunun Yorumlanması

4.2.3 Deney Sonuçları

Flanş parçasına ait uygun olmayan yolluklu kalıpta baskı ayarları her birinde değişen beş adet enjeksiyon baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Takip eden baskı işlemlerinde parça kalitesi de yükselmiş ancak parça kabul kriterlerini sağlayamamıştır. Aşağıda baskısı gerçekleşen bu beş enjeksiyon işlemi ve sonuçları üzerinde tartışılmıştır.

➤ Birinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	35 cm/s	Cu	2.25
Sıkıştırma basıncı ayarı,	220 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.8
Malzeme sıcaklığı ayarı	640 °C	Si	12.7
Faz Kontrolü	35-360 cm/s	Zn	0.6
Enjeksiyon Baskı Süresi	2 s	Mn	0.4
Kalıp Açılma Zamanı	3 s	Mg	0.3
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.25
İtici Başlama Zamanı	2 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	2 s	Al	82.4

Tablo 4.8 Birinci Enjeksiyon Baskı Şartları

Tablo 4.8’de gösterilen değerler enjeksiyon pres makinesinde ayarlandıktan sonra birinci enjeksiyon baskı işlemi gerçekleştirildi. Bu değerler; benzer kalıplarda yaşanan tecrübelerden yola çıkılarak seçilmiştir. Baskı sonucu ve sonuçla ilgili yorum şu şekildedir;

Sonuç : Kalıp ilk baskıda yaklaşık olarak %50lik bir dolum sağlayabildi. Parça konturları oluşmadı. Soğuk akış çizgileri ve katmerlenme problemleri mevcut.

Yorum : İlk baskıda bu problemlerin yaşanması normal bir sonuçtur.

Kalıpların ısımp rejime girmesi için sıvı metalin kalıptaki bütün parça yüzeyleriyle temas etmesi gerekir (Andresen 2005).

Proses girdilerinde hiçbir değişiklik yapmasakta bir sonraki baskıda kalıp dolumu daha iyi olacaktır. Fakat %50lik dolum oranı çok düşük olduğundan sıvı metali daha yüksek basınçta kalıp içine göndermeliyiz. Bu durumda bir sonraki baskı işleminde sıkıştırma basıncını artırmalıyız.

➤ İkinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	35 cm/s	Cu	2.25
Sıkıştırma basıncı ayarı,	240 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.8
Malzeme sıcaklığı ayarı	640 °C	Si	12.7
Faz Kontrolü	35-360 cm/s	Zn	0.6
Enjeksiyon Baskı Süresi	2 s	Mn	0.4
Kalıp Açılma Zamanı	3 s	Mg	0.3
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.25
İtici Başlama Zamanı	2 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	2 s	Al	82.4

Tablo 4.9 İkinci Enjeksiyon Baskı Şartları

İkinci enjeksiyon baskı işlemi, Tablo 4.9'da verilen proses girdileri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Tablodaki değerler önceki baskı işlemi girdilerine ve baskı sonucuna göre şekillenmiştir. Gerçekleştirilen baskı sonucu ve ilgili yorum şu şekildedir;

Sonuç : Kalıp dolum oranı %75-80 olarak gerçekleşti. Parça konturlarının tam olarak oluşmadığı ancak parçanın kalıptan kolaylıkla çıkabildiği görülüyor. Parça yüzeyinde ayrıca katmerlenme problemi mevcut.

Yorum : İnce kesitli parçalarda yaşanan en büyük sıkıntı kalıp dolumunu gerçekleştirememektir (Fischer 2003). Bizim deneyimizde kalıp dolumunun yetersizliği ve bundan kaynaklanan parça yüzey kusurları mevcut. Yolluk giriş noktasına en uzak bölgelerde sıvı metal, hız ve sıcaklığını kaybettiği için katı hale geçip enjeksiyonu devam eden ergiyeğin kalıbın diğer bölgelerine ulaşmasını engelliyor. Problemlerin çözümü için; sıvı metalin sıcaklığını kaybetmeden hızlı bir şekilde kalıbı doldurmasını sağlamalıyız. Bu sebeple piston ilerleme hızını artıracğız. Ayrıca sıvı metale etkiyen basıncın süresini (enjeksiyon baskı süresini) artırmak da kalıp dolumunu olumlu şekilde etkileyecektir.

➤ Üçüncü Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	2.25
Sıkıştırma basıncı ayarı,	240 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.8
Malzeme sıcaklığı ayarı	640 °C	Si	12.7
Faz Kontrolü	40-360 cm/s	Zn	0.6
Enjeksiyon Baskı Süresi	2.5 s	Mn	0.4
Kalıp Açılma Zamanı	3 s	Mg	0.3
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.25
İtici Başlama Zamanı	2 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	2 s	Al	82.4

Tablo 4.10 Üçüncü Enjeksiyon Baskı Şartları

Proses girdileri olarak, Tablo 4.10'da verilen değerler alınarak üçüncü enjeksiyon baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu değerler; ikinci enjeksiyon baskı girdilerinin baskı sonucuna göre yorumlanmasıyla elde edilmiştir. Baskı sonucu ve sonuçla ilgili yorum aşağıdaki gibidir;

Sonuç : Kalıp dolumu %95in üzerinde gerçekleşti. Yolluk girişine en uzak bölgelerde parça üzerinde boşluklar mevcut. Yine aynı bölgede parça konturları da net oluşmamış durumda. Parça yüzeylerinde bir çok bölgede katmerlenme devam ediyor.

Yorum : Kalıp dolum problemi, sıvı metalin kalıp içinde enjeksiyon işlemi tamamlanmadan katılaşması sonucu oluşur (Vıladimirov 1982). Sıvı metal sıcaklığını artırarak katılaşmayı geciktirmeliyiz. Sıcaklık artışıyla katmerlenme problemini de çözmeye çalışacağız.. Bir önceki deneyde olduğu gibi bu baskıda da enjeksiyon baskı süresini artırmamız kalıp dolumunu kolaylaştıracaktır.

➤ Dördüncü Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	40 cm/s	Cu	2.25
Sıkıştırma basıncı ayarı,	240 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.8
Malzeme sıcaklığı ayarı	650 °C	Si	12.7
Faz Kontrolü	40-360 cm/s	Zn	0.6
Enjeksiyon Baskı Süresi	3 s	Mn	0.4
Kalıp Açılma Zamanı	3 s	Mg	0.3
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.25
İtici Başlama Zamanı	2 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	2 s	Al	82.4

Tablo 4.11 Dördüncü Enjeksiyon Baskı Şartları

Üçüncü enjeksiyon baskısında kullandığımız proses girdilerini aynı baskı sonucunu yorumlayarak yukarıdaki enjeksiyon baskı ayarlarını elde etmiş olduk. Tablo 411'de gösterilen proses girdilerine göre gerçekleştirilen dördüncü enjeksiyon baskı işleminin sonucu ve ilgili yorum aşağıdadır;

Sonuç : Kalıp dolumu, parça konturlarının oluşumu ve parça yüzeyinde oluşan izlerle ilgili problemler üçüncü baskıdan çıkan sonuca çok yakın. Hala yolluğa uzak bölgelerde parça üzerinde boşluklar ve net oluşmayan hatlar mevcut. Parça yüzeyi parlak bir görüntüye sahip değil.

Yorum; Çembersel Flanş parçasında yolluktan çıkan sıvı metalin tek yönde hareket edip 360 °C döndükten sonra tekrar aynı noktaya ulaşması zor görünüyor. Her denemede sıvı metal, yolluğa en uzak bölgelere ulaşmadan katılıyor. Ve parçayla ilgili mevcut kusurların hepsi bu problemten kaynaklanıyor. Problemin çözümü için son kez bir ayarlama yaparak uygulayabileceğimiz limit değerleri proses girdisi olarak kullanacağız. Bu doğrultuda; sıkıştırma basıncını, sıvı metal sıcaklığını ve piston ilerleme hızını artıracacağız.

➤ Beşinci Enjeksiyon Baskı İşlemi ;

Kalıp Baskı Ayarları		Bileşen	(%)
Piston ilerleme hızı ayarı	50 cm/s	Cu	2.25
Sıkıştırma basıncı ayarı,	260 ton-kuvvet/m ²	Fe	0.8
Malzeme sıcaklığı ayarı	660 °C	Si	12.7
Faz Kontrolü	50-360 cm/s	Zn	0.6
Enjeksiyon Baskı Süresi	3 s	Mn	0.4
Kalıp Açılma Zamanı	3 s	Mg	0.3
Maça Açılma Zamanı	2 s	Ni	0.25
İtici Başlama Zamanı	2 s	Ti	0.1
İtici İleride Bekleme Zamanı	2 s	Al	82.4

Tablo 4.12 Beşinci Enjeksiyon Baskı Şartları

Tablo 4.12’de; ikinci deney kalıbımızla(Flanş kalıbı) gerçekleştirdiğimiz beş deneme sonucunda tespit ettiğimiz ideal enjeksiyon baskı değerleri ve kullandığımız

malzemenin spektral analiz sonuçları verilmiştir. Baskı sonucu ve sonuçla ilgili yorum aşağıdadır;

Sonuç : Kalıp dolun problemi sebebiyle Flanş parçası üzerinde bölgesel boşluklar mevcut olup parça konturları net olarak oluşmamıştır. Parça kesitinde porozite problemi bulunmamakta ancak yüzeyinde düzensiz akış izleri ve parlak olmayan bir görüntü mevcuttur.

Yorum : Beşinci deneme sonucunda kalıptan çıkan Flanş parçası; dış görünüm ve parça konturlarının oluşması açısından önceki denemelerle kıyaslandığında en iyi seviyededir. Fakat beşinci baskıdan çıkan parça bile kabul edilebilir kalite seviyesine ulaşamamıştır. Bu sonuç, uygun olmayan yolluklu kalıbımızla hedeflediğimiz kalitede işparçası üretmeyeceğimizi gösterir. Bu durumda uygun olmayan yolluklu Flanş kalıbıyla gerçekleştirdiğimiz beşinci enjeksiyon baskısına ait proses girdilerini ideal proses girdileri olarak kabul edeceğiz ve uygun yolluklu Flanş kalıbında bu proses girdileriyle enjeksiyon baskı işlemini gerçekleştireceğiz.

Her defasında aynı ideal proses girdileri kullanılarak uygun yolluklu Flanş kalıbıyla dört defa baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü baskıda çalışma rejimine ulaşmış kalıptan çıkan en iyi parça, uygun olmayan yolluklu Flanş kalıbından çıkan en iyi parça ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda;

- Uygun olmayan yolluğun kullanıldığı kalıpta kalıp dolunu tam gerçekleşmemiş yani parça konturları net bir şekilde ortaya çıkmamıştır. Uygun yolluklu kalıpta ise dolun tam ve yeterli basınç sayesinde de çıkan iş parçasının konturları nettir.
- Uygun olmayan yolluklu kalıptan çıkan iş parçasında yüzey kalitesi istenen düzeyde değildir. Ayrıca kalıp dolununun sıkıntılı olduğu yerlerde çekintiler vardır. Uygun yolluk tasarımı ile elde edilen parçada ise herhangi bir çekinti olmamakla birlikte yeterli basınçtan dolayı yüzey kalitesi iyi seviyede ve dış görünüm parlaktır.
- Uygun olmayan yolluklu kalıpta sıvı metalin kalıp içinde çabuk katılaşmasından dolayı kalıp dolununun sıkıntılı olmadığı yerlerde bile soğuk akışkan ile sıcak akışkanın karşılaştığı bölgelerdeki izler dikkat çekmektedir. Uygun yolluklu

parça yüzeyinde ise herhangi bir akış yada erken soğuma izi yoktur.(Bkz. Fotoğraf 4-5-6.)

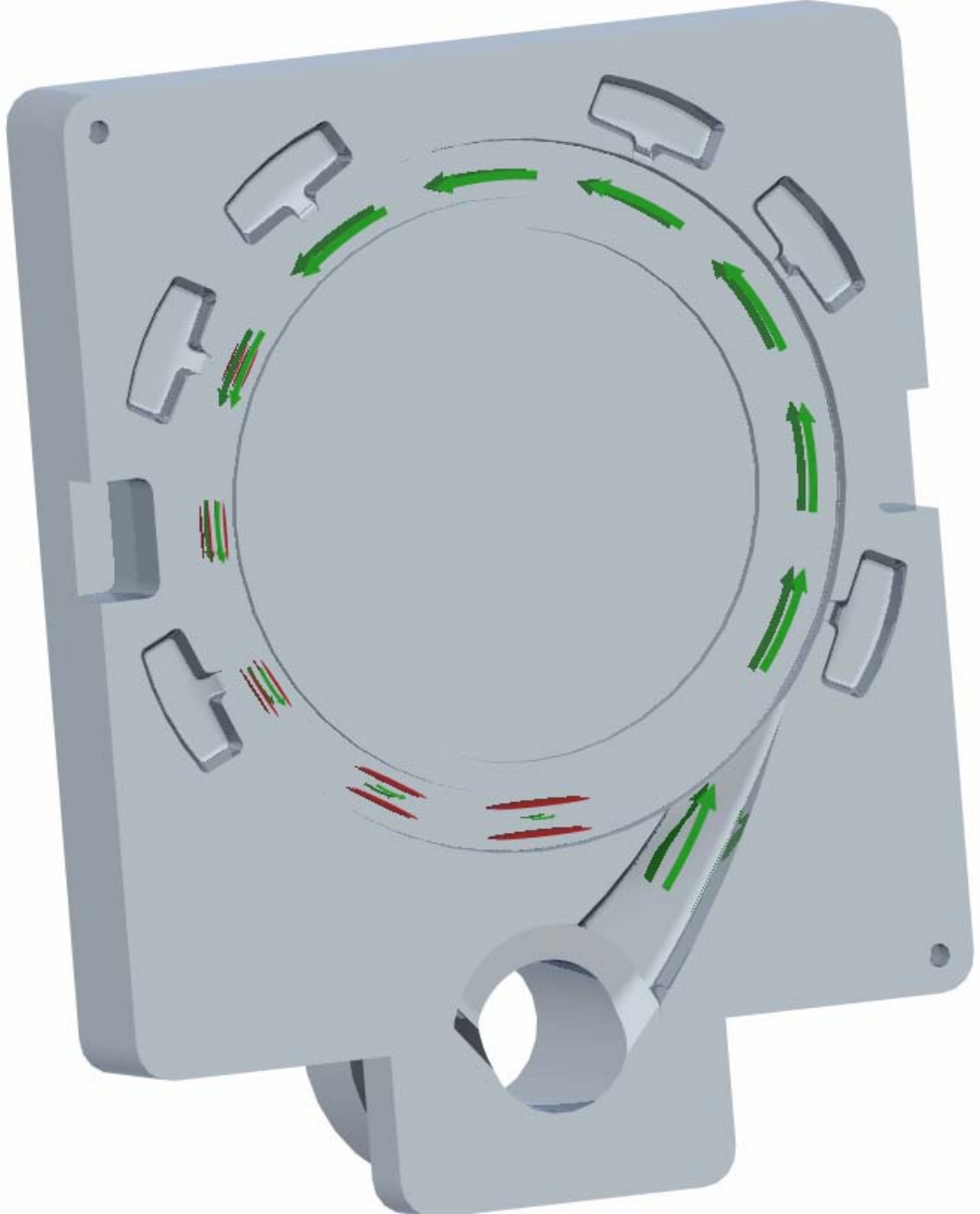
Flanş parçasının uygun olmayan yolluk tasarımının bulunduğu kalıptaki tahmini sıvı metal hareketleri Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Uygun olmayan olarak tanımladığımız yolluk tasarımının bulunduğu kalıpta sıvı metal yolluk tarafından; flanş merkez ekseninden sağ tarafa doğru dairesel bir hareketle yönlendirilmiştir. Bu tip yolluk uygulamasıyla sıvı alüminyumun kalıp boşluğunu saat yönünün tersi yönde doldurması sağlanmıştır. Bu yönlendirme sayesinde metal jetinin kalıp cidarlarıyla dik bir çarpışma yapması engellenmiştir. Bu şekilde metal jetinin ısı ve hız kaybı önlenmeye çalışılmıştır. Ancak bu tasarımda hesap edilmeyen nokta; sıvı metalin izlemiş olduğu yolun uzunluğudur.

Şekil 4.15’te yeşil renkli oklar metal akışkanın akış yönü ve şiddetini göstermektedir. Sıvı metalin dairesel boşlukta ilerleyişi sırasında şiddetinin giderek azaldığı görülmektedir. Azalan sıvı şiddeti sayesinde dairesel yol tamamlanmadan sıvı metal, bölge bölge katılaşmaya başlamıştır. Bu katılaşma arkadan takip eden sıcak akışkan metalin önünü kesmiş ve ilerleyişini engellemiştir. Bu sebepten dolayı kalıp boşluğunun tam olarak dolununun sağlanamadığı bölgeler kırmızı renkli şekillerle gösterilmiştir. Ayrıca katılaşmanın olduğu bölgelerde sıcak ve soğuk alüminyum birbirleriyle tam olarak kaynaşmamış ve parça yüzeyinde akış izleri oluşmuştur.

Bu tip yolluğun bulunduğu bir uygulamada basıncın artırılması da çözüm değildir. Zira artırılan basınçla belki kalıp dolumu biraz daha artırılabilir ancak akış ve soğuma çizgilerinin giderilmesi söz konusu değildir. Ayrıca basınç artırımı kalıp çekirdek ve ceketlerini mekanik olarak aşırı miktarda zorlayacaktır. Bu aşırı zorlamalar; kalıp ömrünü azaltmaktan öte flanş gibi geniş yüzeyli parçaların kalıplarında özellikle çekirdeklerin, dalıcı pistonun uyguladığı hidrostatik basınç ekseninde, dış tarafa doğru bombe yapmasına sebep olurlar. Her baskıda dış tarafa bombe yapan çekirdeklerden çıkan iş parçası da sağlıklı olamaz. Bu tür durumlarda en çok rastlanan sıkıntı parça et kalınlığının her noktada eşit olmayışıdır.

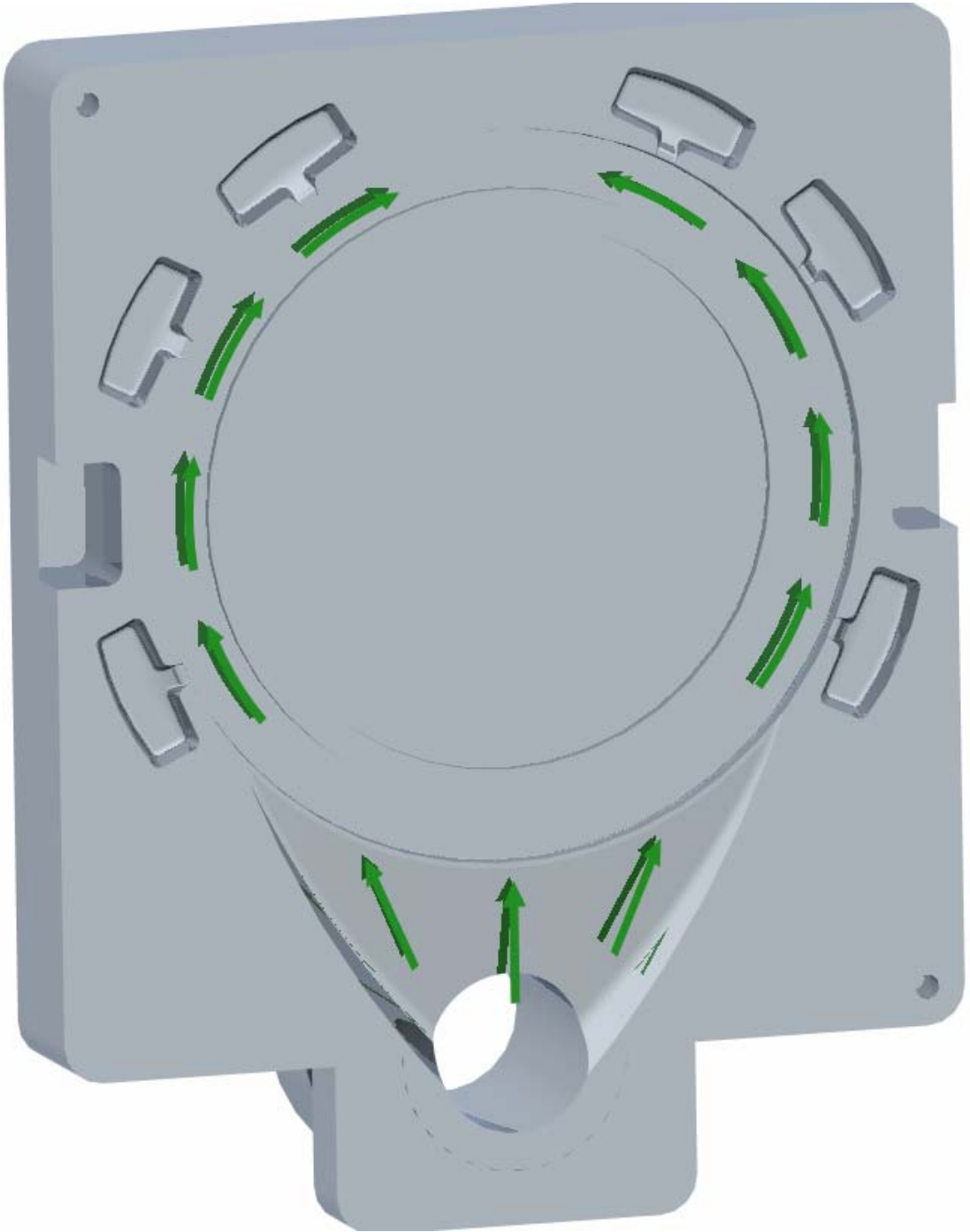
Öte yandan bu yolluk tipinde metal jetinin giriş hızıyla ilgili bir problemimiz yoktur. Alüminyum kalıba ilk dolum anında yeterli hıza sahiptir. Esas problem jetin

boşlukta fazlaca dolaşmasıdır. Bu durumu engellemek için bir başka giriş daha uygulayarak alüminyumun toplam dolaşım mesafesini paylaşturmamız gerekir. Bu durumda da birden fazla jetin birbirleriyle çarpışıp kendi hızlarını kesmesi tehlikesi ile karşı karşıya kalırız.



Şekil 4.15 Uygun olmayan Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri

Tek bir seçeneğimiz kalıyor ki; o da, alüminyumun tek bir girişle hem saat yönünde hem de saat yönünün tersi yönde hareket ederek kalıbı doldurmasıdır. Birinci uygulamadan farklı olarak bu yolluk sayesinde sıvı metalin iki farklı yönde kalıp dolulumunu gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Ayrıca yolluğun parçaya giriş kesit alanının çok fazla artmaması için giriş genişliği artırılırken derinliği azaltılmıştır.



Şekil 4.16 Uygun Yolluklu Kalıptaki Temsili Sıvı Metal Akış Hareketleri

Hava ceplerinin birbirlerinden bağımsız olmalarının amacı; kalıp içindeki ters akımları önlemektir. Eğer hava cepleri birleştirilirse; kalıp dolunun düzensiz olduğu bir baskıda sıvı metal bütün hava cebinin bir girişinden girip diğer bir girişinden tekrar parça içine dönebilir. Böylece kalıp boşluğu içinde hem ters akım oluşmuş hem de hava cebindeki toplam hava yeniden iş parçasının içine taşınmış olur (Andresen 2005).

Şekil 4.16'da uygun yolluklu kalıptaki tahmini sıvı metal hareketleri gösterilmiştir. Dairesel Flanşın yolluk giriş bandı genişliğince herhangi bir dolum problemi yaşanmayacağı açıktır. Bu tip bir yolluktaki ilk akla gelecek problem karşıt yönlü akan jetlerin kalıp boşluğunun en üst noktasında karşılaşmalarıdır. Ama bu bölgede meydana gelebilecek herhangi bir porozite problemi olmayacaktır. Parça ince kesitli bir parça olduğu için hava oluşumu yok denecek kadar azdır. Ayrıca metal jetlerinin her ikisinin de bu noktada çarpışmaları demek; kalıp dolunun tamamlandığı anlamına gelmektedir.

Uygun yolluğun kullanıldığı kalıpta yolluk genişliği oldukça artırılmış ve düşük derinlikli bir sıvı metal filminin kalıba dolunu sağlanmıştır. Bu şekildeki dolunda sıvı metal hareket mesafesi, önceki uygulamaya oranla çok daha azdır. Metalin ısı ve hız enerji kaybı minimuma indirgenmiş ve kalıp dolunun ilk anlarında halâ sıvı halde kalabilmesi sağlanmıştır. Bu durum da; uygulanan hidrostatik basıncı geçerli kılmıştır. Kalıp dolunun hemen ardından dalıcı piston tarafından uygulanan hidrostatik basınç sayesinde, küçük bir ihtimal de olsa, oluşabilecek hava kabarcıkları hava ceplerine tahliye edilmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan iki deney kalıbında dört farklı tipte yolluk girişi tasarlanmıştır. Tasarlanan dört yolluğun dördü de şekil ve boyut olarak birbirinden farklıdır. Yollukların bazılarında istediğimiz kalitede iş parçası elde ederken bazılarında sıkıntılı durumlarla karşılaştık.

Problemlili olarak elde ettiğimiz parçaların kalıplarında yolluklara müdahale edilerek sıvı metal akışları daha düzenli hale getirilmiş ve istediğimiz döküm kaliteleri elde edilmiştir. Birinci deney kalıbımız; uygun olmayan yolluklu olarak tasarlanmış kalıp boşluğunda, düzensiz metal hareketlerinin ve fazlaca çarpışmaların gerçekleştiği bir uygulama idi. Burada yolluğa yaptığımız müdahale, ilk olarak akış hareketlerini daha düzenli hale getirmiş ve asli problemimizi oluşturan poroziteyi ortadan kaldırmıştır.

İkinci deney kalıbımızda ise uygun olmayan yolluk tasarımı sebebiyle yaşadığımız problem porozite değil parça dolununun gerçekleşmemesi idi. Bunu önlemek için yine yolluk tasarımını değiştirdik ve sıvı metalin kalıp içinde mümkün olduğunca az dolaşmasını sağlayarak metalin ısı ve hız kaybını önlemeye çalıştık. Sonuçta istediğimiz kalitede parça dolununu sağlamış olduk.

Yolluk tasarımı yapmadan evvel parçanın şekil, boyut ve kullanım alanında üstleneceği fonksiyonlar anlaşılmalıdır. Parça sızdırmazlık ortamında çalışacak ise yanlış uygulanacak bir yolluk tipiyle bu parça kesitinde oluşabilecek hava kabarcıklarına kabul edilemez. Özellikle hidrolik-pnömatik sistemlerde basınç altında çalışan parçalarda; parça içinde porozite sebebiyle sızdırmazlık sağlanamaz. Parçanın oluşturacağı kalıp boşluğunun, kalıpta kullanacağımız hareketli ve sabit maçaların ve kalıp ömrünü etkileyecek olan kalıp hassas kesitlerinin bilinmesi için de parça şekil ve boyutlarının yolluk tasarımından önce iyice anlaşılması gerekir.

Yüksek basınçlı dökümlerde döküm kalitesinin düşük olması durumunda izlenen ilk yol baskı şartlarında değişikliğe gitmektir. Baskı esnasında uygulanan basınç değeri, dolum hızı değeri ve hatta kullanılan malzemenin özellikleri değiştirilmeye çalışılır. Her biri, yeri geldiğinde uygulanabilecek çözüm yöntemleridir. Ancak daha kalıp tasarımı sırasında yapılacak uygun yolluk dizaynı sayesinde; seri imalatta yaşanabilecek birçok döküm problemi baştan engellenebilir.

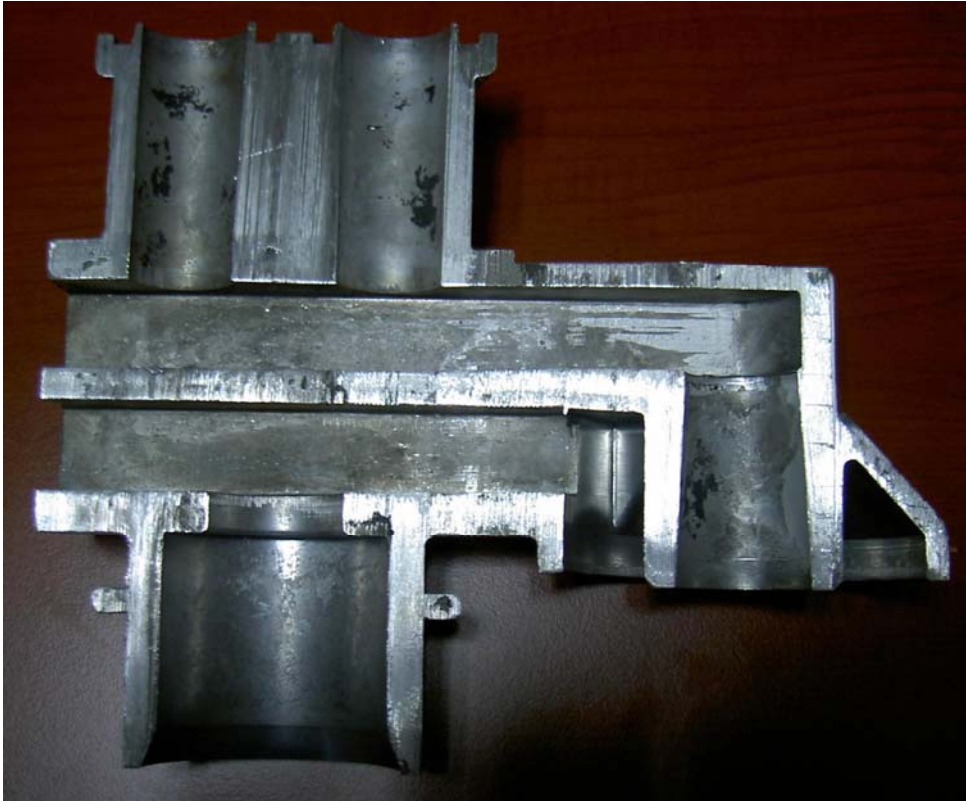
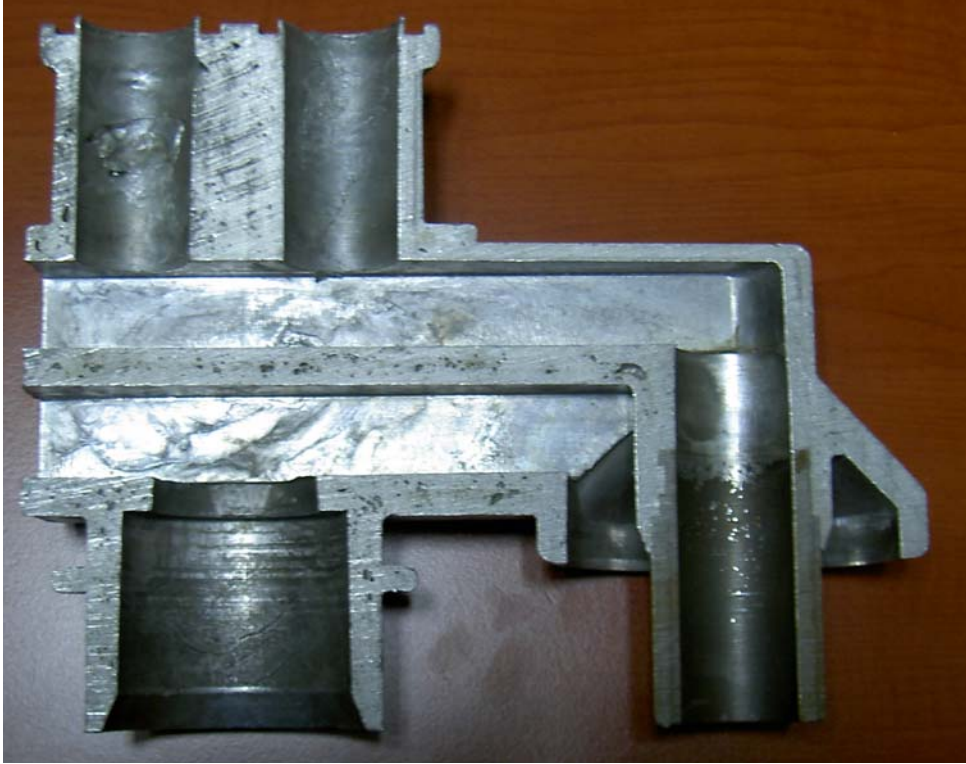
6. KAYNAKLAR

- ANDREONİ, L., CASÈ, M., POMESANO, G., 1996. The Pressure Die-Casting Process. Edimet. s: 76-84
- ANDRESEN, B., 2005. Die Casting Engineering. Crc Pres. s: 75-90
- ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., 2000. İmal Usülleri. Birsen Yayınevi. s: 15,16.
- ASTHANA, R. K., ASHOK., DAHOTRE, N.B., 2006. Materials Processing and Manufacturing Science. Elsevier. s: 492-503
- BAYRAKÇI, H., ATAŞİMŞEK, S., YILDIRIM, S. 2002. Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri. Birsen Yayınevi. s: 22,23
- CAMPBELL, J. , 2003. Castings. Elsevier. s: 255-265
- C. C. TAİ, J. C. LİN, 1998. Journal of Materials Processing Technology, Volume 86, Issues 1-3. s:87-100
- CHANG-HO K., 2001. Materials and Manufacturing Processes, v 16, n 6. s:789-801
- ÇİĞDEMOĞLU M., 1972. Basıncılı Döküm. Makina Mühendisleri Odası:77. s:44-73
- DVORAK P., BARRİERE T., GELİN, JEAN-CLAUDE., 2005. Powder Metallurgy, v 48, n 3. s:254-260
- ERİŞKİN Y., UZUN İ., 1984. Hacim Kalıpcılığı. Milli Eğitim Gençlik Ve Spor Bakanlığı Yayınları. s: 45,46
- FISCHER J.M., 2003. Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage. William Andrew Inc. s: 128-156
- FUH, J, Y. H., 2004. Computer-Aided Injection Mold Design and Manufacture. Crc Pres. s: 45-65
- GENG, H., 2004. Manufacturing Engineering Handbook. Mcgraw-Hill Professional. s: 353-388
- GRİFFİTHS W.D., WHİT WORTH D., 2006. Foundry Trade Journal, v 180, n 3632. s:61-64
- HARVİLL, H. L., JORDAN, P. R., 1945. High-Pressure Die Casting: A Design Guide for Engineers. H. L. (Red) Harvill Manufacturing Co. s: 70-82
- HERMAN, E. A., 1986. Die Casting Engineer, v 30, n 5. s:44-47

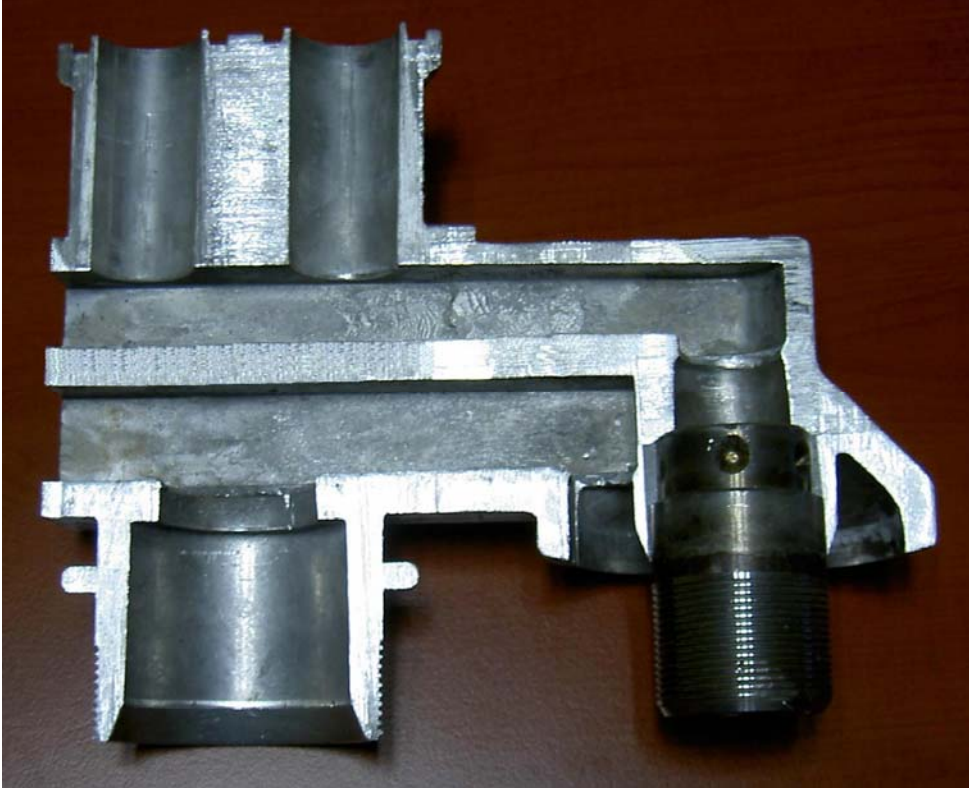
- JEAN R., ERIC B., SCOTT F., 1997. SAE Special Publications, v 1250, Characteristics and Applications of Magnesium in Automotive Design. s:33-42
- KAUFMAN, G. J., ROOY, L. E., 2004. Aluminum Alloy Castings. Asm International. s: 210-225
- K. K. S. TONG, B. H. HU, X. P. NIU, I. PINWILL, 2002. Journal of Materials Processing Technology, Volume 127, Issue 2. s:238-241
- KLUZ J., 1972. Plastik ve Metal Döküm Kalıpları. M.E.B. Mes. ve Tek. Öğr. Kitapları Etüt ve Prog. Dairesi Yayınları No 72. s:156
- LIANGRONG J., SHOUMEI X., BAICHENG L., 2000. Journal of Materials Science and Technology, v 16, n 3. s:269-272
- LOZEFOVICH., VEJNİK A., 1962. Theory of Special Casting Methods. American Society of Mechanical Engineers. s: 180-195
- MATTHEW S. DARGUSCH, G. DOUR, N. SCHAUER, C.M. DINNIS, G. SAVAGE, 2006. Journal of Materials Processing Technology, Volume 180, Issues 1-3. s:37-43
- MORI, K., 2001. Simulation of Material Processing: Theory, Methods and Application. Taylor & Francis. s: 725-735
- POLI, C., 2001. Design for Manufacturing. Elsevier. s: 178-190
- RAVI B., 2005. Metal Casting Computer Aided Design and Analysis. Prentice Hall of India. s: 120-133
- RUDD, C. D., 1997. Liquid Moulding Technologies. Woodhead Publishing. s: 13-19
- STREET, A., 1986. The Diecasting Book. Portcullis Pres. s: 520-534
- SULAIMAN S., 1997. Journal of Materials Processing Technology, Volume 63, Issues 1-3. s:690-695
- SWIFT, K.G., BOOKER, J.D., 2001. Proses Selection: From Design to Manufacture. Butterworth Heinemann. s: 42
- ULUDAĞ İ., 2000. Basınçlı döküm kalıplarında yolluk dizaynı ve havalandırmaya etkisinin araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmış) s:14-37
- WATERS, T. F., 1996. Fundamentals of Manufacturing for Engineers. Crc Pres. s: 22-35

- WEISHAN Z., SHOUMEI X., BAICHENG L., 1997. Journal of Materials Processing Technology, Volume 63, Issues 1-3. s:707-711
- WHELAN, A. C., JOAN L., 1981. Developments in Injection Moulding. Springer. s: 265-274
- XIE, G., 2004. Modelling Air Flow in Die Casting. National Library of Canada. s: 67-73
- VILADIMIROV, V., 1982. Dies, Moduls And Jigs. Mir Publishers. s: 138-151
- VINARCİK, E., 2003. High Integrity Die Casting Processes. Wiley-IEEE. s: 29-37
- YU, K-O., 2002. Modeling for Casting and Solidification Processing. Crc Pres. s: 450-470

7. EKLER



Şekil 1-2 Filtre Gövdesi İçin Elverişsiz Yolluklu Kalıpta Elde Edilen İş Parçaları



Şekil 3 Filtre Gövdesi İçin Elverişli Yolluklu Kalıpta Elde Edilen İş Parçası



Şekil 4-5 Flanş İçin Elverişsiz Yolluklu Kalıpta Elde Edilen İş Parçaları



Şekil 6 Flanş İçin Elverişli Yolluklu Kalıpta Elde Edilen İş Parçası